

Encyklopedia Nurkowania Rekreacyjnego

Wersja polska

Tytuł oryginału:

„The Encyclopedia of Recreational Diving” wyd PADI

Tłumaczenie:

Rozdział 1

Rozdział 2

Rozdział 3 Piotr Paulo, Małgorzata Babiak biuro@nurkowanie.info.pl

Rozdział 4 Piotr Łukasik p.lukasik@gmail.com

Rozdział 5 Piotr Łukasik p.lusiasik@gmail.com

© wszelkie prawa zastrzeżone

ROZDZIAŁ 1

Podwodna przygoda

POZOSTAŁE 70% POWIERZCHNI ZIEMI



SPIS TREŚCI

Podwodna przygoda	1
Twoja droga w podwodny świat	4
NURKOWANIE REKREACYJNE	4
DEFINICJA NURKOWANIA REKREACYJNEGO	5
OPIS	5
PODZIAŁY	6
Szkolenia nurkowe w Systemie PADI	7
Nurkowanie techniczne	10
DEFINICJA NURKOWANIA TECHNICZNEGO	11
OPIS	11
PODZIAŁY	12
Najlepsza przygoda	16
DOKĄD POJECHAĆ	16
RZECZY DO ZROBIENIA	26
NURKOWY STYL ŻYCIA	29
Inne formy nurkowania i podwodnej eksploracji	30
NURKOWANIE ZAWODOWE	30
NURKOWIE SŁUŻB PUBLICZNYCH	34
NURKOWANIE NAUKOWE	36
NURKOWANIE WOJSKOWE	39
POJAZDY ZANURZALNE	42
POJAZDY ZDALNIE STEROWANE ROV	44
Wczoraj, dziś i jutro	46
KRÓTKA HISTORIA NURKOWANIA REKREACYJNEGO	46
EKLEKTYCZNE POWOŁANIE: LATA 30. I 40.	46
TWOJA PRZYSZŁOŚĆ W NURKOWANIU: KARIERA.	55
OBRAZEK Z PRZYSZŁOŚCI NURKOWANIA SPORTOWEGO	60
FUNDACJA PROJEKTU AWARE	65

WSTĘP

Natura ludzka od zawsze pragnęła przygód i odkryć. Człowiek jest jedyną istotą na Ziemi, która odkrywa dla samej potrzeby odkrywania. Wspinając się na Mount Everest czy korzystając z Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, by zobaczyć galaktyki na krańcu Wszechświata, ludzie zdobywają wiedzę i podejmuje wyzwania tylko dlatego, że one istnieją. Mamy to we krwi.

To źródło postępu, ale również źródło wielu problemów.

Dzięki technologii XXI wieku nasza planeta jest coraz mniejsza i coraz bardziej dostępna dla ludzi. Dziś zaledwie około 10% powierzchni Ziemi pozostaje nie do zdobycia w ciągu 24 godzin. Możemy oglądać najwspanialsze pomniki przyrody i podziwiać widoki, które 100 lat temu były zarezerwowane jedynie dla najlepszych traperów.

Ten postęp ma swoją cenę. Odkrycia w nauce i technice będą się mnożyć bez końca, ale miejsc do odkrycia będzie wciąż ubywać. Nadal nasz zachwyt budzą Wodospady Wiktorii, ale dziś dojeżdżamy do nich wygodnym samochodem po udeptanej drodze. Oglądamy je otoczeni tłumem turystów. To zwiedzanie, a nie odkrywanie. Głód zdobywcy pozostaje nienasycony. Być może to jeden z powodów, dla których od ponad 30 lat nurkowanie jest jednym z najszybciej rozwijających się sportów wyczynowych, zawodów i naukowych możliwości.



Nawet w wodach przybrzeżnych, tuż przy wielkich miastach, można zobaczyć - odkryć - podwodne miejsca, których nie widział nikt, a co najwyżej garstka ludzi. Bez wątpienia świat podwodny to ostateczna ziemska granica poznania.

Podczas gdy przedzieramy się przez lądy, zaliczamy powierzchnię naszej planety, do świata podwodnego ledwie zerkamy. Nawet w wodach przybrzeżnych, tuż przy wielkich miastach, można zobaczyć - odkryć - podwodne miejsca, których nie widział nikt, a co najwyżej garstka ludzi. Bez wątpienia świat podwodny to ostateczna ziemska granica poznania. Jako nurek masz dostęp do tej ostatecznej granicy. Możesz się tam znaleźć z powodów zawodowych, naukowych lub dla czystej rozrywki. Choć nurkowanie jest dla większości ludzi najbardziej dostępną i przystępną formą podwodnych badań, współczesna technologia pozwala nam sięgać w rejony głębsze i niebezpieczne z pomocą pojazdów zanurzalnych czy pojazdów typu ROV (*Remotely Operated Vehicle* - pojazd zdalnie sterowny).

Dla wielu nurkowanie to coś więcej niż przygoda i poznawanie. Nurkowanie może ukazać ci najbardziej egzotyczne miejsca na świecie, zanurzyć cię w nowej kulturze i otworzyć przed tobą zupełnie nowe możliwości. Poprzez nurkowanie popatrzysz na świat w zupełnie inny sposób.



Jako nurek wieszysz życie pełne wrażeń, nowych wyzwań, ciekawych ludzi. Taki styl życia możesz prowadzić tak blisko domu, jak i daleko od niego

Jako nurek wieszysz życie pełne wrażeń, nowych wyzwań, ciekawych ludzi. Taki styl życia możesz prowadzić tak blisko domu, jak i daleko od niego. Nurkowanie to jedno z tych rzadkich ludzkich działań, które łączą ludzi o różnych zainteresowaniach i potrzebach. Zaspokajają potrzeby tak ludzi żądnych adrenaliny, jak i lubiących piękno i relaks. W odróżnieniu od wielu innych sportów, w nurkowaniu doświadczony profesjonalista może pływać z nowicjuszem i nadal mieć z tego przyjemność.



Dzięki trwającym przez lata doskonaleniom wyposażenia, szkoleń i bazy pomocniczej dziś mamy wielu żądnych przygód ludzi znajdujących przyjemność w nurkowaniu

W tym rozdziale przejrzymy wszystkie oferty podwodnej przygody. Poznasz różnicę i podobieństwa między nurkowaniem rekreacyjnym, technicznym, komercyjnym i dla celów naukowych, jak również nienurkowe technologie badań podwodnych. Zobaczysz najlepsze na świecie miejsca nurkowe i tych kilka zarezerwowanych dla nurkowej elity. Spojrzysz w przeszłość sztuki nurkowania, na miejsce gdzie jest dziś i dokąd zmierza. Przeczytasz o tych, którzy kształtowali nurkowanie, o możliwościach kariery nurkowej i o powstających technologiach, które zmieniają oblicze nurkowania.

Na koniec omówimy stan oceanów, zagrożenia, przed którymi stoją i zastanowimy się, jak możemy im pomóc. Zobaczysz, że jako podwodny badacz, masz szansę zostać morskim ambasadorem i źródłem rozwiązań, a nie źródłem problemów.

Twoja droga w podwodny świat

Nigdy wcześniej świat podwodny nie był tak dostępny. Choć pewne technologie mogą pokazać ci ten świat w sposób pośredni (np. pojazd typu ROV), większość ludzi wkracza do tej strefy, wybierając sposób bezpośredni jako nurkowie. Kiedyś termin „nurkowanie” był jednoznaczny, dziś nurkować można na różne sposoby. Mamy 6 głównych kategorii nurkowych, a każda ma dodatkowe podkategorie: nurkowanie rekreacyjne, techniczne, zawodowe, naukowe, wojskowe i w służbach publicznych. Granice między nimi nie zawsze są ostro zarysowane a cele i wykorzystywane technologie często się przenikają.

Dla większości ludzi podwodne królestwo otwiera się dzięki nurkowaniu rekreacyjnemu. Gdy nurek rekreacyjny uprawia ten sport z pasją i akceptuje większą dawkę ryzyka, może podjąć się nurkowania technicznego - najwyższego stopnia w nurkowaniu sportowym. Przyjrzymy się nurkowaniu technicznemu i rekreacyjnemu, a nieco później wrócimy do pozostałych kategorii nurkowych.

Nurkowanie rekreacyjne

Dla milionów ludzi na całym świecie nurkowanie rekreacyjne otwiera dostęp do mórz, rzek, jezior i zalanych kamieniołomów. Wraz z wynalezieniem aparatu oddechowego (ang. *scuba regulator*) przez Jacques'a Cousteau i Emile'a Gagnan w latach 40. XX w. narodziło się nurkowanie rekreacyjne i przekształciło się ze sportu zarezerwowanego dla śmiałych, wytrzymałych młodych mężczyzn w sport cieszący przedstawicieli obu płci w wieku od lat ośmiu wzwyż. Dzięki trwającym przez lata doskonaleniom wyposażenia, szkoleń i bazy pomocniczej dziś mamy wielu żądnych przygód ludzi znajdujących przyjemność w nurkowaniu.

Definicja nurkowania rekreacyjnego

Termin „rekreacyjne” oznacza „dla zabawy”, i to jest oczywiście cel nurkowania rekreacyjnego. Niemniej jednak „nurkowanie rekreacyjne” oznacza zwykle określony zbiór ograniczeń, wymogów sprzętowych i szkoleniowych. Instruktor nurkowy uczący cię nurkowania rekreacyjnego jest profesjonalistą w tym, co robi, ale wciąż nazywamy takie nurkowanie „nurkowaniem rekreacyjnym”.

Dlatego nurkowanie rekreacyjne jest zdefiniowane jako nurkowanie do głębokości nie większej niż 40 m (130 stóp) bez przystanków dekompresyjnych. Gdy nurkujesz w środowisku zamkniętym (ang. *overhead environment*), całkowita pozioma i pionowa odległość do powierzchni nie może przekroczyć 40 m i zawsze musisz widzieć światło z powierzchni.

Aby brać udział w nurkowaniu rekreacyjnym bez bezpośredniej profesjonalnej opieki, musisz posiadać podstawowy certyfikat, np. certyfikat PADI Open Water Diver.

Zmieniając sprzęt i wymagania szkoleniowe, możesz znajdować przyjemność w różnych typach nurkowań w granicach limitów dla nurkowania rekreacyjnego. Czy ubierasz krótki skafander mokry lub skafander typu „body” (ang. *skin suit*) nurkując na rafach w ciepłych wodach tropikalnych, czy ciężkie mokre skafandry do nurkowań wczesną wiosną w lasach brunatnic (listownic), oba dotyczą nurkowania rekreacyjnego i w obu obowiązują cię odpowiednie limity.

Limity nurkowania rekreacyjnego:

- 40 metrów
- Bez przystanku dekompresyjnego

Limity w przestrzeniach zamkniętych:

- Do 40 metrów do powierzchni
- W granicach widoczności światła słonecznego

Opis

W porównaniu do innych typów nurkowań, nurkowanie rekreacyjne, jako sport czy rekreacja dostępna szerokim rzeszom ludzi, ma proste wymagania szkoleniowe i sprzętowe. (Zobacz dodatek „W pełni wyposażony nurek rekreacyjny”). Limity nurkowania rekreacyjnego wyznaczone są przede wszystkim poprzez ograniczenia sprzętowe; jedno z największych osiągnięć w bezpieczeństwie nurkowania rekreacyjnego, to możliwość wykonania, w każdej chwili, bezpośredniego wynurzenia na powierzchnię w momencie pojawienia się jakichś problemów.

Nurkowanie rekreacyjne ograniczone jest do około 1% głębokości oceanów, a nawet ta srebrna, cienka warstwa wody wykracza daleko poza możliwości badawcze pojedynczego nurka. Górne obszary morskie są w zasięgu działania promieniowania słonecznego, co z biologicznego punktu widzenia jest niezwykle ważne. Np. ekosystemy koralowców i listownic rozwijają się przede wszystkim powyżej 50 m/165 stóp, ponieważ tak koralowce, jak i listownice uzależnione są od światła słonecznego. Większość z nich rośnie płycej niż 30 m. Choć nurkowanie rekreacyjne ogranicza twoje poznanie oceanu do niewielkiego fragmentu, jest to właściwy fragment - najbardziej produktywny i zarazem najpiękniejsze obszary podwodne.

Słowniczek nurkowy
no stop limit - maksymalny czas, przez który możesz przebywać na danej głębokości i wciąż wynurzać się do powierzchni bez potrzeby robienia przystanku dekompresyjnego; nazywany również limitem bezdekompresyjnym (ang. <i>no decompression limits</i> - NDL).
decompression stop - przystanek dekompresyjny - przerwa lub przerwy w wynurzaniu na pewnej głębokości i czas, który pozwala na uwolnienie się gazu z tkanek, aby uniknąć choroby dekompresyjnej.
decompression sickness - choroba dekompresyjna - nazywana również chorobą kesonową (ang. <i>the bends</i>) choroba wywołana tworzeniem się pęcherzyków gazu w ciele po nurkowaniu; zwykle spowodowana awarią lub błędnym użyciem komputera nurkowego lub tabel.
safety stop - przystanek bezpieczeństwa - przerwa w wynurzaniu zazwyczaj na 5 m/15 stopach, która nie jest konieczna, ale robiona dla zminimalizowania ryzyka choroby dekompresyjnej.
overhead environment - środowisko zamknięte, zalane przestrzenie zamknięte - środowisko podwodne, w którym obszar bezpośrednio w górze nie jest otwarty i uniemożliwia bezpośredni dostęp do powierzchni.
viz - <i>visibility</i> - widoczność; odległość na jaką jesteś w stanie widzieć w poziomie.

Podziały

Nurkowanie rekreacyjne jest popularne na całym świecie i skupia szeroką i zróżnicowaną grupę nurków, dlatego możemy podzielić nurkowanie rekreacyjne na kilka sposobów w zależności od tego jaki aspekt nurkowania rozważamy. Typowy podział to działanie/umiejętności i otoczenie, oba ząębają się w różnym stopniu.

Działanie/umiejętności - Nurkowanie rekreacyjne obejmuje różnorakie zajęcia takie jak fotografia podwodna, rozpoznawanie ryb, nurkowanie wrakowe, nurkowanie głębokie (głębsze niż 18 m/60 stóp do 40 m/130 stóp), nurkowanie w suchym skafandrze, nurkowanie z podwodnym skuterem (ang. DPV - diver propulsion vehicle), nurkowanie na wysokości (jeziora położone powyżej 300 m n.p.m./ 1000 stóp), nurkowanie z łodzi, nurkowanie z nitroksem (gaz wzbogacony o dodatkową porcję tlenu) i in. Ze względów bezpieczeństwa pewne zajęcia, jak nurkowanie z nitroksem, wymaga dodatkowych szkoleń i certyfikatów. Inne, jak np. podwodna fotografia, nie wymagają kursu, ale zrobienie go pozwoli ci uniknąć błędów i wykonywać wiele czynności znacznie szybciej. Inne zajęcia, jak nawigacja podwodna, to rutynowe umiejętności, które przydają się przy każdym nurkowaniu. Dodatkowe szkolenia rozwijają i udoskonalają twoje umiejętności nurkowe.

Działania/umiejętności ząębają się oczywiście. Nurkowanie w zimnych wodach może wymagać nurkowania w suchym skafandrze. Gdy nurkujesz na 30 m/100 stopach, jest to nurkowanie głębokie. Przypuśćmy, że nurkujesz na zatopionym krążowniku, rozpoczynasz więc nurkowanie wrakowe, a jeśli jeszcze przy tym fotografujesz, uprawiasz podwodną fotografię. Wracając na łódź, przydadzą się być może umiejętności nawigacyjne. W zależności od kontekstu rozmowy, możesz stwierdzić, że było to nurkowanie wrakowe, głębokie, w skafandrze suchym, nawigacyjne lub dotyczące podwodnej fotografii.

Otoczenie - powszechnie kategoryzuje się nurkowanie rekreacyjne poprzez otoczenie, choć może to być nieściśle i ząębować się z kategoriami działań nurkowych. Często będziesz słyszeć, gdy ktoś opowiada o nurkowaniu na rafach, w lasach listownic (brunatnic) lub nurkowaniu w jeziorze. Jednak, pewne odniesienia do środowiska mogą być niejasne, jak np. odniesienie do nurkowania brzegowego (ang. *shore diving*). Zrozumiemy je dopiero w kontekście, gdy okaże się, że „nurkowanie brzegowe” oznaczało, że zanurzenie nie nastąpiło z łódki, pomostu, itp.

Nurkowanie pod lodem (ang. *ice diving*), nurkowanie wysokościowe (ang. *altitude diving*) i jaskiniowe (nurkowanie w skalistych czy koralowych jaskiniach w odległości do 40 m od powierzchni) wymaga dane środowisko. Dlatego gdy mówimy o „nurkowaniu pod lodem”, klasyfikujemy nurkowanie poprzez otoczenie i przez zajęcie/umiejętności niezbędne do badania tego otoczenia.

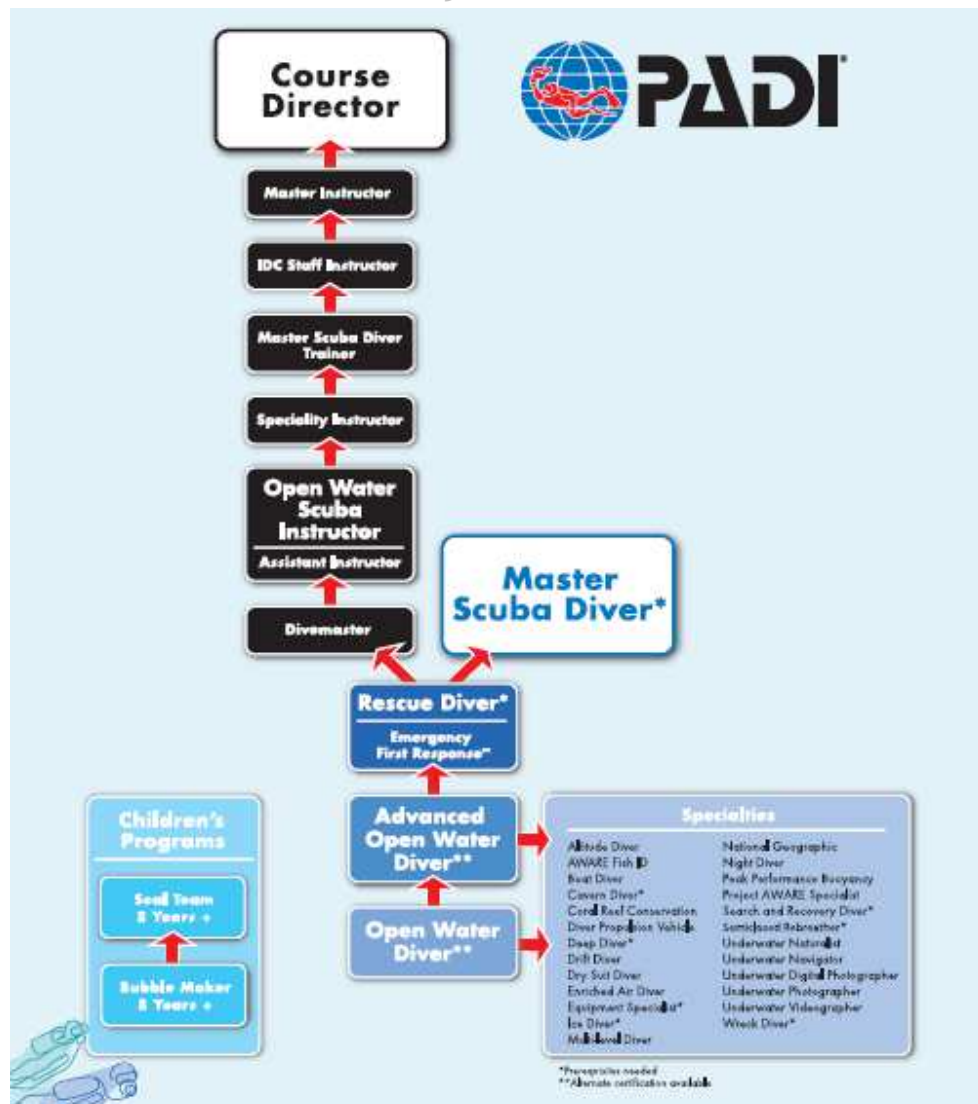
Jak świat uczy się nurkować

Większość ludzi uczących się nurkowania zdobywa podstawowy certyfikat PADI Open Water Diver pod kierunkiem instruktora PADI. Założone w 1966 r. PADI - *Professional Association of Diving Instructors* - jest organizacją skupiającą ponad 100 000 zawodowców i 4000 centrów nurkowych i kurortów w ponad 175 krajach i rejonach świata.

Zawodowcy PADI wspierani są przez 8 międzynarodowych Biur PADI, a każde z nich zapewnia szkolenia, wsparcie sprzętowe i monitoring, wdraża procedury szkoleniowe, rejestruje i wydaje certyfikaty oraz promuje nurkowanie i działalność nurkową.

PADI szkoli obecnie ponad pół miliona nurków rocznie i wydaje najbardziej rozpoznawalne i uznane certyfikaty nurkowe.

Szkolenia nurkowe w Systemie PADI



Szkolenia nurków w systemie PADI były opracowywane z myślą o systematycznym rozwoju i poszerzaniu możliwości i doświadczenia nurka. System PADI jest oparty na współczesnym systemie szkolenia wg opracowanych zasad kładących nacisk na rzeczywiste sytuacje i praktykę. Nurkowanie rekreacyjne jest popularne na całym świecie i skupia szeroką i zróżnicowaną grupę nurków, dlatego możemy podzielić nurkowanie rekreacyjne na kilka

sposobów w zależności od tego jaki aspekt nurkowania rozważamy. Typowy podział to działanie/umiejętności i otoczenie, oba zazębiają się w różnym stopniu.

Działanie/umiejętności - Nurkowanie rekreacyjne obejmuje różnorakie zajęcia takie jak fotografia podwodna, rozpoznawanie ryb, nurkowanie wrakowe, nurkowanie głębokie (głębsze niż 18 m/60 stóp do 40 m/130 stóp), nurkowanie w suchym skafandrze, nurkowanie z podwodnym skuterem (ang. DPV - diver propulsion vehicle), nurkowanie na wysokości (jeziora położone powyżej 300 m n.p.m./ 1000 stóp), nurkowanie z łodzi, nurkowanie z nitroksen (gaz wzbogacony o dodatkową porcję tlenu) i in. Ze względów bezpieczeństwa pewne zajęcia, jak nurkowanie z nitroksen, wymaga dodatkowych szkoleń i certyfikatów. Inne, jak np. podwodna fotografia, nie wymagają kursu, ale zrobienie go pozwoli ci uniknąć błędów i wykonywać wiele czynności znacznie szybciej. Inne zajęcia, jak nawigacja podwodna, to rutynowe umiejętności, które przydają się przy każdym nurkowaniu. Dodatkowe szkolenia rozwijają i udoskonalają twoje umiejętności nurkowe.

Kompletnie wyposażony nurek rekreacyjny
Maska - utrzymuje warstwę powietrza wokół oczu pozwalająca wyraźnie widzieć
Fajka - używana na powierzchni, aby móc swobodnie oddychać mimo fal lub oddychać z twarzą w wodzie bez potrzeby używania automatu.
Automat - dostarcza powietrze z butli, gdy wykonujesz wdech.
Alternatywne źródło powietrza - dodatkowy automat, by w razie potrzeby móc dzielić powietrze z innym nurkiem.
Manometr - pokazuje ile zostało powietrza w butli.
Butla - przechowuje sprężone powietrze pod wysokim ciśnieniem.
Skafander nurkowy - zapewnia izolację, by wygodnie nurkować (stosujemy różne typy w zależności od temperatury wody).
Płetwy - powiększają powierzchnię twoich stóp, tak że płynąc nie musisz używać rąk.
Narzędzie tnące - pozwala uwolnić się w przypadku zaplątania się.
Kamizelka ratunkowa - wypornościowa („jacket”) - używa powietrza z twojej butli, aby ustalić pływalność - neutralną („nieważkość”) , ujemną (toniesz), dodatnią (unosisz się). Kamizelka zawiera uprząż i noszak, które utrzymują butlę na plecach.
System balastowy - utrzymuje ołowiane ciężarki, by zrównoważyć dodatnią pływalność, tak byś mógł się zanurzyć, a mechanizm pozwala na szybkie zrzucenie balastu w razie konieczności.
Komputer nurkowy - mierzy twoją głębokość i czas pod wodą, oblicza pozostały czas, jaki bezpiecznie możesz przebywać pod wodą.
Kompas - przydatny w podwodnej nawigacji.
Tabliczka - umożliwia komunikację z partnerem pod wodą i zapisywanie informacji.
Bojka sygnalizacyjna - zwraca uwagę łodzi, gdy wypływasz na powierzchnię.
Tabele nurkowe RDP, Planer Nurkowań Rekreacyjnych - użyteczne przy planowaniu nurkowania i jako pomoc w wypadku uszkodzenia komputera.

Działania/umiejętności zazębiają się oczywiście. Nurkowanie w zimnych wodach może wymagać nurkowania w suchym skafandrze. Gdy nurkujesz na 30 m/100 stopach, jest to nurkowanie głębokie. Przypuśćmy, że nurkujesz na zatopionym krążowniku, rozpoczynasz więc nurkowanie wrakowe, a jeśli jeszcze przy tym fotografujesz, uprawiasz podwodną fotografię. Wracając na łódź, przydadzą się być może umiejętności nawigacyjne. W zależności od kontekstu rozmowy, możesz stwierdzić, że było to nurkowanie wrakowe, głębokie, w skafandrze suchym, nawigacyjne lub dotyczące podwodnej fotografii.

Sposób, w jaki uczysz się nurkować na kursach PADI, jest tym samym sposobem, w jaki będziesz nurkować po kursie. Poniżej przedstawione są kolejne stopnie Systemu PADI.

PADI Open Water Diver - podstawowy program zapewniający minimum kwalifikacji pozwalających na samodzielne nurkowanie bez potrzeby bezpośredniego nadzoru zawodowca. Świeżo certyfikowani nurkowie OWD mogą nurkować na średnich głębokościach i w dobrych warunkach. Szkolenie rozwija podstawową wiedzę i umiejętności nurkowe i wymaga minimum 5 nurkowań w basenie i 4 nurkowań w realnym środowisku nurkowym.

PADI Advanced Open Water Diver - opracowany, tak aby ludzie kończący OWD, mogli natychmiast rozpocząć szkolenie AOWD. Aby uzyskać stopień Advanced OWD, bierzesz udział w 5 nurkowaniach specjalistycznych (ang. Adventure Dives), a każde dotyczy danej specjalizacji. Możemy wybrać między nurkowaniem głębokim, wrakowym, podwodną fotografią, nurkowaniem nocnym, nawigacyjnym, poszukiwaniem i wydobywaniem, i innymi. W większości przypadków możesz zaliczyć je na konto przyszłych kursów na daną specjalizację (patrz poniżej). Nowo certyfikowany nurek AOWD ma kwalifikacje pozwalające na głębsze nurkowania i w trudniejszych warunkach niż nurek OWD.

PADI Rescue Diver - kurs ten poszerza opanowane na wcześniejszych szkoleniach umiejętności pomocy samemu sobie i zapobiegania wypadkom oraz rozwija dodatkowe umiejętności ratownicze i postępowania w razie wypadku. Ćwiczysz symulowane akcje ratunkowe dla różnych scenariuszy wypadków, ucząc się, jak zastosować podstawowe umiejętności do swoich indywidualnych możliwości, sił i ograniczeń. Choć jest to jeden z najbardziej ambitnych kursów, większość nurków z certyfikatem PADI Rescue Diver oceniają go jako jeden z najbardziej godnych polecenia. Szkolenia od OWD do PADI Rescue Diver uważane za zasadnicze dla nurków rekreacyjnych.

Kursy PADI Specialty Diver - Specjalizacje - Kursy rozwijające twoje umiejętności w konkretnych działaniach czy w danym otoczeniu. Możesz brać udział w większości tych kursów jako nurek OWD, choć niektóre, jak nurkowanie wrakowe i głębokie, wymagają certyfikatu AOWD.

PADI Master Scuba Diver - Nurek z certyfikatem PADI Rescue Diver, który ma również 5 specjalizacji PADI, kwalifikuje się do miana PADI Master Scuba Diver. Nazwa ta oznacza nurka, który na poziomie nurkowania rekreacyjnego osiągnął wszystkie stopnie rozwoju. Czas wkroczyć na poziom kierowniczy (ang. leadership level).

PADI Divemaster - Jako PADI Divemaster wkraczasz na poziom kierowniczy upoważniający cię do nadzorowania szkoleń nurkowych i do asystowania Instruktorowi PADI prowadzącemu zajęcia. Jest to wszechstronny program, który pogłębia twoją wiedzę i umiejętności na poziomie profesjonalisty.

PADI Open Water Scuba Instructor - Dwuetapowy końcowy przebieg uzyskania stopnia PADI Open Water Scuba Instructor wymaga pomyślnego ukończenia kursu IDC (Instructor Development Course), a następnie zdania dwudniowego egzaminu instruktorskiego IE (Instructor Examination) przeprowadzanego przez egzaminatora stopnia instruktorskiego Instructor Examiner z jednego z Biur PADI. Proces rozwoju Instruktora PADI jest najbardziej wszechstronnym programem instruktora nurkowania z akwalungiem, który rozwija umiejętności stosowania systemu PADI, jak również rozwija zdolności wymagane od członka kadry centrum czy ośrodka nurkowego. Większość profesjonalistów w przemyśle nurkowym rozpoczyna właśnie jako PADI Open Water Scuba Instructor.

Certyfikaty PADI Junior - Nie tylko dorośli mogą nurkować z akwalungiem. Dzieci od 10 roku życia mogą uzyskać certyfikat PADI Junior Open Water Diver, a od 12 roku życia mogą starać się o certyfikaty Junior Advanced Open Water Diver i Junior Rescue Diver. Certyfikaty te mają takie same wymagania jak w wersji dla dorosłych, ale junior nurkować może tylko razem z dorosłym i nakłada się na niego dodatkowe limity, zanim nie ukończy 15 lat.

PADI Seal Team i Bubblemakers - Komando Foki i Bąbelki - Maluchy, które ukończyły 8 lat, mogą brać udział w nurkowaniach z akwalungiem w basenach i płytkich wodach zamkniętych, w których panują warunki podobne do basenowych, pod opieką Instruktora PADI. Program Bubblemakers pozwala maluchom nacieszyć się przyjemnością nurkowania z aparatem oddechowym, a Komando Foki odbywa prawdziwe zajęcia basenowe i rozwija umiejętności nurkowe, które liczą się w czasie kursu PADI Junior Open Water Diver.

Nurkowanie techniczne

Nurkowanie techniczne (skrót ang. *tec diving*) jest stosunkowo nowe w świecie podwodnych badań. Nurkowanie techniczne używa rozbudowanego wyposażenia i procedur nurkowych wykraczających poza limity nurkowań rekreacyjnych. Nurkowanie techniczne jest bardziej ryzykowne niż rekreacyjne, dlatego tacy nurkowie przechodzą bardziej skomplikowane i intensywne szkolenia. Muszą mieć dostateczne doświadczenie i być gotowym akceptować większe ryzyko. W porównaniu do nurkowania rekreacyjnego, nurkowanie techniczne to zajęcie niszowe, skupiające znacznie węższą grupę nurków.

Chociaż trudno wyznaczyć datę, która zapoczątkowała nurkowanie techniczne, jego korzenie sięgają nurkowania w jaskiniach, które pojawiło się w latach 60. i 70. Do połowy lat 80. nurkowanie jaskiniowe stało się przyjętą specjalistyczną formą nurkowania. Małe grupy nurków wrakowych po obu stronach północnego Atlantyku zaczęły stosować sprzęt do nurkowania jaskiniowego oraz procedury wychodzące poza limity nurkowań rekreacyjnych. Termin „nurkowanie techniczne” i jego uznanie za oddzielną kategorię nurkowania nastąpiło we wczesnych latach 90. wraz z wydaniem *aquaCorps*, czasopisma jemu poświęconemu.

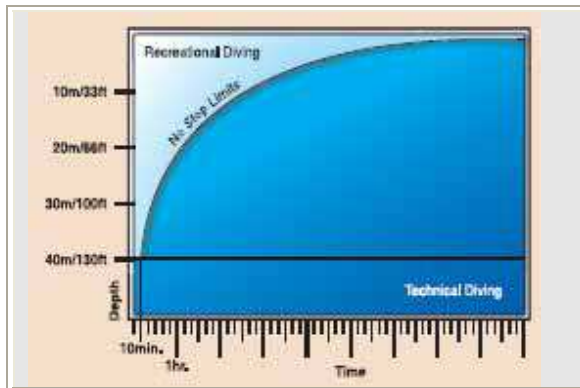
W nurkowaniu technicznym istnieje przynajmniej pięć oddzielnych typów nurkowań: nurkowanie głębokie, nurkowanie trimiksove, jaskiniowe, wrakowe i nurkowanie przy użyciu nowych technologii (technology-specific). Przekonasz się, że każde z nich ma swoje własne potrzeby i wymagania.



Nurkowanie techniczne używa rozbudowanego wyposażenia i procedur nurkowych wykraczających poza limity nurkowań rekreacyjnych



W nurkowaniu rekreacyjnym nurkujesz tak długo i na takich głębokościach, które pozwalają na bezpośrednie wynurzenie. W nurkowaniu technicznym nie możesz tego zrobić z powodu głębokości, wymogów dekompresji, czy ograniczeń przestrzeni w jaskini lub wraku. Ponieważ nie możesz natychmiast wycofać się na powierzchnię, nurkowanie techniczne wymaga posiadania znacznego sprzętu zapasowego i gazów do oddychania, aby poradzić sobie w czasie zagrażających życiu wypadków pod wodą



Nurkowanie techniczne jest czymś innym niż tradycyjne nurkowania komercyjne czy naukowe, które również wykraczają poza limity nurkowania rekreacyjnego. Dalsza definicja zawiera jedno lub kilka z poniższych: nurkowanie poniżej 40 m/130 stóp, wymagany etap dekompresji, nurkowanie w środowisku zamkniętym poniżej 40 m/130 stóp w linii prostej od powierzchni, przyspieszona dekompresja i/lub użycie różnych mieszanek gazowych w czasie jednego nurkowania

Definicja nurkowania technicznego

Atrakcyjność nurkowania technicznego wynika również z tego, że jest to dyscyplina, której wielbiciele chcą zrobić wrażenie za wszelką cenę, wciąż próbując zwiększyć odległość, głębokość i czas trwania nurkowania sportowego. Z tego powodu nie potrafimy zdefiniować granic i limitów nurkowania technicznego; częściowo zdefiniujemy nurkowanie techniczne, bazując na tym, czym ono nie jest. Zatem nurkowanie techniczne jest czymś innym niż tradycyjne nurkowania komercyjne czy naukowe, które również wykraczają poza limity nurkowania rekreacyjnego. Dalsza definicja zawiera jedno lub kilka z poniższych: nurkowanie poniżej 40 m/130 stóp, wymagany etap dekompresji, nurkowanie w środowisku zamkniętym poniżej 40 m/130 stóp w linii prostej od powierzchni, przyspieszona dekompresja i/lub użycie różnych mieszanek gazowych w czasie jednego nurkowania.

Ważną sprawą jest to, że przekroczenie limitów nurkowania rekreacyjnego nie czyni nurkowania technicznym. Schodzenie na 50 m/165 stóp w tradycyjnym sprzęcie do nurkowania rekreacyjnego nie jest nurkowaniem technicznym. Limity nurkowania rekreacyjnego - i limity dla wszystkich form nurkowań - istnieją, aby zminimalizować ryzyko. Limity bazują na doświadczeniu i wynikach innych; minimalizujesz ryzyko, unikając praktyk, o których wiadomo, że miały nieproporcjonalnie dużą liczbę niepomysłnych wyników - czyli wypadków.



Nurkowanie trymiksowe bazuje na technicznym nurkowaniu głębokim. Szkolenie skupia się przede wszystkim na teorii i praktyce związanej z używaniem helu jak wybór mieszanki gazu i planowanie dekompresji

Opis

W nurkowaniu rekreacyjnym nurkujesz tak długo i na takich głębokościach, które pozwalają na bezpośrednie wynurzenie. W nurkowaniu technicznym nie możesz tego zrobić z powodu głębokości, wymogów dekompresji, czy ograniczeń przestrzeni w jaskini lub wraku. Ponieważ nie możesz natychmiast wycofać się na powierzchnię, nurkowanie techniczne wymaga posiadania znacznego sprzętu zapasowego i gazów do oddychania, aby poradzić sobie w czasie zagrażających życiu wypadków pod wodą. (Zobacz artykuł uzupełniający „W pełni wyposażony

nurek techniczny”). Różne środowiska nurkowania technicznego przewidują nieco różne konfiguracje sprzętu i procedury.

Złożoność procedur i wyposażenia nurka technicznego stawia większe wymagania szkoleniowe. W nurkowaniu technicznym musisz nauczyć się dawać sobie radę z całym wieloczęściowym sprzętem jednocześnie, radzić sobie z zawilościami planowania, takimi jak ustalenie wymagań używanego gazu czy dekompresji.

Z powodu wagi sprzętu, narażenia na gorąco i zimno oraz opór wody, nurkowanie techniczne wymaga lepszych warunków fizycznych niż nurkowanie rekreacyjne. Musisz mieć dobrą kondycję fizyczną. Ponieważ nurkowanie techniczne oznacza dodatkowe ryzyko i wymagania, mniej niż 10 procent nurków to nurkowie techniczni - ale to, co robią, wzbudza zachwyt i podziw innych, czyniąc ich wyróżniającą się częścią nurkowej społeczności.

Słowniczek nurkowy
hang time - slang określający czas wymagany na przystanek dekompresyjny.
accelerated decompression - przyspieszona dekompresja - przełączenie na gaz z dużą zawartością tlenu i/lub na czysty tlen, aby skrócić wymagany czas dekompresji.
Trimix - trymiks - mieszanka zawierająca hel, tlen i azot; dodatek helu równoważy narkotyczne właściwości azotu na dużych głębokościach.
enriched air nitrox - nitroks (EAN) - mieszanka gazu zawierająca azot i tlen, gdzie zawartość tlenu przewyższa 21 procent; używana w nurkowaniu technicznym do przyspieszenia dekompresji.
Oxygen toxicity - toksyczność tlenu - drgawki wywołane trującym działaniem tlenu wdychanym pod wodą; dopuszczalne limity wyznaczone przez zawartość tlenu w gazie na danej głębokości.
CCR - Close-circuit Rebreather - Rebreather (rebraider, aparat oddechowy, oddycharka) o obiegu zamkniętym - forma akwalungu, który jest bardziej wydajny, ponieważ odzyskuje część wydychanego powietrza zamiast wypuszczać je jako bąble gazu.
hit - problemy ze zdrowiem wywołane toksycznością tlenu lub chorobą dekompresyjną.

Podziały

Tak jak i inne formy nurkowania, nurkowanie techniczne ma odrębne działy, każdy z innymi wymogami szkoleniowymi i potrzebami. Wiele z tych działów nachodzi na siebie, dlatego np. nurek techniczny badający wnętrze wraku na 75 m/ 250 stóp powinien być wyszkolony w technicznym nurkowaniu głębokim, nurkowaniu z mieszankami gazowymi (ang. gas diving) i nurkowaniu penetrującym wraki.

Technical deep diving - techniczne nurkowanie głębokie - nurkowanie głębsze niż 40 m/130 ft typowo wymagające przystanków dekompresyjnych, choć i płytsze nurkowania wymagają przystanków, jeśli są dłuższe. Szkolenie do tego rodzaju nurkowania technicznego skupia się na radzeniu sobie z wyposażeniem, obliczeniach wymagań gazu, wyznaczeniu dekompresji i ćwiczeniach sytuacji awaryjnych. Uczysz się również używania różnych mieszanek gazowych, aby skrócić konieczny czas dekompresji. Szkolenia w głębokim nurkowaniu technicznym są zazwyczaj podstawą dla innych typów nurkowań technicznych i upoważniają cię do nurkowań sięgających 50 m/165 stóp.

Trimix diving - nurkowanie trymiksowe - Azot i tlen może powodować problemy, gdy nurkujesz na głębokościach zarezerwowanych dla nurkowania technicznego. Oba gazy stają się narkotyczne powodując błędną ocenę sytuacji, zmniejszają koordynację i opóźniają reakcję. Tlen może stać się toksyczny, wywołując drgawki i utonięcie. Rozwiązaniem jest rozrzedzić azot i tlen helem, który nie jest ani narkotyczny, ani toksyczny. Z tego powodu nurkowie techniczni używają trymiks - mieszanki tlenu, helu i azotu - do nurkowań głębszych niż 50 m/165 stóp w idealnych warunkach. Jeśli warunki nie są idealne lub nurkujesz w środowisku zamkniętym, używaj trymiks już na mniejszych głębokościach.

Nurkowanie trymiksowe bazuje na technicznym nurkowaniu głębokim. Szkolenie skupia się przede wszystkim na teorii i praktyce związanej z używaniem helu jak wybór mieszanki gazu i planowanie dekompresji. Trymiks to granica nurkowania sportowego, dlatego nie ma limitu głębokości. Świeżo certyfikowany nurek trymiksowy ogranicza głębokość do 75 m/245 stóp, a doświadczony do 100 m/330 stóp.

Nurkowanie jaskiniowe - Większość nurkowań jaskiniowych jest płytsza niż 40 m/130 stopy, choć mogą być głębsze. Główne niebezpieczeństwo to duża odległość od wejścia i jednocześnie od powietrza. Zgubienie drogi może być fatalne w skutkach, bo na jej odnalezienie masz tyle czasu ile powietrza w butli. Zmącenie mułu może przysłonić ci drogę, a niedziałająca latarka czyni cię ślepym, bo w jaskiniach nie ma światła.



Szkolenie w nurkowaniu jaskiniowym skupia się na dobrej kontroli pływalności, aby uniknąć mącenia dna i zmniejszania widoczności (zamulanie), planowaniu użycia gazu do oddychania, nawigacji w jaskini



Istnieją też specjalne formy nurkowania jaskiniowego, takie jak nurkowanie *sidemount* (z mocowaniem bocznym). Podczas takiego nurkowania (górny nurek) ubierasz oddzielnie butle na bok (nie na plecy), co pozwala łatwiej przejść przez dużo mniejsze obszary

Szkolenie w nurkowaniu jaskiniowym skupia się na dobrej kontroli pływalności, aby uniknąć mącenia dna i zmniejszania widoczności (zamulanie), planowaniu użycia gazu do oddychania, nawigacji w jaskini. Szkolenie dotyczące sytuacji awaryjnych do przede wszystkim oddychanie wraz z partnerem w drodze z jaskini na powierzchnię, radzenie sobie z problemami ze światłem i podtrzymywania funkcji życiowych.

W nurkowaniu jaskiniowym używasz zazwyczaj standardowego wyposażenia nurka technicznego, ale niektóre rzeczy pomijasz, takie jak bojka czy powierzchniowe urządzenia sygnalizacyjne. Pojemnik z akumulatorem głównego źródła światła zawieszasz najczęściej na prawym biodrze i zabierasz przynajmniej dwa zapasowe źródła światła na górną uprząż ramienia. Są też specjalne formy nurkowania jaskiniowego, takie jak nurkowanie *sidemount* (z mocowaniem bocznym). Podczas takiego nurkowania ubierasz oddzielnie butle na bok (nie na plecy), co pozwala łatwiej przejść przez dużo mniejsze obszary.

Charakterystyka wyposażenia nurka technicznego
Maska - niewielka, by minimalizować opór wody.
Maska zapasowa - (patrz poniżej) Noszona w kieszeni na wypadek zgubienia lub uszkodzenia maski głównej.
Główny automat - primary regulator - ma dwumetrowy (7 stóp) wąż, aby dać go w razie potrzeby partnerowi.
Zapasyowy automat - secondary regulator - całkowicie niezależny automat do oddychania używany w przypadku usterki głównego automatu. Używany również w wypadku, gdy główny automat oddajesz partnerowi.
Manometr - SPG, Submersible Pressure Gauge - pokazuje, ile jeszcze zostało gazu.
Twin - Twin cylinders - butle o dużej pojemności, które utrzymują sprężony gaz, wzbogacony gaz lub trymiks pod wysokim ciśnieniem (w zależności od wymagań nurkowania).
Suchy skafander - zapewnia izolację dającą komfort w czasie długiego nurkowania.
Płetwy, duży rozmiar - obciążony sprzętem technicznym potrzebujesz dobrego napędu.
Nóż hakowy (na pasku przyrządu pomiarowego) - Z-knife (on gauge strap) - specjalny nóż, aby móc się uwolnić w przypadku zaplątania.
Nożyce (w osłonie na pasie) - Shears - zapasowe narzędzie tnące z szerszym zastosowaniem niż nóż hakowy
Uprząż - harness - pasy mocowane na ramiona, pas i krocze, aby utrzymać butle na plecach oraz D-ringi mocowane na ramionach i w pasie do przypinania sprzętu.
Skrzydło - Wing-type BCD - Kamizelka wypornościowa (ang. <i>BCD</i>) o dużej pojemności, z zapasowym workiem (ang. <i>bladder</i>), montowana między uprzążą a butlą; rezerwa wymagana jest ponieważ w nurkowaniu technicznym możesz być zbyt ciężki, aby wypłynąć w przypadku usterki kamizelki.
Kołowrotek bezpieczeństwa i bojka - safety reel i lift bag - rozmieszczane na powierzchni, aby oznaczyć twoje położenie i oznaczyć miejsce dekompresji; mogą być zaplanowaną procedurą nurkową lub procedurą awaryjną. (Bojka nie pokazana.)
System balastowy (nie pokazany) - Weight system - często niepotrzebny, ale jeśli jest używany, posiada podwójne sprzączki szybkiego odpięcia mechanizmu, co umożliwia upuszczenie balastu w razie potrzeby, ale jednocześnie zapobiega przypadkowemu upuszczeniu balastu.
Komputer nurkowy do mieszanek gazowych - Multigas dive computers - liczy i wyświetla bieżące wymagania dekompresji, co pozwala ci przełączać się na różne mieszanki gazu, aby zoptymalizować dekompresję. Drugi rezerwowo zapewni bezpieczeństwo w przypadku awarii pierwszego.
Butla dekompresyjna - stage bottle - Niezależna butla i automat noszona przypięta do uprząży na boku. Używana, aby wydłużyć czas nurkowania i/lub używana do optymalizacji dekompresji. Zazwyczaj używa się dwu, ale przy bardzo złożonych nurkowaniach używa się ich więcej.
W kieszeni na udzie:
Kompas - pomaga w podwodnej nawigacji.
Tabliczka - do komunikowania się z drugim nurkiem lub zapisywania innych informacji.
Urządzenia do sygnalizacji na powierzchni - Surface signaling devices - Zwracają uwagę ludzi na łodzi nurkowej, jeśli wynurzysz się daleko od niej.
Zapasyowe tablice nurkowe - Backup dive tables - Używane do wyznaczenia wymogów dekompresji w przypadku problemów z komputerem.

Wrakowe nurkowanie techniczne - Wrakowe nurkowanie techniczne zdefiniowane jest jako wchodzenie do zatopionego statku i jego penetrację na głębokości poniżej 40 m/130 stóp w linii prostej od powierzchni. Wiele atrakcyjnych wraków statków, na których można nurkować, leży na dużej głębokości, więc większość nurków technicznych zaangażowanych w tego typu nurkowania wymaga również odbycia szkolenia w głębokim nurkowaniu technicznym i nurkowaniu trimikсовym.

Częstą praktyką technicznego nurkowania wrakowego jest stosowanie procedur z nurkowania jaskiniowego. Jednak na wrakach nie penetrujesz ani tak daleko, jak w jaskiniach, ani nie tak długo. Na wrakach przejścia są zazwyczaj węższe i niebezpieczeństwo tkwi w częściach, które mogą się zerwać, zawalić. Dlatego techniczne nurkowanie wrakowe uważane jest za trudniejsze pod kątem sprzętu niż nurkowanie jaskiniowe.

Szkolenia w technicznym nurkowaniu wrakowym są podobne do nurkowania jaskiniowego w wielu aspektach, ale skupiają się na zagrożeniach właściwych wrakom i na łączeniu procedury nurkowania głębokiego / trymiksowego z penetracją wraku.



Szkolenia w technicznym nurkowaniu wrakowym są podobne do nurkowania jaskiniowego w wielu aspektach, ale skupiają się na zagrożeniach właściwych wrakom i na łączeniu procedury nurkowania głębokiego / trymiksowego z penetracją wraku

Technologie nurkowe. Jako wyznaczające kierunek nurkowego rozwoju, nurkowanie techniczne przyjmuje nowe procedury podtrzymywania życia pod wodą i inne technologie, gdy stają się dostępne. Tego typu ekwipunek wymaga własnego szkolenia. Np. skutery podwodne na długie dystanse dostarczają wielu korzyści w nurkowaniu technicznym, ale również powodują nowe zawiłości w planowaniu nurkowania i procedurach awaryjnych.

Może najbardziej zwracającym uwagę przykładem z ostatnich lat był awans rebreathery z obiegiem zamkniętym (ang. closed-circuit rebreathers - CCR). Tradycyjny aparat wyrzuca zużyte powietrze jako bąbelki gazu. Jest to prosty mechanizm, ale bardzo marnotrawny, ponieważ w wydychanym powietrzu jest jeszcze mnóstwo przydatnego tlenu. CCR wypuszcza niewiele bąbli, ponieważ używa ponownie część powietrza i dopełnia każdy oddech, zwiększając znacząco czas nurkowania z całkiem niewielką butlą. Jednak, aby zyskać taką korzyść, musisz odbyć szkolenie w przed nurkowym planowaniu CCR, przygotowaniu sprzętu, obsłudze technicznej i technikach nurkowych. Wiele z nich różni się znacząco od nurkowania z aparatem z obiegiem otwartym. Więcej o CCR przeczytasz na końcu następnego rozdziału.

DSAT Tec Rec

Jeśli jesteś zainteresowany nurkowaniem technicznym, możesz wybierać spośród różnych kursów programowych DSAT TecRec.

DSAT - Diving Science and Technology Corp., korporacja stowarzyszona z PADI - wprowadziła pierwszy program DSAT TecRec w 2000 r. Opracowując programy, DSAT konsultowała się z czołowymi nurkami technicznymi i liderami społeczności nurkowej z całego świata oraz wykorzystywała najnowocześniejsze metody nauczania nurków technicznych. Wynikiem były pierwsze programy szkoleniowe dla nurków technicznych oparte na zasadach solidnego wykształcenia i lekcjach uczących kursantów jak przeżyć w środowisku ekstremalnym.

Żadne inne szkolenia nurków technicznych nie dorównują integralnością szkolenia, życiowymi zastosowaniami i ogólną użytecznością szkoleniom DSAT. Ponieważ oparto je o aktualne koncepcje szkoleniowe, kolejność szkolenia TecRec eliminuje niemające znaczenia, pośrednie certyfikaty. Jest to niejednokrotnie problem systemów szkoleń technicznych wzbudzający niezadowolenie kursantów.

Programy DSAT TecRec wymagają poważnego zaangażowania oraz znacznego czasu, wysiłku i inwestycji w sprzęt. Kursy DSAT są jednymi z najbardziej wymagających, czyli dokładnie są takimi, jakich potrzebujesz, jeśli planujesz tego typu nurkowania. Nie ma tu miejsca na bylejakosć.

DSAT Tec Deep Diver - Nurkowanie głębokie
To podstawowy program, który przekształca cię z doświadczonego nurka rekreacyjnego w nurka technicznego stopnia podstawowego. Nabywasz umiejętności, które przydadzą się w nurkowaniu trimikсовym i innych typach nurkowania technicznego. Na tym kursie nabędziesz wprawy i nauczysz się podstaw dotyczących przygotowania sprzętu, planowania nurkowania, zarządzania gazami (<i>gas management</i>). Po pomyślnym ukończeniu programu, masz kwalifikacje do wykonywania nurkowania z dekompresją, używając powietrza, wzbogaconego powietrza i tlenu na głębokości do 50 m/165 stóp.
DSAT Tec Diver Poziom 1
Ta kategoria jest w rzeczywistości częścią kursu Tec Deeper Diver. Ponieważ różnica umiejętności i wiedzy między rekreacyjnym a technicznym nurkowaniem jest znaczna, kurs Deep Diver jest niezbędnym i względnie długim kursem. Certyfikat Tec Diver Poziom 1 zdobędziesz po odbyciu nieco więcej niż połowy kursu Tec Deeper Diver, co może być przydatne, gdy musisz przerwać kurs z jakichś powodów. Jako Nurek Techniczny Poziomu 1 masz kwalifikacje do używania sprzętu do nurkowania technicznego i do wydłużenia czasu nurkowania bezdekompresyjnego poprzez przelączanie gazów, ale nie jesteś w pełni wykwalifikowany do nurkowań z dekompresją.
DSAT Trimix Diver - Nurek trymiksowy
Nurkowanie z helem wymaga opanowania zręczności ruchowej, procedur i wiedzy o nurkowaniu technicznym, czyli wszystkiego tego, co opanowałeś jako Tec Deep Diver. Kurs nurkowania trymiksowego oparty jest o te umiejętności z naciskiem na nurkowanie z mieszkankami helu. Chociaż kurs ten kwalifikuje cię do znacznie głębszego nurkowania, w rzeczywistości jest dużo krótszy niż kurs Tec Deep Diver, ponieważ nie uczysz się nowych rzeczy, ale raczej stosujesz swoje umiejętności do nurkowania z helem.
DSAT Gas Blender
Na tym kursie poznasz procedury jak mieszać nitrox i trymiks. Dzięki ćwiczeniom praktycznym stosujesz i uczysz się o różnych technologiach i metodach mieszania gazów, procedurach oczyszczania tlenu i analizy gazowej.

Najlepsza przygoda

Co czyni z nurkowania aż taką przygodą? Jest to droga do ostatnich niepoznanych ziemskich granic, ale jest to również styl życia, który angażuje ludzi w każdym wieku i różnych kultur. Jak już zobaczyłeś, jest nieprzebrana ilość miejsc nurkowych. Nurkowanie, jak opisano w kursie PADI Open Water Diver, wiąże się raczej z tym, co robisz pod wodą - gdzie płyniesz, co tam robisz i z jakimi innymi ludźmi to robisz. Pamiętaj o tym, a nurkowanie będzie dla ciebie wciąż nową przygodą i zdobywać będziesz wciąż nowe doświadczenia.

Dokąd pojechać

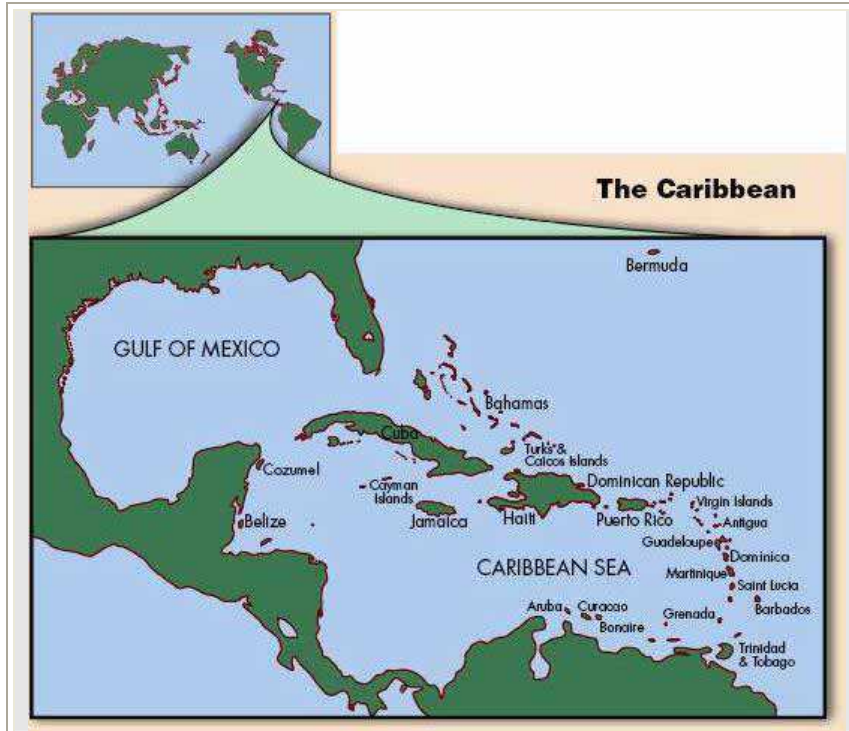
Częścią nurkowego stylu życia jest oglądanie nowych widoków i odwiedzanie nowych miejsc. Możesz zwiedzić prawie każde miejsce, gdzie jest woda, czy to piękne tropikalne rafy koralowe, czy umiarkowane lasy brunatnic lub jeziora, kamieniołomy i rzeki w głębi lądu. Częścią przygody jest odwiedzenie i obcowanie z nowymi kulturami, z którymi spotkasz się w czasie podróży.

Pod kątem celu nurkowania, możesz podzielić świat na kilka bardzo rozległych regionów lub środowisk wraz z ich społecznością. Jednak dzieląc obszar geograficzny i/lub jego podstawowe cechy, pamiętaj, że ten opis daje jedynie ogólny kontekst. Gdy planujesz swoje podróże nurkowe, zdobądź więcej szczegółów o miejscu docelowym.

Karaiby

Dla nurków w Ameryce Północnej i dla wielu Europejczyków, Morze Karaibskie jest miejscem wybieranym ze względu na wspaniałe nurkowanie, przygotowaną przez linie lotnicze podróż i setki wysp tropikalnych, każda o niepowtarzalnym charakterze. Na Karaibach jest największa na świecie koncentracja działań nurkowych.

Gdzie to jest - Morze Karaibskie leży na półkuli zachodniej, ograniczone przez północne wybrzeża Ameryki Południowej, wschodnie wybrzeże Ameryki Centralnej, południowe wybrzeże Kuby, Haiti i Republiki Dominikany oraz zachodnie wybrzeże wysp Windward. Leżąc blisko równika (między -10° a 20° szerokości geograficznej północnej), karaibskie słońce zapewnia ciepłą wodę i światło niezbędne do wzrostu i rozmnażania raf koralowych. Ta ciepła woda płynie na północ do Zatoki Meksykańskiej i w górę wzdłuż wschodniego wybrzeża Północnej Ameryki, zmniejszając temperaturę i zapewniając warunki tropikalne aż do Bermudów.



Z tego powodu, większość obszaru nazywanego „karaibskim nurkowiskiem” tak naprawdę nie znajduje się na Morzu Karaibskim, ale na Atlantyku. Co więcej, Bermudy, wyspy Florydy i Bahamów leżą na północ od właściwych Karaibów, ale dzięki Prądowi Zatokowemu mają ten sam typ klimatu i ekosystemy rafy koralowej. Możesz zatem uważać to za „rozszerzone” Karaiby.



Przez większość roku, gdy nurkuje się na Karaibach, można oczekiwać widoczności, która rzadko spada poniżej 15 m/ 50 stóp, a często wynosi powyżej 30 m/ 100 stóp. Temperatura wody waha się od 21° do 26°C (70° - 90°F) w zależności od pory roku i szerokości geograficznej

Warunki nurkowe - Na większości Karaibów kiepskie warunki nurkowe należą do rzadkości i zazwyczaj nie trwają długo. Przez większość roku możesz oczekiwać widoczności, która rzadko spada poniżej 15 m/ 50 stóp, a często wynosi powyżej 30 m/ 100 stóp. Temperatura wody waha się od 21° do 26°C (70° - 90°F) w zależności od pory roku i szerokości geograficznej. Oznacza to, że zazwyczaj używa się lekkich lub częściowych skafandrów mokrych, a czasem można obywać się w ogóle bez skafandra.

Gorsze warunki zwykle poprzedza deszcz i burze, choć „gorszy” może być określeniem względnym. W wielu popularnych środowiskach nurkowych widoczność sięgająca 10m/ 33 stóp uważana jest za dobrą, a na Karaibach oznacza gorsze warunki. Z reguły widoczność jest najlepsza w czasie por suchych (lato/jesień), ale są to również okresy najgorętsze.

Większość karaibskich nurkowań odbywa się z wynajętych łodzi w ostnionych od wiatru częściach wysp, choć wiele miejsc ma również doskonałe warunki do nurkowania z brzegu. Fale

najczęściej są niskie bądź średnie w częściach wysp chronionych od wiatru, zakłócanie jedynie rzadkimi wiatrami wiejącymi w przeciwnym kierunku. Jest to zjawisko najczęstsze zimą i wiosną, ale wcale nie uniemożliwia nurkowań.

Ludzie i kultura - Jeśli chcesz spotkać lub zanurzyć się w wielu różnych kulturach i stylach życia, Karaiby są do tego doskonałym miejscem. Dziesiątki kultur znajdują tu swój dom, a wyspy i wybrzeża różnią się geograficznie w rozmiarze i pochodzeniu. W rezultacie oba wpływy - narodowy i naturalny wpływają na kształt każdego miejsca, tworząc wszędzie, gdzie pojedziesz, odrębne kultury i subkultury.

Mówiąc bardzo delikatnie, większość kultur Karaibów składa się z mieszanki ludzi z Europy, a nawet populacji rdzennych lub pochodzących z Afryki. Powszechnie mówi się po angielsku dzięki turystom i wpływom USA, a języki europejskie - w szczególności hiszpański - powszechne są na wielu wyspach.

Politycznie i gospodarczo naród Karaibów różni się ogromnie. Większość popularnych miejsc nurkowych istnieje tam, gdzie rząd i gospodarka są stabilne. Jednak przed podróżą zawsze warto sprawdzić miejsce docelowe.

Planujesz nurkowe wakacje? Pamiętaj o kilku sprawach:

Podróżuj z małym bagażem - Zapewne chcesz zabrać swój własny sprzęt, ale radzimy zostawić butle i balast. Możesz je łatwo pożyczyć praktycznie w każdym miejscu nurkowym. Nie zabieraj zapasowego sprzętu, jeśli prawdopodobnie nie będziesz go potrzebował, a z łatwością wypożyczysz go na miejscu, jeśli zajdzie taka potrzeba. Jeśli potrzebujesz więcej sprzętu zapasowego, ponieważ podejrzewasz, że nie będziesz go mógł pożyczyć (jak na łodzi w czasie safari nurkowego) zmniejsz ciężar swoich bagaży, planując zabieranie sprzętu zapasowego wspólnie z twoimi współtowarzyszami - np. jeden dodatkowy automat na czterech ludzi w zupełności wystarczy.

Weź swój certyfikat i książeczkę nurkową - Nawet jeśli robisz rezerwacje w uznanym centrum nurkowym, prowadzący centrum mogą chcieć sprawdzić twoje kwalifikacje w czasie twojej pierwszej wizyty. Bądź przygotowany na okazanie certyfikatu i zapisanych nurkowań

Rozłóż sprzęt po całym bagażu - Z obecnymi ograniczeniami dotyczącymi bagaży, pomocne może okazać się rozłożenie sprzętu i ubrań po całym bagażu. Dwa równe bagaże uchronią cię przed dodatkowymi opłatami, zamiast jednego lekkiego i drugiego bardzo ciężkiego, które wymaga dopłaty. Na miejscu przełóż sprzęt do jednej torby nurkowej.

Przygotuj się - Czasem bagaże przylatują dzień później. Weź do torby podręcznej rzeczy osobiste (lekarstwa, roztwór do szkieł kontaktowych, itd.), żeby zminimalizować niewygodę. Jeśli masz maskę ze szklami korekcyjnymi (ang. *prescription dive mask*) weź ją również do bagażu podręcznego, bo wszystko inne będziesz mógł pożyczyć i nie ominie cię pierwsze nurkowanie.

Zadzwoń wcześniej - Jeśli nie jesteś pewien czego oczekiwać lub co zabrać, zadzwoń bądź wyślij e-mail do centrum PADI, z którym będziesz nurkować i spytaj. Prawdopodobnie rozwieją wszystkie twoje wątpliwości.

Środkowo południowy Pacyfik.

Pacyfik Środkowo-Południowy to popularne miejsce dla nurków z obu stron Oceanu Spokojnego. Dzięki ogromnemu obszarowi, nurkowanie w tym rejonie zmienia się od jednego miejsca do drugiego, a niektórych terenów jeszcze nikt nie zwiedził.

Gdzie to jest - Pacyfik Środkowo-Południowy to rozległy teren (w kontekście wypraw nurkowych) pokrywający ponad 1/8 powierzchni globu. Sam Pacyfik Środkowo-Południowy zdefiniowany jest z grubsza jako obszar Oceanu Spokojnego ograniczony od północy przez Zwrotnik Raka (23° 30' szerokości północnej), od zachodu przez Australię, Nową Gwineę i Filipiny, na wschodzie przez 135° południka i przez Zwrotnik Koziorożca (23° 30' szerokości południowej).



Temperatura wody w Pacyfiku Środkowo-Południowym waha się od 28°C do 29°C (82°-85°F) w czasie miesięcy ciepłych, spadając do 22°C / 72°F w miesiącach zimnych. Im bliżej równika, tym mniejsze wahania

Warunki nurkowe - Pokrywając rozległy obszar, Pacyfik Środkowo-Południowy oferuje szeroki zakres warunków nurkowych i typów nurkowań. Mimo to najpopularniejsze miejsca mają wspólną charakterystykę: przeważnie ciepła, czysta woda (widoczność 24 m/ 80 stóp lub lepsza) przez większość roku. Ponieważ Pacyfik Środkowo-Południowy przecina równik, większość terenu na północy i południu doświadcza przeciwnych pór roku. Temperatura wody waha się od 28°C do 29°C (82°-85°F) w czasie miesięcy ciepłych, spadając do 22°C / 72°F w miesiącach zimnych. Im bliżej równika, tym mniejsze wahania. Większość Pacyfiku Środkowo-Południowego doświadcza ocieplenia El Niño na południowo-zachodnim Pacyfiku w latach, gdy się ono pojawia.

Fale i prądy są zazwyczaj sporo wśród miejsc nurkowych Środkowo-Południowego Pacyfiku. Pacyfik jest ogromnym, nieprzerwanym obszarem, który pozwala na to, aby wiatr tworzył wielkie, niesprzyjające nurkowaniu fale. Jeśli się tak stanie, gdy to możliwe, przenieś nurkowanie w stronę osłoniętą od wiatru wyspą lub wewnątrz rafy barierowej. W pewnym miejscach nurkowanie w dryfie z prądem jest standardową procedurą.

Rafy koralowe Środkowo-Południowego Pacyfiku są obfite i mają niezwykłą bioróżnorodność. Wielu biologów morza nazywa Środkowo-Południowy Pacyfik biologicznym centrum koralowców, ponieważ jest tu większa różnorodność organizmów niż na jakichkolwiek innych rafach koralowych. Im dalej od Środkowo-Południowego Pacyfiku, tym mniejsza różnorodność gatunków żyjących siedliskach koralowców.

Literatura: reefed.edu.au, gbrmpa.gov.au

Wiele raf koralowych Środkowo-Południowego Pacyfiku jest olbrzymich, w tym Australijska Wielka Rafa Barierowa, która jest największa na świecie i jest największym naturalnym tworem na Ziemi. Ma ponad 2300 km/1430 mil długości i chroni około ¼ długości wybrzeża Australii - Queensland. Szacunki mówią, że na Wielkiej Rafie Barierowej żyje ponad 6000 gatunków

bezkęgowców, 1500 gatunków ryb, 300 gatunków koralowców, 20 gatunków ptaków morskich, 30 gatunków ssaków morskich i 6 zagrożonych gatunków żółwi morskich.



Prócz obfitości ekosystemu koralowców, wiele miejsc Środkowo-Południowego Pacyfiku oferuje imponujące nurkowania wrakowe, które obejmują głównie pozostałości po okrętach i samolotach straconych w czasie II Wojny Światowej. Jest wśród nich Chuuk (Truk), Lagoon (Laguna) i Bikini Atoll (Atol Bikini). Chuuk to ogromna chroniona laguna w Mikronezji, która w czasie wojny była ważną bazą japońskiej marynarki wojennej. Zatonęło tu wiele japońskich statków w wyniku amerykańskich ataków powietrznych, czyniąc z tego miejsca prawdopodobnie najgęstsze na świecie skupisko wraków. Na Atolu Bikini jest kilka większych wraków statków wojennych pozostawionych tu po próbach z bronią jądrową, jakie Amerykanie przeprowadzali na atolu krótko po wojnie.

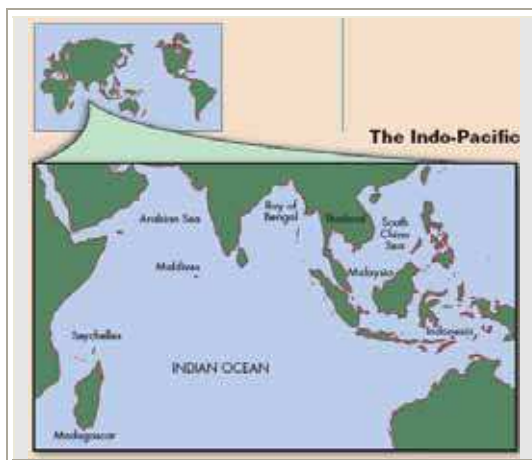
Ludzie i kultura - Kultury Środkowo-Południowego Pacyfiku wskazują na wpływy azjatyckie, europejskie, indyjskie i amerykańskie, ale większość kultur ma silne powiązania z korzeniami aborygeńskimi. Widać to szczególnie na wielu wyspach pierwotnie zamieszkałych przez Melanezyjczyków i Polinezyjczyków. Melanezyjczycy uważani są za pierwotnych mieszkańców wysp na północno-zachodnim łuku Australii, w tym Papui Nowej Gwinei, Vanuatu i Fidżi.

Podróżujący po morzu Polinezyjczycy uważani są za ludzi, którzy zaludnili wyspy Samoa, Markizy, Tahiti, Hawaje i Wyspy Cooka. Antropologowie uważają, że melanezyjska i polinezyjska krew zmieszała się w różnych miejscach na długo przed kontaktem z Europą.

Europejski kolonializm i II Wojna Światowa odcisnęła swój ślad. Część krajów ma większość populacji pochodzenia europejskiego, takie jak Australia i Tahiti. Fidżi ma dużą populację ludności pochodzenia indyjskiego jako wynik brytyjskiego kolonializmu, który w XIX w. sprowadzał robotników z Indii. W czasie II Wojny Światowej kilka grup wysp przejętych od Japonii stało się terytoriami USA. Część z nich uzyskała wówczas niepodległość, część pozostała ziemią amerykańską, ale wszędzie wpływ Amerykanów jest silny.

Silny kulturalny wpływ ma turystyka, głównie japońska. Z powodu bliskości Japonii, wyspy w tym regionie specjalizują się w turystyce dla Japończyków i coraz częściej dla Koreańczyków, Tajwańczyków i innych kultur Azji - tak jak Karaiby robią to dla Ameryki Północnej. W rezultacie japoński staje się coraz lepiej znanym językiem, a japońska klientela może liczyć na wiele udogodnień w obsłudze.

Indopacyfik



Następny w kolejności największy obszar nurkowy sąsiaduje z Pacyfikiem Środkowo-Południowym. Ograniczony trzema kontynentami jest domem dla setek wysp, oferując wspaniałą rafę koralową wynurzającą się ponad wodę.

Gdzie to jest - Na obszar Indo-Pacyfiku składa się Ocean Indyjski i Południowe Morze Chińskie ograniczone od północy przez kontynent Azji, na zachodzie przez Afrykę, a na wschodzie przez Indonezję, Australię i inne większe wyspy z nią związane. Obszar ten może być również uważany za Pacyfik, stąd odniesienie do niego w nazwie regionu. Ocean Indyjski ma dwa rozległe obszary na zachodzie i na wschodzie Indii, nazwane Morzem Arabskim i Zatoką Bengalską.

Za granicę południową uważa się szerokość geograficzną odpowiadającą koniuszkowi Afryki, więc część tego obszaru jest

bardziej umiarkowana. Na tych szerokościach najlepiej nurkować na zachodniej i na wschodniej granicy obszaru.



Na większości tych terenów, najlepsze warunki (przejrzysta i spokojna woda) panują wiosną i jesienią. Większość Oceanu Indyjskiego doświadcza kwitnienia planktonu w ostatnich miesiącach roku, ale choć zmniejsza to widoczność, to jednocześnie daje większe szanse na zobaczenie zjadaczy planktonu - rekinów wielorybich i mant

Warunki nurkowe - Na większości tych terenów, najlepsze warunki (przejrzysta i spokojna woda) panują wiosną i jesienią. Większość Oceanu Indyjskiego doświadcza kwitnienia planktonu w ostatnich miesiącach roku, ale choć zmniejsza to widoczność, to jednocześnie daje większe szanse na zobaczenie zjadaczy planktonu - rekinów wielorybich i mant.

Chociaż większość obszaru leży na małych szerokościach geograficznych blisko równika, wciąż widać tam wyraźne pory roku, szczególnie na zachodzie, tak jak to się dzieje na Środkowo-Południowym Pacyfiku. Na obszarach tych są odrębne pory: mokra i sucha, a największa ilość opadów występuje od listopada do marca. Na małych szerokościach na wschodzie, szczególnie lokalnie, między Indiami i Australią sezonowe wahania są dużo mniejsze.

Ludzie i kultura - Obszar Indo-Pacyfiku ograniczony jest trzema kontynentami i poddany wpływom setek kultur. Na zachodzie rdzenne kultury afrykańskie zdominowały przybrzeżne wyspy jak Seszele czy Madagaskar. Już w XVI w. tereny zachodnie poddawane były wpływom żeglarzy i odkrywców arabskich oraz wpływom europejskim (głównie brytyjskim). Ludność wielu wysp, np. Komorów, jest mieszańką Azjatów, Arabów, Afrykanów i Europejczyków.

Idąc na wschód, kultury takie jak melanezyjskie i azjatyckie wcześniej zdominowały ludność tych regionów. Wpływy europejskie są wyraźnie widoczne w państwach-wyspach, bo były z łatwością podbijane w czasie trwania europejskiego kolonializmu, choć dziś większość z nich jest niepodległymi nacjami. Widać również wpływy japońskie, częściowo na skutek japońskiej okupacji w czasie II Wojny Światowej, ale głównie w wyniku rozwijającej się turystyki.

Morze Czerwone



W porównaniu z innymi dużymi częściami świata nurkowego, Morze Czerwone jest małe i znacznie mniej zróżnicowane pod kątem klimatu i nurkowania. Geograficznie jest to najbliższe tropikalne miejsce nurkowe dla ludzi z Europy i Bliskiego Wschodu, co czyni Morze Czerwone bardzo popularnym wśród nurków z tych obszarów.

Gdzie to jest - Morze Czerwone leży między Afryką i Azją, mając Egipt, Sudan i Etiopię po zachodniej stronie oraz Arabię Saudyjską i Jemen po stronie wschodniej. Poprzez Kanał Sueski łączy Morze Arabskie i Ocean Indyjski z Morzem Śródziemnym. Również Jordania i Izrael leżą nad Morzem Czerwonym w Zatoce Akaba. Egipt, Jordania i Izrael to główne miejsca nad Morzem Czerwonym odwiedzane przez nurków.



Na większości obszaru Morza Czerwonego temperatura wody na powierzchni waha się od 24°C do 27°C (75° - 81° F), a temperatura powietrza od 26°C do zatrważających 55°C (79° - 130°F). Nurkowanie w prądzie jest powszechne z powodu prądów wywołanych pływami

Warunki nurkowe - Otoczone przez pustynie Morze Czerwone ma jedną główną cechę - jest o około 20 procent bardziej zasolone niż inne morza. Oznacza to, że nurkując tu, potrzebujesz więcej balastu. Na większości obszaru Morza Czerwonego temperatura wody na powierzchni waha się od 24°C do 27°C (75° - 81° F), a temperatura powietrza od 26°C do zatrważających 55°C (79° - 130°F). Nurkowanie w prądzie jest powszechne z powodu prądów wywołanych pływami.

Zatoka Akaba jest łagodniejsza z zaskakująco chłodną wodą od 18°C do 26°C (64° - 79° F). Średnia temperatura powietrza waha się od 17°C do 32°C (63°-89° F). W Zatoce prądy nie są tak silne. Większość nurkowań w Morzu Czerwonym jest scharakteryzowana przez przybrzeżne rafy koralowe, w przeciwieństwie do wielkich raf barierowych rosnących w innych częściach świata. Wynika to z tego, że Morze Czerwone

gwałtownie opada, pozostawiając względnie niewielki obszar ciepłych i płytkich wód, jakie wymagają koralowce. Koralowców jest znacznie więcej w północnej części Morza Czerwonego (gdzie nurkowanie jest najpopularniejsze). Mniejszy wzrost koralowców obserwuje się w wodach bogatych w składniki pokarmowe, które wpadają do Morza Czerwonego z Morza Arabskiego, ponieważ koralowce rosną w wodach o względnie małej zawartości składników odżywczych. Różnorodność gatunkowa koralowców w Morzu Czerwonym wydaje się podobna do tej na rafie Indo-Pacyfiku, która jest mniejsza niż na Środkowo-Południowym Pacyfiku, ale większa niż na Karaibach.

Ludzie i kultura - Dotychczas obszary otaczające Morze Czerwone zdominowane są przez Arabów. Wyjątek stanowi Izrael, państwo żydowskie, ale nawet tam jest duża grupa ludności arabskiej.

Środkowy Wschód był i jest obszarem konfliktów narodowych i kulturalnych, ale nie zniechęca to nurków. Dzieje się tak, ponieważ odwiedzane miejsca nurkowe najczęściej znajdują się daleko od terenów konfliktowych. Zależnie od klimatu politycznego, czasem trzeba uważać, zwłaszcza jeśli twoja narodowość czy kultura ma coś wspólnego z lokalnymi konfliktami, ale normalnie nie jest to problemem.

Cechy kulturowe nie wpływają na nurkowanie, choć regulacje rządowe narzucają pewne postępowanie. Kraje tego regionu regulują sposoby nurkowania i podróży bardziej niż inne kraje z turystyką nurkową. Na przykład w Egipcie wolno nurkować w przeznaczonych do tego miejscach, a w wielu przypadkach potrzebne jest specjalne pozwolenie. Podobne ograniczenia i regulacje mogą dotyczyć sprzętu wwożonego do kraju. Nurkowie odwiedzający tą część globu powinni zwrócić uwagę na potrzebne wizy, pozwolenia i inne wymagania.

Morze Śródziemne



Morze Śródziemne to miejsce narodzin nurkowania z akwalungiem. To tutaj w latach 40. i 50. Jacques Cousteau i jego załoga wykonali pionierskie nurkowania z pierwszym aparatem oddechowym o otwartej cyrkulacji - urządzeniem, które otworzyło podwodny świat dla zwykłych ludzi. Morze Śródziemne traktowano jako morską autostradę łączącą południową Europę, północną Afrykę i wschodnią Azję, którą żeglarze przemierzali od ponad 4000 lat. Nic dziwnego, że współczesna podwodna archeologia również narodziła się na Morzu Śródziemnym wraz z wydobywaniem i dokumentacją starożytnych greckich wraków statków na wodach tureckich przez Petera Throckmorta i Georga Bassa w latach 60.

Obecnie Morze Śródziemne pozostaje popularnym miejscem nurkowym, szczególnie wśród Europejczyków, ale również wśród międzynarodowej społeczności nurkowej.

Gdzie to jest - Morze Śródziemne leży między Europą a Afryką. Choć jest małe w porównaniu do Atlantyku czy do Pacyfiku, leży nad nim ponad tuzin państw. Obszary wewnątrz Morza Śródziemnego również nazwano morzami - Morze Jońskie między Włochami a Grecją i Morze Egejskie między Grecją a Turcją.

Ludzie nurkują w wielu miejscach wzdłuż wybrzeża, a większość nurkowisk ulokowana jest na wybrzeżu części europejskiej, choć i na wybrzeżu Afryki nie brakuje miejsc nurkowych. Kilka wysp na morzu takich jak Majorka, Malta i Cypr są popularnymi miejscami turystycznymi z ośrodkami nurkowymi.



Wody Morza Śródziemnego należą do umiarkowanych. Choć nie ma tu tropikalnej rafy koralowej, popularne rafy śródziemnomorskie obfitują w ryby, bezkręgowce, brunatnice i inne organizmy chłodniejszych wód morskich

Warunki nurkowe - Wody Morza Śródziemnego należą do umiarkowanych. Choć nie ma tu tropikalnej rafy koralowej, popularne rafy śródziemnomorskie obfitują w ryby, bezkręgowce, brunatnice i inne organizmy chłodniejszych wód morskich. Flora i fauna są na tyle obfite, że to właśnie tu w Portofino, blisko Genui (Włochy), założono pierwszy podwodny park.

Temperatura na obszarze całego Morza Śródziemnego zmienia się znacznie, ale nie aż tak, jak temperatura na lądzie. W centralnym obszarze temperatura morza zmienia się od około 13°C zimą do 28°C latem (55° - 82° F). Widoczność wokół popularnych wysp waha się od 20 do 30 m (65 - 100 stóp). Prądów raczej nie ma lub są łagodne, nie ma również silnych pływów.

Ponieważ Morze Śródziemne jest małe w porównaniu do oceanu, jest również względnie spokojne. Jednak wiatry i sztormy powodują, że czasem pływanie łódką i nurkowanie jest niebezpieczne, zwłaszcza gdy powstaną na większym obszarze wody. Nad wodą klimat jest pustylny łagodzony przez morze. W ciągu dnia jest sucho i gorąco, a nocą chłodno; klimat na wybrzeżu europejskim jest łagodniejszy niż na afrykańskim. Z powodu suchego klimatu i małych rozmiarów, Morze Śródziemne ma większe zasolenie niż większość oceanów.

Ludzie i kultura -Dzięki historii Morza Śródziemnego, które przez wieki spełniało funkcję morskiego centrum zachodniej cywilizacji, jego wybrzeża zasiedla wielka liczba ludzi i kultur. Na południu i na wschodzie dominuje ludność arabska, a na północy, rzecz jasna, dominuje kultura europejska.

Poza tropiki

Ludzie, którzy nie nurkują, uważają, że do nurkowania rekreacyjnego konieczna jest ciepła, przejrzysta woda. Jednakże współczesne skafandry nurkowe zapewniają komfort również w zimnych wodach, a wyznacznikiem udanego nurkowania nie jest to, *jak daleko* widzisz, ale *co* widzisz. Nurkowanie jest popularne na całym świecie niemal we wszystkich zbiornikach wodnych.

Umiarkowany ocean - Ludzie nurkują niemal wszędzie tam, gdzie ocean dotyka lądu. U wybrzeży Wielkiej Brytanii, na zachodnim wybrzeżu Północnej Ameryki, wokół Nowej Zelandii i w wielu innych miejscach nurkowie odwiedzają lasy brunatnic. Nurkowanie popularne jest we wschodniej części Morza Chińskiego, Morza Żółtego i Morza Japońskiego. Nurkowanie wrakowe popularne jest na obu brzegach Północnego Atlantyku. Umiarkowany ocean oferuje wspaniałe możliwości nurkowe, z których możesz skorzystać na obu półkulach i wzdłuż każdego kontynentu z wyjątkiem Antarktydy.

Nurkowanie śródlądowe - W głębi lądu, daleko od morza nurkowie przemierzają naturalne i sztuczne akweny wodne. Należą do nich zbiorniki, jeziora górskie, zalane kamieniołomy, źródła i rzeki. Widoczność sięga od kilku metrów do przejrzystości większej niż w najczystszych wodach oceanicznych. Popularność takich miejsc jest zdumiewająca - latem zalane kamieniołomy w Wielkiej Brytanii goszczą co dzień setki nurków.

Pewne śródlądowe akweny wodne, jak Wielkie Jeziora Północnoamerykańskie, są w rzeczywistości słodkimi morzami, które pełnią taką samą rolę w kulturze i handlu co duże morza. Ponieważ w chłodnej, słodkiej wodzie żyje mniej organizmów i wolniej przebiega utlenianie metali, wiele z tych terenów oferuje nurkowanie na wrakach, które zachowane są tu dużo lepiej niż wraki o podobnych rozmiarach i wieku leżące w wodach słonych. Jest to szczególnie ważne na statkach o drewnianym kadłubie, które w morzach tropikalnych rozpadają się w ciągu kilkudziesięciu lat, ale które mogą setki lat spoczywać w jeziorach.

Zdatne do nurkowania rzeki mają swój własny charakter. Do wielu z nich wchodzisz w górę strumienia, dryfujesz wraz z prądem rzeki i wychodzisz w dół strumienia. Inne rzeki płyną dużo wolniej, więc można w nich nurkować podobnie jak w jeziorach. Niektóre rzeki, jak Itchenetucknee na Florydzie w USA, są pełne nurków z powodu czystej wody i obfitości życia. Inne mają słabą widoczność, za to są atrakcyjne na swój sposób. W rzece Cooper River w Południowej Karolinie w USA, widoczność wynosi około 2 m/6 stóp, ale nurków przyciągają skamieliny, szczególnie prehistoryczne zęby rekinów.



Ponieważ w chłodnej, słodkiej wodzie żyje mniej organizmów i wolniej przebiega utlenianie metali, wiele z tych terenów oferuje nurkowanie na wrakach, które zachowane są tu dużo lepiej niż wraki o podobnych rozmiarach i wieku leżące w wodach słonych

Ekstremalny, ezoteryczny i na końcu świata

Wyposażeni w nowe metody i narzędzia oraz nowoczesne środki podróży, współcześni nurkowie badają miejsca, które jeszcze pokolenie wstecz były praktycznie poza naszymi możliwościami. Współcześni nurkowie techniczni i naukowcy rutynowo pokonują odległości, głębokości i czasy trwania, które jeszcze 30 lat temu byłyby rekordowe, czy choćby godne odnotowania.

Na Jukatanie w Meksyku (poniżej Cancun) nurkowie badający jaskinie wykonali mapy podwodnych jaskiń z przejściem o długości ponad 14 000 m/46 000 stóp, a najdłuższe

mapowane przejście miało 120 km/ 74 mile. Nowicjusze w nurkowaniu jaskiniowym (ale nie nowicjusze w nurkowaniu) wykonują zwykle nurkowania na odległość 600 m/2000 stóp od wejścia do jaskini - takie nurkowanie w latach 70. XX w. udało się zrealizować nurkom dopiero po kilku sezonach nurkowań jaskiniowych. Po ponad 20 latach od pierwszego poważnego badania jaskiń na Jukatanie, nurkowie wciąż odkrywają nowe jaskinie i nowe przejścia.



Podwodne jaskinie na meksykańskim Półwyspie Jukatan są jednymi z najpiękniejszych jaskiń nurkowych

Położony w Mikronezji archipelag Palau to pierwsze miejsce wśród najlepszych miejsc nurkowych, ale posiada również mniej znane unikalne Jezioro Meduz (ang. Jellyfish Lake). Porządna wędrówka w głąb wyspy, do góry (ale potrzebujesz jedynie ABC i skafandra) i już stoisz nad Jeziorem Meduz, które stało się ostoją dla wyjątkowego gatunku meduz, prawie pozbawionych parzydełek. Nurkowie pływając jedynie z rurką, otaczani są setkami meduz małych jak paznokcie i dużych jak tors człowieka. Jest to doświadczenie jedyne w swoim rodzaju.



Jeziro Meduz na Palau to ostoja dla wyjątkowego gatunku meduz, które prawie nie mają parzydełek

W Missouri, USA znajduje się kopalnia Bon Terre, jedno z kilku podziemnych miejsc nurkowych wykonanych ręką człowieka. Pierwotnie wielkie przedsiębiorstwo górnicze, Bon Terre zostało zalane wodami podziemnymi, gdy kopalnia przestała działać i przekształciło się w ogromne podziemne jezioro z zimną, spokojną i czystą wodą. Pod opieką doświadczonych przewodników w jeziorze nurkują nawet początkujący nurkowie (w wyznaczonych obszarach, gdzie zawsze można się wynurzyć na powierzchnię, więc nie jest to nurkowanie jaskiniowe) i poznają pozostałości kopalniane jak budowle, narzędzia i inne konstrukcje.

Koniec zimnej wojny stworzył kolejny unikatowy typ miejsc nurkowych - podziemne silosy rakietowe. Gdy je zamknięto, oczyszczono i wyjęto spod kontroli państwa, wiele silosów wypełniło się wodami gruntowymi i przekształciło w ciemne, głębokie szyby z obiektami pozostawionymi z czasów, gdy działały. Wiele z nich jest tak głębokich, że tylko nurkowie techniczni mogą doływać do dna, które nieraz znajduje się poniżej 40 m/130 stóp.

Nurkowie z akwalungiem od ponad 50 lat nurkują pod lodem, ale dziś popularne staje się nurkowanie nie tylko pod zamrożniętymi jeziorami, ale również pod lodami Arktyki i Antarktydy. Nawet w najlepszych suchych skafandrach to dość chłodne, ale znośne przeżycie. Dzięki obfitości podwodnego życia i talentom natury do rzeźbienia w lodzie, niemal wszyscy, którzy zanurzyli się w wody polarne, cieszą się, że to zrobili i gotowi są wrócić. Kiedyś była to

domena garstki podwodnych odkrywców, ograniczona wyjątkowością wyjazdów, które regularnie urządzali nurkowie, by zobaczyć coś, co widzieli tylko nieliczni.



Nurkowie z akwalungiem od ponad 50 lat nurkują pod lodem, ale dziś popularne staje się nurkowanie nie tylko pod zamarzniętymi jeziorami, ale również pod lodami Arktyki i Antarktydy

Można bez końca rozwijać tę listę niezwykłych, niewyobrażalnych miejsc nurkowych. Niemal codziennie nurkowie odkrywają nowe, interesujące czy ekstremalne podwodne miejsca.

Rzeczy do zrobienia

Im bardziej wnikasz w nurkowy świat, tym chętniej angażujesz się w różne typy działań, o których tu wspominaliśmy. Przez całe lata możesz cieszyć się podwodnym zwiedzaniem, ale więcej zyskasz dzięki różnym rodzajom działań, które poszerzą twoje możliwości odkrywcze, badawcze i twoją kreatywność. Żeby to zrobić, wystarczy zwrócić się do instruktora PADI z zapytaniem o kursy specjalistyczne PADI. W większości przypadków, kursy trwają dzień lub dwa i dają wiele radości, bo ucząc się, nurkujesz. Poniżej przedstawione jest kilka najpopularniejszych kursów:

Podwodna fotografia cyfrowa

Fotografia cyfrowa zrewolucjonizowała podwodną sztukę fotograficzną, tak samo, jak i fotografię na suchym lądzie. Małe, łatwe w użyciu aparaty stały się tak proste, że część ludzi zaczęła robić podwodne zdjęcia już przy pierwszym nurkowaniu. Na drugim końcu tej fotograficznej rewolucji, znajdują się najlepsze, profesjonalne cyfrowe kamery nurkowe. W tak szerokim spectrum, każdy nurek znajdzie coś dla siebie w zależności, czy chce pstrykać pod wodą śmieszne fotki, czy artystyczne zdjęcia.

Nurkowanie wrakowe

Nurkowanie na wrakach przypada do gustów większości nurków, ale z wielu różnych powodów. Może przyciąga cię wyzwanie, jakim jest badanie wraków, a może interesuje cię ich historia. Podwodni fotografowie uwielbiają wraki ze względu na możliwości fotograficzne, a ci zainteresowani przyrodą oglądają, jak szybko wraki stają się sztucznymi rafami. Typowymi wrakami są statki, ale także pojazdy szynowe, samoloty i samochody. Wśród nich znajdują się miejsca dostępne dla nowicjuszy, jak i zarezerwowane dla najbardziej doświadczonych nurków technicznych.



Nurkowanie na wrakach podoba się większości nurków, ale z wielu różnych powodów

Podwodna przyroda i identyfikacja ryb

Większość nurków lubi patrzeć na wyjątkowe i piękne organizmy podwodne. Może jednak chciałbyś być nie tylko widzem, ale i znawcą. Z odrobiną informacji, ryby i organizmy, które spotkasz, staną się stworzeniami znanymi ci z nazwy, będziesz wiedział, jakie mają siedlisko i jaką odgrywają rolę w środowisku. Zamiast zwykłego oglądania koralowców czy ryb, obserwujesz ich oddziaływanie i zachowanie w ekosystemie.

Nurkujący przyrodnicy-amatorzy stają się coraz ważniejsi dla biologów i ekologów morskich. Nurkowie ci biorą udział w zliczeniach ryb i w sprzątaniu, dostarczając wielki zbiór danych badawczych. Rozumiejąc, co widzą, nurkowie-przyrodnicy często są pierwszymi, którzy zauważą i zgłoszą nowe lub narastające zniszczenia podwodnego środowiska.

Ochrona raf koralowych

Nurkowie stają się ważnymi ambasadorami ekosystemu raf koralowych i potrzeby ich zachowania. Im lepiej zrozumiesz ten ekosystem, ich ważną rolę w globalnym środowisku i ogrom zagrożeń, tym lepiej będziesz w stanie pomóc innym zrozumieć potrzebę ich ochrony.

Poszukiwanie i wydobywanie

Poszukiwanie i wydobywanie polega na: szukaniu, znalezieniu i wyniesieniu zgubionego obiektu na powierzchnię. Możesz szukać czegoś, o czym wiesz, że ktoś to zgubił na danym terenie, lub szukać czegoś, co mogło być tutaj zgubione w przeszłości. Umiejętność poszukiwania i wydobywania przysądza się, np. gdy zgubisz coś w wodzie, ale może spodoba ci się, gdy poszukiwanie i wydobywanie stanie się dla ciebie wyzwaniem.

W nurkowaniu rekreacyjnym, poszukiwanie i wydobywanie wymaga umiejętności nawigacji według wzoru (along patterns), co daje pewność, że przemierzyłeś cały obszar oraz technicznych umiejętności wydobywania na powierzchnię mały i średnich przedmiotów. Nurkowie służb publicznych i zawodowi używają bardziej skomplikowanego sprzętu i technik, aby wydobyć duże obiekty.

Nurkowanie głębokie

Różne podwodne zajęcia jak np. podwodna fotografia są celem samym w sobie, a inne czynności są sposobem, aby dany cel osiągnąć. Dobrym przykładem jest nurkowanie głębokie, które daje ci dostęp do głęboko pod wodą położonych miejsc. W nurkowaniu rekreacyjnym za nurkowanie głębokie uważa się zakres od 18 do 40 m (60 - 130 stóp). Poniżej 40 m rozpoczyna się definicja technicznego nurkowania głębokiego.

Gdy nurkujesz głęboko, masz mało czasu z powodu krótkiego limitu bezdekompresyjnego i faktu, że będąc głębiej, szybciej zużywasz powietrze. Szkolenie w nurkowaniu głębokim nauczy cię jak odpowiednio planować, aby uniknąć problemów i jak mieć zapas w sytuacji awaryjnej.

Nurkowanie na wzbogaconym powietrzu (nitroxie)

Wzbogacone powietrze (enriched air) - czasem nazywane „nitroxem” (lub „nitroksem”) to tlenowo-azotowa mieszanka gazowa podobna do powietrza. Jednakże powietrze składa się w 21% z tlenu, a nitrox ma więcej tlenu - zazwyczaj 32 lub 36 procent. Większa zawartość tlenu powoduje, że jesteś w mniejszym stopniu narażony na działanie azotu, co wydłuża czas osiągnięcia limitów bezdekompresyjnych. Używanie powietrza o większej zawartości tlenu tworzy kilka problemów, z którymi jednak łatwo dasz sobie radę po przejściu nitroksowego kursu PADI.



Wzbogacone powietrze (enriched air) - czasem nazywane „nitroxem” to tlenowo-azotowa mieszanka gazowa podobna do powietrza

Nurkowanie nocne

Nurkowanie w ciemności może brzmieć upiornie, ale dla większości nurków jest ono ekscytujące i intrygujące. Gdy zajdzie słońce i pojawiają się typowo nocne zwierzęta, miejsca nurkowe wyglądają inaczej niż to, do czego przywykłeś patrzeć za dnia. Nauka nurkowania nocnego skupia się na nawigacji, używaniu światła i radzeniu sobie pod wodą w ciemnościach.

Nurkowanie na wysokości

Możesz mieszkać w górach, kilka godzin od najbliższego oceanu i mieć dużą praktykę nurkową zdobytą w czystych, słodkich jeziorach górskich. Modele dekompresji używane w większości komputerów nurkowych i tablicach nurkowych zakładają wynurzenie na poziomie morza. Nurkowanie na wysokości powyżej 300 m/1000 stóp wymaga specjalnych procedur, ponieważ panuje tam niższe ciśnienie atmosferyczne na powierzchni, co wpływa na obliczenia oparte o tablice czy komputer. Ucząc się nurkowania na wysokości, dowiesz się jak zrównoważyć zmniejszone ciśnienie atmosferyczne, gdy używasz tablic nurkowych, jak ustawić komputer na daną wysokość i jak radzić sobie z innymi fizjologicznymi efektami powstającymi przy nurkowaniu na wysokości.

Nurkowanie w suchym skafandrze

To nie prawda, że zimna woda odbiera radość nurkowania. To właśnie zimno powoduje, że nurkowanie jest przyjemne. Współczesne suche skafandry pozwalają na wygodne nurkowanie w bardzo zimnej wodzie, tak że nurkujesz dłużej i częściej w ciągu dnia. Warstwa powietrza, która cię otacza, wpływa na twoje wyważenie, wymagania balastowe i na parę innych spraw. Kurs nurkowania w suchym skafandrze nauczy cię prostych technik, jak sobie radzić z tymi problemami.

Nurkowanie w prądzie

W pewnych miejscach prądy są tak silne, że nie można płynąć pod prąd. Czy to wyklucza nurkowanie? Wcale. Możesz nurkować, dryfując wzdłuż prądu, oglądając mijane widoki. W tego typu nurkowaniu głównym zmartwieniem jest bycie zgranym z łódką. Ucząc się nurkowania w prądzie, poznasz kilka technik, które dadzą ci pewność, że gdy się wynurzysz, napotkasz czekającą na ciebie łódź.

Nurkowanie ze skuterem

Jeśli chcesz zaoszczędzić czas i powietrze w czasie nurkowania, pomoże ci w tym skuter nurkowy (ang. DPV - Diver Propulsion Vehicles). Skuter holuje cię (a czasem popycha) w wodzie, co czyni z niego doskonałe narzędzie w różnych sytuacjach nurkowych. Jest to również dreszczyk emocji, gdy śmigasz przez rafy, czy lasy brunatnic jakbyś latał odrzutowcem lub ścigał się na motorze. Z tego powodu można stać się fanem podwodnych skuterów. Kierować skuterem jest trudno, a szkolenie skupia się na obsłudze technicznej, bezpiecznym wznoszeniu, planowaniu nurkowania, biorąc pod uwagę usterki skutera oraz na unikaniu niszczenia środowiska.

Nurkowy styl życia

Dla największych pasjonatów nurkowych, nurkowanie nie jest czymś, co robią. To coś, czym są. Nurkowy styl życia nie jest wszystkim, czym jesteś (ani czym być powinienes), to styl, który dodaje innym dziedzinom twojego życia głębi, sensu, radości. Na przykład jako nurek możesz uświadomić sobie i dbać o zawiłą równowagę w przyrodzie w nowy sposób. Więcej niż prawdopodobne, że poznasz nowych ludzi, a znajomości wykrócą daleko poza nurkowanie.

Nurkowanie to również styl życia, który rozwija oraz poszerza perspektywę i uzdolnienia poza samo nurkowanie. Podwodne robienie zdjęć może rozwinąć pasję fotograficzną, a pragnienie osiągnięcia odpowiedniej sylwetki do nurkowania prowadzi do zdrowych ćwiczeń fizycznych i nawyków żywieniowych. Ludzie stosują nurkowy styl życia do różnych zajęć jak szkolenia kierownicze, motywowanie trudnej młodzieży i jako zachęta w rekrutacji do sportów wodnych. Dzięki nurkowaniu możesz zdecydować o karierze w badaniach morskich czy w inżynierii morskiej.

Aby mieć radość z nurkowania, musisz dążyć do nurkowania na wielu poziomach, bo nie możesz nurkować cały czas dokładnie tak, jak byś chciał. Chodzi o to, aby angażować się i wiązać się z innymi, którzy dzielą twoje zainteresowanie podwodnym światem. Badania tak samo pokazują, że będziesz prawdopodobnie nurkował więcej, jeśli zainwestujesz w swój własny sprzęt i przejdziesz różne programy szkoleniowe, jak i dowodzą, że nurkujesz więcej, jeśli spędzasz czas z innymi nurkami.

Najlepiej mieć swoje

Od kiedy można łatwo pożyczyć sprzęt nurkowy w większości centrów i miejsc nurkowych, możesz się zastanawiać, czy powinieneś inwestować w swój własny sprzęt oprócz maski, płetw i rurki. Większość czynnych nurków uważa, że lepiej mieć swoje niż wypożyczać:

- Wszystko pasuje. Jeśli posiadasz swój własny sprzęt, kupujesz odpowiedni rozmiar i potrzebujesz mniej poprawek sprzętu. Ubierasz sprzęt i jesteś gotów nie tracąc czasu na dopasowywanie wypożyczonego sprzętu.
- Odpowiada ci. Nurkowie mają mnóstwo indywidualnych upodobań. Wypożyczalnie nie są w stanie ich zaspokoić, a kupując, wybierzesz to, co preferujesz.
- Mniej kłopotów. Czasem ludzie rezygnują z nurkowania, bo sprzęt trzeba dopasować, zarezerwować, pobrać i w końcu zwrócić. Mając własny sprzęt, unikasz zamieszania.
- Lepsze wykonanie. Chociaż niektóre wypożyczalnie nurkowe mają najnowszy sprzęt, taki jakbyś sam kupił, częściej jednak oferują solidny, łatwy w serwisowaniu średniej klasy sprzęt.

Widzisz różnicę? Jasne. Badania pokazują, że nurkowie, którzy mają własny sprzęt, więcej nurkują, więcej się uczą, a nurkowanie więcej im daje.

Kluby nurkowe i Stowarzyszenie Nurkowe PADI

Jednym z najlepszych sposobów, by wejść w lokalną społeczność nurkową, to dołączenie do lokalnego klubu nurkowego. Twój instruktor PADI, Centrum czy ośrodek nurkowy może ci wskazać jeden lub więcej klubów nurkowych na twoim terenie, a może nawet sponsoruje klub, który jest lokalnym oddziałem Stowarzyszenia Nurkowego PADI. Stowarzyszenie Nurkowe PADI to międzynarodowa organizacja skupiająca nurków w każdym wieku i z różnym doświadczeniem. Członkostwo oszczędza i zachęca, pomaga w różnych aspektach nurkowego życia - zniżki w sprzęcie i podróżach, nurkowe wydarzenia w kraju i za granicą. (Spytaj w swoim centrum nurkowym PADI o więcej informacji o Stowarzyszeniu Nurkowym PADI).

Zaangażowanie w społeczeństwo

Możesz być zaskoczony, jak wiele organizacji i instytucji polega na nurkach ochotnikach. Wiele dużych, publicznych akwariów posiada zespoły nurków, którzy asystują w utrzymaniu gigantycznych szklanych zbiorników. Centra nurkowe i organizacje ochrony środowiska sponsorują czyszczenie plaż i akwariów, wykonywane przez nurków ochotników, wyławiających śmieci. Fundacja Projekt AWARE, we współpracy z Ocean Conservancy, organizuje podwodną część corocznego Międzynarodowego Dnia Sprzątania Świata. W ramach tego sprzątania,

naukowcy wykorzystują stabilizowane dane uzyskane na podstawie odpadów dla określenia głównych źródeł zanieczyszczeń w celu ich zmniejszenia.

Organizacje naukowe coraz chętniej wykorzystują nurków ochotników, asystujących naukowcom w czasie badań. Skauci i inne organizacje młodzieżowe często potrzebują ochotników do asystowania przy zajęciach z nurkowania w ABC i w sprzęcie nurkowym. Możesz też być związany z projektami nurkowymi, które nie wykorzystują wprost nurkowania, takich jak asystowanie przy ratunkowej komorze dekompresyjnej albo pomoc w wystawie z historii nurkowania w lokalnym muzeum.

Nie sądz, że jeżeli jesteś początkującym nurkiem, to nie jesteś gotowy do zajęć tego typu. Chociaż część zajęć w ramach wolontariatu wymaga szerszego doświadczenia i być może dodatkowego szkolenia, ale do innych zajęć potrzebujesz niewiele. Nurkowanie jako wolontariusz nie polega na zwiedzaniu czy nurkowaniu dla przyjemności, ale chyba stwierdzisz, że jest ono ambitne i dające satysfakcję. Jest to również sposób na zdobycie doświadczenia pod kierunkiem nurków najwyższej klasy.

Otaczanie się

Gdy odwiedzisz kogoś w domu czy w biurze, zdjęcia, dekoracje i półki z książkami wskażą, że gospodarz jest nurkiem. Nurkowie lubią otoczenie, które odzwierciedla ich pasję. Może się to manifestować otwarciem w postaci podwodnych zdjęć lub bardziej subtelnie jako wielkie akwarium czy duża półka pełna nurkowych książek. To przyjemne, a także praktyczne.

Jak wiele innych działań, wszystkie zmieniające się aspekty nurkowania mają więcej technicznych i proceduralnych czynników niż jesteś w stanie zapamiętać, ani nie potrzebujesz. Pamiętając o tym, warto zgromadzić nurkową biblioteczkę z książkami, kasetami video i innymi nośnikami danych. Mogą być użyteczne przy okresowych odświeżaniu własnej ulotnej wiedzy i jako źródło specjalistycznej wiedzy.

Nurkowanie się zmienia. Aby nadążyć za zmianami w sprzęcie, procedurach, atrakcyjnych miejscach nurkowych prenumeruj magazyny nurkowe. Członkostwo w Divers Alert Network (DAN) dostarczy ci najświeższych informacji dotyczących fizjologii. Dodaj do swojej biblioteczki każdy rodzaj publikacji dotyczący nurkowania.

Prócz biblioteki, może zainteresujesz się przeszłością nurkowania. Możesz zbierać stare książki, magazyny i filmy o nurkowaniu, także stary sprzęt jak mosiężne hełmy czy dwuwęzłowe automaty. Miłośnicy historii nurkowania mają swoją międzynarodową organizację - Historical Diving Society.

Inne formy nurkowania i podwodnej eksploracji

Pomimo tego, że najprawdopodobniej twoje pierwsze wizyty pod wodą spędzisz jako nurek rekreacyjny, istnieją też inne typy nurkowania i inne środki pozwalające na przebywanie pod wodą.

Ich filozofia różni się od nurkowania rekreacyjnego i technicznego w tym, że nie służą one do rekreacji i sportu, ale do wykonania pewnych określonych zadań pod wodą. Z tego powodu nurkowania takie różnią się sprzętem, podejściem i procedurami. Dla porównania z nurkowaniem rekreacyjnym i technicznym, przedstawiamy tutaj krótki przegląd wszystkich głównych dziedzin nurkowania oraz kilka innych technik podwodnej eksploracji.

Nurkowanie zawodowe

W nurkowaniu rekreacyjnym i technicznym akcent kładziony jest głównie na sport: podwodna turystyka, dokonanie nowych rzeczy i nowych wyzwań. W nurkowaniu zawodowym nacisk jest położony na wykonanie konkretnej pracy, która czeka pod wodą. Uwaga skupiona jest na wykonaniu jej w możliwie najefektywniejszy sposób. Jeżeli można użyć ROVa i wyjdzie to taniej niż wysłanie człowieka pod wodę, użyjemy ROVa. W chwili obecnej jednak, aż do głębokości około 300 metrów (1000 stóp), nurkowie zawodowi pozostają najbardziej efektywnym środkiem do wykonania większości zadań.

Nurkowanie zawodowe jest zawodem, do obowiązków którego należą podwodne inspekcje, naprawy, budowa, czyszczenie i inne formy pracy. Żeby odnieść sukces jako nurek zawodowy, musisz mieć dobre zdolności mechaniczne i umiejętności takie, jak spawanie.

Ponieważ celem jest praca, a nie nurkowanie, nurkowie zawodowi idą tam, gdzie jest konkretna praca do wykonania. To rzadko oznacza ciepłe, tropikalne warunki. Zazwyczaj nurek zawodowy pracuje w zimnych wodach portowych, z małą widocznością, albo jej brakiem. Jednym z głównych źródeł pracy dla nurków zawodowych jest przemysł platform wiertniczych.



Nurkowanie zawodowe jest zawodem, w którego obowiązków należą podwodne inspekcje, naprawy, budowa, czyszczenie i inne formy pracy. Żeby odnieść sukces jako nurek zawodowy, musisz mieć dobre zdolności mechaniczne i umiejętności takie, jak spawanie

Definicja nurkowania zawodowego

Nurkowanie zawodowe może być zdefiniowane jako nurkowanie w celu wykonania pracy manualnej pod wodą. Większość nurków zawodowych pracuje dla dużych firm nurkowych, takich jak Oceaneering i Comex, a wiele z nich jest częścią dużych morskich korporacji inżynierskich, z klientami pochodzącymi z przemysłu wiertniczego, stoczniowego, energetyki atomowej, konstrukcji morskich i podobnych. Jest to wyspecjalizowany zawód, który wymaga odrębnego szkolenia, które znacznie różni się od rekreacyjnego, technicznego i innych form nurkowania. Nurek zawodowy musi być uzdolniony technicznie, wytrwały i chętny do pracy w warunkach, które uziemiłyby inne typy nurkowania.

Słowniczek nurkowy - nurkowanie zawodowe

hat - slangowo nurkowy hełm/kask ochronny

<i>heliox</i> - mieszanina helu z tlenem

<i>DSO</i> - Dive Safety Officer

tender - operator na powierzchni odpowiedzialny za wiązkę kablowo-przewodową, dostarczanie powietrza i gazów oraz za komunikację

blowup - niekontrolowane wynurzenie na powierzchnię spowodowane nadmiernym napompowaniem suchego skafandra

neck dam - kołnierz zamontowany dookoła szyi, który trzyma i uszczelnia dół hełmu

Opis

Ponieważ celem nurkowania zawodowego jest praca, a nie nurkowanie samo w sobie, nurkowie zawodowi wykorzystują taki sprzęt podwodny, który najbardziej pasuje do aktualnego zadania. Z tego powodu niektóre prace podwodne wykonywane są przy użyciu sprzętu niewiele różniącego się od takiego, jakiego użyłby poważny nurek rekreacyjny. To, jednakże, nie jest typową sytuacją dla zawodowego nurka.

Współczesny nurek zawodowy nurkuje najczęściej w pojedynkę, używając albo maski pełnotwarzowej albo hełmu, do których z powierzchni jest dostarczany czynnik oddechowy. Jest to konieczne, ze względu na duże potrzeby oddechowe w czasie dużego obciążenia fizycznego. Większość profesjonalnych hełmów i masek obejmuje usta i nos, tak aby zredukować gromadzenie się dwutlenku węgla.

Większość nurkowań zawodowych jest zaopatrywana w gazy oddechowe z powierzchni przez wiązkę kablowo-przewodową (kablolinę, pępowinę, ang. *umbilical*). Wiązka kablowo-przewodowa nurka zawiera węże dostarczające gazy oraz linię dwukierunkowej łączności z zespołem wsparcia na powierzchni, w skład którego wchodzi operator systemów nurkowych, kierownik nurkowania i nurek asekuracyjny na wypadek niebezpieczeństwa. W czasie głębokich nurkowań z użyciem helioxu (hel i tlen) wiązka może zawierać wąż zwrotny, który odprowadza na powierzchnię wydech nurka, gdzie zostaje przetworzony, tak aby odzyskać z niego kosztowny hel.

Oprócz wiązki kablowo-przewodowej do hełmu/maski dołączony jest blok z zaworem przełączającym do awaryjnej butli nurkowej, w razie wystąpienia problemów z wiązką. W czasie bardzo głębokich nurkowań zawodowych system awaryjny może zawierać zestaw o obiegu zamkniętym, gdyż zwykła butla nurkowa wystarczyłaby tylko na kilka minut.

Dzisiejsze wyposażenie nurka zawodowego jest bardziej wyszukane i sprawniejsze niż sprzęt pochodzącego z połowy dwudziestego wieku klasycznego nurka w hełmie. Współczesny nurek zawodowy może chodzić po dnie, tak jak robili od ponad wieku klasyczni nurkowie, ale dla pewnych zadań użyje raczej lżejszej maski pełnotwarzowej i będzie pływać w płetwach podobnie jak nurek rekreacyjny.

Nurkowie zawodowi pracują dla przedsiębiorstw i w zespołach. Ich style nurkowe różnią się między sobą. Z gazami dostarczonymi z powierzchni, nurkowie zostają pod wodą tak długo, aż praca zostanie wykonana albo osiągną inny zaplanowany limit, po czym przechodzą odpowiednią dekompresję. Skafandry z ciepłą wodą, przez które przepływa dostarczana z powierzchni w wiązce kablowo-przewodowej podgrzana woda, pozwoliły na wyeliminowanie ograniczeń związanych z utratą ciepła. Nurek zawodowy zazwyczaj nie określa swojej dekompresji. Robi to zespół na powierzchni, monitorując głębokość oraz czas nurkowania i dobierając na tej podstawie odpowiedni harmonogram dekompresji. Kontrolują także zmiany czynnika oddechowego w czasie dekompresji. Bezpieczeństwo nurka zawodowego zależy od działań jego załogi na powierzchni.

Nurkowania głębsze niż 50 metrów/165 stóp zazwyczaj wymagają użycia dzwonu nurkowego. Dla krótszych nurkowań, może to być dzwon z otwartym dnem, który składa się z platformy z wypełnioną gazem kopułą. Nurek może stanąć na platformie, wynurzając się w kopule mniej więcej do połowy swojej klatki piersiowej. Przy głębszych nurkowaniach, które mogą mieć bardzo długie czasy dekompresji, nurek pracuje w hermetycznym, zamkniętym dzwonie. Taki dzwon opuszczany jest na wymaganą głębokość z dwoma lub trzema nurkami, którzy kolejno wymieniają się jako operator i nurek asekuracyjny. Po skończonej pracy nurek wraca do dzwonu i uszczelnia go. Zespół na powierzchni wyciąga będący wciąż pod ciśnieniem dzwon na powierzchnię, a nurkowie w nim będący, przechodzą dekompresję we względnie komfortie. Jeżeli dekompresja trwa bardzo długo, dzwon przyłączany jest do większego pomieszczenia, do którego przechodzą nurkowie.

Kompletnie wyposażony nurek zawodowy:

Hełm nurka zawodowego (ang. *Commercial diving helmet*) - W pełni otacza głowę i na żądanie przez wiązkę kablowo-przewodową dostarcza z powierzchni powietrza/gazu do oddychania. Hełm zawiera głośniki i mikrofon umożliwiające komunikację głosową.

Wiązka kablowo-przewodowa (Kablolina, Pępowina) (ang. *umbilical*) - Wąż dostarczający z powierzchni gaz, przewody komunikacyjne i wzmocnioną linię bezpieczeństwa, splecione razem tak, aby uformować jedną spójną linię, biegnącą z powierzchni do nurka. W czasie nurkowania w skafandrze z ciepłą wodą, częścią wiązki są także rury z wodą z powierzchni.

Manifold (łącznik separacyjny) kontroli nurkowania (ang. *dive control manifold* - nie pokazany na rysunku) - Obsługiwany przez operatora, manifold kontroluje przepływ gazu do nurka i zapewnia dwustronną komunikację głosową.

Butla bailout (ang. *bailout bottle* - nie pokazana na rysunku) - Połączona do systemu oddechowego nurka, butla *bailout* dostarcza awaryjnego czynnika oddechowego w razie problemów z jego dostawą z powierzchni.

Suchy skafander (ang. *dry suit*) - Pomimo, że niektóre nurkowania zawodowe odbywają się w skafandrach mokrych, ogromna większość nurkowań jest przeprowadzana w wytrzymałych suchych

skafandrach. Bardzo zimne wody albo długie nurkowania wymagają skafandra z ciepłą wodą, który zapewnia ochronę cieplną, otaczając nurka dostarczaną z powierzchni ciepłą wodą.

Uprząż (ang. *harness*) - zapewnia bezpieczne zamocowanie dla wiązki kablowo-przewodowej i butli *bailout*.

Dalszy podział

Nurkowanie zawodowe dzieli się zależnie od specjalistycznych zadań podwodnych i towarzyszących im okoliczności. Po zakończeniu szkolenia w zakresie sprzętu i procedur stosowanych w nurkowaniu zawodowym, nurek nabiera innych umiejętności potrzebnych do efektywnej pracy.

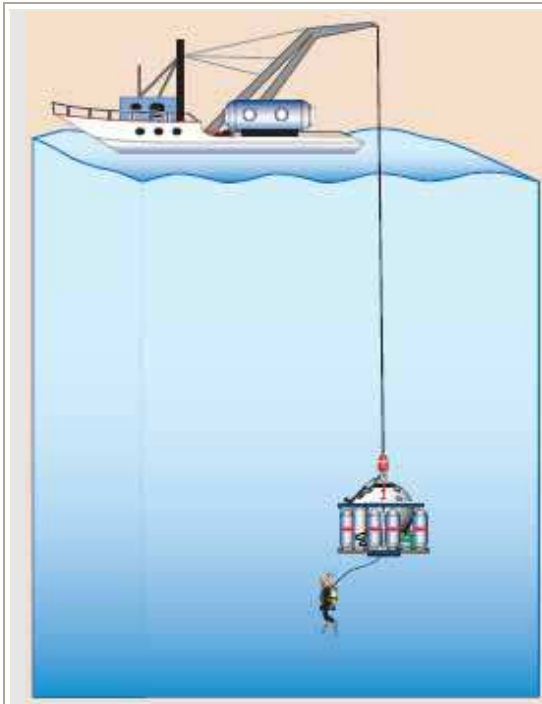
Spawanie i przepalanie. Spawanie i cięcie są podstawowymi kwalifikacjami oczekiwanymi od nurka zawodowego. Nurkowie zawodowi uczą się najpierw spawać i przepalać na powierzchni, a potem uczą się stosować te same umiejętności pod wodą. To nie zawsze jest takie proste, jak może się wydawać. Żeby osiągnąć takie standardy przy podwodnych naprawach platform, jakie są przy spawaniu na sucho, stosuje się spawanie hiperbaryczne. W tym celu nurek zawodowy najpierw oczyszcza z naprawianego obszaru morskie narośla, a potem dookoła instaluje suchą komorę hiperbaryczną. Uzyskuje dzięki temu suche środowisko, w którym można wykonać wymagane spawanie na sucho.

Materiały niebezpieczne/nurkowanie jądrowe. Nurkowanie zawodowe często wiąże się z zanurzeniem w wodzie skażonej czynnikami biologicznymi lub chemicznymi. Także przemysł jądrowy potrzebuje nurków do pracy w basenach magazynujących zużyte paliwo z reaktora jądrowego, gdzie temperatura wody przekracza 32°C/90°F. Nurkowie zawodowi, pracujący w takich warunkach, uczą się nurkowania w skafandrach całkowicie izolujących ich od wody.

Nurkowanie z mieszankami gazowymi. Nurkowie techniczni nauczyli się od nurków zawodowych używania helu w celu zrównoważenia narkozy i toksyczności tlenowej. Podstawową różnicą jest to, że nurkowie zawodowi używają częściej helioxu (mieszanki helu z tlenem), niż trymixsu. Ze względu na duże głębokości i długie czasy nurkowań, nurkowanie zawodowe z mieszankami gazowymi często wykorzystuje systemy do odzyskiwania kosztownego helioksu. Większość nurkowań z mieszankami gazowymi wymaga dzwonu nurkowego oraz dekompresji w dzwonie lub w komorze.

Materiały wybuchowe. Budowane przez ludzi przystanie często potrzebują podłożenia materiałów wybuchowych pod wodą, w celu usunięcia skał albo skamieniałych raf. Szkolenie nurkowe wymaga wtedy podstaw obsługi materiałów wybuchowych, ich zakładania, szacowania potrzebnej ilości oraz wykorzystania tych umiejętności pod wodą.

Nurkowanie satutowane. Jeżeli nurek pozostaje na danej głębokości przez długi czas, jego ciało zaabsorbuje w końcu maksymalną możliwą ilość gazów dla tej głębokości. Po tym czasie, dekompresja trwa dokładnie tyle samo, niezależnie czy nurkowanie trwało dzień, czy miesiąc. Z tego powodu, w przypadku długich i skomplikowanych prac w głębokiej wodzie, nurkowie żyją w przez cały czas w ciśnieniowych komorach hiperbarycznych, co jest bardziej efektywnie ze względu na koszty i czas. Dzwon ciśnieniowy (ang. PTC - Personal Transfer Capsule) transportuje nurków do i z miejsca pracy cały czas pod ciśnieniem, a prace nurkowe przeprowadzane są z dzwonu. Nurek przebywa dekompresję w komorze dekompresyjnej po skończonej pracy.



Podczas nurkowań saturowanych, nurkowie transportowani są przez dzwon nurkowy (PTC) do i z miejsca pracy cały czas pod ciśnieniem, a prace nurkowe przeprowadzane są z dzwonu. Nurek przebywa dekompresję w komorze dekompresyjnej po skończonej pracy

Testy i przeglądy. Ważna praca nurków zawodowych są inspekcje rur, olinowań i konstrukcji podwodnych, zwłaszcza przy platformach wiertniczych i innym sprzęcie transportującym pod wodą ropę naftową. Szkolenie w tej dziedzinie obejmuje inspekcję wzrokową, a także inne nieniszczące metody testowania, jak fotografia i wideofilmowanie.

Konserwacja konstrukcji podwodnych. Życie morskie rozwija się praktycznie na wszystkim co pozostawiono w morzu, w tym na platformach wiertniczych i innych konstrukcjach. Jeżeli nurkowie zawodowi nie usuną, może się nagromadzić w takiej ilości, że platforma zawali się pod własnym ciężarem. Szkolenie obejmuje użycie strumieni wody pod dużym ciśnieniem i innych metod czyszczenia podwodnych konstrukcji z życia wodnego.

Ratowanie mienia. Kiedy tonie statek, zapada się nadbrzeże albo samochód spada z mostu, po tym, jak nurkowie służb publicznych skończą z bezpośrednimi działaniami ratowniczymi, nurkowie zawodowi zaczynają odzyskiwanie i ratowanie. Może być to ocalanie mienia, usuwanie niebezpieczeństwa dla statków albo wyeliminowanie zagrożenia dla środowiska naturalnego. Szkolenie w tej dziedzinie obejmuje cięcie, przepalanie, użycie materiałów wybuchowych, olinowanie i podnoszenie.

Nurkowie służb publicznych

Nurkowanie w służbie publicznej to szeroka nazwa dla podwodnej działalności związanej z różnymi potrzebami społeczeństwa, np. gdy dojdzie do wypadku lub przestępstwa. Jeżeli jesteś nurkiem służb publicznych, najczęściej jesteś też policjantem, strażakiem, sanitariuszem, ratownikiem, albo innym członkiem służb publicznych. W pewnych miejscach jednak nurkowie służb publicznych są wyszkolonymi ochotnikami, którzy blisko współpracują z policją i strażą pożarną.

Tak jak w nurkowaniu zawodowym, celem jest praca, a nie nurkowanie. Przestępca wyrzuci dowód zbrodni raczej do bagna niż do kryształowo czystej wody. Wypadki zdarzają się wszędzie, niekoniecznie w miejscach gdzie chciałbyś nurkować. W konsekwencji nurkowania w służbach publicznych często odbywają się w miejscach, które nie są pożądane jako miejsca nurkowe.

Definicja nurkowania w służbach publicznych

Nurkowanie w służbach publicznych może być zdefiniowane jako nurkowanie w odpowiedzi na przestępstwo lub wypadek. Obejmuje poszukiwanie i wydobywanie dowodów i ofiar wypadku/zbrodni, a także przeprowadzanie podwodnego dochodzenia w związku z wypadkiem. Obejmuje także ratowanie tonących. Tak jak inne formy nurkowania, jest to wyspecjalizowana działalność wymagająca odpowiedniego szkolenia. Szkolenie to jest ważne zarówno z powodu bezpieczeństwa, jak i z przyczyn prawnych.

Opis

Nurkowie w służbach publicznych używają i dostosowują wyposażenie i techniki do zadań, które mają przeprowadzić pod wodą. Ich wyposażenie obejmuje więc zarówno podstawowe wyposażenie nurka rekreacyjnego, jak i ekwipunek nurka zawodowego. Nurkowie muszą być wyszkoleni i wykwalifikowani w używaniu określonego wyposażenia, które stosują przy różnych zadaniach i w różnych środowiskach.

„Typowy” nurek w służbach publicznych używa wytrzymałego suchego albo mokrego skafandra, aparatu o obiegu otwartym, maski pełnotwarzowej i bezprzewodowej łączności podwodnej, jednakże pomiędzy nurkami istnieje wiele wariacji sprzętu. Wielu nurków w służbie publicznej jest ochotnikami i nie ma dostępu do państwowych funduszy na cały sprzęt, jaki chcieliby mieć. Zależnie od środowiska i zadania, w wielu przypadkach konwencjonalny sprzęt i skafander nurka rekreacyjnego są często odpowiednie i wystarczające do właściwego i bezpiecznego wykonania zadania.

Nurkowie w służbach publicznych praktycznie zawsze pracują w ściśle skoordynowanych zespołach. Wspierany przez koordynatora na powierzchni, zależnie od środowiska i zadania, zespół taki może składać się z pojedynczych nurków na uwięzi, par nurków, albo pojedynczych nurków z czuwającym nurkiem asekuracyjnym. Jeżeli zostaniesz nurkiem w służbach publicznych, twoje szkolenie obejmie nie tylko umiejętności, ale też bycie członkiem zespołu, a także dalsze szkolenie całego twojego zespołu jako efektywnej jednostki.

Nurkowanie w służbach publicznych obejmuje także ratunek w dużym prądzie i inne wodne misje ratownicze, o których nie pomyślałbyś normalnie jako o nurkowaniu. Do takich misji potrzebne jest profesjonalne wyszkolenie.

W pełni wyposażony nurek służb publicznych:
Maska pełnotwarzowa (ang. <i>fullface mask</i>) - z wbudowanym automatem dostarczającym sprężone powietrze.
Manometr (ang. <i>SPG, Submersible Pressure Gauge</i>) - pokazuje, ile zostało powietrza.
Komunikacja (ang. <i>Communications</i>) - transmituje i odbiera sygnały w czasie rozmowy z zespołem na powierzchni i z innymi nurkami. (Jeżeli wyposażenie komunikacyjne nie jest używane, sygnały przekazuje się za pomocą liny).
Butla nurkowa (ang. <i>Cylinder</i>) - przechowuje sprężone powietrze pod wysokim ciśnieniem.
Mokry albo suchy skafander (ang. <i>wet or dry suit</i>) - zapewnia izolację i ochronę.
Płetwy (nie pokazane, ang. <i>fins</i>) - dostarczają stopom dużą powierzchnię do odepchnięcia się, tak aby nie trzeba było używać rąk.
Narzędzie tnące (ang. <i>cutting tool</i>) - pozwala uwolnić się w przypadku zaplątania.
Kamizelka wypornościowa (ang. <i>BCD, Buoyancy Compensating Device</i>) - używa powietrza z twojej butli, aby ustalić pływalność.
System balastowy (ang. <i>weight system</i>) - utrzymuje ołowiane ciężarki, by zrównoważyć dodatnią pływalność, tak byś mógł się zanurzyć, a mechanizm pozwala w razie konieczności na szybkie zrzucenie balastu.
Komputer nurkowy (ang. <i>dive computer</i>) - mierzy twoją głębokość i czas pod wodą, oblicza pozostały czas, w jakim możesz bezpiecznie przebywać pod wodą. Niektóre z nurkowań w służbie publicznej odbywają się w na tyle płytkiej wodzie (mniej niż 6 metrów/20 stóp), że nie ma limitów czasowych na przebywanie pod wodą.
Kompas (ang. <i>compass</i>) - pomaga w podwodnej nawigacji.

Dalszy podział

Nurkowanie w służbach publicznych może być podzielone zależnie od wymaganych zadań, z których każde wymaga specjalistycznego treningu.

Ratownictwo/odzyskiwanie. Nurkowania takie dotyczą wydobywania ludzi, którzy utonęli albo w wypadku pływackim, albo na skutek zatopienia samochodu. Sporadycznie dotyczą też prawdziwych misji ratunkowych, zwłaszcza jeżeli ofiarą jest dziecko, a woda jest bardzo zimna. (W odróżnieniu od tego, co widziałeś w telewizji i na filmach, zatopiony samochód rzadko ma w sobie poduszkę powietrzną, w której ktoś mógłby przeżyć.) W praktyce, po godzinie operacja z ratowniczej zamienia się w wydobywczą.

Szkolenie w tej dziedzinie zawiera techniki poszukiwawcze, obchodzenia się ze szczątkami, obserwacji otoczenia po znalezieniu ofiary oraz jej detali. Mieści się w tym także wywiad ze świadkami w celu ustalenia ostatniego znanego położenia ofiary, a przez to zminimalizowanie czasu poszukiwań.

Ten rodzaj nurkowania w oczywisty sposób nie jest przyjemny, choć wielu robiącym to osobom przynosi satysfakcję. Nurkowie służby publicznej w pewien sposób dają pociechę ocalałym wydobywając ciała ich bliskich. Część szkolenia w tym zawodzie dotyczy również zachowania i postępowania, gdy w grę wchodzi emocje ocalałych i rodzin ofiar.

Dochodzenia w miejscu przestępstwa. Nurkowie służby publicznej, którzy schodzą pod wodę, aby przeprowadzać śledztwo, są zazwyczaj policjantami lub śledczymi. Ich praca przeważnie polega na poszukiwaniu porzuconej broni, innych dowodów przestępstwa albo ofiar zbrodni. Szkolenie obejmuje nie tylko techniki poszukiwawcze, ale też obchodzenie się z dowodami, ich wydobywanie i zabezpieczenie zgodnie z lokalnym prawem. W tej pracy uczy się również fotograficznego dokumentowania miejsca przestępstwa oraz sporządzania map z dokładnym zaznaczeniem położenia wszystkich fragmentów dowodów. Ponadto potrzebne są umiejętności takiego wydobywania dowodów, które zabezpiecza je w celu późniejszego dokładnego zbadania, np. na obecność odcisków palców.

Dochodzenia w miejscu wypadków. Kiedy tonie łódź, samolot ląduje przymusowo na jeziorze albo zdarza się inny wypadek związany z wodą, potrzebni są nurkowie, aby zbadać wrak w celu ustalenia przyczyn zdarzenia. Dochodzenia wypadkowe są bardzo wyspecjalizowane i wymagają przeszkolenia w danym typie wypadku (wypadek morski, lotniczy, itd.). Powszechnie zdarza się, że zespół wyszkolony w ratownictwie albo w dochodzeniu kryminalnym pracuje pod przewodnictwem osoby albo zespołu specjalistycznie przeszkolonego w danym typie dochodzenia wypadkowego.

Oddziały antyterrorystyczne. W obszarach miejskich z dużymi zbiornikami wodnymi szkolenie policyjnych oddziałów antyterrorystycznych może obejmować podwodne podejście do szturmowanego statku albo budynku stojącego nad wodą. W dużych portach działalność antyterrorystyczna obejmuje wykrywanie ukrytych ładunków wybuchowych i innego podwodnego sabotażu. Nurkowie służb publicznych z tych dziedzin używają sprzętu, procedur i taktyk rozwiniętych przez nurków wojskowych oraz podwodnych saperów. Wielu z nich są byłymi nurkami wojskowymi albo byli szkoleni przez instruktorów wojskowych. Większość jest policjantami.

Nurkowanie naukowe

Nurkowanie stało się ważną częścią nauki. Biolodzy, oceanografowie, archeolodzy, ekolodzy i inni naukowcy potrzebują pomocy nurków do gromadzenia podwodnych danych dla swoich badań. Oprócz badań jako takich, nurkowanie naukowe jest ważnym narzędziem w naukach stosowanych związanych z zarządzaniem rybołówstwem, oceną szkód ekologicznych i rozwojem energii.

Żeby móc przeprowadzać badania naukowe na wszystkich głębokościach i w dowolnym miejscu, nurkowanie naukowe zapożyczyło techniki i wyposażenie z praktycznie wszystkich innych typów nurkowania. Chociaż większość nurkowań naukowych przeprowadzana jest w sprzęcie typowym dla nurków rekreacyjnych, nurkowie naukowcy mogą być też nurkami

technicznymi, bądź zawodowymi. Mogą używać masek pełnotwarzowych i bezprzewodowej łączności. Podwodny pościg nauki idzie ponad nurkowanie, używając pojazdów podwodnych i ROV. Jedyna wizyta ludzkości na dnie Rowu Mariańskiego, najgłębszego znanego miejsca oceanu, była uzasadniona nauką, a nie ekonomią.

Definicja nurkowania naukowego

Nurkowanie naukowe może być zdefiniowane jako nurkowanie w celu zbierania informacji dla nauki, wspierania zbierania informacji dla nauki, w celu edukacji albo w celu wspierania edukacji o nauce podwodnej. Przykładami nurkowania naukowego są nurkowania w celu zliczania ryb dla badań populacji życia morskiego, w celu naprawy łopat czujnika przepływu, dla pokazania studentom zasad ekologii na rafie albo czyszczenie środka akwarium w oceanarium. Nurkowaniem naukowym nie jest natomiast nurkowanie zawodowe, takie jak spawanie, podwodne konstrukcje, albo używanie ładunków wybuchowych w celu oczyszczenia wejścia do portu.

Opis

Nurkowie naukowcy to albo naukowcy, albo naukowcy przeszkoleni do prowadzenia obserwacji i zbierania dla naukowców informacji. W wielu wypadkach przeszkolenie, które masz jako nurek rekreacyjny, daje ci wystarczające umiejętności nurkowe do nurkowań naukowych, ale potrzebujesz dodatkowego szkolenia charakterystycznego dla nauki, którą chcesz wspierać. Dodatkowo, twoje umiejętności nurkowe muszą być doskonałe, być twoją drugą naturą, żebyś mógł pod wodą uważnie prowadzić działalność naukową.

Instytucje określają nurków naukowych zgodnie z ich kwalifikacjami. Choć pomiędzy instytucjami są różnice, wspólnymi poziomami (różniącymi się czasem nazwami) są: nurek w czasie szkolenia (z ukończonym podstawowym programem nurkowym), nurek naukowy (wykwalifikowany do prowadzenia nurkowań bezdekompresyjnych w ramach odpowiednich limitów i odpowiednich zadań) oraz tymczasowy nurek naukowy (tymczasowe upoważnienie wydawane zazwyczaj gościom instytucji na czas konkretnego projektu). Niektóre instytucje używają dodatkowych poziomów dla oznaczenia wyższych kwalifikacji. Na przykład nurkowie badacze z *Cambrian Foundation* są indywidualnie certyfikowani i do używania sprzętu technicznego wykorzystującego mieszkanki gazowe, i do procedur nurków naukowych. Żeby spełnić warunki szkolenia, nurkowie naukowcy są zazwyczaj zobowiązani do utrzymywania biegłości przez odbywanie określonej liczby nurkowań w zadanym okresie.

Pomimo że wiele nurkowań naukowych przypomina nurkowania rekreacyjne, różnią się od nich w stopniu kontroli i organizacji. Nurkowania naukowe przeprowadzane są zazwyczaj pod nadzorem DSO (ang. *DSO - Dive Safety Officer* albo *DO - Dive Officer*), który określa i egzekwuje limity i minimalne kwalifikacje nurków dla danych warunków i środowiska. DSO jest też odpowiedzialny za zapisanie informacji od nurka po każdym nurkowaniu oraz zapewnienie wyposażenia awaryjnego i kontaktu do służb ratowniczych.

W większości wypadków, DSO działa w ramach nurkowych kwalifikacji i procedur ustanowionych przez zarząd kontroli nurkowań swojej instytucji, która z kolei pracuje w ramach praktyk szerszej wspólnoty. Na przykład w Stanach Zjednoczonych polityka nurkowa większości instytucji naukowych mieści się w ramach wskazówek AAUS (*American Academy of Underwater Sciences*). Normalną praktyką zarządu nurkowań jest recenzja wszystkich proponowanych projektów nurkowych. Instytucje naukowe dokładnie dokumentują wszystkie nurkowania, procedury bezpieczeństwa i procedury awaryjne.

Ponieważ celem jest nauka, nurkowanie naukowe wykorzystuje praktycznie wszystkie typy wyposażenia nurkowego. Swoje miejsce mają tu rebreathery z zamkniętym obiegiem, maski pełnotwarzowe z systemem łączności podwodnej, a nawet wyposażenie nurków zawodowych. Pomimo to, olbrzymia większość nurkowań używa takiego samego podstawowego sprzętu i tych samych procedur, co nurkowanie rekreacyjne. Główną jednak różnicą jest to, że do użycia niektórych rodzajów wyposażenia (jak komputery nurkowe) musi być zgoda DSO lub zarządu kontroli nurkowań.

Dalszy podział

Ponieważ w nurkowaniu naukowym istnieją bardzo różne wymagania badawcze, środowiskowe i operacyjne, nurkowanie to można sklasyfikować wedle celów naukowych, środowiska, w którym się odbywa albo wymagań operacyjnych. Oczywiście wszystkie mogą się zazębiać. Poniżej przedstawiona jest lista kilku określonych przykładów nurkowania naukowego, ale nie jest ona pełna.

Pomiary. Jednym z powszechnych zadań naukowców jest zliczanie albo próbkowanie w celu statystycznego oszacowania populacji lub liczebności. W tym celu można ułożyć siatkę na dnie i zapisywać liczbę i typ organizmów znajdujących w siatce. Podobnie można zapisywać próbki niebiologiczne, takie jak minerały albo ruiny. Czasem zadaniem jest patrzenie w danym kierunku i liczenie przez zadany czas przedstawicieli konkretnego gatunku, przepływających przez pole widzenia.

Zbieranie próbek. Innym powszechnym zadaniem nurkowania naukowego jest zbieranie próbek w celu przebadania ich na powierzchni. Nurek naukowy zazwyczaj opisze miejsce, gdzie pobrał próbkę, a dodatkowo takie parametry jak temperatura i głębokość. Próbkowanie może obejmować wodę na różnych głębokościach i w różnych miejscach, organizmy żywe albo osad.

Archeologia podwodna. Podwodna archeologia jest wymagającą nauką, ponieważ trzeba zachować pod wodą pracochłonne standardy. Wykopiska na wrakach zajmują zazwyczaj kilka lat skrupulatnej pracy, a każdy obiekt przed wydobyciem musi być naniesiony na mapę i mieć dokumentację fotograficzną. Jest to bardzo istotne, gdyż archeologia na podstawie położenia i zależności pomiędzy znajdowanymi artefaktami ustala, jak i dlaczego pracowali i żyli starożytni żeglarze.

Główne podwodne projekty archeologiczne są często tak duże, że pracuje nad nimi zespół pod kierownictwem archeologa. Wiele z tych projektów byłoby niemożliwych, gdyby nie szereg przeszkolonych ochotników biorących w nich udział dla czystej satysfakcji brania udziału w pracy badawczej.



Podwodna archeologia jest wymagającą nauką, ponieważ trzeba zachować pod wodą pracochłonne standardy

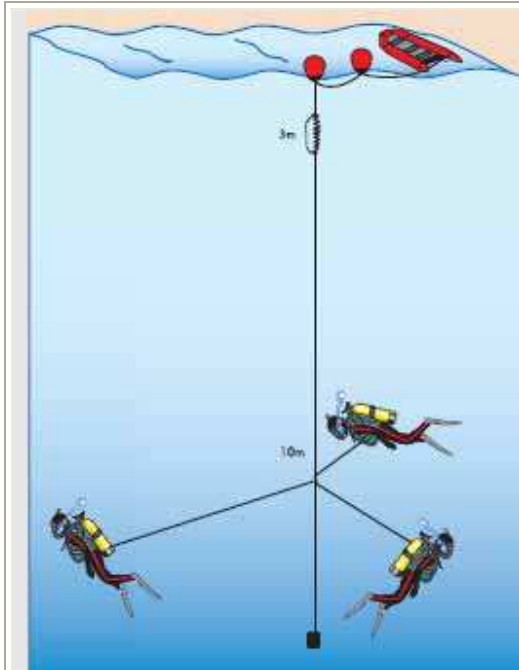
Akwaria. Publiczne duże akwaria potrzebują nurków do utrzymywania, monitorowania i opieki nad wystawionymi zwierzętami, edukacyjnej interakcji z widownią oraz do innych zadań. Wiele akwariów zatrudnia małą grupę nurków oraz opiekunów, którzy koordynują większe grupy przeszkolonych nurków-ochotników z okolicy.

Eksploracja i sporządzanie map. Duża część podwodnego świata wciąż czeka na odkrycie. Eksploracja naukowa często ma na celu wizytę w takich miejscach oraz sporządzenie map i innej dokumentacji dla późniejszych badań. Mimo że współczesna technologia pozwala na tworzenie map z powierzchni przy użyciu sonarów i komputerów, ale na przykład technika ta nie działa w przypadku zatopionych jaskiń. Mapowanie za pomocą sonaru pozwala wprawdzie na pokrycie dużego obszaru w krótkim czasie, ale nie powie, jakie typy organizmów żywych zamieszkują badany obszar.

Podwodne obrazowanie. Wiele podwodnych badań korzysta z dokumentacji fotograficznej i filmowej. Nie chodzi tu o ładne zdjęcia, tylko o tworzenie obrazów, które w obiektywny sposób zapisują informację do naukowej oceny, analiz i obserwacji. Szkolenie w tym zakresie

obejmuje podstawowe zasady podwodnej fotografii i filmowania, a także stosowanie tych zasad do celów naukowych.

Nurkowanie w toni. Duża część oceanografii związana jest z biologicznym, fizycznym i chemicznym środowiskiem znajdującym się w toni na otwartym oceanie, w wodzie głębokiej na kilka kilometrów. Nurkowie naukowcy, nurkując w toni, pobierają próbki na różnych głębokościach, mierzą temperaturę i gęstość różnych warstw wody albo badają organizmy żyjące w toni. Ponieważ efektywnie dna nie ma, nurkowie nurkujący w toni używają obciążonej pionowej liny, która służy jako wizualny i taktyczny punkt odniesienia oraz system uwięzi zabezpieczający przed przypadkowym przekroczeniem zaplanowanych limitów głębokości.



Nurkujący w toni często używają obciążonej pionowej liny, która służy jako wizualny i taktyczny punkt odniesienia oraz system uwięzi zabezpieczający przed przypadkowym przekroczeniem zaplanowanych limitów głębokości

Nurkowanie wojskowe

Kiedy myślisz o nurkowaniu w wojsku, myślisz o żołnierzach z jednostek takich jak US Navy SEALs, prześlizgujących się w ukryciu pod wodą za linie wroga. W rzeczywistości to tylko jedna z wielu funkcji, które pełnią nurkowie w wojsku. W większości krajów, większość nurków wojskowych ma długą, wybitną karierę i wykonują cenne, często ryzykowne zadania dla swoich krajów, które nie wiążą się bezpośrednio z walką.

Definicja nurkowania wojskowego

Nurkowanie wojskowe opisać można jako nurkowanie dla spełnienia określonych zadań i celów wojskowych. Czyni to nurkowanie wojskowe bardzo szerokim pojęciem, z podwodnymi zadaniami obejmującymi zarówno takie, które znajdziesz w nurkowaniu cywilnym, jak i inne, bezpośrednio związane z działaniami wojennymi.



Nurkowanie wojskowe może być zasadniczo opisane jako nurkowanie zawodowe dla wojska i potrzeb walki

Opis

Nurkowanie wojskowe może być zasadniczo opisane jako nurkowanie zawodowe dla wojska i potrzeb walki. Większość nurkowań przeprowadzanych przez wojsko podpada pod pierwszą kategorię. W takim przypadku, praca nurka wojskowego jest bardzo podobna do pracy nurka zawodowego, przede wszystkim w czasie pracy i inspekcji przy okrętach i konstrukcjach wojskowych, oraz przy ratownictwie i odzyskiwaniu. W czasie takich prac wyposażenie nurka jest prawie takie same jak standardowe wyposażenie nurka zawodowego, a szkolenie skupia się na zastosowaniu sprzętu i procedur nurkowania zawodowego dla potrzeb wojska. Ten typ nurkowania wojskowego obejmuje nurkowanie z użyciem helu i nurkowanie saturowane przy użyciu procedur i sprzętu zasadniczo takich samych, jak używane w cywilnym nurkowaniu zawodowym.

Nurkowanie wojskowe używa również akwalungów. Zazwyczaj nie używa się jednak standardowych automatów oddechowych o obiegu otwartym, takich jak używa się w nurkowaniu rekreacyjnym, ale rebreatherów z zamkniętym obiegiem w celu uniknięcia smugi bąbelków, które mogłyby zdradzić wrogowi twoje położenie. Szkolenie nurkowe przede wszystkim skupia się na wyszkoleniu żołnierskim, z nurkowaniem będącym po prostu środkiem na dotarcie do wroga albo na opuszczenie go pod wodą.

W pełni wyposażony nurek wojskowy

Maska pełnotwarzowa (ang. *fullface mask*) - zaprojektowana specjalnie w celu użycia rebreathera i głosowej komunikacji bezprzewodowej.

Komunikacja (ang. *Communications*) - pozwala na komunikację pomiędzy członkami walczącego oddziału. Urządzenia o dużej mocy pozwalają na komunikację ze statkami wsparcia oddalonymi o wiele kilometrów.

Rebreather o zamkniętym obiegu, tlenowy albo z mieszanką oddechową (ang. *Mixed Gas or Oxygen Closed-Circuit Rebreather*) - Pozwala nurkowi na oddychanie przez sześć albo więcej godzin, niezależnie od głębokości. Nie tworzy bąbelków, które mogłyby zdradzić obecność nurka.

Suchy skafander (ang. *dry suit*) - Skafander o dużej wytrzymałości i elastyczności, zapewniający komfort i mobilność podczas długiego płynięcia.

Broń palna (nie pokazana, ang. <i>firearm</i>) - ma płaskie, czarne wykończenie w celu zminimalizowania refleksów światła i wodoodporną amunicję.
Sucha torba (ang. <i>dry bag</i>) - Szczelna torba do przenoszenia wyposażenia używanego na brzegu, takiego jak radio.
Kompas i przyrządy pomiarowe (ang. <i>compass and gauges</i>) - Używane do dokładnej nawigacji w czasie długich dystansów bez wynurzania się.
Przypis: wiele typów nurkowań wojskowych wykorzystuje procedury i wyposażenie z nurkowania zawodowego. Patrz: Nurek zawodowy w pełnym ekwipunku.

Dalszy podział

Nurkowanie wojskowe może być podzielone ze względu na różne operacje, w czasie których nurkowie używają takiego wyposażenia, które najbardziej odpowiada zadaniu.

Utrzymywanie, naprawa i inspekcja okrętów. Obowiązki te są podobne do tych ze świata cywilnego, wykonywanych przez nurków zawodowych. W ich ramach mieszczą się przeglądy kadłubów, czyszczenie, spawanie i inne prace naprawcze czy konserwacyjne. Może się zdarzyć, że nurek wojskowy będzie wykonywał te prace w akwalungu z obiegiem otwartym. Z drugiej strony, może też użyć lekkiego (maska, bandmask) lub ciężkiego (hełm) wyposażenia nurka zawodowego.

Słowniczek nurkowy nurków wojskowych
scrubber - absorbent, sorbent, pojemnik w rebreatherze, w którym z wydychanego gazu chemicznie usuwany jest dwutlenek węgla.
UBA - ang. <i>Underwater Breathing Apparatus</i> - Aparat do oddychania pod wodą.
DMO - ang. <i>Diving Medical Officer</i> - nurkowy oficer medyczny.
EBA/EBS - ang. <i>Emergency Breathing Apparatus/System</i> - Aparat ratunkowy .
RMV - ang. <i>respiratory minute volume</i> - objętość powietrza zużywanego przez nurka w ciągu jednej minuty.
MK21 MOD1 - komercyjny hełm nurkowy używany przez <i>US NAVY</i>
MK16 UBA - Rebreather z zamkniętym obiegiem do mieszanek gazowych, używany przez <i>US NAVY</i>

Ochrona. Przeglądy okrętów i konstrukcji w poszukiwaniu ładunków wybuchowych, sabotażu lub innych oznak manipulacji. Nurkowie wojskowi przeprowadzający te zadania niekoniecznie muszą być przeszkoleni w rozbrajaniu ładunków wybuchowych, a jedynie w ich lokalizacji. Ładunki wybuchowe rozbrajają tylko nurkowie specjalistycznie do tego przeszkoleni.

Saperzy (ang. *EOD and demolition*). Bycie saperem (ang. *EOD - Explosive Ordnance Disposal*) to jedno z najniebezpieczniejszych zajęć nurka wojskowego. Nurkowie saperzy muszą bezpiecznie unieszkodliwić i rozbroić miny wroga lub niewypały. Przeprowadzane zazwyczaj z rebreatherem o zamkniętym obiegu, nurkowanie saperskie wymaga użycia sprzętu o jak najmniejszej ilości stali, żelaza i niklu, aby zmniejszyć jego własności magnetyczne, które mogłyby wywołać niektóre typy zapalników min.

Nurek może podkładać ładunki wybuchowe, aby wyczyścić drogę dla okrętów podczas manewrów wojskowych albo jako część projektu konstrukcyjnego, takiego jak budowanie i czyszczenie przystani. Mogą też użyć ładunków wybuchowych, aby zniszczyć niewydobywalne szczątki wraku albo też uwolnić uwięziony okręt.

Poszukiwanie i odzyskiwanie. Nurkowie wojskowi wydobywają broń szkoleniową oraz wojskowe okręty i samoloty, które zatoniły. Oszczędza to wiele pieniędzy, a w czasie wojny także czas, gdyż często o wiele szybsze jest odbudowanie zatopionego okrętu, niż budowa od podstaw nowego.

Ratownictwo. Wojskowi nurkowie ratownicy szkolą się w pomocy marynarzom (np. ze straży wybrzeża), uwięzionym marynarzom łodzi podwodnych, tonącym pilotom i żeglarzom. Nurkowie o tej specjalizacji często służą jako ratownicy podczas szkoleń wodnych dla innych

służb. Na przykład, podczas szkolenia dla lotników morskich, którzy trenują wodowanie przez ucieczkę z zanurzonego symulatora kokpitu.

Nurkowie wojskowi ze szkoleniem typu zawodowego pracują też w służbie publicznej, kiedy wypadek zdarza się na głębokiej wodzie albo kiedy akcja ratownicza jest bardzo trudna. Przykładem tego była katastrofa lotu TWA 800 na amerykańskim wybrzeżu Atlantyku w 1996 roku. Przy ciężkich warunkach na powierzchni, wodzie o temperaturze 10°C(50°F) i głębokościach od 35 do 40 metrów (115-130 stóp), wydobywanie szczątków i ofiar spadło na nurków US Navy, którzy odbyli tam ponad 700 nurkowań.

Konstrukcje. Nurkowie wojskowi używają procedur i sprzętu nurków zawodowych w czasie budowy, konserwacji albo usuwaniu podwodnych lub częściowo zanurzonych struktur, takich jak pomosty, doki i mosty.

Nurkowanie w zamkniętej przestrzeni. Nurkowie wojskowi mogą być szkoleni do pracy w bardzo małych obszarach, jako część zadań konserwacyjnych lub konstrukcyjnych. Jednym z nich, szczególnym dla nurkowania wojskowego, jest wejście do zbiorników balastowych łodzi podwodnej w celu ich wewnętrznej inspekcji, bądź naprawy.

Walka. Wiele typów operacji mieści się w kategorii walki. Takimi operacjami są akcje antyterrorystyczne, odbijanie zakładników i więźniów, ataki, zwiad i inne wtargnięcia na terytorium wroga. Są nimi też podkładanie ładunków wybuchowych w celu zlikwidowania obrony albo okrętów wroga.

Pojazdy zanurzalne

Dla większości ludzi nurkowanie jest najlepszą możliwością dotarcia do podwodnego świata. Jest stosunkowo tanim, przenośnym i wszechstronnym sposobem zgłębiania i poznawania podwodnego królestwa. Z drugiej strony nurkowanie ma swoje ograniczenia, a pokonać je pozwalają głęboko zanurzające się pojazdy podwodne.

Nawet przy użyciu najbardziej wyrafinowanych mieszanek gazowych i głębinowych komercyjnych systemów nasycających, jak dotąd ludzie wystawieni na zewnętrzne ciśnienie nie mogą prowadzić żadnych znaczących prac głębiej niż około 330 metrów (1000 stóp). Stres jakiemu poddane jest ciało, włączając w to wymagania dekompresyjne, efekty narkotyczne i gęstość mieszanki oddechowej zaczynają być przytłaczające. A przecież 330 metrów (1000 stóp) to nie jest nawet 10 procent średniej głębokości oceanów. Z drugiej strony wiele pojazdów zanurzalnych z łatwością osiąga głębokość 3300 metrów (10000 stóp) dla potrzeb nauki i eksploracji.



Nurkowanie daje nam dostęp do mniej niż 10 procent oceanu. Pojazdy głęboko zanurzalne zabierają nas ponad te 10 procent

Pojazdy zanurzalne czasem mają przewagę również przy głębokościach dostępnych dla nurków. Jeżeli wykonasz nurkowanie w celu obserwacji czegoś przez trzy godziny na 30 metrach (100 stóp), będziesz musiał odbyć ponad dwie i pół godziny dekompresji na nitroksie i

tlenie. Jeżeli obserwację robisz z pojazdu, po trzech godzinach wynurzysz się, otworzysz z trzaskiem luk i wyjdiesz. Jeżeli chodzi o głębokość i czas trwania, pojazdy zanurzalne biją nurkowanie na głowę.

Niestety, pojazdy zanurzalne są drogie i kosztowne w eksploatacji. Niewielu ludzi na nie stać. Dodatkowo, nie są bardzo przenośne, nawet w porównaniu z najbardziej nieporęcznymi formami nurkowania - na pewno nie zamierzasz wziąć takiej do samolotu w drodze do ulubionej bazy nurkowej! Z tych powodów, pojazdy zanurzalne najprawdopodobniej pozostaną pojazdami używanymi przez instytucje, a nie przez jednostki.

Ważne badawcze pojazdy podwodne

Za najbardziej wydajny na świecie pojazd zanurzalny uważany jest *Alvin*, obsługiwany przez *Woods Hole Oceanographic Institution* i będący własnością *US Navy*. Wiele razy w czasie swojej kariery odnawiany i unowocześniany, *Alvin* będzie w najbliższym czasie zastąpiony przez nowszy model. W swojej obecnej konfiguracji *Alvin* może zejść na głębokość 4500 metrów (14764 stóp). W czasie swojej kariery *Alvin* odbywał ponad 150 nurkowań rocznie. Dr Robert Ballard użył *Alvina* do pierwszej wizyty na wraku *Titanica*.

Harbor Branch Oceanographic Institution w Fort Pierce na Florydzie posiada i obsługuje dwa pojazdy zanurzalne: *Johnson-Sea-Link I* i *Johnson-Sea-Link II*. Te załogowe łodzie podwodne przeznaczone są przede wszystkim do badań podwodnych, na głębokościach do 914 metrów (3000 stóp). Umieszczona z przodu gruba, 12.7 centymetrowa (5 cali), akrylowa sfera otacza pilota i obserwatora, pozwalając na panoramiczny widok. W drugim pomieszczeniu z tyłu pojazdu może przebywać jeszcze dwójka naukowców. Dla celów badań podwodnych, oba *Sea-Linki* wyposażone są w ramiona manipulatorów, narzędzia ssące, próbniki planktonu, aktywne sonary i wideokamery przekazujące obraz

Nautilus jest trzysobowym francuskim pojazdem podwodnym, używanym przez Francuski Instytut Badań i Eksploatacji Morza. Pojazd posiada także mały, pływający na uwięzi pojazd sterowany (ang. *ROV - remotely operated vehicle*) *Robin*, który może badać i robić zdjęcia obszarom niedostępnym dla samego *Nautila*

MIR-1 i *MIR-2* są trzysobowymi pojazdami podwodnymi, obsługiwanymi przez Instytut Oceanologii im P.P. Szyrskiego Rosyjskiej Akademii Nauk. Oba pojazdy mogą zanurzać się do 6000 metrów (20000 stóp). Pojazdy *MIR* mają drugie miejsce na świecie, jeżeli chodzi o głębokość zanurzenia (prowadzi Japoński *Shinkai*, który zanurza się na 6500 metrów (21325 stóp)). Pojazdy *MIR* występowały w filmie *Titanic*

Pojazdy *Piscis IV* i *V*, obsługiwane przez *Hawaii Undersea Research Laboratory* Uniwersytetu Hawajskiego, mają maksymalne zanurzenie 2000 metrów (6280 stóp). Oba pojazdy zostały zbudowane przez *International Hydrodynamics* w Vancouver, w Kanadzie. Pojazdy są wykorzystywane przez naukowców do badań wzdłuż podwodnego wulkanu *Lo'ihi*, na zanurzonych brzegach głównych Wysp Hawajskich oraz na brzegach i podwodnych górach północno-zachodnich Wysp Hawajskich

Zbudowany przez *Nuytco Research* w Kanadzie, *DeepWorker 2000* jest nowym typem małych i lekkich pojazdów zanurzalnych. *DeepWorker* pozwala jednemu lub dwóm badaczom zanurzyć się na głębokość 610 metrów (2000 stóp). Z powodu małych rozmiarów, *DeepWorker* może być przewożony na przyczepie i wodowany tak jak zwykłe łodzie, z niewielkiego statku pomocniczego. Dzięki obniżeniu kosztów logistycznych, badania z pojazdów zanurzalnych stają się bardziej dostępne

Pojazdy zanurzalne kontra nurkowanie		
	Zalety	Wady
Pojazdy zanurzalne	Większa głębokość Czas trwania	Wysokie koszty Duży rozmiar Skomplikowana logistyka
Nurkowanie	Prostota Przenośność Niskie koszty	Ograniczona głębokość Krótki czas trwania

Pojazdy zdalnie sterowane ROV

Pojazdy zdalnie sterowane (ang. *ROV - remotely operated vehicle*) zabierają cię pod wodę dzięki teleobecności. Pojazd nurkuje zdalnie sterowany, przesyłając obrazy telewizyjne. Pojazdy ROV łączą wiele z przenośności i dostępności nurkowania z głębokościami i czasami trwania osiągalnymi przez pojazdy zanurzalne.

Pojazdy ROV powstały częściowo dzięki postępowi w elektronice, a częściowo dzięki ekonomii. W latach 70. i 80., ze względu na wysokie koszty nurkowania zawodowego, przedsiębiorcy rozwinęli technologię ROV jako bardziej ekonomiczny sposób na przeprowadzanie podwodnych przeglądów i innych prac nurka zawodowego. Pojazdy te okazały się sukcesem, gdyż ROV nie męczy się i nie jest mu zimno, może zejść głębiej niż nurek i można go użyć w sytuacji, która jest zbyt ryzykowna dla człowieka. Poczynając od firm komercyjnych, pojazdy ROV rozszerzyły się na służby bezpieczeństwa publicznego, wojsko, a ostatnio do zastosowań rekreacyjnych i technicznych.

W poprzedniej dekadzie pojazdy ROV były tak kosztowne, że tylko duże przedsiębiorstwa i instytucje naukowe mogły sobie na nie pozwolić. W dzisiejszych czasach rewolucja elektroniczna wprowadziła generację małych, stosunkowo tanich pojazdów ROV. Mimo że te małe wersje pojazdów są w zasadzie zdalnie sterowanymi kamerami, są bardzo użyteczne przy długich obserwacjach, podwodnej inspekcji bez potrzeby wysyłania nurka oraz jako pomoc dla nurków w czasie dekompresji w wodzie. Mini pojazdy ROV są przenośne, a niektóre z nich są na tyle lekkie, że mogą podróżować jako standardowy bagaż w samolocie (poniżej 32 kg (70 funtów)).

Komercyjne modele pojazdów ROV są w granicach możliwości finansowych kogoś, kto ma poważne zamiary (około 6000\$ w chwili pisania encyklopedii). Jeżeli jednak to dla ciebie za dużo, a równocześnie potrafisz posługiwać się narzędziami, pomyśl o zbudowaniu takiego samemu. Ponieważ są one koncepcyjnie dość proste, pojazdy ROV są popularnymi projektami wśród studentów wyższych uczelni i hobbystów. W sieci można znaleźć wiele prostych zestawów i planów pojazdów ROV.

Pojazdy ROV są wartościowymi i ważnymi narzędziami podwodnymi, ale nawet z postępową elektroniką i robotyką prawdopodobnie nigdy nie zastąpią całkowicie nurków. Niezależnie jak bardzo są zaawansowane, kierowanie pojazdem ROV wciąż nie jest nurkowaniem, tak jak oglądanie Stonehenge w telewizji nie jest tym samym, jak jego zwiedzanie osobiście. Duch odkrywania zmusza nas do świadectwa z pierwszej ręki. Pojazdy ROV, jakby nie były wszechstronne, tego nie dadzą.

Skafandry ciśnieniowe

Jeżeli pojazdy ROV nie zastąpią do końca nurków, jak zwiedzić głębokości powyżej fizjologicznych ograniczeń człowieka? Jak cieszyć się długim czasem dennym bez potrzeby przebycia długiej dekompresji? Odpowiedź leży w skafandrach ciśnieniowych - w gruncie rzeczy pojazdach podwodnych, które możesz ubrać. Skafander ciśnieniowy chroni cię przed wodą i jej ciśnieniem, tak że nie jesteś wystawiony ani na zimno, ani na ciśnienie. Równocześnie

skafter ciśnieniowy jest dużo bardziej kompaktowy i przenośny (na krótkie dystanse) niż zwyczajny pojazd podwodny.



Nowe, lżejsze materiały i zaawansowane technologie mogą wprowadzić skaftery ciśnieniowe do użytku przez poważnych nurków sportowych

Pomysł „ubieranej łodzi podwodnej” nie jest nowy. Pierwszy projekt pochodzi od Lethbridge’a i z powodzeniem użyto go do wydobywania skarbu w 1724 roku. W XIX wieku powstały dalsze projekty. Ich wspólnym problemem było to, że wraz ze wzrostem głębokości nurkowi coraz trudniej było się poruszać. Działo się tak, bo ciśnienie ścisnęło złączenia skaftera, opierając się ruchom nurka.

W roku 1992 Josepha Perresa opatentował pierwsze złącze do skaftera ciśnieniowego, które miało kompensację ciśnienia. W roku 1935 wrak *Lusitani* był badany przez nurków w skafterach ciśnieniowych projektu Jima Jarreta¹, które używały złącza Perresa. Był to technologiczny krok na przód, ale dopiero w roku 1969 powstał pierwszy praktyczny skafter ciśnieniowy. Zbudowany przez *Underwater Marine Equipment Ltd.*, skafter *JIM* (nazwany na cześć Jima Jarreta) był oparty na projekcie Perresa. Skafter *JIM* usunął, choć nie do końca, problemy związane z naciskiem na złącza. *JIM* mógł operować do głębokości 330 metrów (1000 stóp).

Jason Jr. na Titanicu

Dzięki eksploracji Titanica w 1986 roku przez Roberta Ballarda, prawdopodobnie najbardziej znanym pojazdem ROV jest *Jason Jr.* Podczas nurkowania w pojeździe *Alvin* (obsługiwanego przez *Woods Hole Oceanographic Institute*) do wraku Titanica (na głębokości 3810 metrów (12599 stóp), wrak Titanica jest daleko poza zasięgiem nurków), Ballard wystął ze specjalnej kotłyszki *Jasona Jr.* w głąb wraku. Pozwoliło to zespołowi na zbadanie części wraku, która w innym wypadku byłaby niedostępna i dało przykład wszechstronności, jakie pojazdy ROV oferują podwodnej eksploracji.

Następnym dużym krokiem było opatentowanie przez Phila Nuyttena z Hard Suits Inc. w latach 1982 i 1985 nowego typu złącza kompensującego ciśnienie, które mogły operować na znacznie większych głębokościach niż poprzednie typy, dzięki przenoszeniu ciśnienia ze złącza na nieruchome części skaftera. W ciągu następnych dwóch lat, Nuytten opracował skafter *Newt*, który również mógł pracować na głębokości 330 metrów (1000 stóp), ale był znacznie lżejszy i łatwiejszy w użyciu, niż jego poprzednicy. Ostatnimi czasy Nuytten opracował jeszcze lżejszy, bardziej kompaktowy i sprawny skafter ciśnieniowy docierający do tych samych głębokości, co *Newt*. Nowy typ skaftera być może zastąpi wiele dzisiejszych konwencjonalnych typów nurkowań zawodowych.

W czasie pisania niniejszego tekstu skaftery ciśnieniowe pozostają narzędziami używanymi przez nurków zawodowych i przedsiębiorstwa morskie. Są drogie i wymagają znacznego wsparcia z powierzchni w czasie wodowania i operowania pod wodą. Sugerują jednak przyszłe możliwości. Wraz z nowszymi, lżejszymi materiałami, dostępne będą bardziej kompaktowe wersje skafterów. Nie ma wątpliwości, że będzie istniał spory popyt na

1 Przyp. tłumacza: wg informacji dostępnych w sieci, skafter *Tritonia* użyty do eksploracji *Lusitani* był projektu Josepha Salima Perresa, a Jim Jarret był jego asystentem i głównym nurkiem.

skaфандry ciśnieniowe, które nie będą wygórowanie drogie, z dostępnymi głębokościami do 100 metrów (330 stóp), na dwie, trzy godziny nurkowania, a równocześnie wystarczająco proste i lekkie dla operowania nimi przez jedną osobę z małym wsparciem powierzchniowym albo w ogóle bez niego. Czy tak się stanie? Być może szybciej niż przypuszczasz.

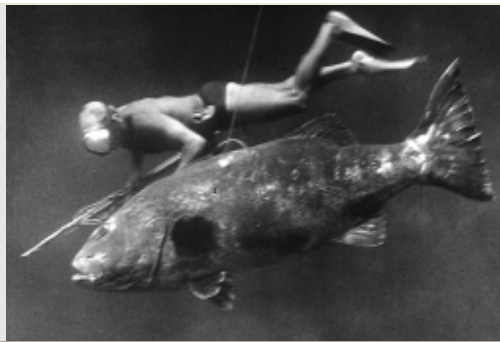
Wczoraj, dziś i jutro

Krótką historia nurkowania rekreacyjnego

Historia nurkowania rekreacyjnego, a co dopiero historia nurkowania w ogóle, mogłaby zająć wiele tomów. To przedsięwzięcie nacechowane wkładem dosłownie setek jednostek, zarówno powszechnie znanych nazwisk, rozpoznawanych także przez nienurkujących, jak i innych zapomnianych nawet przez najzagorzalszych historyków nurkowania. Wszyscy oni doprowadzili sport nurkowania do tego, czym jest obecnie.

Nurkowanie rekreacyjne jest młode, nie ma nawet stu lat, jeżeli cofniemy się do jego najwcześniejszych śladów. Zaczęło być podobne do tego, co praktykujemy dzisiaj około 40 lat temu. W czasie, gdy piszemy tę książkę, wciąż jeszcze jest z nami całkiem sporo pionierów i ludzi, którzy się przyczynili do jego powstania.

Prawdopodobnie istnieją setki punktów widzenia na najważniejsze daty w historii nurkowania rekreacyjnego. W naszym, bardzo zwięzłym podejściu, prześledzimy nurkowanie poprzez pięć przybliżonych okresów, od jego powstania jako mało znanego zajęcia, bazującego na własnoręcznie wykonanym sprzęcie, do powszechnie poważanego sportu, uprawianego każdego dnia przez miliony ludzi.



Korzenie nurkowania rekreacyjnego zaczynają się z rzadkim typem śmiałków, którzy odkrywali podwodny świat z prymitywnym wyposażeniem i nurkowali na wstrzymanym oddechu

Eklektyczne powołanie: lata 30. i 40.

Korzenie nurkowania rekreacyjnego zaczynają się z rzadkim typem śmiałków, którzy odkrywali podwodny świat ponad dekadę przed wynalazkiem automatu z otwartym obiegiem powietrza. Mimo że nurkowanie zawodowe i militarne było już mocno rozwinięte w latach trzydziestych, śmiałkowie Ci (prawie wyłącznie mężczyźni) wyprawiali się pod wodę wyposażeni w rurki zrobione z węża ogrodowego i własnoręcznie zrobionymi ościeniami, zwłaszcza na śródziemnomorskim wybrzeżu Francji i południowej części Kalifornii. W zasadzie jedynym w tych czasach dostępnym komercyjnie sprzętem były prymitywne maski i płetwy Corlieu. Jednakże nawet one były trudne do dostania, więc wielu wczesnych nurków sportowych pływało z własnoręcznie wykonanymi maskami i starym sposobem, czyli siłą swoich ramion. Podstawową motywacją wczesnych tych eksploratorów było podwodne polowanie.

Prawdopodobnie najbardziej zapamiętanym pionierem z tej ery był Guy Gilpatric, amerykański dziennikarz, który eksplorował śródziemnomorską Francję. Gilpatric napisał przypuszczalnie pierwszy podręcznik nurkowania sportowego: *The Compleat Goggler*. Gilpatric wprowadził też do nowego sportu wielu ludzi, zarówno osobiście, jak i przez swoją książkę. Pośród nich znalazł się młody ambitny człowiek nazwiskiem Jacques Cousteau.

Cousteau opowiada o swoich wczesnych latach nurkowania w swojej książce *Milczący Świat* (*The Silent World*). Cousteau wyjaśnia, że zaczynał nurkowanie jako myśliwy. W latach

30. on i jego bliscy znajomi, Frederic Dumas, Philippe Tailliez i inni, polowali z ościeniem na ryby, niektóre z nich ważyły ponad 120 kg (280 funtów). Inaczej jednak niż inni wcześni śmiałkowie, cel ich nurkowania zaczął oddzielać się od polowania. Zaczęły ich przyciągać tajemnice morza.

Osiągnąwszy szybko praktyczne ograniczenia czasu i głębokości, wynikające z nurkowania na wstrzymanym oddechu, Cousteau zaczął potrzebować źródła powietrza, jednak innego od topornych hełmów nurkowych. W *Milczącym Świecie* napisał: „Potrzebowaliśmy aparatury do oddychania, nie po to, żeby zejść głębiej, ale żeby zostać dłużej, po prostu, aby żyć przez chwilę w nowym świecie”.

Zaczęli od eksperymentów z prawie czystym tlenem i rebreatherami używanymi przez nurków wojskowych. O ile niektórzy wcześni nurkowie używali ich z powodzeniem, Cousteau i jego towarzysze szybko je odrzucili. Małe głębokości wymuszone przez oddychanie czystym tlenem nie zwiększyły za bardzo ich możliwości. Bawili się także aparatem ze skompresowanym powietrzem autorstwa Le Prieur, ale okazało się ono niepraktyczne, gdyż ciągły wypływ gazu bardzo szybko opróżniał butle. Cousteau ustalił, że to czego potrzebują, jeszcze nie istnieje.

W roku 1942 Cousteau wprowadził do naszej opowieści Emila Gagnana. Gagnan nie był nurkiem, tylko inżynierem zajmującym się sprężonymi gazami. Cousteau poprosił Gagnana o zaprojektowanie urządzenia ze sprężonym powietrzem, które dostarczałoby powietrza pod ciśnieniem otaczającej wody, ale tylko, gdy nurek chce zrobić wdech. Gagnan zrobił to i po kilku testowych urządzeniach i mniejszych modyfikacjach wraz z Cousteau opatentowali pierwszy na świecie aparat oddechowy o obiegu otwartym, akwalung (*the Aqua-Lung*). Prawdopodobnie nie mieli pojęcia, jakim dużym przełomem okaże się ich wynalazek.

Akwalung zmienił wszystko dla Cousteau i jego towarzyszy. Mając zdolność do pozostawania pod wodą, ich uwaga przeszła od polowania do nowej pasji - podwodnego filmowania i fotografii. W późnych latach 40. trafili na zmęczoną wojną publiczność, złaconą filmów, fotografii i historii o ich podwodnych odkryciach. Do roku 1950 filmy Cousteau były popularne zarówno w Europie, jak i w Stanach Zjednoczonych. Postrzeganie społeczne było takie, że nurkowanie należy do garstki ludzi o silnej motywacji. Jednak pierwsze dostawy akwalungów zaczynały być sprzedawane śmiałkom, którzy chcieli zrobić coś więcej, niż tylko oglądać to nowe powołanie. Chcieli sami to robić.

Pojawia się nurkowanie sportowe: lata 50. i wczesne 60.

Większość historyków nurkowych powiedziałoby, że nurkowanie sportowe, takie jakie znamy dzisiaj, zaczęło się około roku 1950. Karmione przez książki, filmy i fotografie o podwodnym świecie, nurkowanie zaczęło wzrastać. Otwarto pierwsze sklepy nurkowe i Aqua-Lung szybko musiał zacząć konkurować z innymi, świeżo opierzonymi producentami, wytwarzającymi własne wersje automatów z otwartym obiegiem i inne części ekwipunku.

Wypożyczenie w tamtych czasach wciąż było prymitywne w porównaniu z dzisiejszym. We wczesnych latach 50. istniały tylko dwuwężowe automaty, a na takie rzeczy, jak urządzenie do kontroli pływalności, manometry, alternatywne źródła powietrza i inne rzeczy, które my przyjmujemy za oczywiste, trzeba było czekać jeszcze ponad dekadę. Do połowy lat 50. nawet mokre kombinezony nie istniały na większą skalę, a nurkowie używali prymitywnych, przede wszystkim własnoręcznie zrobionych, suchych gumowych kombinezonów, które często jednak nie były aż tak suche. Bez kamizelki wypornościowej, twoja pływalność zmieniała się w czasie nurkowania, gdy twój mokry kombinezon (o ile go miałeś) ścisnął się oraz gdy zużywałeś powietrze. Jeżeli miałeś ujemną pływalność, twoim jedynym wyjściem było płynięcie do góry, albo zrzućcie części balastu.

Postęp w wyposażeniu przyszedł jednak szybko i w połowie lat 60. większość nurków używała automatów z jednym węzem, mokrych kombinezonów i innego komercyjnego sprzętu. Pojawiły się pierwsze manometry (ang. *SPG - submersible pressure gauge*), ale jeszcze nie były szeroko używane, a nowoczesna kamizelka wypornościowa pojawi się dopiero za pięć lat.

Szkolenie nurka było w powijakach. Większość instruktorów nurkowania w tych czasach było po prostu doświadczonymi nurkami, wielu z nich wojskowymi, którzy chcieli podzielić się swoją pasją z innymi. Nie będąc zaznajomionymi z głównym nurtem edukacji, większość z tych wczesnych instruktorów bazowało na własnych szkoleniach w wojsku, z naciskiem na

wyplenienie tych, którzy nie spełniali wymagań psychicznych lub mentalnych. Typowy kurs nurkowy w tamtej erze zawierał rozległy trening fizyczny, ćwiczenia, które nie miały w rzeczywistości zastosowania pod wodą i często tygodnie podwodnych ćwiczeń na basenie, ale, jak na ironię, brak treningu w rzeczywistym środowisku na otwartych wodach. Pierwsze teksty, takie jak „The Science of Skin and Scuba Diving” (1957), nauczały aspektów fizyki, fizjologii i innych, sporo ponadto, co potrzeba wiedzieć, aby bezpiecznie nurkować. W połączeniu z prymitywnym wyposażeniem i stosunkową nowością tego sportu w tych czasach, pod wieloma względami taki model szkolenia był dyskusyjny.

Pomimo braku wyrobienia, stopniowe zmiany stanowiły kamienie milowe w szkoleniu nurkowym. Uświadomiwszy sobie, że szkolenie jest potrzebne w celu zmniejszenia ryzyka w nurkowaniu, młoda społeczność nurkowa rozwinęła pierwsze certyfikaty. Zaczęły się od referencji wystawianych przez sklepy, ale wraz z nurkami podróżującymi dla realizacji tego sportu, pojawiła się potrzeba szerszego uznawania. Pojawiły się pierwsze narodowe (US), a potem międzynarodowe referencje, wystawiane przez *Los Angeles County, NAUI* (ang. *National Association of Underwater Instructors*) i *YMCA Scuba Program*.

W tym czasie zmienił się społeczny odbiór nurkowania. Zamiast jako zajęcie dla małej elity, społeczność zaczęła widzieć nurkowanie jako coś otwartego dla każdego, kto naprawdę tego chce. W Stanach Zjednoczonych duży wpływ miał na to zjawisko „Sea Hunt”, przelomowy serial telewizyjny z Lloydem Bridges. W roli Mike'a Nelsona, Bridges co tydzień przez półgodziny przedstawiał podwodne wyczyny, dostarczając pierwszych przelotnych wrażeń o nurkowaniu znacznej części swojej publiczności. Będąc jednym z najpopularniejszych, nadawanych w wielu stacjach telewizyjnych w Ameryce, seriali w historii telewizji, „Sea Hunt” miał ponad 200 odcinków, nadawanych w powtórkach do późnych lat 60. Nawet w dzisiejszych czasach można dostać kolekcje odcinków na DVD. „Sea Hunt” zainspirował dosłownie tysiące ludzi do nauki nurkowania i wielu liderów dzisiejszej społeczności nurkowej może powiedzieć, że dla nich wszystko się zaczęło, kiedy jako dzieci oglądali ten serial.

Jacques Cousteau, 1910-1997

W oparciu o artykuł Leslie Leaney w *Historical Diver*, jesień 1997.

Jacques Yves Cousteau urodził się 11 czerwca 1910 r. we francuskim mieście Saint Andre de Cubzac. Jego ambicją było zostać lotnikiem morskim, ale ta ścieżka kariery została brutalnie zakończona przez obrażenia w wypadku samochodowym. Po długiej rekonwalescencji został wysłany do francuskiej bazy morskiej w Tulon. Los zabrał go z powietrza i miał go właśnie postać pod wodę.

W Tulonie, podchorąży Cousteau spotyka kolegę marynarza, Philippe Tailliez, człowieka z ogromną czułością dla morza. Tailliez zasugerował, że Jacques powinien wzmocnić swoje zranione w wypadku ramiona przez pływanie. On też nakłonił Cousteau do spojrzenia pod powierzchnię Morza Śródziemnego i w niedzielny poranek roku 1936 Cousteau wszedł do morza. Połknął haczyk i przez cały rok 1937 nurkowali razem z Tailliez, używając w większości własnoręcznie wykonanych pletw, fajki, maski i harpunów. Tailliez przedstawił Cousteau Fredericowi Dumas i tych trzech Francuzów zostało przeznaczonych do zmiany kursu powrotu człowieka do morza.

Cousteau w końcu przestał wystarczać ograniczony czas zanurzenia na wstrzymanym oddechu. Nie chciał być uwięziony przez czas, ale poruszać się swobodnie i móc zostać pod wodą przez dłuższy czas. Nurkowie wojskowi używali już wtedy rebreatherów i Cousteau zabrał się za użycie tej technologii, jednak po doznaniu konwulsji po dwóch próbach, porzucił czysty tlen.

We wrześniu 1939 wybuchła II Wojna Światowa i trio zostało rozdzielone. Wojsko niemieckie najechało Francję w kwietniu 1940 r., a po dwóch miesiącach wynegocjowano zawieszenie broni. Jako część paktu, Francuska Flota Liniowa została zobowiązana do powrotu do portu. To dało Cousteau czas do rozwiązania zagadki przedłużonego czasu dennego.

Kiedy Tailliez wrócił do Tulonu, zastał Cousteau i Dumas czekających na niego. Kontynuowali swoje podwodne przygody, jednak w coraz trudniejszych warunkach. Cousteau poprosił swojego przyjaciela o zbudowanie podwodnej obudowy do 35 mm kamery, którą kupił za 25 \$ w Marsylii w sklepie ze starociami. Mając ją, zaczął nagrywać ich nurkowe przygody. Pierwszym krótkim filmem był „Par dix-huit metres de fond” („Na głębokości osiemnastu metrów”) nagrany w Morzu Śródziemnym w 1942 r. z Dumas jako podwodną gwiazdą.

Podczas niemieckiej okupacji swojego kraju Cousteau zaczął pracować dla wywiadu Francuskiej Marynarki i został zachęcony do kontynuowania swoich podwodnych eksperymentów. Dla Jacquesa szybko stało się jasne, że potrzebował regulowanego zaworu przepływu, który nie dawałby ciągłego przepływu,

ale tylko na żądanie w czasie wdechu, podobnie jak urządzenia tlenowe stosowane przez pilotów. Zaniósł ten problem do kanadyjskiego inżyniera, Emila Gagnan. Gagnan eksperymentował z odcinającym zaworem, który pozwoliłby samochodom jeździć na gaz naturalny i uświadomił sobie, że z kilkoma modyfikacjami, zawór ten rozwiązałby podwodną, oddechową zagadkę Cousteau.

Cousteau przekonał *Air Liquide*, żeby sfinansowała projekt. Kilka tygodni później Gagnan wyprodukował automatyczny podwodny regulowany zawór. Na początku roku 1943 Cousteau i Gagnan zabrali swój wynalazek nad rzekę Marne pod Paryżem, żeby przetestować go pod wodą. Działał dobrze w pozycji poziomej, ale dawał ciągły przepływ, gdy Cousteau był w pionie, natomiast można było dobrze oddychać, gdy było się do góry nogami. Badając projekt po nurkowaniu, zdali sobie sprawę, że mogą rozwiązać te problemy przez umieszczenie zaworu wylotowego blisko zaworu wlotowego. Po tej modyfikacji automat działał dobrze. Automat ten, ich drugi zmontowany, jest dzisiaj natychmiast rozpoznawany jako dwuwężowy automat, który nazwali „Aqua-Lung”. To był klucz do milczącego świata.

Pierwsze nurkowanie Cousteau z akwalungiem w oceanie zostało opisane w jego książce, *Milczący Świat*. Od tego dnia, wielu z nas doświadczyło tego uczucia podwodnej euforii. Bez wątpienia wielu nurków i kolekcjonerów zastanawiało się, co stało się z jego pierwszym akwalungiem, który z całą pewnością byłby głównym punktem każdego muzeum nurkowania. Niestety, nigdy go nie zobaczymy. W 1944 roku zbłąkany aliancki pocisk wybuchł w fabryce w Marsylii, gdzie akwalung był przechowywany, niszcząc go.

Nawet jako prezes *U. S. Divers*, kapitan Cousteau kontynuował swoje podwodne poszukiwania, dzieląc się radością i tragediami swoich przygód poprzez książki i filmy. Używając swojego sławnego statku *Calypso* jako bazy, błąkał się po świecie i stał się naocznym świadkiem podupadania nieskazitelnej przyrody, do którego wszedł pierwszy raz w 1936 r. W roku 1974 utworzył *Cousteau Society*, niedochodową grupę edukacyjną, która dostarczyła jej sympatykom skupiony na środowisku cel i zjednoczoną tożsamość.

Cousteau ożenił się w 1937 roku z Simone Melchoir. Wychowali dwóch synów, Jean-Michela, urodzonego w 1938 r. i Philippe'a, urodzonego w 1940 r. Po śmierci Simone, ożenił się z Francine, która prowadzi teraz *Cousteau Society* i przyrzekła kontynuować jego dzieło. Jego syn założył niedochodowy Jean-Michel Cousteau Institute, żeby dalej propagować cele, które dzielił z ojcem.

Okres dojrzewania nurkowania sportowego: połowa lat 60. do połowy lat 70.

Połowa lat 60. do połowy lat 70. to przejściowe lata dla sportu. Okres ten odznaczał się rozwojem i akceptacją kluczowych części ekwipunku. Na przykład kamizelki wypornościowe przyszły w formie nadmuchiwanej chomąta, które mogło być napętnione ustami (przez cienki wężyk) albo przez dołączony pojemnik z CO₂. Mimo że był niewygodny w użyciu, wielu nurków (zwłaszcza jaskiniowych) zauważyło zalety podwodnej kontroli pływalności. Pierwszą kamizelką wypornościową z węzem do napętniania o dużym przekroju i przymocowaną butlą z powietrzem był francuski Fenzy, który szybko doprowadził do tego, że praktycznie wszyscy inni producenci zaczęli oferować podobne kamizelki napętniane wprost z automatu nurkowego. Po raz pierwszy nurkowie mogli utrzymywać zerową pływalność w czasie nurkowania przez naciśnięcie przycisku, co znacznie zmniejszyło ogólny wysiłek fizyczny. Dzięki temu, napętniane niskim ciśnieniem kamizelki wypornościowe otworzyły nurkowanie znacznie większej części społeczeństwa.

W tym samym czasie, wśród młodej społeczności nurkowania jaskiniowego pojawiły się alternatywne źródła powietrza (dodatkowy drugi stopień). Ich powstanie przypisuje się nurkowi jaskiniowemu Halowi Watts, który podobno po prostu założył nowy port w pierwszym stopniu automatu i przykręcił do niego nowy wąż z drugim stopniem. Musiało minąć jeszcze ponad dziesięć lat, zanim zostało to uznane za standardowe wyposażenie dla wszystkich nurków.

W tym okresie powstały mierniki dekompresji (ang. *decompression meter*), mechaniczni prekursorzy komputera nurkowego. Mimo że dostępne już były w roku 1959, dopiero teraz zaczęły być szeroko stosowane, choć większość nurków wciąż używało tablic. Manometr, wcześniej uznawany za instrument opcjonalny, został zaadoptowany jako standardowe wyposażenie, razem z głębokościomierzem, zegarkiem do mierzenia czasu dennego i kompasem. Pojawiły się też pierwsze nowoczesne suche skafandry (o zmiennej objętości), co umożliwiło nurkowanie w umiarkowanym komforcie w wodach zimniejszych niż do tej pory.

Mimo postępu w wyposażeniu, opinia społeczeństwa o nurkowaniu nie zmieniła się dużo. Większość ludzi postrzegała nurkowanie jako coś dla odważnych, odpornych sportsmenów (mężczyźni wciąż przeważali), akceptujących ryzykowne przygody i niebezpieczeństwo. Jednym z powodów był fakt, że szkolenie nurkowe nie nadążało za technologią. Postęp sprzętu czynił realnym nurkowanie dla szerszej grupy ludzi, a szkolenie wciąż kładło nacisk na kwalifikacje fizyczne i odsiew. Mimo że aparaty dwuwężowe należały do przeszłości, wiele nauczanych technik było wciąż na nich opartych, jak na przykład oddychanie wspólnie z partnerem z jednego ustnika.

W roku 1966 zaczęło się to zmieniać, choć potrzeba było prawie 10 lat, aby edukacja dogoniła technologię. W roku 1966 John Cronin, bardzo dobrze prosperujący instruktor i przedstawiciel firm produkujących sprzęt nurkowy oraz Ralph Erickson, trener pływania i instruktor nurkowania, utworzyli nową organizację szkoleniową, PADI (ang. *Professional Association of Diving Instructors*). Poszukując nowego poziomu profesjonalizmu, Cronin i Erickson użyli PADI, aby wprowadzić do nurkowania praktyki z głównego nurtu edukacji i biznesu. Prowadząc centrum treningowe, Erickson był pierwszą osobą, która przelała na papier formalne cele szkoleniowe dla międzynarodowego programu nurkowego. W tamtych czasach mało kto zauważył, co robi ta mała, początkująca organizacja szkoleniowa, ale 15 lat później mała kulka śniegu, którą Cronin i Erickson rzucili w dół zbocza, zapoczątkowała lawinę.

Nurkowanie dorośleje i idzie do głównego nurtu. Późne lata 70. do połowy 80.

W późnych latach 70. było już nurkowanie rekreacyjne, takim, jakim znamy je dzisiaj. W połowie lat 70. pojawiły się pierwsze kamizelki wypornościowe w stylu jacketu. Szybko unowocześniane i akceptowane doprowadziły do tego, że w połowie lat 80. wyparty chomąta prawie na całym świecie. W roku 1983 zadebiutował Orca Edge, zostając pierwszym szeroko stosowanym i akceptowanym komputerem nurkowym. Większość społeczeństwa nurkowego zaakceptowało alternatywne źródła powietrza (dodatkowy drugi stopień) jako standard albo co najmniej jako bardzo preferowaną opcję na dzielenie się powietrzem w sytuacji awaryjnej. Wytrzymały i estetycznie przyjemny silikon zaczął zastępować łatwo psującą się i brzydką neoprenową gumę w maskach i innym wyposażeniu.

Do 1985 zwiększyła się dostępność kolorów, stylów i rozmiarów, wraz z wytwórcami oferującymi praktycznie wszystkie kolory tęczy. Wyposażenie nie tylko stawało się lepsze, ale zaczęło też ładniej wyglądać. Nurkowanie przestało być brzydkie.

W czasie, gdy sprzęt wciąż się zmieniał, zmiany w szkoleniu wprowadzone przez Cronina i Ericksona zaczęły radykalnie kształtować nurkowanie. Szybko imitowane przez niektóre konkurencyjne organizacje, system szkolenia PADI porzucił nieprawidłowy, naucz-się-wszystkiego-co-wiadomo-o-nurkowaniu, pojedynczy kurs ze skomplikowanymi podwodnymi ćwiczeniami, bez zastosowań w czasie prawdziwego nurkowania. Podejście PADI podążało za współczesnym projektem szkoleniowym, dzieląc szkolenie na stopnie i postępujące po sobie kursy. Profesjonalnie zaprojektowane systemy szkolenia, w pełni zintegrowane z podręcznikami, materiałami audiowizualnymi, egzaminami i innymi materiałami zastąpiły arbitralnie wybrane teksty, nudne wykłady i wymyślone egzaminy.

Szkolenie nie akcentowało już długich tygodni ćwiczeń basenowych, ale zamiast tego przeszło na umiejętności nurkowania w prawdziwym świecie, przechodząc szybciej na otwarte wody, gdzie uczyłeś się i praktykowałeś prawdziwe nurkowanie pod nadzorem instruktora. Nauczanie nurkowania zaczęło być bardziej efektywne, niezawodne i szybsze oraz bardziej zabawne.

Udoskonalenia w sprzęcie nurkowym idące w parze z rewolucją w szkoleniu szybko zmieniło społeczne postrzeganie nurkowania. To już nie był sport dla 'He-Mana' walącego się pięścią w pierś. Kobiety i dzieci zaczęły być wzrastającym odsetkiem szkolonych i coraz więcej ludzi poniżej 20 lat i powyżej 60 lat zostawało nurkami. Główne media zaczęły pośrednio i bezpośrednio pokazywać nurkowanie, a ich przekaz był taki sam: Nurkowanie jest super - spróbuj go.

Duży wzrost uczestników nurkowania napędził rozwój sprzętu, a także wzrost liczby i ekspansję ośrodków nurkowych, od garstki do setek. Pojawiły się łodzie nurkowe 'liveaboard', dając nurkom więcej czasu pod wodą, w czasie gdy podróżują. Samowystarczalne i umiające

pozostawać tygodniami na morzu, te wyspecjalizowane łodzie dostarczyły nowe, oddalone miejsca nurkowe, poza zasięgiem operowania baz na brzegu.

John J. Cronin, 1928-2003

- Współzałożyciel, oraz prezes zarządu PADI
- Były prezes zarządu oraz prezes US Divers
- Prowadził walkę przeciwko antynurkowemu prawodawstwu Okręgu Los Angeles w latach 70
- Były prezes DEMA
- Wydawca *Undersea Journal*
- Zdobywca „Reaching Out Award” International Dive Industry
- Powołany do „International Scuba Diver Hall of Fame” w 2002

Początki

„Pracowałem dla New York Central Railroad” jako *gandy dancer*. To ktoś, kto kładzie tory - termin pochodzi z Indii. Zawsze dużo polowałem i łowiłem ryb, więc byłem dobrym klientem marketu sportowego Goldstocks w północnym Nowym Jorku. W końcu zatrudnili mnie tam w dziale handlowym. Wszedł klient, nazwiskiem Lenny Jones i chciał kupić 'Aqua-Lung'. Zapytałem „Co to, u diabła, jest Aqua-Lung?”.

Powiedział, „Możesz to włożyć na siebie i zejść pod wodę”. Zapytałem go „Po co?”.

Lenny dał mi broszurę Arua Gun Company z Yonkers, która została wykupiona w roku 52. albo 53. przez US Divers. Powiedział mi, że muszę kupić trzy, żeby zostać dealerem. Powiedziałem nie i się rozłączyłem. Ale Lenny wciąż mnie męczył, więc w końcu kupiłem trzy. Lenny kupił sobie jeden i nauczył się nurkować. Ciągłe chciał, żebym z nim zanurkował. W międzyczasie Goldstocks wciąż mnie pytało, co zamierzam zrobić z pozostałymi dwoma. Więc kupiłem jeden na wiosnę 1954, zrobiłem własny kombinezon, przeczytałem 16 stron broszurki, jak nurkować, a Lenny dał mi 15 minutową instrukcję. Potem poszliśmy nad Lake George i opadliśmy 116 stóp wzdłuż ściany na moim pierwszym nurkowaniu. Przez to, że byliśmy w pobliżu ściany, dawał uczucie, jakbyśmy byli w windzie.”

□ US Divers

„Grupa piętnastu z nas wylądowała nurkując w jeziorach i od czasu do czasu w oceanie przy Massachusetts i Rhode Island. Zaczęliśmy prowadzić nasz własny kurs, ośmiotygodniowy program z dwoma sprawdzającymi nurkowaniem. Ja szkoliłem (bez certyfikatów, nie było ich wtedy) poprzez klub, który mieliśmy w Goldstocks. Był to środek do promocji sportu i sprzedaży wyposażenia. Zbudowaliśmy naprawdę spory biznes, który w końcu przeszedł w sprzedaż hurtową, którą prowadziłem. W końcu roku 1959 byliśmy drugim co do wielkości rachunkiem US Divers.

W roku 1960 US Divers zatrudniło mnie, żebym utworzył w Nowym Jorku biuro zwane Aqua Lung Center i prowadził tam kursy. Zaprzyjaźniłem się z facetem pracującym w magazynie w Connecticut jako przedstawiciel działu obsługi klienta. Nazywał się Paul Tzimoulis. Trochę razem nurkowaliśmy na lokalnych wrakach.

Mieli kłopoty na Środkowym Zachodzie, więc w 1961 poprosili mnie, żebym pojechał do Chicago i został przedstawicielem handlowym na Środkowy Zachód. Na bankiecie organizacji nurkowej spotkałem Ralpha Ericksona i zostaliśmy bardzo dobrymi przyjaciółmi. Zaczęliśmy dyskutować o tym, że sposób, w jakim nauczane było nurkowanie, był zły - oni przepędzali ludzi. Brali takiego lekarza albo prawnika i kazali mu przepłynąć Jezioro Michigan, zanim zaczęli uczyć go nurkowania. To o co chodzi, to nauczyć ludzi, jak nurkować bezpiecznie oraz zrobić to tak łatwo, jak tylko można. Ralph się zgodził. W któryś z tych dni, zdecydowaliśmy, że powinniśmy zrobić coś razem.

Ludzie byli przepędzani z nurkowania, a przecież to była złota era promocji. Mike Nelson wciąż miał powtórki, Cousteau był blisko szczytu popularności, ale szkolenie było bardzo nieprzyjemne i niewygodne. Powodem, dla którego nurkowie wtedy byli takimi purystami było to, że musieli znieść prawie licencjat z nauk ścisłych”.

Narodziny PADI

„Chciałem zrobić kurs z NAUI. W personelu Western Illinois University w Macomb był Bob Clough i go zorganizował. Poprosił mnie o wygłoszenie wykładu o sprzęcie i zorganizowanie, żeby US Divers dofinansowało bufet. Mój szef się zgodził. Ale ludzie z NAUI nie pojawili się, był jakiś problem z brakiem komunikacji. Byłem zażenowany. Trzydziestu ludzi zarezerwowało i wynajęło pokoje hotelowe. Ja miałem pokój bankietowy. Sięgnąłem po telefon i zadzwoniłem do Ralpha, a potem złapałem samolot, żeby się z nim spotkać. Kupiłem butelkę szkockiej i powiedziałem mu, „Zawsze mówimy o tym, co zrobimy, weźmy się w garść i zróbmy to”. Siedzieliśmy tam całą noc, wypiliśmy całą butelkę i kreśliliśmy nasze plany.

Zebrałiśmy grupę instruktorów ze Środkowego Zachodu, siedzieliśmy w hotelu przez dwa dni i naszkicowaliśmy ośmiotygodniowy kurs. Facetem, który to rozwiązał, był Ralph. Więc zostaliśmy

partnerami. Ja zarządzałem, a on pracował nad częścią naukową. Według Ralpha nazwaliśmy się PADI, bo pobiłem go w piciu i chciałem mieć Irlandzki akronim. Szukaliśmy czegoś chwytliwego i PADI było do tego urodzone. Ponad wszystkim jednak, zamierzaliśmy być profesjonalni.

Wyczarowaliśmy nazwę 'Undersea Journal' dla publikacji. Splagiatowałem tę nazwę z 'Investor's Journal'. Był drukowany w sierocińcu. Opłaciłem drukarza, dałem mu butlę gorzały i przyniosłem dzieciom maski i płetwy z odrzutów.

Naszą pierwotną inwestycją w PADI było 30\$. Mój szef w US Divers sądził, że to strata czasu, ale jak długo nie przeszkadza mi to w pracy i test trzymany jest z dala od jego firmy, wszystko jest OK. Rozplanowałem, jak będziemy certyfikować ludzi. Składki były 15 dolarów rocznie, za kartę liczyliśmy 2\$. Zaczęło to naprawdę działać około roku 1967, umacniając się na Środkowym Zachodzie, bo podróżowałem przez siedem stanów. Zrobiłem biuro w suterenie mojego domu w Niles w Illinois. W czasie weekendów wystawiałem karty certyfikatów, a ponieważ jestem dyslektykiem, było od cholery źle napisanych nazwisk. W końcu zatrudniłem sekretarkę na część etatu.

W 1968 powiedziałem do Ralpha „Musimy zarobić jakieś pieniądze. Zrobmy festiwal filmowy”. Złożyliśmy coś o nazwie 'Undersea Forum' (Podwodne Forum) w Lane Tech High School. Prelegentami byli głównie ludzie ze Środkowego Zachodu. Sprowadziliśmy też trochę ludzi z innych miejsc i zarobiliśmy dwa tysiące dolarów. To był pierwszy raz, kiedy mieliśmy jakiegokolwiek pieniądze.

W roku 1969 byłem poproszony o pojechanie na Zachodnie Wybrzeże, żeby zostać dyrektorem sprzedaży i marketingu US Divers. Moim następcą w Chicago był Jim Mackey Smith. Kumpłował się on z Harry Shanksem, więc następnego roku zrobili kolejny z naszych festiwali, nazywając go 'Our World Underwater' (Nasz Świat Podwodny).”

PADI przenosi się do Kalifornii

„Kiedy musiałem się przenieść, pozostawiłem PADI z Ralphem. W końcu roku 1969 było zamieszanie w US Divers. Zwolnili prezesa Jima Carolla. A ja właśnie wziąłem kredyt hipoteczny na nowy dom, trzydzieści pięć tysięcy dolarów, więcej pieniędzy, niż kiedykolwiek widziałem w swoim życiu. Co to był za błąd.

Nigdy nie uczyłem się w szkole, ale z jakiegoś powodu zrobili mnie wykonawczym wiceprezesem i dyrektorem generalnym. Nie potrafiłem nawet przeczytać zestawienia finansowego. Mieliśmy dwudniowe spotkanie i powiedziałem zarządowi, że nie mam pojęcia co się dzieje. Odpowiedzieli „Wiemy. Wykombinujesz to.” Zestawiłem więc tam dobry zespół i po prostu bardzo dobrze nam poszło. Rozszerzyliśmy się na nurkowanie zawodowe, straż pożarną i wyposażenie zabezpieczające.

W końcu roku 1971 Ralh powiedział „Jestem zawałony szkoleniem, trenowaniem i moim zespołem, więc nie mogę zwracać sobie głowy PADI.” Odpowiedziałem więc „Przenieś to tutaj”. Założyłem biuro na 17. ulicy w Costa Mesa i zatrudniłem dziewczynę nazwiskiem Junie Nelson, która była pierwszym pracownikiem PADI. Byłem bardzo zajęty w US Divers i tylko nadzorowałem PADI. Więc zatrudniłem Nicka Icora.

Nick pracował w US Divers, ale jego pierwszą miłością było nauczanie. Szukałem kogoś do pisania z Ralphem. Nick był menadżerem i przez trzy lata pracował nad podręcznikami. Rozrastaliśmy się, w tym czasie byliśmy postępowi i wszystkim się podobało nasze podejście.

Karty PIC były wynalazkiem PADI, który dał nam ogromny impuls. To był pomysł Paula Tzimulisa. Powiedział, „Organizacja, która będzie miała karty ze zdjęciami na nich, naprawdę zacznie mieć jakiś wpływ.”. Zapytałem go, jak to robi, a on odpowiedział „Nie wiem.” Zapytałem więc instruktorów, a oni powiedzieli „Jeżeli myślisz, że mam zamiar uganiać się za dziesięcioma ludźmi po zdjęcia, jesteś szalony.” Więc zaprojektowałem kopertę PIC (PIC Envelope). Daliśmy ją instruktorom. Instruktor musiał napisać na niej swój numer, podpisać ją i dać ją studentowi do wystania. To był dla nas duży zastrzyk wiary we własne siły.”

Ludzie PADI

„Po Nicku przyszła Sonan Whisnand. Była bardzo zorganizowana. Sonny zarządzała wszystkimi dziewczętami i była świetną adiutorką. Wystawiała nasze spektakle i robiła wiele w naszych codziennych stosunkach z przemysłem i społeczeństwem. Tak naprawdę była dyrektorem operacyjnym. Kiedy odszedł Nick, kierownikiem szkolenia został Dennis Graver. Dennis był świetnym emisariuszem PADI. Był płodnym pisarzem i blisko współpracował z Ralphem. Był dobrym mówcą i w zasadzie był naszym pierwszym ambasadorem. Naprawdę pomógł we wzroście PADI. W późnych latach 70. pojawili się Al Hornsby, Jeff Nadler, Aleks Brylske i wszyscy młodzi.

Ralph Erickson

- Współzałożyciel PADI (z Johnem Coninem)
- Opracował koncepcję kursów specjalistycznych
- Pionierski nurek i instruktor w rejonie Chicago
- Przez 24 lata trener pływania i piłki wodnej na Loyola University
- Został wprowadzony do nurkowania w latach 50. jako ratownik w Chicago Park District, po tym, jak był wojskowym spadochroniarzem w czasie II Wojny Światowej.

„Nigdy nie byłem szkolony do nurkowania. Tak naprawdę nie wiem, dlaczego nie pozabijaliśmy się, kiedy zaczęliśmy nurkować po raz pierwszy.

Książka Beva Morgana była najfantastyczniejszą, jaka kiedykolwiek czytałem i z niej nauczyłem się najwięcej. Powiedziałem Bevowi, „Nauczyłem się nurkować z twojej książki.”. Powiedział „Chciałbym dostać ćwierć dolara za każdego, który to powiedział.”

Jak wielu instruktorów w tych czasach, Ralph wydawał własne certyfikaty: 'Erickson Underwater Diving School'.

„Napisałem w 1961 książkę dla Demone Manufacturing Company, która była trochę podobna do książki Morgana. Mieli zamiar sprzedawać ją razem z ich automatami, ale wypadli z biznesu, zanim książki zostały sprzedanych. Używałem ich w czasie swoich szkoleń i robiłem tak do 1961, kiedy przeszedłem przez pierwszy kurs NAUI w Houston. Było nas 65, a numer mojego instruktora w NAUI to 35.

Byłem jedynym certyfikowanym instruktorem w rejonie Chicago, poza YMCA. Chciałem na tym zarobić i podnieść poziom. NAUI nie pozwoliło nam mieć kursów szkolenia instruktorów na Środkowym Zachodzie. Odbywały się one albo na wschodnim, albo zachodnim wybrzeżu. Tak było przez cztery, czy pięć lat.”

Założenie PADI

„John Cronin (wtedy przedstawiciel handlowy US Divers na środkowy zachód) zadzwonił do mnie i powiedział, że będą mieli kurs NAUI na Western Illinois University. Poprosili go o wykład o sprzęcie. Załadował na swój samochód cały ten sprzęt i pojechał tam, dwupasmową drogą z wszystkimi tymi farmerami jadącymi 20 mil na godzinę. To była najbardziej przerażająca jazda na świecie. John zadzwonił do mnie stamtąd. Kurs został odwołany, nikt nie przyszedł.”

Cronin zorganizował spotkanie z Ericksonem.

„John wszedł, stanął cały czerwony na twarzy, i powiedział, „Już czas, już czas.”.

Powiedziałem „Czas na co?”.

„Czas na utworzenie organizacji.”

Powiedziałem, „W porządku John, potrzebujemy nazwy.”.

John odpowiedział, „Ralph, Mam ... jakiej nazwy użyjemy, o ile będzie w niej słowo 'profesjonalny'. Natychmiast nadstawiłem uszu. Jestem profesjonalnym nauczycielem, nareszcie mówimy do rzeczy. Powiedziałem więc, „Ok. Professional Association of Dive Instructors”, a on powiedział „PADI”, Zawsze go oskarżałem, ponieważ był Irlandczykiem, o nazwanie tego PADI. Powiedział, że jeżeli ja bym wybierał, musiałoby być to szwedzkie, jak Viking, albo coś podobnego.”

Erickson zaprojektował logo PADI z mechanicznymi narzędziami do kreślenia, ale potrzebowali artysty, żeby narysował nurka.

„Więc mieliśmy lunch z facetem, powiedzieliśmy mu, co potrzebujemy i spytaliśmy go, ile by nas to kosztowało. Facet popatrzył na nas i spytał, „Myślicie, że mógłbym zamiast tego dostać kartę instruktorską?”.

I tak powstało pierwsze logo PADI. Dwa lata później zadzwonił do nas jakiś instruktor PADI, który powiedział, że napisaliśmy źle 'professional'. Popatrzyliśmy na to i okazało się, że opuściłem literę E w słowie 'professional'. To był jedyny sposób, żeby pasowało, a oni używali go przez dwa lata. Więc musieliśmy mieć zrobioną tą rzecz profesjonalnie.”

Postępy

„Musieliśmy mieć stopnie opisujące postęp ludzi. Potrzebowaliśmy certyfikowanego nurka, zaawansowanego nurka i kurs powyżej tego, który zamierzaliśmy nazwać starszym nurkiem (senior diver). My mieliśmy mieć mistrza nurkowego, asystenta nurkowego i instruktora.” John pokazał to Frankowi Scalli, a Frank powiedział „Nie możesz użyć 'mistrza nurkowego', ponieważ marynarka ma mistrza nurkowego (master diver)”. Powiedziałem, „Masz rację, po prostu zmienimy kolejność i nazwiemy to 'divemaster' ”, co zmieniło złożoność całej rzeczy.

Słowo 'divemaster' było w pobliżu, ale jeszcze nigdy go nikt nie użył i musiałem ustalić dla niego kryteria. Myliliśmy się. Powinniśmy zrobić mistrza nurkowego, a divemastera wsadzić po nim.”

Kursy specjalistyczne

„W tym czasie miałem rozplanowane specjalizacje: nurkowanie wrakowe, nocne, poszukiwanie i wydobywanie. Miałem nazwy, ale nie nazywałem ich specjalizacjami. Nick Icorn wziął to określenie i nawet

je specjalizacjami, a Dennis Graver rozwinął je trochę bardziej.

W pływaniu masz stopnie, mają je Skauci, ma je łyżwiarstwo. Prawie każda organizacja ma drabinkę i to jest naturalna rzecz, nie potrzeba do tego za dużo używać mózgu. W świecie nurkowym bardzo to wszystkich podnieciło. Niemniej dopiero w roku 1980 zaczął działać zaawansowany program. Tak długo zajęło wprowadzenie tych rzeczy w idee i umysły instruktorów nurkowych.”

Dopóki nie było PADI, wystarczyło tylko jedno nurkowanie na wodach otwartych, żeby być certyfikowanym. Erickson podniósł standard do pięciu.

„W 1971 i 72 miałem grupę studentów z Loyola University i robiłem z nimi dwa nurkowania. Podszedł do mnie osiemnastoletni dzieciak, z parą przyciętych spodni i sprzętem nurkowym i powiedział „Zgubiłem partnera.”. Zszedłem na 60 stóp i znalazłem jego partnera leżącego na dnie na plecach. Oczywiście był martwy.

Poszedłem więc do domu i pomyślałem o tym. Od tego momentu ma być pięć nurkowań na otwartej wodzie, żeby być certyfikowanym. Nie będę robił więcej 'nurkowań sprawdzających', będę robił nurkowania szkoleniowe. Tak więc PADI nazywa je dzisiaj nurkowaniami szkoleniowymi.”

□ Zaawansowany kurs

„Ten facet zadzwonił do mnie (zarabiał rocznie 350.000\$) i powiedział, 'Robięm twój kurs trzy lata temu i nigdy nie nurkowałem (na otwartych wodach). Mogę to zrobić teraz?'. Powiedziałem 'Jasne...ale teraz wymagam pięciu nurkowań.' Spytał mnie, 'Ile to będzie kosztować?', powiedziałem '100 dolarów' i wstrzymałem oddech...odpowiedział 'OK'.

Tak więc zrobiliśmy pięć nurkowań i powiedziałem, 'To jest twoja karta, jesteś certyfikowany'. Spytał mnie 'Co dalej?'. Odpowiedziałem 'Advanced Diver'. (W tym czasie PADI istniało już całkiem długo, ale nie mieliśmy programu Advanced Open Water Diver.) Powiedział, 'Kiedy mogę zacząć?'.

Spotkaliśmy się następnego dnia na Evanston Beach i musieliśmy przejść około 50 jardów do brzegu wody. Musiałem teraz wymyślić coś dla Advanced Open Water Diver, prawda? Więc z miejsca coś wymyśliłem. Powiedziałem, 'Będziemy robić naturalną nawigację. Mamy te zmarszczki na piasku, są równoległe do brzegu. Popłyniesz przez 10 z nich, następnie podążysz wzdłuż nich na prawo i tak samo wrócisz do brzegu.

Kiedy on to robił, ja myślałem 'Co dalej?'. Wrócił i spytał 'Co dalej?'. 'Kółko'. Zrobił kółko i wrócił z tym samym pytaniem, 'Co dalej?'. 'Trójkąt'. 'Co dalej?'. 'Serię U'. Co było najlepszą rzeczą, jaką kiedykolwiek zrobiłem - wzór U, ponieważ wszyscy go potrzebują do poszukiwania i wydobywania. Na drugim nurkowaniu zrobiliśmy nawigację z kompasem, a trzecie nurkowanie w nocy. Czwarte było nurkowaniem głębokim w 90 stopowym rowie w Racine Quarry, a piąte było wrakowe. Spytał 'Co dalej?'. Wyeliminowaliśmy 'Senior Diver' (ponieważ NASDS miało 'senior diver') i poszliśmy wprost do divemastera, co było złą rzeczą. Ale to właśnie zrobiliśmy. Skończył kurs Divemastera i powiedział 'Co dalej?'. Odpowiedziałem 'Instruktor'. Więc przeszedł przez kurs instruktorski i został instruktorem.

Aż do około 1970 tylko nas dwóch prowadziło PADI. Byliśmy solidni od pierwszego dnia. Zrobiliśmy festiwal filmowy w Lane Tech School (Chicago) i przyjechał na niego Cousteau. Kiedy John przeniósł się do Kalifornii, nie zrobiliśmy go więcej. A wtedy Harry Shanks wziął go do YMCA i zrobił go 'Our World Underwater'.”

W roku 1969 Cronin został dyrektorem sprzedaży US Divers i przeniósł się do Kalifornii. Centrala PADI przeniósła się wraz z nim, a Nick Icorn został zatrudniony jako ogólnokrajowy kierownik szkolenia. „W tym czasie nauczałem w Loyola i szkoliłem nurków. Zrozumiałem, że jedyną drogą, żeby to wzrastało, jest przeniesienie do Kalifornii.”

Undersea Journal

„Napisałem cały pierwszy 'Undersea Journal', umieszczając pod artykułami fałszywe nazwiska. Jedno z nich było nazwiskiem panińskim mojej matki i zadzwonił do mnie facet z Kanady, który powiedział, 'Nazywam się tak samo i mogę być krewnym'. Wyrzuciłem to do kosza tak szybko, jak mogłem.

Nurkowanie jest zabawą. Wzięliśmy to z 'Psychology Today'. Zdefiniowali tam, co to jest zabawa i pokazali, czym jest. Dużą rzeczą, jaką pokazali, było, że bierzesz całą rzecz i dzielisz ją na jak najprostsze kawałki. Jeżeli skończysz kawałek, idziesz do następnego i zrobisz go też, to wtedy masz zabawę.

Cronin zmienił moje życie, mówiąc 'profesjonalnie' i 'świat'. Gdyby nie to...wszystko, co dla mnie miało znaczenie to dolna trzecia część jeziora Michigan i zachodnie wybrzeże.”

Nurkowanie rekreacyjne dorośleje i rodzi nurkowanie techniczne. Późne lata 80., aż do dzisiejszych czasów..

Od czasu gwałtownego wzrostu liczby nurkujących we wczesnych latach 80., nurkowanie stale wzrasta i ewoluuje. Trwa postęp w sprzęcie i technologii. Najlepszym tego przykładem jest komputer nurkowy, który stał się bardziej niezawodny, kompaktowy i *tańszy*. W dzisiejszych czasach w większej części świata bardziej niezwykłym jest znalezienie nurka bez komputera niż z komputerem.

W roku 1988 PADI wprowadziło Planer Nurkowań Rekreacyjnych (ang. *RDP - Recreational Dive Planner*), pierwsze tabele nurkowe zaprojektowane wyłącznie dla nurków rekreacyjnych, bez przystanków dekompresyjnych. Tablice US Navy, używane przez nurków sportowych od lat 50., poszły w zapomnienie. W dzisiejszych czasach tabele US Navy pozostają w powszechnym użyciu przez nurków wojskowych i naukowych, ale rzadko przez nurków rekreacyjnych. W roku 2005 PADI wprowadziło wersję eRDP, pierwsze elektroniczne tabele nurkowe.

Szkolenie nurkowe też ewoluowało. Dodanie do systemu szkolenia taśm wideo we wczesnych latach 90. pozwoliło studentom na uczenie się podstawowej wiedzy w domu. Od tamtej pory płyty DVD, CD-ROM, a teraz szkolenie oparte na sieci internetowej pozwoliły na planowanie szkolenia wygodniej niż kiedykolwiek. Przez wyeliminowanie potrzeby długich wykładów, te niezależne narzędzia nauczania pozwalają dzisiejszym instruktorom na przeznaczenie większej ilości czasu na osobiste potrzeby studentów nurkowania.

We wczesnych latach 90., napędzane, jak już przeczytałeś, przez publikację *aquaCorp*, pojawiło się nurkowanie techniczne, jako nowy, odrębny dział nurkowania sportowego. Mając korzenie w nurkowaniu jaskiniowym, nurkowanie techniczne przemawiało do tej odmiany nurków, którzy zostawili za sobą nurkowanie rekreacyjne - śmiałków chcących zaakceptować większe ryzyko. Nurkowanie techniczne, początkowo kontrowersyjne, zastosowało ponownie i unowocześniło istniejące technologie nurkowe, aby zabrać nurków ponad limity rekreacyjne. Do roku 1995, kontrowersje te osłabły. Czy to się podoba, czy nie, nurkowanie techniczne pozostało tutaj.

W czasie, gdy piszemy tę książkę, większość społeczeństwa postrzega nurkowanie rekreacyjne jako popularną działalność, otwartą dla każdego, kto jest zainteresowany i może spełnić wymagania zdrowotne. Liczba nurków wzrasta w dosłownie wszystkich częściach świata. Nurkowanie techniczne też wzrasta, aczkolwiek wolniej. Najprawdopodobniej pozostanie bardzo widoczną i wpływową mniejszością w społeczności nurkowania sportowego.

Twoja przyszłość w nurkowaniu: kariera.

Praktycznie wszyscy, którzy kochają nurkowanie, co najmniej myślą o zrobieniu w nim kariery. Istnieje naturalny urok w tym, żeby zarabiać na życie czymś, co robiłbyś za darmo, a nurkowanie wydaje się tu pasować. Oczywiście prawda jest taka, że nawet w nurkowaniu, praca jest pracą. Profesjonalna kariera nurkowa jakiegokolwiek rodzaju na pełen etat albo na część, jest poważnym zobowiązaniem i zdarza się, że nie są to gry i zabawy, a duża część pracy może nie być związana z nurkowaniem.

Z drugiej strony, wielu ludzi, którzy znaleźli częściowy albo pełnoetatowy zawód w nurkowaniu lub blisko nurkowania, powie ci, że nie zamieniliby go na jakikolwiek inny. Satysfakcja i plusy przytłaczająco przeważają złe strony i minusy. Jak mówi nalepka na zderzak, „Zły dzień nurkowania jest lepszy od najlepszego w biurze”.

Ponieważ istnieją dosłownie tysiące zawodów, które niebezpośrednio wiążą się z nurkowaniem albo dotyczą nurkowania od czasu do czasu, przyjrzyjmy się siedmiu zawodom, które bezpośrednio wymagają nurkowania. Znaczy to, że w tych zawodach znaczną część czasu spędzisz nurkując.

PADI Open Water Scuba Instructor

Ze wszystkich częściowo albo pełnoetatowych karier nurkowych, prawdopodobnie najbardziej popularną jest zostanie instruktorem nurkowania rekreacyjnego. Spośród nich, PADI Open Water Scuba Instructor (OWSI) jest najbardziej respektowany i wymagający. Obowiązkami PADI OWSI jest szkolenie nowych nurków oraz szkolenie certyfikowanych nurków, gdy przesuwają się do góry w Systemie PADI. Jest też odpowiedzialny za doradzanie studentom, pomaganie w inteligentnym zakupie wyposażenia i wyborze podróży nurkowych. Ważną częścią tej pracy jest utrzymywanie zaangażowania nurków, przez pomaganie w przezwyciężaniu przeszkód w ich pragnieniach zrobienia i nauczenia się więcej pod wodą.

Jednym z uroków nauczania nurkowania rekreacyjnego jest to, że zarabiasz, w czasie gdy dzielisz się tym, co kochasz. Nieważne, jak wiele razy uczyłeś początkującego, zawsze jest wewnętrzna satysfakcja, gdy widzisz kogoś pierwszy raz oddychającego pod wodą. Podobnie, nieważne ile razy prowadziłeś kurs PADI Rescue Diver, jest równie satysfakcjonujące widzieć, jak wraz z praktyką wzrasta pewność siebie studentów i jak opanowują umiejętności potrzebne do poradenia sobie z sytuacją awaryjną.



Jednym z uroków nauczania nurkowania rekreacyjnego jest to, że zarabiasz, w czasie gdy dzielisz się tym, co kochasz. Nieważne, jak wiele razy uczyłeś początkującego, zawsze jest wewnętrzna satysfakcja, gdy widzisz kogoś pierwszy raz oddychającego pod wodą

Oprócz satysfakcji płynącej z nauczania, masz także możliwości dalszego szkolenia się i rozwijania swojej kariery. Możesz zdobyć kwalifikacje do nauczania kursów specjalistycznych i piąć się w górę przez kolejne stopnie: PADI Master Scuba Diver Trainer, IDC Staff Instructor i Master Instructor. Profesjonaliści PADI najbardziej doświadczeni i na najwyższym poziomie mogą zostać PADI Course Director, który ma kwalifikacje do nauczania instruktorów.

Jeżeli jesteś zainteresowany pracą w ośrodku albo centrum nurkowym, PADI OWSI jest twoim biletem. Mimo że praca jako divemaster jest najbardziej powszechnym obowiązkiem w ośrodkach nurkowych, większość działań preferuje w pełni wykwalifikowanego instruktora. Pozwala ci to zarówno na nauczanie, jak i nadzór, rozszerzając ofertę ośrodka. Podobnie pracownik, który równocześnie jest instruktorem, ma więcej możliwości i wszechstronności wewnątrz centrum nurkowego. Na przykład studenci nurkowi często najlepiej się czują, pytając o rady w zakupach sprzętowych swojego instruktora, czyniąc z ciebie tego, do którego przychodzą na piętrze sklepowym centrum nurkowego.

Nawet jeżeli twoja docelowa kariera w nurkowaniu leży ponad szkoleniem, zostanie PADI OWSI może być w twoim interesie. Zostanie instruktorem i uzyskanie doświadczenia w ośrodku albo centrum nurkowym jest najpowszechniejszą drogą do sukcesu w innych dziedzinach przemysłu nurkowego. Niezależnie od tego, czy skończysz jako przedstawiciel handlowy producenta sprzętu nurkowego, czy prowadząc marketing ośrodka nurkowego, nie zrozumiesz do końca punktu widzenia swoich klientów, jeżeli nie byłeś na ich miejscu.

Skontaktuj się ze swoim lokalnym centrum albo ośrodkiem nurkowym PADI, w celu zostania instruktorem PADI, jeżeli:

- ✓ Lubisz przebywać z ludźmi i pomagać im w nauce;
- ✓ Nie przeszkadzają ci niecodzienne godziny pracy;
- ✓ Szukasz możliwości częściowo albo pełnoetatowej pracy;
- ✓ Możesz traktować hobby jako zawód i postępować profesjonalnie;
- ✓ Celujesz w praktycznie dowolne stanowisko w przemyśle nurkowym;

- ✓ Chcesz kariery nurkowej, która weźmie cię do miejsc, gdzie nurkowanie jest przyjemne;
- ✓ Jesteś przygotowany do bycia wzorem do naśladowania gdy nurkujesz, niezależnie czy akurat szkolisz, czy nie;

DSAT Tec Deep Instructor (albo inne kwalifikacje instruktorskie TecRec)

Dla instruktorów PADI, którzy są doświadczonymi, gorliwymi nurkami technicznymi, naturalnym krokiem jest zdobycie uprawnień DSAT Tec Deep Instructor. Jako Tec Deep Instructor jesteś wykwalifikowany do szkolenia doświadczonych i wykwalifikowanych nurków rekreacyjnych na Tec Deep Diver, pierwszy stopień w głębokim nurkowaniu technicznym. Jako Tec Trimix Instructor, możesz szkolić nurków Rec Deep Diver do przeprowadzania głębokich nurkowań z trymiksem (tlen, hel i azot). Ponieważ odsetek nurków, którzy zostają nurkami technicznymi, jest mały, bardzo niewielu instruktorów naucza wyłącznie nurkowania technicznego (choć są tacy).

Twoje obowiązki jako Tec Deep Instructor (albo wyższy instruktor TecRec) są podobne do tych, jakie ma PADI OWSI, poza tym, że będziesz pracował z dużo bardziej doświadczonymi nurkami i w mniejszych grupach. Trening jest obszerny i intensywny, ale kursy techniczne zazwyczaj mają duże poczucie koleżeństwa i ducha, czyniąc je wymagającymi i przynoszącymi satysfakcję zarówno dla instruktora, jak i studentów.

Skontaktuj się ze swoim lokalnym centrum albo ośrodkiem nurkowym PADI, w celu zostania DSAT Deep Tech Instructor, jeżeli:

- ✓ Jesteś doświadczonym i zdyscyplinowanym nurkiem technicznym;
- ✓ Jesteś zainteresowany subtelnymi detalami mechaniki wyposażenia, własnościach gazów, teorii dekompresji itd.;
- ✓ Nie przeszkadzają ci długie, zajęte dni typowe dla szkolenia nurkowania technicznego;
- ✓ Lubisz współdziałać ze stosunkowo małą grupą studentów przez dłuższy czas;
- ✓ Dobrze działasz w zespole i potrafisz prowadzić zespół;
- ✓ Chcesz zaakceptować wyższe ryzyko i odpowiedzialność związaną z nurkowaniem technicznym i jego nauczaniem;
- ✓ Nie przeszkadza ci, że potrzeba szkolenia nurkowania technicznego jest znacznie mniejsza, niż potrzeba szkolenia rekreacyjnego;

Właściciel/operator centrum albo ośrodka nurkowego

Wielu ludzi kochających nurkowanie kończy jako właściciel lub prowadzący centrum albo ośrodek nurkowy PADI. Wielu z właścicieli/prowadzących to instruktorzy PADI, którzy pracując dostali się do zarządu, zdobyli udziały w centrum albo ośrodku nurkowym lub tacy którzy, nabrawszy doświadczenia, przenieśli się w inne odpowiednie miejsce i założyli własny ośrodek. Jednakże jest także wielu dobrych właścicieli lub prowadzących, którzy są ludźmi wykwalifikowanymi w biznesie i handlu, którzy nie są instruktorami, ale nurkowanie jest ich pasją.

Centrum albo ośrodek nurkowy jest biznesem, więc prowadząc je, wiele z tych rzeczy, które robisz, robiłbyś w dowolnej innej firmie handlowej: magazynowanie, księgowanie, inwentaryzacja, obsługa techniczna, wystawa, sprzedaż, reklamy, obsługa klienta itd. Jest to jednak wyspecjalizowany biznes, który służy kulturze nurkowej sprzętem, szkoleniem, podróżami, lokalnym nurkowaniem i sponsorowanym przez sklep oddziałem PADI Diving Society. Daje ci to związek z dostawcami, personelem i klientami, którego nie ma w innych działalnościach gospodarczych i jest jednym z głównych powodów bycia w biznesie nurkowym. PADI International Resort and Retailer Associations dostarcza wsparcia usług i szkolenia biznesowego dopasowanego do unikalnych potrzeb prowadzących biznes nurkowy.

Jesteś gotów na myślenie o prowadzeniu lub posiadaniu centrum lub ośrodka nurkowego, jeżeli:

- ✓ Masz doświadczenie lub wykształcenie w zarówno handlu, jak i w nurkowaniu
- ✓ Nie przeszkadzają ci godziny pracy, które mogą być długie i nieregularne, zwłaszcza na początku
- ✓ Jesteś elastyczny i czerpiesz satysfakcję w pomaganiu klientom w ich potrzebach

- ✓ Przy wyborze towaru, planowaniu podróży, oferowaniu szkoleń itd., potrafisz oddzielić potrzeby dobrze działającego biznesu od zainteresowań i preferencji własnych i twojego personelu.

Nurek zawodowy

Tak jak czytałeś wcześniej w tym rozdziale, nurek zawodowy najlepiej jest zdefiniowany jako pracownik, który nurkuje, a nie nurek, który pracuje. Pomimo to, pomysł nurkowania zawodowego może być dla ciebie pociągający, zwłaszcza jeżeli czerpiesz satysfakcję z pracy własnymi rękami i z narzędziami. Nurek zawodowy zazwyczaj uczy się nurkować z wyposażeniem, które jest dużo bardziej solidne i skomplikowane, niż używane w innych rodzajach nurkowania, co może przyciągnąć twoją uwagę, jeżeli fascynuje cię technologia.

Skontaktuj się ze szkołą nurkowania zawodowego, żeby dowiedzieć się więcej, jeżeli:

- ✓ Masz dobre uzdolnienia techniczne
- ✓ Masz umiejętności pracy z narzędziami (np. spawanie), albo chcesz je nabyć
- ✓ Nie przeszkadza ci nurkowanie w zerowej widoczności, zimnej wodzie, a kiedy to konieczne, w wodzie skażonej, będąc w ochronnym wyposażeniu
- ✓ Jesteś zainteresowany budową statków i ich obsługą techniczną, platformami wiertniczymi i innymi formami inżynierii morskiej.



Nurek zawodowy najlepiej jest zdefiniowany jako pracownik, który nurkuje, a nie nurek, który pracuje

Nurek naukowy

Nurkowanie naukowe przyciąga wielu nurków, bo do badania i eksploracji używa przede wszystkim wyposażenia i procedur nurków rekreacyjnych i technicznych, badając ciekawe miejsca o rozsądnej widoczności. Tak więc, wiele nurków naukowych zabierze cię do miejsc, do których chciałbyś pojechać dla przyjemności. Jest to jednak praca, więc niekoniecznie będą ci się podobały wszystkie miejsca, w których będziesz musiał nurkować, a czasem będziesz musiał nurkować w tym samym miejscu tygodniami, dzień za dniem.

Nurek naukowy jest albo naukowcem, albo par naukowcem, pracującym pod kierownictwem naukowca. W pierwszym przypadku, twoja kariera jest karierą naukowca, a nurkowanie naukowe jest środkiem do prowadzenia badań i szkolenia innych naukowców. Oczywiście masz stopień naukowy w odpowiedniej dziedzinie nauki morskiej albo innej nauki, w której się specjalizujesz. Inną rolę jest szkolenie naukowców, jak nurkować, a potem nadzorowanie ich w czasie badań. W takim wypadku niezbędny jest certyfikat instruktorski PADI.

Jako par naukowiec, możesz jednak nurkować więcej (zależnie od instytucji, z którą jesteś związany) i mieć większą różnorodność nurkowań, pracując nad różnymi projektami dla różnych naukowców. Mimo że będziesz przyczyniał się do badań kogoś innego, wykształcenie naukowe jest przydatne, bo pomoże ci zrozumieć, co pragną osiągnąć naukowcy. Nurkowie naukowcy prawie zawsze są częścią mniejszych lub większych instytucji, takich jak fundacje, college, akwaria lub placówki badawcze.

Dowiedz się o nurkowaniu naukowym w lokalnych instytucjach morskich, jeżeli:

- ✓ Jesteś zainteresowany nauką i badaniami
- ✓ Nie przeszkadzają ci polityka i reguły programów nurkowania naukowego, typowo bardziej formalne, niż w nurkowaniu rekreacyjnym
- ✓ Lubisz być częścią zespołu
- ✓ Orientujesz się w szczegółach i potrafisz stosować wyznaczone procedury naukowe tak, jak były wyznaczone
- ✓ Jesteś chętny do pracy, jeśli to konieczne, jako ochotnik, żeby wyrobić swoje doświadczenie i zdolności
- ✓ Jesteś naukowcem, który potrzebuje przeprowadzić podwodne badania nurkując.

Podwodne media

Marzenie nurka rekreacyjnego o podróżach po świecie jako podwodny fotoreporter dla magazynu nurkowego albo byciu następnym Jamesem Cameronem kręcącym duże filmy pod wodą, nie jest niczym niezwykłym. Jeżeli taka kariera cię przyciąga, z całych sił idź za głosem serca, ale pamiętaj że to bardzo trudna dziedzina.

Powodem, dla którego ciężko jest wyżyć jako podwodny fotograf, czy filmowiec jest to, że nie wystarczy już umieć zrobić ostre, kolorowe zdjęcie pod wodą. W dzisiejszych czasach wielu nurków, którzy robią hobbistycznie zdjęcia pod wodą ma o wiele lepsze wyniki, niż profesjonaliści z lat 60. i 70.

Żeby odnieść dziś sukces, zazwyczaj potrzebujesz kombinacji kilku umiejętności. Na przykład, James Cameron nie wziął pojazdu podwodnego na Titanica, dlatego że jest dobry w robieniu filmów podwodnych. Był tam, bo jest mistrzem w robieniu wielkich kinowych filmów akcji. Podobnie wielu fotografów, których widziałeś, publikuje w magazynach nurkowych albo współpracuje z wykwalifikowanymi pisarzami. Dyplom z fotografii albo z pisarstwa nie jest bezwzględnie konieczny (redaktor przejmuje się tylko jakością tego, co wytwarzasz), niemniej pomoże ci szybciej uczyć się.

Inną prawdą jest, że popyt jest niski w porównaniu z podażą. Co znaczy, że na każdą wymarzoną posadę w danej okolicy przypadają tuziny ludzi chcących ją dostać. Z tych, którzy odnieśli sukces i wyrobili sobie markę, większość traktuje to zajęcie jako część etatu. Bardzo niewielu zarabia wystarczająco, żeby mogli zrobić pełnoetatową karierę. Czy to oznacza, że nie masz szans? Nie, zawsze jest miejsce dla kogoś, kto jest pasjonatem, jest wyjątkowy i wytrwały.

Poszukaj kariery w podwodnych mediach, jeżeli:

- ✓ Kochasz pisanie/fotografowanie/robienie filmów tak bardzo, że i tak byś to robił
- ✓ Chcesz realizować swoją sztukę przez dłuższy czas, może przez lata, ze stratami na swój koszt, dopóki nie wyrobisz sobie marki i nie nabierzesz doświadczenia
- ✓ Chcesz zrobić kursy, a nawet dyplom w wybranym przez siebie jednym z mediów, co da ci przewagę nad hobbistami.
- ✓ Nie zrazisz się odrzuceniem, nie przestaniesz robić swojego mimo odmowy i obiektywnie uczysz się na własnych błędach.

Nurek wojskowy

Tak jak czytałeś wcześniej, duża część nurkowania wojskowego to nurkowanie zawodowe zorientowane na potrzeby armii. Nurkowanie bojowe jest oddzielone od wojskowego, tak jak policyjni nurkowie SWATu. W niektórych krajach nurkowanie wojskowe wiąże się z badaniami naukowymi dla wojska, tak jak w US Navy Experimental Dive Unit.

Skontaktuj się z lokalną komisją rekrutacyjną, aby dowiedzieć się o nurkowaniu wojskowym, jeżeli:

- ✓ Chcesz być nurkiem zawodowym, ale służąc w armii chcesz osiągnąć wymagany trening i doświadczenie
- ✓ Jesteś zainteresowany oraz masz psychiczne i fizyczne właściwości, aby być żołnierzem elitarnych sił specjalnych (nurkiem bojowym). Musisz być też przygotowany na wysoce stresujące szkolenie

- ✓ Zaakceptujesz możliwość, że nie zakwalifikujesz się albo nie będziesz przydzielony do stanowiska, które chcesz i mimo to będziesz musiał służyć przez cały okres, na który się zaciągnąłeś, w innej wojskowej roli.



Nurkowanie bojowe jest formą nurkowania odrębną od wojskowego i w niektórych przypadkach, policyjnego SWAT

Obrazek z przyszłości nurkowania sportowego

Obejrzawszy historię nurkowania sportowego, naturalnym jest rzut oka przed siebie. Jak technologia i szkolenie zmieni sposób naszego nurkowania? Czy zostanie cokolwiek do zobaczenia pod wodą, kiedy będziemy mieli wynalazki połowy XXI wieku?

Podążanie śladem przeszłości ku przyszłości jest przydatnym ćwiczeniem przy jej przewidywaniu. Przyszłość jednak nie jest ustalona. Kiedy sterujemy naszym kursem w przyszłość, trzymamy nasze wspólne ręce na rumplu i zmienimy nasz kurs, tak aby przystosować wpływy i zmiany wciąż niewidoczne zza horyzontu. W czasie kiedy ujrzymy przelotnie, jakie będzie nurkowanie, pamiętajmy, że obrazek ten jest z konieczności niedokładny...i że to prawdopodobnie bardzo dobrze.

Nurkowanie rekreacyjne

Bazując na obecnych trendach w nurkowaniu, technologii komputerowej, technologii systemów szkolenia i społeczności nurkowej, przedstawiamy kilka rozsądnych przewidywań na temat tego, co stanie się z nurkowaniem rekreacyjnym.

- ✓ Aparaty oddechowe o otwartym obiegu pozostaną podstawowym sposobem nurkowania w przyszłości, ale użycie CCR (rebreatherów o obiegu zamkniętym) w rekreacyjnym nurkowaniu bezdekompresyjnym stanie się powszechne. Mimo że część początkujących zacznie nurkowanie z obiegiem zamkniętym, prawdopodobnie nie stanie to powszechne, dopóki rebreathery nie staną się o wiele bardziej zestandaryzowane w swojej konfiguracji i obsłudze, dopóki nie będzie bardziej powszechnie dostępne wsparcie dla ich potrzeb i dopóki nie staną się znacznie tańsze (Więcej informacji o rebreatherach znajdziesz w Rozdziale trzecim, Sprzęt Nurkowy).
- ✓ Elektroniczne kompasy i inne elektroniczne instrumenty nawigacyjne staną się częścią komputerów nurkowych.
- ✓ Wyświetlacze na maskach nurkowych nie staną się powszechne, dopóki technologia nie zmniejszy ich kosztów oraz nie zrobi ich bardziej kompaktowymi, tak aby nie zwiększyły rozmiaru i ciężaru maski.
- ✓ Podwodna komunikacja głosowa raczej nie będzie typowa w nurkowaniu rekreacyjnym z obiegiem otwartym, ponieważ standardowy ustnik jest prosty i łatwy w użyciu, ze względu na cenę oraz ponieważ transmisja VOX (aktywowana przez głos - ang. voice activated) ze względu na szumy jest trudniejsza do zrealizowania przy otwartym obiegu. Prawdopodobnie będzie powszechna w nurkowaniu z rebreatherami, ponieważ

ten poziom nurkowania nie jest tak czuły na koszty, ponieważ nurek na tym poziomie jest przygotowany na większą złożoność sprzętu i ponieważ rebreathery są ciche, co jest idealne dla transmisji VOX. Pewną możliwością mogą być jednak komunikaty tekstowe pomiędzy komputerami.

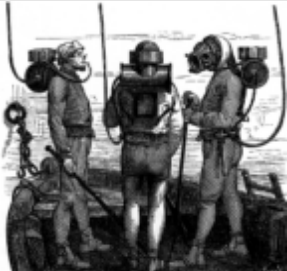
- ✓ Standardem będą komputery i automaty kompatybilne z nitroksem, ponieważ będzie on szeroko dostępny. Producenci być może zaprzestaną produkcji wyposażenia tylko dla powietrza.
- ✓ Ogólnie mówiąc, wyposażenie nurkowe będzie stawalo się bardziej kompaktowe, lżejsze i optywowe.
- ✓ Dzięki nauce przez sieć szkolenie nurkowe będzie miało coraz bardziej intensywne nurkowania. Zamiast spotykać się na wykładach, zaczniesz kurs online, kiedy i gdzie ci odpowiada i poznasz podstawową wiedzę. Następnie odwiedzisz swój ośrodek albo centrum nurkowe, żeby spotkać się z instruktorem i pokrótce przeglądnąć materiał. Następnie, przejdziesz wprost do zastosowania tego w praktyce, przez planowanie nurkowania, przygotowanie nurkowania oraz samo nurkowanie.

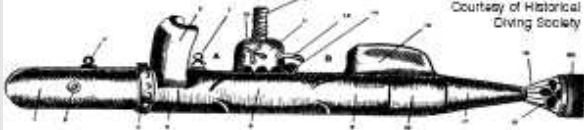
Nurkowanie techniczne

W bezpośredniej przyszłości nurkowanie techniczne zmieni się bardziej niż nurkowanie rekreacyjne. Będzie tak dlatego, że to młody sport, który wciąż dojrzewa oraz dlatego, że nurkowie techniczni są bardziej zorientowani na technologię i mniej zależni od kosztów, niż przeciętny nurek.

- ✓ Rebreathery zastąpią aparat o otwartym obiegu w wielu zastosowaniach nurkowania technicznego. Będziesz musiał być certyfikowanym rebreatherowym nurkiem rekreacyjnym, żeby zacząć kurs nurkowania technicznego. Usprawni się szkolenie i ergonomia rebreatherów przez zestandaryzowanie położenia podstawowych układów sterowania (np. bypass tlenu będzie w tym samym miejscu we wszystkich modelach), co pozwoli na łatwe przeniesienie umiejętności motorycznych pomiędzy modelami.
- ✓ Nurkowania głębsze niż 90 metrów (300 stóp) będą rutynowe.
- ✓ Nowe metody modelowania dekompresji radykalnie zmienią metodologię dekompresji.
- ✓ Komunikacja głosowa będzie standardem w nurkowaniu technicznym.
- ✓ Dostępne będą pierwsze sportowe skafandry ciśnieniowe, co zabierze nurków technicznych aż na 300 metrów (1000 stóp).
- ✓ Mimo że nurkowanie techniczne pozostanie małym segmentem przemysłu nurkowego, ten segment będzie wzrastał. Statki nurkowe będą oferowały więcej wypraw wyłącznie dla nurków technicznych, a producenci będą zwracali większą uwagę na ich potrzeby.
- ✓ Podział pomiędzy nurkowaniem technicznym i rekreacyjnym stanie się bardziej wyraźny, gdyż nurkowie techniczni będą starali się zrobić wrażenie coraz bardziej skomplikowanymi metodami i sprzętem. Niemniej jednak, innowacje z nurkowania technicznego będą wciąż przelewać się na nurkowanie rekreacyjne.

Kamienie milowe w historii nurkowania

1865	Benoit Rouquayrol i Auguste Denayrouze opracowali pierwszy aparat oddechowy o otwartym obiegu. Działał, ale wielkiej korzyści nie przyniósł, ponieważ ciśnienie sprężonego powietrza było za małe. 
1876	Jules Verne opublikował „20 000 mil podwodnej żeglugi” i „przewidział” rozwój aparatów oddechowych opartych na pracach Rouquayrol’a

1879	Henry A. Fleuss wynalazł pierwszy praktyczny działający aparat oddechowy, rebreather tlenowy, który pojęciowo mało różni się od współczesnych rebreatherów tlenowych
1892	Loius Boutan zrobił pierwsze podwodne zdjęcia.
1903	Sir Robert Davis wynalazł pierwszy podwodny aparat ucieczkowy (ang. <i>submarine escape equipment</i>) w oparciu o rebreather Fleussa.
1908	John Scott Haldane opublikował pierwsze tabele nurkowe
1924	Joseph Peress zbudował wczesną wersję skafandra ciśnieniowego (ang. <i>hard suit</i>) ze złączem kompensacyjnym
1924	US Navy i Bureau of Mines rozpoczynają testowanie helu jako gazu do nurkowania głębokiego
1932	Opatentowano pierwszą fajkę nurkową
1933	Louis de Corlieu wynalazł pierwsze gumowe płetwy do pływania
1935	Jim Jarrett użył skafandra ciśnieniowego Peressa do badania wraku Lusitania (100 m/330 stóp)
1936	Włoscy nurkowie opracowali pierwsze skutery nurkowe  Courtesy of Historical Diving Society
1937	Max Nohl zanurkował na głębokość 128 m/420 stóp w Jeziorze Michigan używając helioksu. Wheland i Momsen z US Navy wykonali nurkowanie w komorze (ang. <i>chamber dive</i>) na 153 m, używając helioksu.
1942 1945	J.B.S. Haldane i Kenneth Donald z Royal Navy wprowadzili toksyczność tlenu, aparat oddechowy o półzamkniętym obiegu i nurkowanie ze wzbogaconym powietrzem. Nurkowie wojskowi używają pierwszych skafandrów suchych
1943	Jacques Cousteau i Emile Gagnan wynaleźli aparat oddechowy o otwartym obiegu ze sprężonym powietrzem 
1945	Arne Zetterström udowodnił, że wodór może być gazem do nurkowania do głębokości 160 m, ale umiera w nieszczęśliwym wypadku w czasie dekompresji
1955	Wprowadzono mokre skafandry
1958	Wprowadzono do użycia podwodny aparat 35mm Calypso, który był prekursorem aparatów Nikon
1959	Wprowadzono licznik dekompresyjny SOS (ang. <i>SOS Decompression meter</i>), prekursor komputera nurkowego
1963	W projekcie Jacques Cousteau <i>Conshelf II</i> , pięciu nurków żyło przez miesiąc na głębokości 11 m w Morzu Czerwonym
1964	<i>Sea Lab I</i> umieścił 4 nurków na 59 m/ 193 stopach na 11dni blisko Bermudów
1968	W Szwecji wprowadzono uniskafander, zapoczątkowując suche skafandry o zmiennej objętości
1969	Skafander ciśnieniowy Peressa odrodził się jako skafander JIM
1970	Beckman wprowadził aparat oddechowy o obiegu zamkniętym z mieszką tlenową Electrolung. Był to wynalazek „wyprzedzający epokę”, pokazał co elektronika może zrobić, by aparaty o obiegu zamkniętym były szeroko stosowane
1972	Komercyjna firma nurkowa Comex wysłała nurków na głębokość 610 m/ 2000 stóp w czasie nurkowania w komorze
1976	Przy użyciu skafandra ciśnieniowego JIM wydobyto kabel telewizyjny z głębokości 440 m/ 1450 stóp

1980	Duke University przeprowadził symulowane nurkowania na głębokość 650 m/ 2132 stóp używając trymiks
1982	Phil Nuytten opatentował rotacyjne złącze olejowe (ang. <i>oil-filled rotary join</i>) w skafandrach ciśnieniowych. Był to przełom, który stał się podstawą dla Newt Suit. Drugą wersję tego złącza opatentowano w 1985
1983	Orca Edge i Decobrain I wprowadzili komputer nurkowy - pierwszy udany i szeroko stosowany
1987	Dr Michael R. Powell skończył pierwszą dużą serię testów hiperbarycznych dla powtórzeniowych, wielopoziomowych nurkowań rekreacyjnych, aby zweryfikować Planer Nurkowań Rekreacyjnych opracowany przez dra Raymonda E. Rogersa. Wakulla Springs Project kierowany przez dra Williama C. Stone'a mapował układ podwodnych jaskiń na długości 5 km używając helioksu i trymiks z obiegiem otwartym do głębokości 98 m/320 stóp. Projekt opracował etapy wynurzania podczas nurkowania technicznego. Projekt testował również CisLunar Mark I aparat o obiegu zamkniętym, ustanawiając etapy dla szerszego zastosowania obiegu zamkniętego
1988	DSAT wprowadził na rynek Planer Nurkowań Rekreacyjnych w postaci Tabeli i Koła rozprowadzany przez PADI. Jest to pierwsza tabela nurkowa wyłącznie dla bezdekompresyjnych nurkowań rekreacyjnych
1992	Wprowadzono pierwszą podwodną lustrzankę jedno obiektywową Nikonos RS
1996	Drager/UWATEC wprowadził aparaty oddechowe o półzamkniętym obiegu stosowane na głębokości od 0 do 30 m (0-100 stóp). CisLunar pokazał Mark V - aparat oddechowy o obiegu zamkniętym z elektronicznie mieszanym gazem stosowany do 150 m/ 500 stóp
1999	Wprowadzono Buddy Inspiration. To oraz Steam Machines PRISM stały się pierwszymi rebreatherami o obiegu zamkniętym z elektronicznie mieszanymi gazami powszechnie używanymi przez nurków nie związanych z wojskiem
2001	NASA rozpoczęła projekt NEEMO (NASA Extreme Environment Mission Operations) używając laboratorium NURC Aquarius należące do NOAA. W tym podwodnym habitacie bada się i przygotowuje ludzi do lotów kosmicznych
2002	Wprowadzono Nikon D100 i Fuji S2. Aparat stał się pierwszą cyfrową lustrzanką jedno obiektywową szeroko używaną przez amatorów i profesjonalistów podwodnej fotografii i oznaczał początek końca filmów, do tej pory powszechnie używanych w fotografii podwodnej
2002	DiveRite wprowadził Nitek He. To oraz DeltaP VR3 stały się pierwszymi szeroko stosowanymi komputerami nurkowymi dla wielu gazów, zdolnymi do obliczeń nurkowych z powietrzem, nitroksen, tlenem, trymiksem i helioksem
2005	DSAT wprowadził eRDP - pierwsze elektroniczne tabele nurkowe
2005	Aqua Lung zaskoczył społeczność nurkową ponownie wprowadzając na rynek aparat oddechowy z podwójnym węzłem, w nowoczesnej formie, z silikonowymi węzłami i dodatkowymi portami wysokiego i średniego ciśnienia. Aparat Mistral adresowany jest do podwodnych fotografów i entuzjastów historii

Twój wpływ na przyszłość mórz

Gdy spytasz, większość ekologów i biologów morza powie ci, że oceany są w niebezpieczeństwie z wielu powodów. Choć oceany są cudownym i pełnym życia ekosystemem, każdego roku zrzucamy do niego około 22 miliardy ton zanieczyszczeń. Obejmuje to zanieczyszczenia, które wymywane są z lądu do morza i zanieczyszczenia, które celowo zrzucamy tam, tak jakby ocean był kanałem ściekowym.

Globalne ocieplenie, niszczenie lasów mangrowych i odpływ składników pokarmowych niszczy rafę koralową. Szacuje się, że do dzisiaj zginęło 25% koralowców na całym świecie. Niszczenie mangrowców nie tylko wpływa na rafy koralowe, ale jest szerszym problemem środowiskowym. Mangrowce zapewniają podstawowe siedlisko dla młodych ryb, dając im schronienie, gdzie mogą przetrwać i dorosnąć. Mangrowce chronią również brzeg przed erozją, zniszczeniami na skutek działania pogody, a nawet tsunami. W czasie tsunami na Oceanie Indyjskim w 2004 r. mniejsze straty odniosły te obszary, które były otoczone przez nienaruszone lasy mangrowe.

Kilka większych łowisk upadło lub znajduje się na krawędzi upadku, ponieważ w przemyśle rybnym zapotrzebowanie jest większe niż możliwości łowisk. Utrata każdego gatunku wpływa na pozostałe gatunki. Te, na które polowały wybite gatunki, rozmnożyły się w niekontrolowany sposób. Te, dla których wybite gatunki były pożywieniem, giną z głodu. Można wyliczać długo problemy, jakie zagrażają oceanom (patrz rozdz. 2), ale prawdziwym pytaniem jest to, czy w przyszłości będzie cokolwiek do zobaczenia pod wodą. Problemów i trosk jest wiele, ale nie ma powodu, aby porzucić nadzieję i optymizm. Wśród tych wszystkich złych wieści, są i dobre. Mimo licznych zniszczeń, morze pozostaje w większym stopniu nienaruszone niż zniszczone. Obszary chronione, takie jak rezerваты morskie, pokazały wielokrotnie, że morze wraca, jeśli zaczynamy je inaczej traktować, ucząc się nim zarządzać i minimalizować wyrządzane mu krzywdy. Jako nurek jesteś częścią tych zmian. Czytając historię nurkowania rekreacyjnego, dowiedziałeś się, że pierwsi nurkowie byli myśliwymi. Jeszcze w latach 60. XX w. owoce morza były głównym bodźcem do nurkowania. Jednak w latach 70. XX w. zaczęło się to zmieniać. Kamera podwodna zastąpiła kuszę jako dodatkowy sprzęt nurkowy. Nurkowie stali się głównymi zwolennikami ochrony światowego środowiska wodnego. Nawet ci nurkowie, którzy lubią myślistwo, przyjęli zasady ochrony: weź tylko to, co zjesz, zjedz, to co złowiłeś, przestrzegaj wszystkich zasad gry i nie łów żadnych gatunków chronionych czy zagrożonych.

To rosnące znaczenie ochrony nikogo nie dziwi. Jako nurkowie kochamy podwodny świat i widzimy, jak zmienia się z każdym dniem i z każdym nurkowaniem. Pokazuje nam znaczenie odpowiedzialności i potrzebę ochrony. Z naszej perspektywy, ocean nie jest wysypiskiem śmieci, które połyka zanieczyszczenia. Widzimy zanieczyszczenia i widzimy zniszczenia.

W naszym żądaniu ochrony mórz, społeczność nurkowa włącza samą siebie. Jest to ze wszech miar słuszne, bo nikt nie słuchałby protestów hipokrytów. Musimy uważać, aby nie dojść do wniosku, że to my sami powodujemy degradację, którą widzimy pod wodą. To prawda, że nurkowie powodują przypadkowe uszkodzenia rafy i innych środowisk dotykając i łamiąc korale czy inne organizmy. Jednak są to drobne problemy i uleczalne (zdarza się to również w sposób naturalny). Zniszczenia długofalowe wynikają z działań wielkoskalowych, które pogarszają jakość wody, zaprzeczają zdolność organizmów wodnych do leczenia, rozmnażania i przeżycia. Odpływ składników pokarmowych wywołany wycinaniem lasów mangrowych i ich niszczeniem, składowanie toksycznych odpadów, globalne ocieplenie i inne rozległe efekty społeczne szkodzą rafie koralowej i innym morskim środowiskom. Wyrzucane lub gubione plastikowe resztki, jak sieci rybackie, plastikowe worki, zakrętki powodują uduszenie, krztuszenie morskich stworzeń, gdy przez lata dryfują po oceanie. Prawdziwy wpływ nurków na środowisko morskie jest pozytywny. Jesteśmy wśród najgłośniejszych wołających o długotrwałe zarządzanie, które ma zastąpić krótkoterminowy wyzysk. Wiemy, że nie trzeba wstrzymać wszystkich form połowów komercyjnych czy przybrzeżnych odwiertów w poszukiwaniu ropy, aby chronić oceany. Postęp ludzkości, gospodarka i środowisko mogą koegzystować na podstawie długoterminowych rozwiązań.

Ogromna geopolityczna presja kształtuje na nowo sposób, w jaki będziemy współżyć z morzem. Nowe prawo międzynarodowe na nowo definiuje odpowiedzialność za różne obszary, po to aby, jak to tylko możliwe, kraje zaczęły zbierać żniwo swoich działań. Te, które mądrze kierują populacją ryb, z większym prawdopodobieństwem będą w stanie utrzymać łowiska - ale nieprawdopodobne jest, by jeden kraj mógł zapobiec ginięciu łowisk na skutek działań handlowych. Kraje muszą działać razem, by wprowadzać rozwiązania dotyczące postępowania z łowiskami, morskimi śmieciami i innymi zanieczyszczeniami oceanicznymi.

Ponieważ morze dotyka wielu brzegów, rozwiązania nie będą ani idealne, ani nie rozwiążą wszystkich problemów. Jednak są one początkiem i nadają pęd nowemu kierunkowi, który kładzie nacisk na długoterminowy, dający się utrzymać rozkwit naszej planety, w miejsce krótkoterminowych zysków na koszt słabnącej planety.

Fundacja Projektu AWARE

Projekt AWARE. Z powodu naszej specjalnej roli jako adwokatów i obrońców wodnego świata, w 1990 r. PADI wprowadziło Projekt AWARE (Aquatic World Awareness Responsibility and Education). Program ten wyrósł ze zobowiązania PADI do ochrony podwodnego świata i zaznaczał swoją obecność, zwiększając nacisk na edukację dotyczącą środowiska na kursach PADI i w Fundacji Projekt AWARE.

Fundacja “Project AWARE”

Kim jesteśmy

Fundacja Projektu AWARE (Aquatic World Awareness Responsibility and Education) jest organizacją typu non-profit wspierającą działania ekologiczne. Projekt AWARE wspólnie z nurkami i zawodowcami chroni środowisko podwodne poprzez edukację, obronę i działania. Biura Fundacji Projektu AWARE mieszczą się w USA, Wielkiej Brytanii, Australii, Japonii i Szwajcarii łącząc wysiłki, aby chronić zasoby wodne w 175 krajach i terytoriach na świecie.

Co robimy

Realizujemy nasze cele, angażując nurków i entuzjastów wody w różne działania na rzecz środowiska jak np. Międzynarodowy Dzień Sprzątania czy Whale Shark Project. Projekt AWARE zachęca do ochrony środowiska poprzez uświadamianie ludzi i kampanie edukacyjne jak np. Protect the Sharks, Protect the Living reef, czy AWARE Kids. Program grantów przyznaje fundusze dla projektów dotyczących środowiska jak badania gatunkowe czy wspierany przez wolontariuszy aktywizm społeczny. Pieniądze na te granty płyną również wprost od takich ludzi jak ty.

Wejdź na: www.projectaware.org, by dołączyć do nurków zaangażowanych w ochronę środowiska

Fundacja Projektu AWARE jest organizacją typu non-profit wspierająca działania ekologiczne. Poświęcona jest ochronie środowiska podwodnego poprzez edukację, obronę i działania. Fundacja realizuje tę misję, angażując nurków i entuzjastów wody w różne działania na rzecz środowiska jak np. Międzynarodowy Dzień Sprzątania czy Dive Into Earth Day. Fundacja Projektu AWARE zachęca różne środowiska do ochrony poprzez uświadamianie ludzi i kampanie edukacyjne jak np. Protect the Sharks, Protect the Living reef, czy AWARE Kids. Program grantów przyznaje fundusze dla projektów dotyczących środowiska jak badania gatunkowe czy wspierany przez wolontariuszy aktywizm społeczny. Biura Projektu AWARE mieszczą się w Australii, Japonii, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii i USA łącząc wysiłki, aby chronić zasoby wodne w ponad 175 krajach.

Dzięki podkreślanu działań Projektowi AWARE na kursach PADI, instruktorzy PADI zyskują rocznie prawie milion osób świadomych roli oceanu. Projekt AWARE kładzie nacisk na ekologiczny aspekt nurkowania czy umiejętności nurkowych, jak np.: Możemy współżyć z morzem, nie niszczyć go.

Poniżej znajduje się kilka rozsądnych przepowiedni dotyczących przyszłości mórz i ich wpływie na nurkowanie.

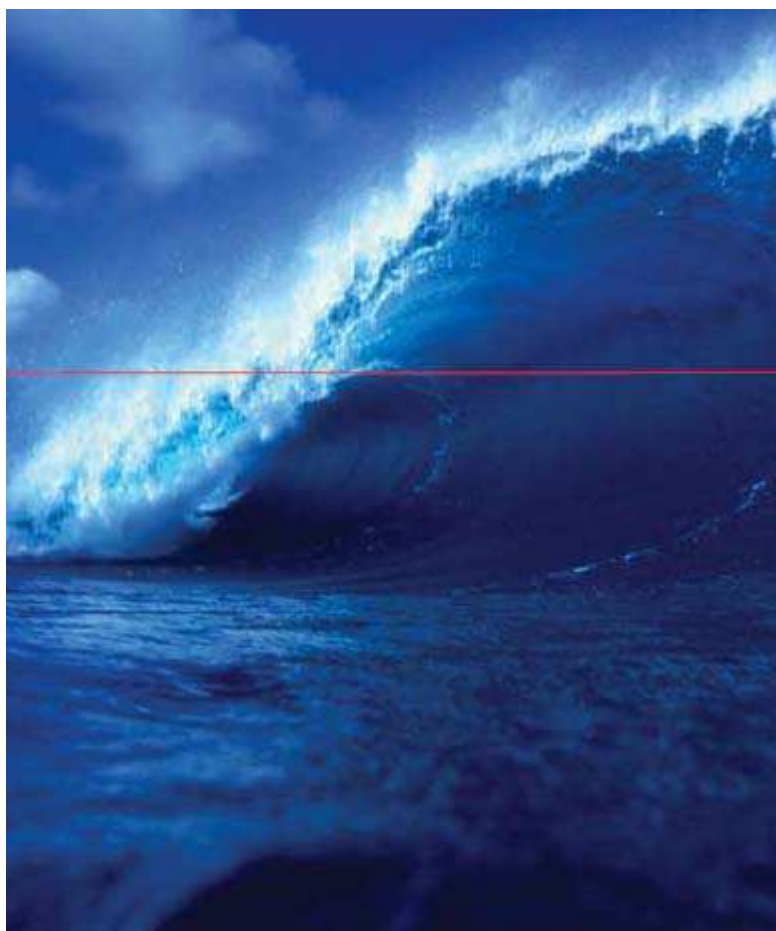
- ✓ Stan raf koralowych będzie się pogarszał ze względu na globalne ocieplenie i odpływ składników pokarmowych. Zostanie jednak wiele nienaruszonych i zdrowych raf.
- ✓ Nurkowania przybrzeżne będą coraz popularniejsze i przyjemniejsze, choć coraz bardziej będą widoczne wpływy miejskie. W dłuższym czasie, nurkowie będą pierwszymi, którzy zauważą rezultaty zarządzania i ochrony środowiska.
- ✓ Kilka większych łowisk będzie się zmniejszać ze względu na zanik handlu. Spowoduje to gospodarcze zamieszanie na terenach, gdzie komercyjne rybołówstwo stanowi podstawę przemysłu, ale jednocześnie zmusi to rządy do uchwalenia działań mających ożywić łowiska i plany bezpieczne dla środowiska.
- ✓ Nurkowie będą rosnąć w główną siłę polityczną, broniącą kondycji świata wodnego.

ROZDZIAŁ 2

Planeta Oceanu

NASZ WODNY ŚWIAT

Ten rozdział jest oparty na podręczniku nauk morskich dla szkół wyższych „Life on an Ocean Planet” napisanym i opracowanym przez Current Publishing, firmy partnerskiej PADI. Więcej informacji o podręczniku „Life on an Ocean Planet” i Current Publishing można znaleźć na stronie <http://www.currentpublishingcorp.com/>



SPIS TREŚCI

Planeta Oceanu	1
Fizyczne właściwości światowych oceanów.	4
Baseny oceaniczne	5
Własności topologiczne basenów oceanicznych	6
Podstawowe strefy oceanu i życia morskiego	7
Temperatura	9
Zasolenie.....	11
Gęstość	13
pH - Kwasowość i Zasadowość	14
Rozpuszczone związki chemiczne nie będące solami	15
Cechy wybrzeża.....	22
Tam i z powrotem	31
Ekologia, Ekosystem a Nurkowanie	43
Ekologia	43
Ekosystemy na otwartym morzu	46
Szelf Kontynentalny	51
Ekosystemy przybrzeżne.....	53
Pasma pływów strefy przybrzeżnej - Intertidal zone	59
Ekosystemy listownic i wodorostów morskich.....	60
Ekosystemy rafy koralowej.....	62
Ekosystemy polarne	63
Ekosystemy głębinowe	67
Ekosystemy wód słodkich.....	69

WSTĘP

Mimo że mówimy o światowych oceanach w liczbie mnogiej, w rzeczywistości jest tylko jeden ocean, ponieważ ostatecznie cała woda na Ziemi łączy się ze sobą. Mimo rozdzielenia i ograniczenia przez ląd wszystkie systemy wodne, słodkiej i słonej wody, łączą się ze sobą. Nieważne gdzie znajdziesz system wodny, woda to woda.

Dzięki cyklowi hydrologicznemu ciągłego parowania, skraplania i opadów atmosferycznych po jakimś czasie każda molekula wody okrąży wszystkie oceany, morza, zatoki, rzeki, jeziora i potoki, przynajmniej w teorii.



Ziemia jest planetą oceanu. To zdjęcie NASA (National Aeronautic and Space Administration) pokazuje, że ocean zajmuje na naszej planecie znacznie więcej miejsca niż ląd

Woda, która dziś jest w oceanie jutro może być w rzece; może też być częścią kostki lodu w zimnym napoju albo płatkami śniegu spadającego na Arktykę. Jej droga powrotna do oceanu może zająć tysiące lat.

Może się wydawać, że słodka woda jest znaczącą częścią ziemskiej hydrosfery, ale tak nie jest. Tylko około trzech procent wody stanowi woda słodka. Trzy czwarte z niej jest zamrożone w polarnych czapach lodowych. Kolejne 20 procent to wody gruntowe. Ta niewielka część, która zostaje, zasila liczne rzeki, strumienie i jeziora na świecie. Ta relatywnie mała ilość jest niewiarygodnie ważna dla życia.

Oceany z jednej strony mają olbrzymi wpływ na światową pogodę i klimat, z drugiej są źródłem wielu naturalnych zasobów - oceany są niezbędne do życia. Chociaż ludzkość eksplorowała morza od tysięcy lat, to oglądaliśmy głównie ich powierzchnię. Wciąż jest do zbadania więcej niż myślimy. Żeby zobrazować jak mało do tej pory zobaczyliśmy, posłużmy się przykładem: gdyby ta strona była oceanami, to co ludzkie oczy widziały byłoby wielkości kropki na końcu tego zdania.

Cykl wodny

W porównaniu to całkowitej objętości i masy Ziemi, zewnętrzna otoczka, w której znajdujemy życie, jest jak cienki papier owinięty dookoła jajka. Mimo to, wszystkie organizmy na Ziemi otrzymują wszystko to co im potrzeba z zasobów w tej warstwie, z wyjątkiem energii pochodzącej ze światła słonecznego.

Procesy biologiczne szybko wyczerpałyby wodę, tlen i inne ważne do życia elementy, gdyby użyły ich tylko raz. Potrzebne zasoby trwają i wspierają życie, gdyż nieustannie krążą pomiędzy powietrzem, lądem, wodą i organizmami. Woda podróżuje w „cyklu hydrologicznym”, zmieniając swoją formę, gdy organizmy pobierają ją, gdy paruje, gdy skrapla się i gdy przepływa. Podczas tego cyklu, w wyniku parowania, ciepło pochodzące od Słońca zmienia wodę z mórz, jezior i strumieni w parę wodną. Również transpiracja roślin uwalnia z nich wodę w postaci pary.

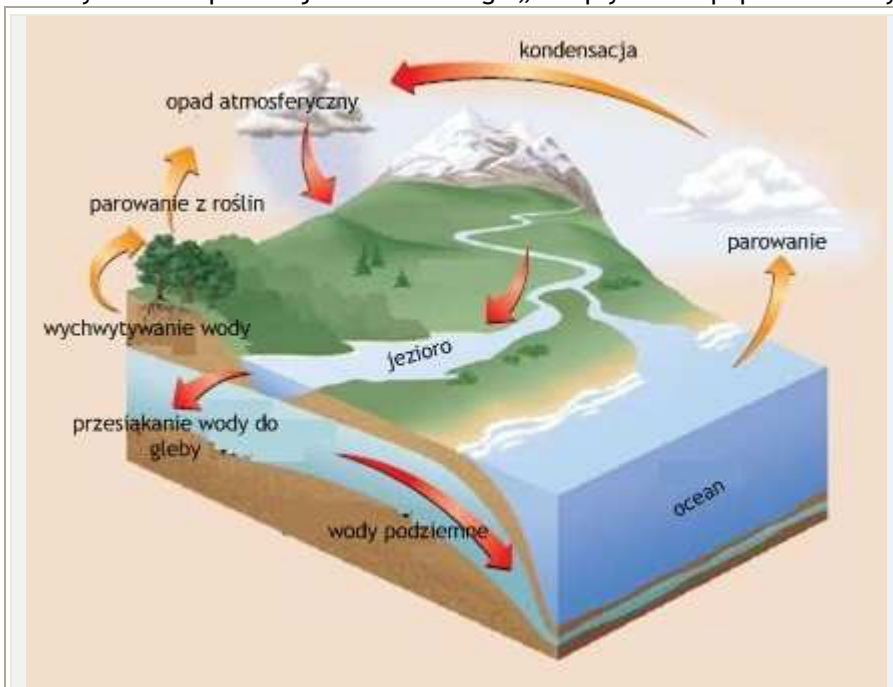
Para wodna, która unosi się w atmosferze, ulega w końcu skropleniu i spada jako opad (deszcz, śnieg). Następnie wpływa do strumieni i rzek, zbierając po drodze minerały i związki chemiczne, zanosząc je do oceanów. Organizmy konsumują część wody, zwracając ją później przy oddychaniu, wydalaniu, albo w konsekwencji śmierci i rozkładu. Stąd, woda wraca do morza, rzeki, i znowu do atmosfery

W rozdziale pierwszym dowiedziałeś się, co popycha nas do eksploracji podwodnego świata - głównie nasze pragnienie odkrywania. Nie tak jak na lądzie, pod wodą można dotrzeć do miejsc, których wcześniej nikt, albo prawie nikt nie widział. Dzięki sprzętowi nurkowemu i innym technologiom możemy badać podwodne królestwo dla rekreacji, pracy lub nauki, czy też dla ich dowolnych kombinacji.

W tym rozdziale poznasz w szczegółach to, co wiemy o podwodnej części (słodkiej i słonej) naszej planety oceanu. Obejrzymy różnorodność środowisk, które wytworzyły się w wodach. Zobaczysz, że organizmy morskie żyjące w podobnych warunkach mają podobny styl życia. Zaskakujące jest, jak bardzo różne organizmy mogą mieć wiele wspólnych cech tylko dlatego, że żyją w tym samym typie środowiska.

W tym rozdziale nauczysz się o pionowym ruchu powodowanym przez fale i o przyptywach a także jak prądy, fale i przyptywy wpływają na to, gdzie i kiedy możesz nurkować. Czy wiesz, że nawet gigantyczne, potężne lotniskowce muszą ugiąć się przed przyptykami, a czasem nawet przed falami? Dowiesz się, że

nie tylko wiatr powoduje fale i dlatego „fala pływowa” poprawnie nazywa się „tsunami”.



Obieg wody w przyrodzie

Zagłębimy też do wodnej ekologii, która bada kręte procesy łączące organizmy ze sobą i ze środowiskiem. Zobaczysz, że każde środowisko posiada system przepływu energii i materii przenoszonych przez organizmy w nim żyjące, ale prawie żaden ekosystem nie znajduje się w całkowitej izolacji. Każda część wodnego środowiska oddziałuje z innymi częściami, a także ze środowiskiem na lądzie. Od lasów wodorostów, do raf koralowych, każde środowisko przedstawia unikalne właściwości, które kształtują wiele cech ich rodzimych gatunków. Różnorodność organizmów wykształciła wiele udanych, czasem dramatycznych, adaptacji, odzwierciedlających naturę

gęstego, ciekłego środowiska, w którym żyją.

Fizyczne właściwości światowych oceanów.

Światowe oceany pokrywają w przybliżeniu 71 procent powierzchni Ziemi, ze średnią głębokością 3800 metrów/12.500 stóp. Woda pokrywa około 80 procent południowej półkuli i 61 procent półkuli północnej.

Pomimo faktu, że 84 procent dna morskiego znajduje się na głębokościach poniżej 1825 metrów/6000 stóp, większość naszej wiedzy o królestwie podwodnym jest ograniczona do głębokości mniejszych niż 90 metrów/300 stóp. Biorąc pod uwagę, że większość nurków rzadko zapuszcza się poniżej 30 metrów/100 stóp, nasza stosunkowo duża ignorancja o ziemskim środowisku podwodnym nie jest zaskakująca.

Mimo, że wciąż więcej jest do poznania, niż do opowiadania, dowiedzieliśmy się całkiem sporo o fizycznych właściwościach ziemskiego środowiska wodnego, oraz o tym jak te własności fizyczne i wynikające z nich procesy są niezbędne do życia - nie tylko w każdym wodnym zbiorniku, ale w całej biosferze (zamieszkałej części Ziemi).

Odpowiedzialne oddziaływanie z życiem wodnym

Jako nurkowie, jesteśmy uprzywilejowani, ponieważ mamy możliwość oddziaływać na życie wodne. Z tym przywilejem wiąże się odpowiedzialność - zminimalizowanie zakłócenia i zniszczenia podwodnego ekosystemu. Pomogą w tym następujące wskazówki

Najlepsze jest oddziaływanie pasywne. Oddziaływanie pasywne oznacza, że prawie nie zakłócasz normalnego życia podwodnego. W ogólności, oznacza to pływanie, oglądanie, robienie zdjęć i filmowanie w taki sposób, żeby nie przestraszyć lub w inny sposób przeszkodzić

Uważaj na przypadkowe szkody. Bądź świadom, że aktywność, która wydaje się niegroźna, może być jednak szkodliwa. Korale i inne organizmy mogą być bardzo kruche i przez celowy, czy przypadkowy dotyk można je łatwo uszkodzić, więc uważaj czego dotykasz i zabezpiecz zwisające przyrządy i akcesoria. Karmienie podwodnych organizmów może wydawać się pozytywnym działaniem, ale w wielu środowiskach może zaburzyć normalne zachowania i równowagę ekologiczną.

Jeżeli polujesz, bądź konserwatywny. Przestrzegaj wszystkich reguł gry i nie bierz więcej, niż naprawdę potrzebujesz. Pamiętaj, to organizmy, które zostawisz, stworzą potomstwo w przyszłości.

Baseny oceaniczne

Skąd pochodzą wszystkie oceany? Zgodnie z obecnie panującym poglądem w geologii, cztery i pół miliarda lat temu Ziemia była strefą ciągłych wybuchów wulkanów. Gazy pomieszczone z parą wodną eksplodowały z wulkanów w atmosferę. Lawa spływała z wulkanów, kształtując lądy i nierówne powierzchnie pokrywające Ziemię. Kiedy Ziemia stygła, para wodna skraplała się i spadała jako deszcz wypełniając najniższe położone baseny na powierzchni Ziemi. Tak powstały oceany. Mniejsze zbiorniki wodne, które istnieją dzisiaj (jeziora, stawy, rzeki, itd.), powstały znacznie później jako wynik opadów, erozji i ruchów górotwórczych. Te same procesy zmieniły kształt oceanów w cztery główne baseny, które istnieją dzisiaj: Atlantyk, Pacyfik, Ocean Indyjski i Arktyczny. Od strony bieguna południowego widać, że te główne baseny tworzą jeden połączony system oceaniczny.

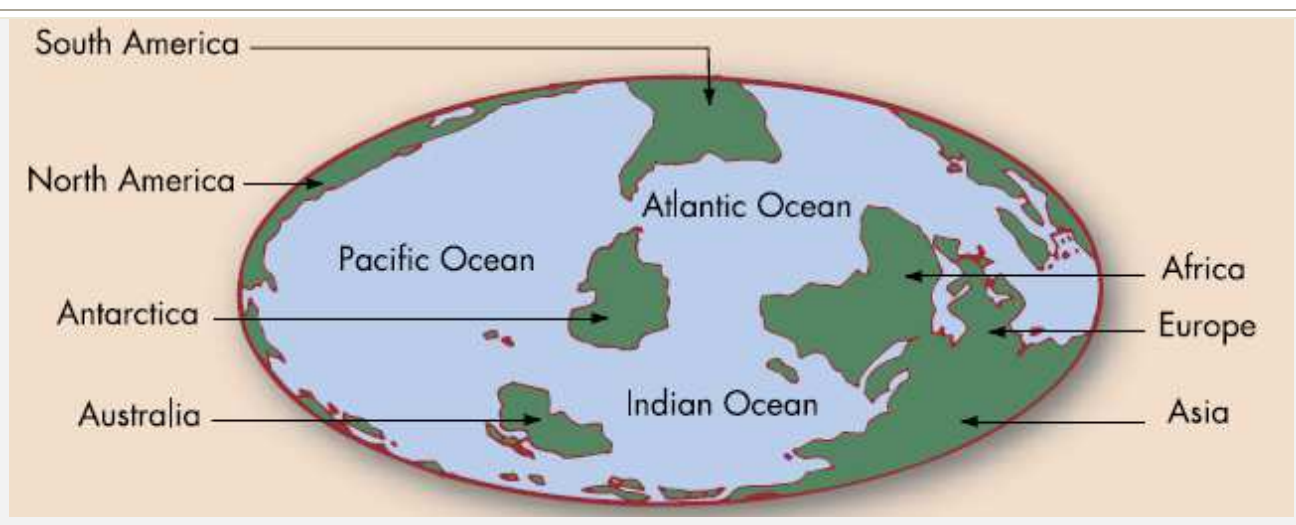
Ocean	Area x10 ⁶ km ² /mile ²	Average Volume x10 ⁶ km ³ /mile ³	Maximum Depth m/ft	Depth m/ft
Pacific	165.2/63.8	707.6/169.8	4282/13,917	11,022/35,822
Atlantic	82.4/31.8	323.6/77.7	3926/12,760	9200/29,900
Indian	73.4/28.3	291.0/69.8	3963/12,880	7460/24,245
Arctic	14.1/5.4	17.0/4.1	1205/3916	4300/13,975
Caribbean	4.3/1.7	9.6/2.3	2216/7202	7202/23,400
Mediterranean	3.0/1.2	4.2/1	1429/4644	4600/14,950
Other	18.7/7.2	17.3/4.2		

Porównanie wielkości oceanów i największych mórz

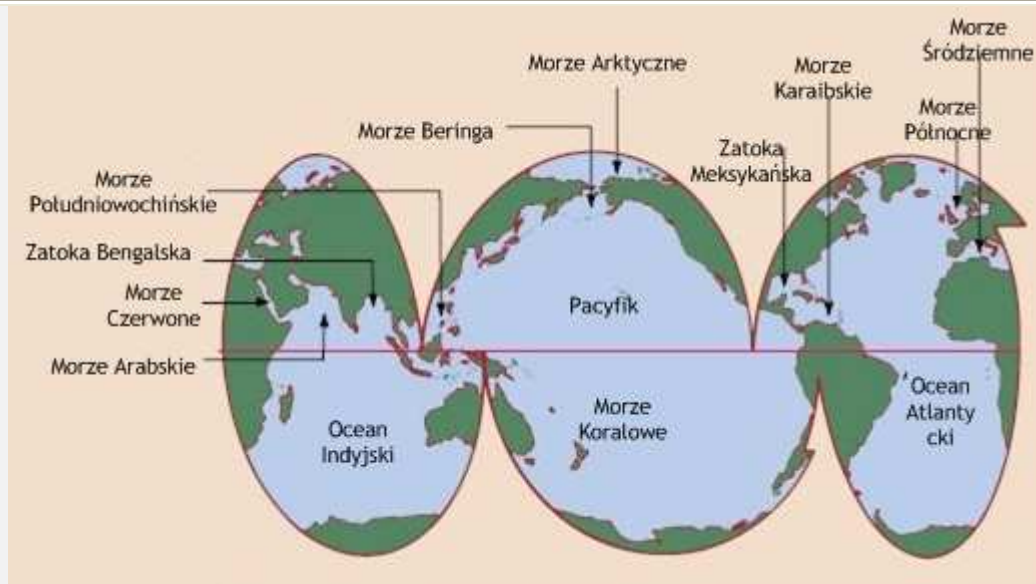
Ocean Południowy (Antarktyczny), który otacza Antarktydę, posiada trzy duże odnogi rozszerzające się na północ. Te trzy oceaniczne rozszerzenia, częściowo oddzielone przez bariery kontynentalne, to oceany Atlantycki, Spokojny i Indyjski. Inne mniejsze oceany i morza, takie jak Ocean Arktyczny i Morze Śródziemne, wychodzą z granic większych basenów oceanicznych. Połączenia pomiędzy głównymi basenami oceanów pozwalają na wymianę wody morskiej, roślin i zwierząt. Podobnie, rzeki i ich ujścia łączą baseny oceanów i ich rozszerzenia ze śródlądowymi zbiornikami słodkiej wody.

Widok rzutu Ziemi od strony równika pokazuje połączenia pomiędzy morzami i oceanami, a także fakt, że Oceany Spokojny, Atlantycki i Indyjski pokrywają większość Ziemi.

Widok od strony równika na światowe oceany. Zauważcie, że Ocean Spokojny jest największy.



Przegląd oceanów na Ziemi



Mapa oceanów i największych mórz.

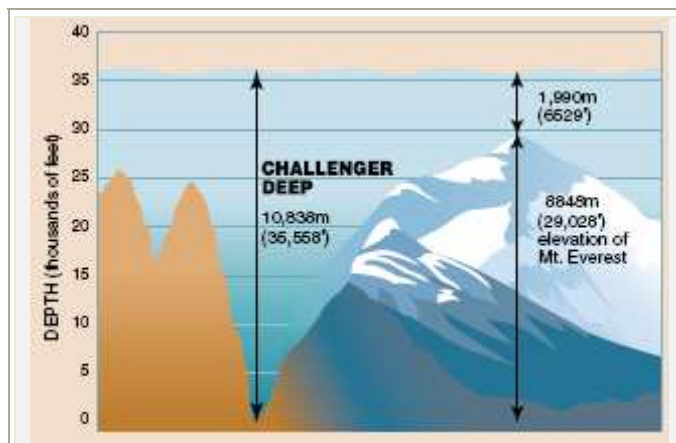
Własności topologiczne basenów oceanicznych

Dno oceanu, od brzegu aż do największej głębi, posiada zróżnicowaną i urozmaiconą rzeźbę topograficzną (więcej o tym powiemy później). Szelf kontynentalny jest podwodnym przedłużeniem platformy kontynentalnej. Gdyby poziom morza obniżył się tylko o 5 procent jego średniej głębokości, szelf wydostałby się na powierzchnię. Niektórzy naukowcy twierdzą, że całkiem niedawno, 10 tys. do 15 tys. lat temu, duża część obecnego szelfu kontynentalnego była częścią lądu. W tamtych czasach, zlodowacenie spowodowało zamrożenie dużej części oceanu, obniżając poziom morza i odsłaniając szelf kontynentalny.

Szerokość szelfu kontynentalnego jest bardzo zmienna, od kilku do kilkuset kilometrów w głąb morza. Jego całkowita powierzchnia to około osiem procent całkowitej powierzchni dna morskiego. Dzięki dużej penetracji promieni słonecznych w głąb tych relatywnie płytkich wód, wiele najbardziej cennych i delikatnych ekosystemów świata mieści się właśnie w tej przestrzeni.

Krawędź szelfu kontynentalnego załamuje się pod dużym kątem na głębokości około 110-190 metrów/350-600 stóp, rozpoczynając stok kontynentalny. Stok opada do głębokości rzędu 2800-3700 metrów/9000-12000 stóp, aż do miejsca, gdzie zaczyna się największa podwodna powierzchnia - równina abisalna. Podwodne łańcuchy górskie, nazywane grzbietami oceanicznymi, zajmują około 30 procent dna basenów oceanicznych. Aktywność wulkaniczna wzdłuż tych łańcuchów uformowała szczyty podwodne i wiele wysp: najwyższe szczyty przebieły powierzchnią oceanów i utworzyły wyspy takie jak Islandia, czy Wyspa Wniebowstąpienia.

Rowy oceaniczne wcinają się w najgłębsze partie oceanu. Zazwyczaj umiejscowione na brzegach basenów, rowy oceaniczne są najczęściej spotykane na Oceanie Spokojnym. Najgłębsze znane miejsce we wszystkich oceanach to Głębia Challenger w Rowie Mariańskim. 10 838- metrowa (35558 stóp) głębia jest tak wielka, że zmieściłby się w niej Mt. Everest i wciąż byłoby nad nim około 1990 metrów (6529 stóp) wody. Światowe oceany zawierają ponad 1,18 bilionów kilometrów sześciennych (285 milionów mil sześciennych) wody.



Porównanie Głębokości Challengeera i Mt. Everestu. Głębokość Challengeera jest tak głęboka, że zmieściłby się w niej Mt. Everest i wciąż byłoby nad nim około 1990 metrów (6529 stóp) wody. Jedyną jak do tej pory wizytą w Głębokości Challengeera miała miejsce w 1960 roku. Żadna obecnie używana jednostka podwodna nie mogłaby osiągnąć dna Głębokości Challengeera

Podstawowe strefy oceanu i życia morskiego

Jedną z zadziwiających cech Ziemi jest różnorodność środowisk i życia. Biolodzy sądzą, że po uformowaniu się atmosfery, oceanów i życia, organizmy żywe zmieniały się w procesach, które trwają do dziś. Nierównomierne nasłonecznienie stworzyło regiony o różnych względnych temperaturach i wilgotnościach. Warunki w nich są nieustannie zmieniane przez różnorakie procesy fizyczne. Naukowcy sądzą, że owe procesy wyjaśniają różnorodność istniejących dziś na Ziemi środowisk oraz żyjących w nich organizmów. Ponieważ charakterystyka danego środowiska determinuje adaptacje organizmów, które muszą w nim żyć, zacznijmy od przyjrzenia się podstawowym środowiskom w oceanie oraz typom organizmów tam żyjących.

Metody klasyfikacji środowiska

Jak można sklasyfikować środowiska morskie? Wyobraź sobie, że spacerujesz po parku. Twoim zadaniem jest podzielić park na obszary do dalszego zbadania. Jak się za to weźmiesz? Możesz zaobserwować, że w części parku są trawniki, drzewa, albo inne rośliny. W innych miejscach parku są budynki, brukowane alejki i huśtawki dla dzieci. Może cię to doprowadzić do stworzenia podziału na „strefę naturalną” i na „strefę zagospodarowaną”. Zauważasz, że park ma zewnętrzne części blisko otaczających go ulic. Z kolei wewnętrzna jego część leży daleko od jakiegokolwiek ruchu samochodowego. Dzielisz więc park na „strefę zewnętrzną” i na „strefę wewnętrzną”.

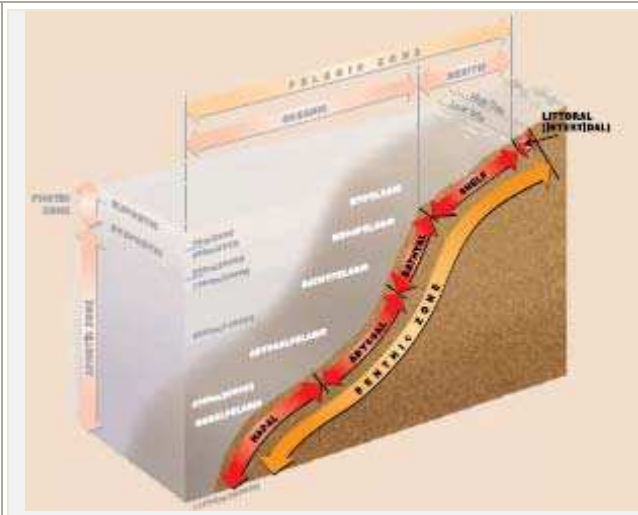
Z drugiej strony, możesz być zainteresowany tym, jak w parku egzystują organizmy żywe. Zauważasz ptaki, owady, psy, drzewa i ludzi. Bazując na tej obserwacji, możesz sklasyfikować formy życia jako „tubylcze”, które tam zamieszkują, oraz „gości”, którzy przychodzą od czasu do czasu z wizytą, ale nie zostają na dłużej. Możesz też sklasyfikować je na takie, które latają i na takie, które latać nie potrafią. Żadna z tych metod nie jest ani dobra, ani zła. Wszystkie są słusznymi metodami podziału parku. W czasie dalszych badań parku, może się zdarzyć, że będziesz używał więcej niż tylko jednej z nich, w zależności od tego, czym będziesz się akurat zajmował. Analizując wpływ hałasu, najprawdopodobniej użyjesz podziału na strefy „zewnętrzne” i „wewnętrzne”. Przy testowaniu, w jaki sposób ludzie używają parku, przydatny będzie podział na strefy „naturalne” i „zagospodarowane”.

Jako nurek, stajesz przed takim samym problemem, kiedy analizujesz oceany i ich mieszkańców. Morza mogą być podzielone na różne regiony, w zależności od ich fizycznych właściwości. Części oceanów mogą być sklasyfikowane na różne strefy albo regiony, w zależności od oświetlenia, głębokości, temperatury, gęstości (o tych właściwościach jeszcze powiemy później), szerokości geograficznej i odległości od brzegu oraz od kombinacji wszystkich tych właściwości. Przyjrzyjmy się teraz podstawowym klasyfikacjom opartym na odległości od brzegu i na głębokości.

Położenie

Najbardziej podstawowym podziałem oceanu, opartym na położeniu, jest podział na toń wodną i dno. Toń wodna jest zwana *pelagiałem*, a część denna *bentalem*. Każda z nich ma podstrefy.

Pelagial jest podzielony w poziomie na dwie strefy: *nerytyczną* (płytkomorską) i *oceaniczną*. Strefa *nerytyczna* obejmuje obszar wody pomiędzy dolną granicą odpływu a brzegiem szelfu kontynentalnego. Strefa *oceaniczna* to otwarta toń wodna poza krawędzią szelfu. Strefa ta jest podzielona w pionie na dalsze podstrefy: epipelagial, mezopelagial, batypelagial, abisopelagial i hadopelagial.



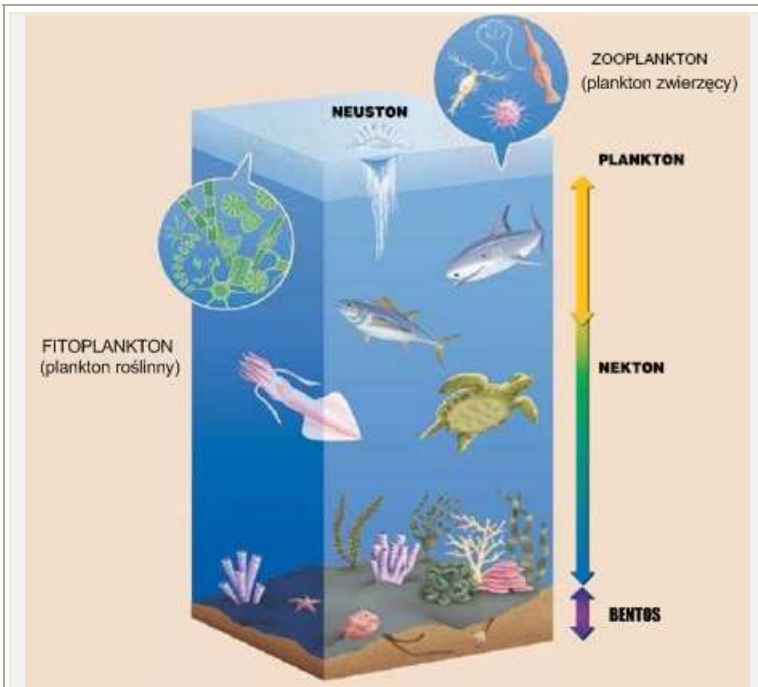
Pelagial jest podzielony zarówno wzdłuż pionowej, jak i poziomej osi. W poziomie dzieli się na strefę nerytyczną i strefę oceaniczną, oddzielone od siebie krawędzią szelfu kontynentalnego. Strefa nerytyczna rozciąga się od krawędzi szelfu do brzegu. Wzdłuż osi pionowej pelagial jest podzielony zależnie od głębokości. Głębokość, do której dociera światło słoneczne, definiuje górne warstwy, epipelagial i mezopelagial. Głębsze strefy są w wiecznej ciemności i zawierają wody poniżej ~1000 metrów (3280 stóp).

Epipelagial to górna warstwa wody, którą bez przeszkód penetruje światło słoneczne. Poniżej leży mezopelagial, gdzie światło wprowadzie jeszcze dochodzi, ale nie na tyle, by mogły rozwinąć się wszelkie formy życia. Strefy niżej, to kolejno batypelagial, abisopelagial i hadopelagial. Batypelagial to głęboka toń otwartego oceanu. Abisopelagial to jeszcze głębsze wody w rowach oceanicznych. Hadopelagial to najgłębsza woda na dnie rowów oceanicznych.

Strefa bentalu jest podzielona zależnie od głębokości. Zaczynając od brzegu i kierując się w stronę otwartego oceanu, pierwszą strefą jest *supralitoral* (strefa odprysków). Ta strefa jest obmywana przez wodę, ale nie pozostaje w zanurzeniu. Następnie leży *litoral*, który jest obszarem dna pomiędzy górną granicą przyływu a dolną odpływu, tak że czasem jest zanurzony, a czasem jest nad wodą.

Poniżej litoralu znajduje się szelf kontynentalny. Obszar ten jest podzielony na *sublitoral*, czyli dno oceanu blisko brzegów, oraz *zewnętrzny sublitoral*, czyli dno oceanu przy krawędzi szelfu kontynentalnego. *Batial* to dno oceanu wzdłuż stoku kontynentalnego, aż do jego głębokiego podnóża. Dno głębokiego otwartego oceanu to *abisal*. Strefa najgłębsza, poniżej 6000 metrów (19685 stóp), to *hadal*. Batial, abisal i hadal popularnie są określane jedną nazwą, the deep sea floor.

Organizmy żywe



Klasyfikacja ze względu na styl życia dzieli organizmy żywe na trzy główne grupy. Plankton to życie dryfujące (obejmując także neuston, który żyje na powierzchni), nekton żyje w toni wodnej, a bentos obejmuje organizmy żyjące w lub na dnie morza

W dalszym ciągu tego rozdziału przeczytasz o kilku z tysięcy różnych specyficznych organizmów żyjących w słodko- i słonowodnych środowiskach. Dowiesz się szybko, że życie wodne jest niewiarygodnie różnorodne. Mogłoby być trudno omawiać oddzielnie każdy z setki tysięcy gatunków.

Dlatego właśnie naukowcy grupują i dzielą organizmy żywe według ich fizycznych charakterystyk. Czasem jednak ten typ klasyfikacji nie jest odpowiedni. Jako nurek zauważysz, że często cechy konkretnego organizmu są mniej ważne, niż to jak i gdzie organizm żyje. Bardzo różne organizmy egzystują w tym samym środowisku i mają podobne strategie przetrwania. Dla takiego przypadku, naukowcy sklasyfikowali życie wodne na trzy style życia: plankton, nekton i bentos.

Plankton jest grupą roślin (fitoplankton) i zwierząt (zooplankton), które biernie unoszą się w prądach oceanu. Plankton w większości jest bardzo mały albo mikroskopijny i może płynąć jedynie z prądem i falami. Plankton znajduje się pośród najważniejszych organizmów na Ziemi. Bez niego zginęłaby

większość życia.

Nekton jest tym, co prawdopodobnie widzisz przed oczami, gdy myślisz o życiu morskim. Nekton to organizmy, które potrafią pływać, od małych bezkręgowców do dużych walen. Większość morskich drapieżników jest nektonem. Gros nektonu to kręgowce (zwierzęta z wewnętrznym szkieletem i kręgosłupem), jak ryby i walenie, ale istnieją w nim też bezkręgowce (zwierzęta bez wewnętrznego szkieletu i kręgosłupa), jak na przykład kałamarnice.

Bentos to organizmy, które żyją albo na dnie albo wewnątrz dna. Bentos może się poruszać, albo być organizmem osiadłym. Organizmy osiadłe są przymocowane do dna, jak ukwiały, wąsonogi (np. pąkle) i gorgonie.

Klasyfikacja ta ma podgrupy. Ważną podgrupą planktonu jest neuston. Neuston to plankton, który pływa po powierzchni. Ciekawym jego przykładem jest żeglarz portugalski (bąbelnica, żywłoga, aretuza), który unosi się na powierzchni dzięki specjalnemu gazowi, pozwalając popychać się wiatrom i polować za pomocą jadowitych żądłacych macek.

Bentos jest podzielony na epifaunę, epiflorę i infaunę. Epifauna to zwierzęta, takie jak kraby, które żyją na dnie morskim. Epiflora to rośliny, jak wodorosty, żyjące na dnie morskim. Infauna zaś to organizmy, które żyją częściowo albo całkowicie zakopane w dnie. Można tu wymienić niektóre gatunki małży, dolarki piaszkowe (ang. sand dollar), wieloszczety osiadłe (ang. tubeworm) i piórka morskie (ang. sea pen). Większość infauny to albo zbieracze, albo filtratorzy. Zbieracze żywią się detrytusem (rozdrobnionymi szczątkami organicznymi i nieorganicznymi) opadającym na dno. Filtratorzy natomiast filtrują drobne cząstki (głównie plankton) zawieszone w wodzie.

Temperatura

Woda ma bardzo wysoką pojemność cieplną, co oznacza, że może zmagazynować więcej ciepła niż większość zwykłych substancji (szerzej o tym w rozdziale 4). Cecha ta daje Ziemi dużą inercję cieplną, czyli zdolność do przeciwstawienia się zmianom temperatur. Dzięki wysokiej pojemności cieplnej temperatura oceanu prawie nie zmienia się, nawet gdy straci on albo zyska dużą ilość ciepła. Dlatego zmiany temperatur w morzach są raczej stopniowe, powolne. Dla porównania, temperatura na lądzie może zmienić się aż o 20°C (68°F) w ciągu dnia w niektórych strefach klimatycznych.

Ponieważ Słońce dostarcza Ziemi kolosalną ilość energii, inercja cieplna oceanów jest bardzo ważna dla życia zarówno na lądzie jak i w wodzie. Około połowa tej energii przedostaje się przez atmosferę, a ocean absorbuje większość z tego co przeszło. Przez konwekcję, parowanie i promieniowanie, ciepło wraca do atmosfery i jest wypromieniowane z powrotem w przestrzeń. Promieniowanie słoneczne i

wewnętrzne źródła ciepła Ziemi nieustannie równoważą ciepło wypromieniowane z Ziemi. Proces ten utrzymuje Ziemię w równowadze termicznej, co oznacza, że chłodzi się ona w przybliżeniu w takim samym tempie, jak się grzeje. Przez cały czas Ziemia ani nie grzeje się znacznie, ani nie chłodzi.

Z dnia na dzień i przez cały rok woda morska działa jak globalny termostat, zapobiegając huśtawce globalnej temperatury, którą spowodowałoby nierówne ogrzewanie słoneczne różnych części globu. Woda morska absorbuje ciepło w ciągu dnia i przez lato, żeby następnie oddać je w atmosferę w nocy i w zimie. Podobnie lodowe czapy polarne absorbują ciepło topiąc się w ciągu dnia i oddają je ponownie marznąc w nocy. Różnice temperatur pomiędzy nocą a dniem oraz między latem a zimą byłyby znacznie większe bez równowagi termicznej zapewnianej przez oceany. Bez inercji termicznej zapewnianej przez oceany wiele, być może większość, organizmów na Ziemi nie przetrwałoby drastycznej huśtawki temperatur, która wystąpiłaby pomiędzy nocą a dniem.

Dla każdego gatunku istnieje zakres warunków, w których może on żyć. Zakres ten, między innymi, obejmuje temperaturę, zasolenie i intensywność światła. Niektóre gatunki tolerują szeroki przedział warunków zewnętrznych, mogą więc żyć w wielu różnych miejscach. Inne akceptują jedynie wąski zakres tych warunków i są bardziej ograniczone, jeżeli chodzi o wybór miejsca do życia. Organizm może mieć duży przedział tolerancji na jeden czynnik (np. temperaturę), a wąski na inny (np. zasolenie).

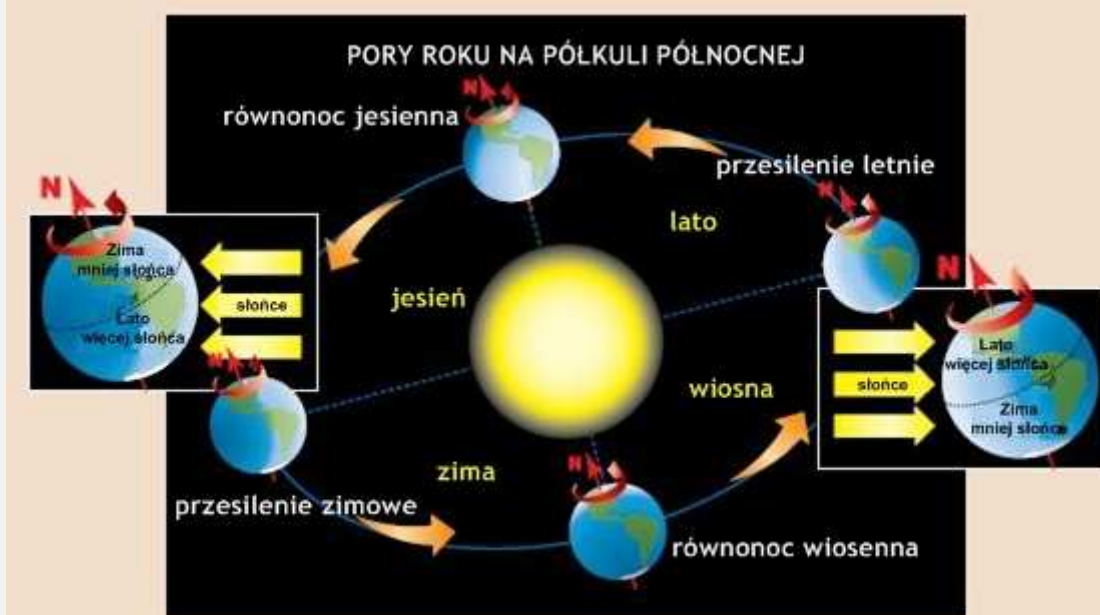
Przedziały tolerancji wpływają na siebie wzajemnie. Na przykład, rozgwieżdzy tolerują szeroki zakres temperatur, ale jeżeli żyją blisko limitu tego zakresu, są bardziej czułe na zmiany innych czynników środowiskowych, jak np. zasolenia. Zakres tolerancji organizmu żywego częściowo określa wspólnotę ekologiczną, w której może żyć.

Nierównomierne nasłonecznienie a pory roku

Powodem istnienia pór roku jest przechył o 23,5° osi obrotu Ziemi względem płaszczyzny jej orbity wokół Słońca. W pobliżu letniego przesilenia dni są długie i półkula północna otrzymuje najwięcej światła słonecznego w ciągu roku. Powyżej arktycznego koła podbiegunowego Słońce nie zachodzi przez kilka miesięcy i jego światło dochodzi do Ziemi 24 godziny na dobę każdego dnia. Z kolei blisko przesilenia zimowego na półkuli północnej dni są krótkie, a półkula dostaje najmniej światła w ciągu roku. Powyżej arktycznego koła podbiegunowego Słońce w ogóle nie wschodzi przez kilka miesięcy. Na półkuli południowej pory roku występują dokładnie na odwrót, ponieważ dół osi obrotu Ziemi przybliża się ku Słońcu wtedy, gdy góra osi się od niego oddala.

Rozkład życia morskiego jest blisko związany z geograficznymi różnicami temperatur wody. Dzieje się tak dlatego, że większość zwierząt i roślin nie ma mechanizmu kontroli swojej wewnętrznej temperatury. Organizmy takie, nazywane zimnokrwistymi (zmiennocieplnymi), mają wewnętrzną temperaturę równą temperaturze otoczenia. W skutek tego, mogą one egzystować tylko w dość wąskim przedziale temperatury. Tylko ptaki, ssaki i kilka pelagialnych (żyjących na otwartym oceanie) ryb, jak tuńczyk, może regulować temperaturę swojego ciała (do pewnej wartości). Takie organizmy nazywamy ciepłokrwistymi (stałocieplnymi). Zdolność do regulowania temperatury swojego ciała daje tym organizmom znacznie większe możliwości przemieszczania się pomiędzy strefami klimatycznymi.

Zmiana temperatury może w różny sposób wpływać na organizmy wodne. Po pierwsze, wpływa na wewnętrzny metabolizm (wzrost komórek, zużycie tlenu, tętno i inne procesy fizjologiczne). Temperatura otoczenia reguluje metabolizm organizmów zmiennocieplnych. Zazwyczaj dla takich organizmów z każdym wzrostem temperatury o 10°C (50°F) szybkość metabolizmu wzrasta dwu, trzykrotnie. Jasno więc widać, że zmiany temperatury wody związane z porami roku głęboko wpływają na organizmy wodne. Zdolność gatunków zimnokrwistych do tolerancji fluktuacji temperatury może być kluczowa do ich przetrwania. Wiele organizmów wodnych wykorzystuje sezonowe zmiany temperatur, aby wypuścić nasienie i ikrę do wody. Gatunki pospolite na północno-zachodnich brzegach Pacyfiku, takie jak omutki, używają tego środowiskowego sygnału, aby zapewnić jednoczesne złożenie ikry przez wszystkie matki w całym obszarze w tym samym czasie.



Pory roku na półkuli północnej. Pory roku są skutkiem nachylenia osi obrotu Ziemi względem płaszczyzny jej orbity wokół Słońca

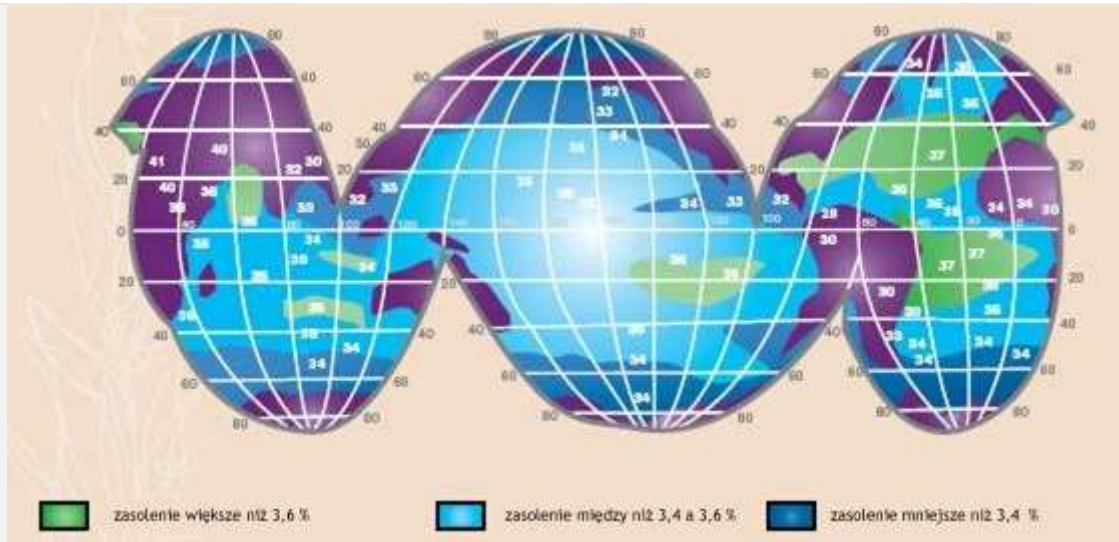
Zmiana temperatury wpływa na Ciebie jako nurka w takim samym stopniu, jak wpływa na organizmy wodne. Dlatego musisz zwracać uwagę na temperaturę wody i właściwą izolację. Jakość izolacji zależy od temperatury wody, a temperatura wody zależy od tego gdzie jesteś, jaka jest pora roku i w pewnym stopniu od tego, jaka jest pogoda. Możesz doświadczyć temperatur zmieniających się od -2°C (28°F) w regionach okołobiegunowych do ponad 30° (85°F) w tropikach, a nawet jeszcze wyższych w niektórych geotermalnych źródłach. W danym regionie, temperatura wody w ciągu roku waha się, ale zazwyczaj nie więcej niż $8^{\circ}\text{--}11^{\circ}\text{C}$ ($15^{\circ}\text{--}20^{\circ}\text{F}$). Twoje doświadczenie prawdopodobnie nauczy Cię, że w klimacie umiarkowanym, w czasie chłodnych pór roku, preferowany jest suchy skafander, ale w czasie pór ciepłych bardziej odpowiedni jest skafander mokry.

Zasolenie

Kolejnym czynnikiem wpływającym na wodne królestwo jest skład chemiczny wody. Badacze morza sądzą, że woda morska jest zakumulowanym produktem mieszania się przez miliony lat cząsteczek pochodzących z powietrza, skał i gleby z wodą deszczową. Jednym z powodów, dla którego woda słodka jest rzeczywiście słodka, jest fakt, że akumuluje się w głębią lądu pod wpływem opadów atmosferycznych (prawie czysta woda) i, poza kilkoma przypadkami, w skali geologicznej nie ma czasu, żeby zostać słoną.

Rozpuszczone składniki stanowią około 3,5 procenta wody morskiej. Pozostałe 96,5 procenta to czysta woda. W światowych oceanach można znaleźć śladowe ilości wszystkich naturalnie występujących substancji. Generalnie dzielą się one na trzy kategorie: substancje nieorganiczne (zazwyczaj nazywane solami i składnikami pokarmowymi), rozpuszczone gazy i substancje organiczne (zazwyczaj pochodzące od żywych organizmów). W ostatnich latach pojawiła się czwarta kategoria: organiczne i syntetyczne substancje takie jak DDT i inne zanieczyszczenia, które mogą mieć niszczycielski efekt na życie morskie.

Zasolenie odnosi się do chlorku sodu (NaCl) rozpuszczonego w wodzie, wraz z innymi solami, włączając chlorek potasu (KCl). Zasolenie obejmuje całkowitą ilość lub koncentrację wszystkich rozpuszczonych nieorganicznych ciał stałych, albo bardziej precyzyjnie, jonów. Wchodzi w to chlorek sodu i wszystko inne powszechnie zwane rozpuszczonymi solami. Zasolenie wyrażamy w promilach, ponieważ nawet bardzo małe jego zmiany są znaczące. Znak ‰ oznacza „promil”, czyli „części na tysiąc”, więc 35‰ oznacza 35 części na tysiąc. (Żeby przeliczyć promile na procenty, trzeba podzielić przez 10, więc $35‰ = 3.5\%$) średnie zasolenie oceanów wynosi 35‰, czyli 3.5%.



Globalne zasolenie. Globalne zasolenie oceanów może różnić się znacząco w zależności od regionu. Regiony tropikalne zazwyczaj są bardziej zasolone niż obszary umiarkowane

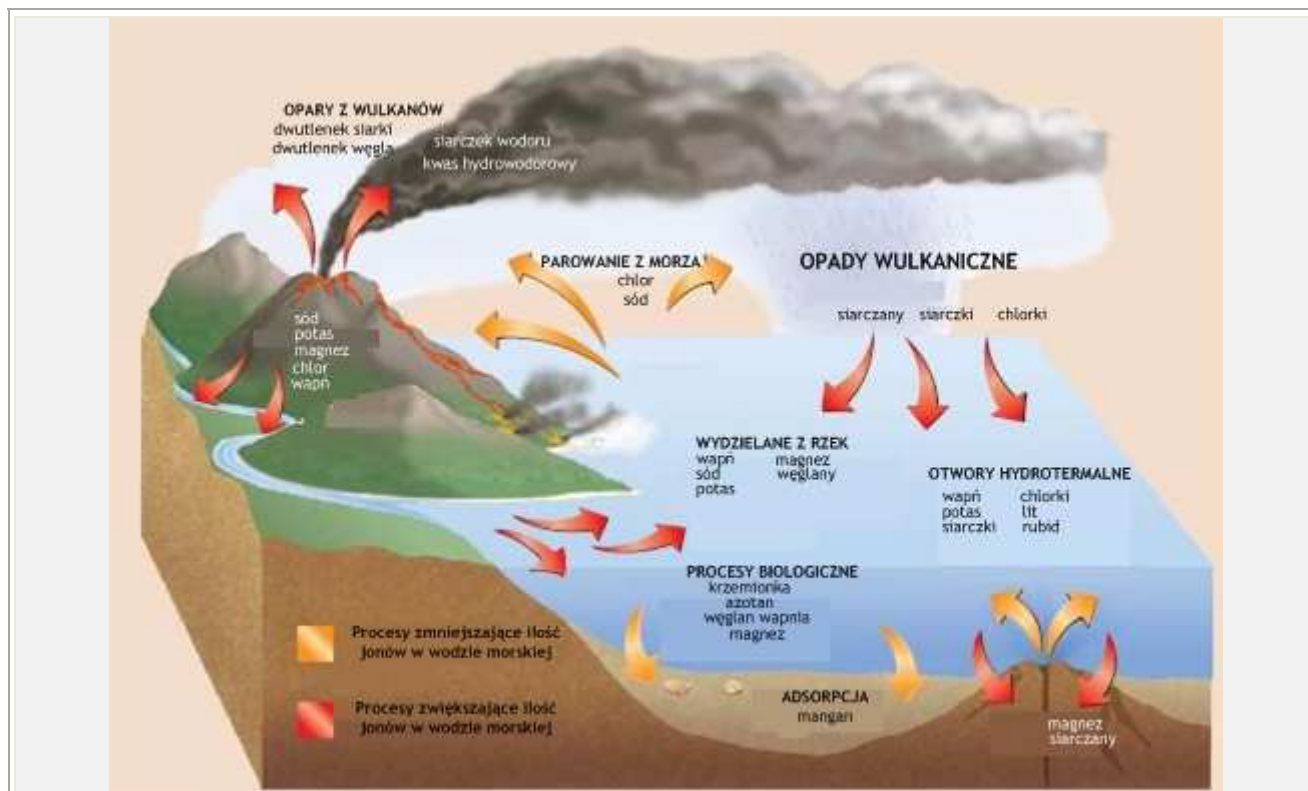
Ogólnie rzecz biorąc, większa część zasolenia wody zmienia się bardzo mało, aczkolwiek w określonych regionach potrafi się ona bardzo zmieniać: od bliskiej zero przy wylotach rzek do 40‰ w zamkniętych, jałowych regionach takich jak Morze Czerwone. Proporcje poszczególnych rozpuszczonych soli w wodzie morskiej nie zmieniają się, zmienia się tylko względna ilość wody. Zasolenie zmienia się, gdy woda słodka wpada do oceanu, np. z rzek lub w postaci deszczu albo, gdy woda paruje. Na przykład, woda słonawa powstaje w wyniku mieszania się wody słodkiej i słonej w ujściach rzek. Woda słonawa ma zasolenie od 0.6‰ do 30‰. Solanka, czyli woda nasycona, albo prawie nasycona rozpuszczoną solą, powstaje albo w obszarach o dużym parowaniu i małym dopływie wody słodkiej, albo w miejscach gdzie wysad solny rozpuszcza się na dnie morza, co jest powszechne w Zatoce Meksykańskiej. Tak jak temperatura, wielkość albo zmiana zasolenia może drastycznie wpłynąć na przetrwanie organizmu. Zmiana zasolenia wpływa na wewnętrzną równowagę chemiczną morskich roślin i zwierząt.

Wszystkie morskie rośliny, bezkręgowce i większość ryb posiada płyny ustrojowe o zasoleniu w przybliżeniu równym zasoleniu wody, w której żyją. Zapewnia to równowagę chemiczną pomiędzy ich wewnętrznymi płynami i środowiskiem zewnętrznym. Większość roślin i zwierząt nie posiada mechanizmu pozwalającego na regulowanie ich wewnętrznej równowagi chemicznej w wypadku dużej zmiany zasolenia otoczenia, ale istnieje kilka, które to potrafią. Najlepszym być może przykładem ryby, która posiada osmoregulację (czyli proces regulacyjny, który pozwala organizmowi użyć aktywnego transportu [odwrotna osmoza - proces komórkowy przesuwający materiały z obszaru o niskiej koncentracji do obszaru o koncentracji wyższej] w celu modyfikacji koncentracji wody w swoich komórkach) jest łosoś. Dzięki temu łosoś posiada mechanizm pozwalający na migrację pomiędzy słodką i słoną wodą.

Źródła zasolenia

Przy ciągłych deszczach, spływach powierzchniowych, erozji i innych siłach naturalnych można by pomyśleć, że zasolenie oceanów wzrasta lub spada. Tak jednak nie jest. Większość oceanografów sądzi, iż zasolenie jest w stanie stacjonarnym i nie ma żadnych oznak na to, że oceany stają się mniej lub bardziej słone. Wygląda na to, że źródła usuwania i dodawania soli wzajemnie się równoważą.

Skąd przede wszystkim pochodzi sól? Pierwszym źródłem wydają się minerały i substancje chemiczne erodujące i rozpuszczające się w słodkiej wodzie wpływającej do oceanu. Rzeki, spływy powierzchniowe i deszcz przesączają się przez grunt i przenoszą sole do mórz. Okazuje się jednak, że skład soli w wodzie morskiej różni się od soli dostarczanej przez rzeki, muszą więc istnieć też inne jej źródła. Fale i piana morska erodują skały na wybrzeżu (więcej o tym w dalszych rozdziałach). Głębinowe otwory hydrotermalne (otwory termiczne w skorupie ziemskiej na dnie oceanu, gorące źródła minerałów) zmieniają wodę morską, dodając do niej jedne minerały i usuwając z niej drugie. Inne biologiczne i chemiczne procesy, a także reakcje pomiędzy wodą morską a dnem, mają tendencję do usuwania soli. Naukowcy sądzą, że wszystkie te procesy równoważą się tak, aby średnie zasolenie wody morskiej pozostawało stałe. Oznacza to, że ocean jest w równowadze chemicznej.



Źródła soli w oceanie. Sól i inne składniki mogą być wprowadzone do oceanu np. przez wietrzenie skał. Przenieszone przez rzeki, składniki te zostają rozproszone w oceanie. Inne minerały dostarczane są do oceanu przez erupcję wulkanów i z otworów termicznych na jego dnie. Sól i składniki mineralne usuwane są z oceanu przez rozpylenie, parowanie i procesy biologiczne. Naukowcy sądzą, że procesy dodawania i usuwania soli z oceanu wzajemnie się równoważą

Gęstość

Różnice w temperaturze i zasoleniu wody skutkują różnicami w jej gęstości. Z kolei różnice gęstości wytwarzają w wodzie warstwy. Woda o dużej gęstości leży poniżej wody o gęstości mniejszej. Niska temperatura i wysokie zasolenie powodują dużą gęstość wody, a wysoka temperatura i niższe zasolenie powodują niską jej gęstość.

Stosunkowo ciepłe wody powierzchniowe o małej gęstości oddzielone są od chłodnej, gęstszej wody termokliną, czyli obszarem, w którym temperatura gwałtownie zmienia się z głębokością. To rozgraniczenie warstw jest tak nagłe, że w spokojnej wodzie możesz płynąć w ciepłej toni i włożyć rękę do wody wyraźnie zimniejszej. Zjawisko to jest powszechne w stojących wodach słodkich takich jak jeziora i zalane kamieniołomy.



Różnice gęstości powodują powstanie warstw w wodzie. Woda może formować warstwy, pomiędzy którymi jest wyraźna różnica w zasoleniu. Połączenie pomiędzy tymi warstwami nazywane jest *halokliną*. Zjawisko to jest powszechne w miejscach, gdzie woda z lądu tworzy warstwę ponad słoną wodą oceanu. Nurkowie jaskiniowi przepływając przez haloklinę mogą zamieszać dwie warstwy. Efekt rozmazania na zdjęciu pochodzi od zmieszania ze sobą różnych warstw.

Różnica temperatur pomiędzy obszarami nad i pod termokliną może wynieść nawet 8°-11°C (15°-20°F). Kiedy woda jest zaburzona, czasem możesz zobaczyć zniekształcenia termokliny, coś na kształt migoczącego powietrza unoszącego się nad rozgrzanego asfaltu albo pasem do kołowania na lotnisku. Efekt ten jest spowodowany mieszaniami się dwóch warstw o różnych temperaturach. Termoklina występuje zarówno w słodkiej jak i słonej wodzie oraz unosi się i opada zależnie od pory roku.

Różnice w zasoleniu zazębiają się z różnicami temperatur. Przejście od powierzchniowych wód o

niskim zasoleniu do wód głębszych, o wyższym zasoleniu, nazywane jest halokliną. W oceanie termoklina i haloklina współtworzą pyknoklinę, strefę, w której gęstość wzrasta z głębokością. Poniżej pyknokliny, temperatura i zasolenie są w przybliżeniu jednolite.

pH - Kwasowość i Zasadowość

Względna koncentracja dodatnich jonów wodorowych albo ujemnych jonów wodorotlenkowych odpowiada za kwasowość lub zasadowość wody. Kwasowość i zasadowość mierzone są w skali pH, która przedstawia bilans w cieczy pomiędzy dodatnimi jonami wodorowymi (H^+)¹ i jonami ujemnymi (OH^-). Roztwór, który posiada dużo jonów wodorowych, staje się kwasem, a jego pH wynosi od 0 do 7. pH równe 0 oznacza bardzo skoncentrowany kwas, który oparzyłby twoją skórę, a pH od 4,0 do 5,5 to kwas rozcieńczony. Na przykład kwas cytrynowy, który daje cytrynom ich kwaśny smak, jest rozcieńczonym kwasem. Skala pH jest logarytmiczna, co oznacza, że każda kolejna liczba na skali jest równa poprzedniej, pomnożonej o stałą wartość. W przypadku skali pH, stałą wartością jest 10, tak więc każdy stopień na skali jest dziesięciokrotną zmianą. Tak więc na przykład zmiana od pH 6 do pH 7 odpowiada dziesięciokrotnemu wzrostowi zasadowości.

Roztwory, które mają dużo jonów wodorotlenkowych, są zasadami. Ich pH jest wyższe niż 7, a wszystko co ma pH ponad 9, jest uważane za skoncentrowany roztwór zasadowy. Na przykład, wodorotlenek sodu ma pH równe 14 i jest niebezpieczny w dotyku. Dla porównania proszek do pieczenia ma pH około 8.

Czysta woda ma pH równe 7, czyli jest neutralna. Czy myślałeś kiedyś, dlaczego możesz swobodnie otwierać oczy w większości słodkowodnych jezior, a kiedy zrobisz to w oceanie, zaczynają Cię trochę szczypać? Dzieje się tak dlatego, że pH wody morskiej mieści się w zakresie od 7,8 do 8,3, co oznacza bardzo lekką zasadowość. Przypomnij sobie, że różnica pomiędzy pH 7 i 8 oznacza dziesięciokrotną zmianę. Lekka alkaliczność wody morskiej (spowodowana rozpuszczonymi solami) drażni twoje oczy.

Zbiorniki słodkiej wody nie zawsze są neutralne i mogą mieć pH z szerokiego przedziału, od wysokiej kwasowości, do wysokiej zasadowości. pH słodkiej wody może radykalnie zmieniać się zarówno przez procesy naturalne, jak i przez wpływ człowieka. pH oceanu natomiast pozostaje względnie stałe, dzięki buforowaniu. Bufory są substancjami, które zmniejszają podatność roztworu na zbyt duże zmiany w kwasowości i zasadowości. Woda morska jest buforowana przede wszystkim przez zawarty w niej dwutlenek węgla. Dwutlenek węgla łączy się z wodą w wielu reakcjach chemicznych, które albo wiążą, albo uwalniają jony wodorowe. Jeżeli woda jest zbyt zasadowa, reakcje te uwalniają jony wodorowe i zwiększają kwasowość. Z drugiej strony, jeżeli woda staje się zbyt kwaśna, inne reakcje wiążą jony wodorowe i zwiększają jej zasadowość. Cykl węglowy to istotny, ale skomplikowany proces, który utrzymuje pH oceanów na stosunkowo stałym poziomie (więcej o tym w dalszej części).

Mimo, że pH wody morskiej jest względnie stałe, zmienia się z głębokością. Dzieje się tak dlatego, że ilość dwutlenku węgla zależy od głębokości. Wyższe, oświetlone przez Słońce warstwy, zwane strefą fotyczną, zawierają największą gęstość organizmów fotosyntetycznych. Organizmy wykorzystują dwutlenek węgla, czyniąc przy tym wodę odrobinę mniej kwaśną. Woda powierzchniowa jest też zazwyczaj stosunkowo ciepła, co zmniejsza zawartość dwutlenku węgla w roztworze. Ogólnie rzecz biorąc, ciepła, wydajna woda (woda z dużym przyrostem organizmów) ma pH około 8,5.

Na średnich głębokościach w oceanie pH zmienia się niewiele. Oddychanie zwierząt morskich i innych organizmów produkuje więcej dwutlenku węgla. Czyni to wodę trochę bardziej kwasową z niższym pH.

Na głębokości 1000 metrów (3280 stóp) jest już mniej aktywności organicznej. Skutkuje to mniejszym oddychaniem, a więc mniejszą zawartością dwutlenku węgla. Woda jest więc bardziej alkaliczna. Na głębokości 3000 metrów (9840 stóp) i głębiej woda znowu staje się kwasowa. Dzieje się tak z powodu rozkładających się szczątków organicznych, produkujących dwutlenek węgla, przy jednoczesnym braku organizmów fotosyntetycznych, które by go usuwały. Przejście pomiędzy mniej i bardziej kwasową wodą jest nazywane granicą kompensacji węglanu wapnia (CCD - ang. calcium compensation depth). Woda poniżej CCD jest wystarczająco kwasowa, żeby rozpuścić, zbudowane głównie z węglanu wapnia, tonące muszle martwych organizmów.

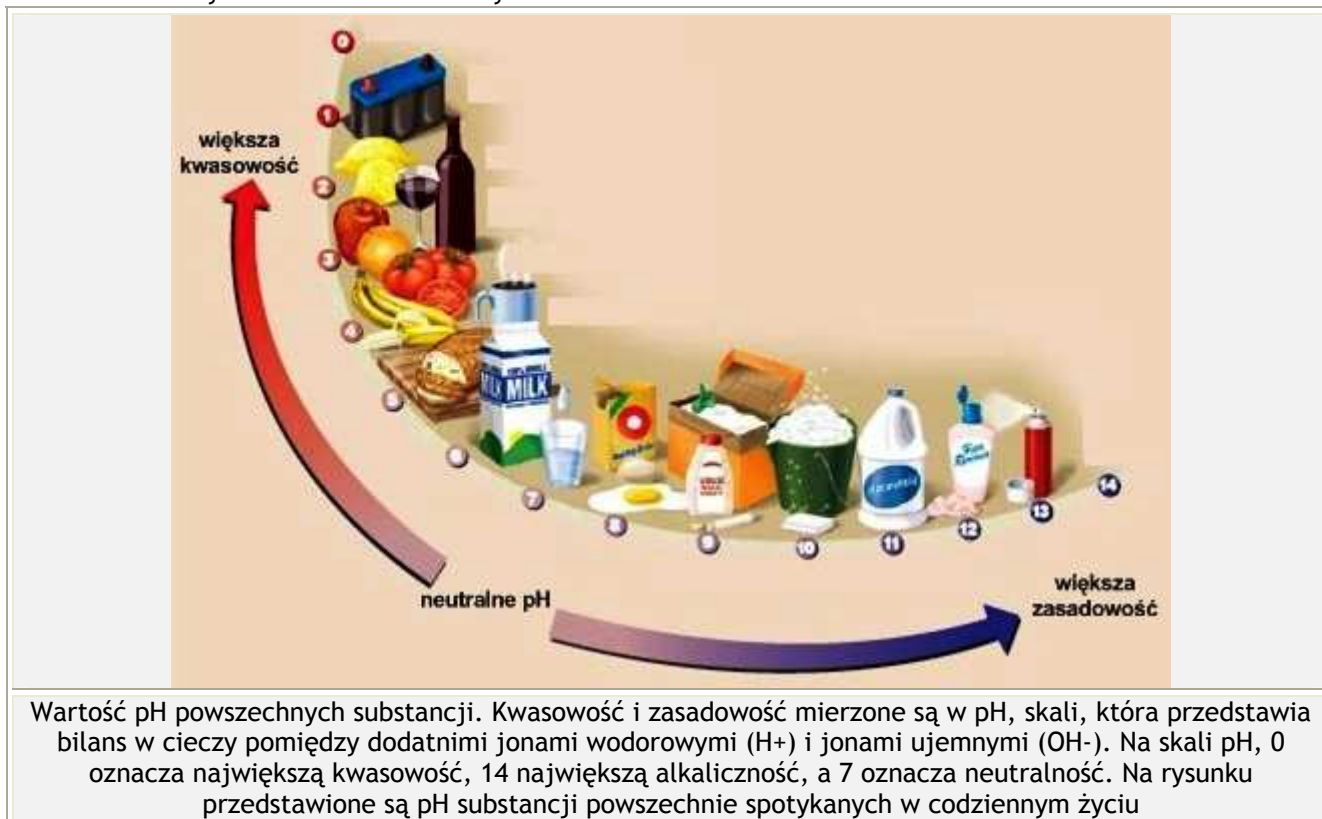
pH wody również wpływa na dobry rozwój życia morskiego. Doskonałym przykładem są słone jeziora w Palau na Pacyfiku. Słone jeziora Palau są częścią oceanu i woda w nich zmienia się wraz z pływami. Kilka z tych jezior jest kompletnie odizolowanych od otaczającego je oceanu i woda morska wpływa do nich przez szczeliny w wapieniu, typowym dla wysp w tym rejonie. Pęknięcia w wapiennych wyspach pozwalają na transfer słonej wody, ale wykluczają inne formy życia wodnego.

W tych izolowanych jeziorach nie ma drapieżników, a sprzyjające warunki uczyniły jezioro na wyspie Eil Malk domem dla pewnego unikalnego życia morskiego. Jezioro Meduz milionami zamieszkują

¹ Przypis tłumacza: To jest definicja historyczna. Wolne jony wodorowe nigdy nie występują w roztworach wodnych. Obecnie skala jest oparta na aktywności jonów hydroniowych [H_3O^+].

dwa gatunki nieżądających meduz (ang. Moon Jellyfish i the Mestiga). Nie posiadają parzydełek, lecz zużywają światło słoneczne do wytworzenia własnej żywności za pomocą komórek glonów w ich przezroczystych ciałach. W dzień meduzy podążają za Słońcem, a w nocy opadają do głębszych warstw wody, gdzie zaczynając od 18 metrów (60 stóp) rozpuszczony jest siarkowodor (toksyna, która im nie szkodzi). Tam, w głębinach jeziora, uzupełniają swoje biogeny.

W jeziorze można nurkować z fajką, mieszając się z meduzami w górnej warstwie jeziora, gdzie pH wynosi średnio 8,5. Nurkowie są ostrzegani przed zejściem poniżej 9 metrów (30 stóp), gdyż od tej głębokości jezioro zaczyna być bardziej zasadowe. Spowodowane jest to spadkiem oddychania (brak tam innych organizmów morskich), a w konsekwencji spadkiem dwutlenku węgla, czyniąc jezioro bardzo skoncentrowanym roztworem alkalicznym.



Rozpuszczone związki chemiczne nie będące solami

Najpowszechniejszymi gazami rozpuszczonymi w wodzie są tlen, dwutlenek węgla i azot. Ich ilość zmienia się pod wpływem czynników biologicznych i środowiskowych. Pierwszym czynnikiem wpływającym na rozpuszczalność gazów w wodzie jest temperatura. Jak dowiesz się później w rozdziale czwartym, zimna woda może zawierać więcej gazu niż ciepła. Metabolizm roślin i zwierząt również wyznacza ilość i rodzaj gazów w wodzie. Rośliny w czasie fotosyntezy wytwarzają tlen i zużywają dwutlenek węgla, a z kolei zwierzęta w czasie oddychania spalają tlen i produkują dwutlenek węgla.



Śródlądowe Jezioro Meduz w Palau ilustruje wpływ pH na przetrwanie organizmów żywych. Meduzy na zdjęciu prosperują w pH znacznie powyżej typowego pH oceanicznego

Pomimo że większość rozpuszczonych w oceanach ciał stałych to sole, rozpuszczone związki nieorganiczne, są tam jeszcze inne związki albo organiczne, albo oddziałujące w znaczącym stopniu z

organizmami żywymi. Składniki te są kluczowe dla życia i pod wieloma względami różnią się od soli.

Jedną z różnic jest fakt, że te substancje nie podlegają zasadzie stałych proporcji (zasadzie, która mówi, że proporcje rozpuszczonych w wodzie morskiej soli są stałe). Ilość i proporcje tych rozpuszczonych substancji zmieniają się w czasie z powodu procesów biologicznych i geologicznych, niezależnie od zasolenia. Na przykład w środowiskach o dużej gęstości organizmów żywych może brakować niektórych materiałów organicznych. W innych zaś miejscach zanieczyszczenie albo podwodne erupcje mogą powodować występowanie nadmiaru pewnych substancji.

Życie na Ziemi jest zależne od materiałów pochodzących z nieożywionych części planety. Stały przepływ pierwiastków i związków chemicznych pomiędzy organizmami żywymi (formami biologicznymi) i Ziemią (formami geologicznymi) jest nazywany cyklem biogeochemicznym.

Składniki pokarmowe

Oprócz gazów używanych w fotosyntezie i oddychaniu, życie potrzebuje między innymi składników pokarmowych. Podstawowymi pierwiastkami substancji odżywczych są: węgiel, azot, fosfor, krzem, żelazo i kilka innych metali śladowych. Kiedy organizm ginie, to czego nie zjedzą padlinożercy tonie, docierając do dna poniżej strefy fotycznej. Materiał organiczny ulega następnie rozkładowi pod wpływem bakterii i innych mikroorganizmów. Rozkład pozostawia nieorganiczne składniki pokarmowe. Wyptywanie wód głębinowych jest jedną z sił, która przenosi nieorganiczne substancje pokarmowe z powrotem na płytsze wody. W strefie fotycznej fotosynteza przywraca je do łańcucha pokarmowego.

Nie wszystkie pierwiastki i związki chemiczne krążą w takim samym tempie. Jedne krążą szybko, podczas gdy inne mogą być odizolowane albo uwięzione na dnie na długi czas. Cykl biogeochemiczny różnych składników pokarmowych wpływa na właściwości organizmów i ich miejsce życia w morzu.

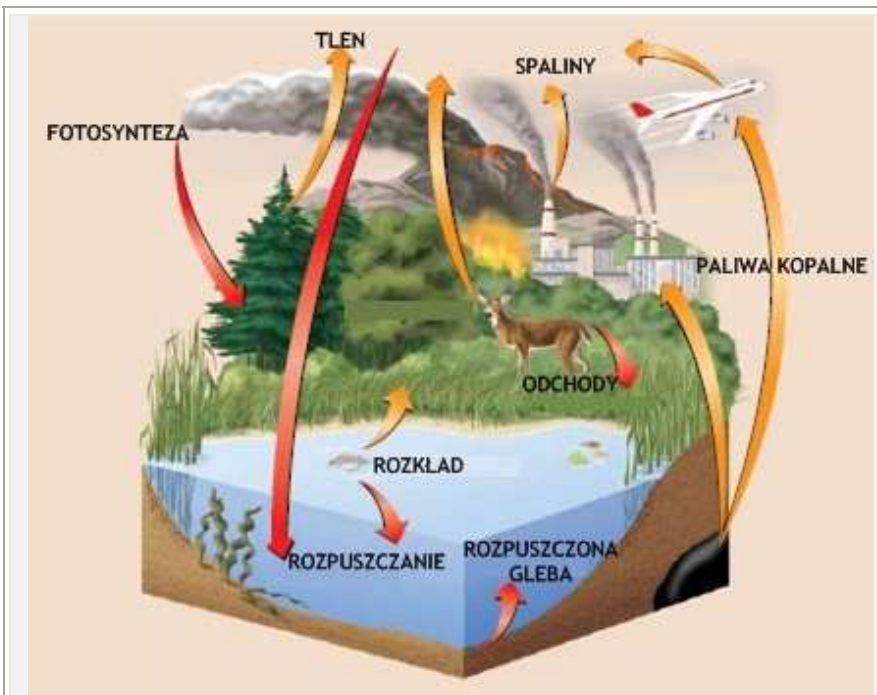
Rozłożenie składników pokarmowych częściowo jest zależne od głębokości: rośliny podejmują je w wodach płytkich, podczas gdy zwierzęta produkują odpady niezależnie od głębokości. Powoduje to mniejszą ilość pierwiastków pokarmowych na powierzchni i większe ich zagęszczenie w wodach głębinowych. Jest to odwrotne do pionowego rozkładu tlenu i odzwierciedla ważny cykl biologiczny: pierwotną produkcję materiału roślinnego, konsumpcję tego materiału przez zwierzęta morskie i w końcu wydalanie odpadów, które uwalniają składniki pokarmowe.

Węgiel

Węgiel jest podstawowym materiałem budowlanym całego życia, dzięki jego niezrównanej zdolności do dostarczania skomplikowanych struktur molekularnych przy formowaniu bardzo różnych związków chemicznych. Ta własność węgla jest tak wyjątkowa i ważna, że wielu biologów sądzi (pomimo fantastyki naukowej), że nie ma innego znanego pierwiastka, na którym mogłoby bazować życie: brak węgla oznacza brak życia. Prawie wszystkie związki organiczne zawierają jeden lub więcej atomów węgla. W środowiskach wodnych węgiel występuje pod wieloma postaciami.

Naturalne źródła mineralne, takie jak węgiel kamienny, przyczyniają się do obecności węgla w oceanach jako rozpuszczające się w wodzie osady. Rozpuszczony węgiel organiczny pochodzi z wydaliny organizmów żywych i z rozkładu szczątków organicznych. Jest on następnie transportowany przez globalne prądy morskie. Większość węgla organicznego, który znajduje się w głębinach morza jest rozkładany przez bakterie na formy nieorganiczne. Tworzy to „biologiczną pompę”, która koncentruje węgiel i inne składniki odżywcze na dużych głębokościach; gra ona główną rolę w globalnym cyklu węglowym. „Pompa” ta przenosi węgiel z atmosfery do głębi morza, gdzie węgiel się koncentruje i pozostaje przez wiele wieków. Naukowcy sądzą, że proces ten w 75 procentach odpowiada za różnicę koncentracji rozpuszczonego nieorganicznego węgla pomiędzy powierzchnią a głębinami.

Związki węgla znajdują się w wodzie i w powietrzu oraz w skałach i minerałach. W powietrzu węgiel jest obecny jako dwutlenek węgla, który jest ubocznym produktem oddychania. Aktywność wulkaniczna i pożary, zwłaszcza pożary lasu, również wprowadzają do atmosfery dwutlenek węgla. Ludzie dodatkowo zwiększają ilość dwutlenku węgla w atmosferze poprzez spalanie paliw kopalnianych. Paliwa kopalniane zawierają dwutlenek węgla, ponieważ absorbują go rośliny i zwierzęta. Kiedy organizm ginie, dwutlenek węgla jest zakopywany wraz z nim i zostaje razem z nim przekształcony w paliwo kopalniane. Spalanie tych paliw uwalnia dwutlenek węgla w atmosferę. Przed rewolucją industrialną koncentracja dwutlenku węgla w powietrzu była oceniana na 280 ppm (cząsteczek na milion - ang. parts per milion). Współcześnie wynosi ona około 365 ppm i gwałtownie rośnie. Dwutlenek węgla jest gazem cieplarnianym i wielu naukowców sądzi, że jest on głównym winowajcą wzrostu temperatur obserwowanych na całym globie, czyli globalnego ocieplenia.

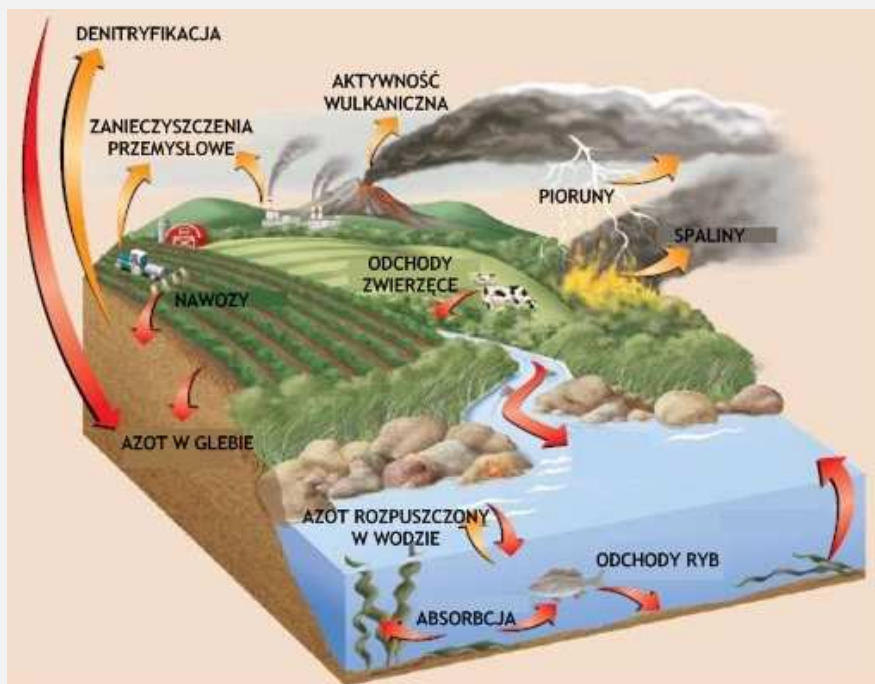


Cykl węglowy. Węgiel jest podstawowym pierwiastkiem życia. Rysunek przedstawia podstawowe kroki w cyklu węglowym. W atmosferze znajduje się 700 miliardów ton dwutlenków węgla, natomiast około jeden bilion ton jest rozpuszczony w oceanach. Transfer węgla pomiędzy biosferą i światem nieożywionym jest nazywany cyklem węglowym.

Dwutlenek węgla musi być zmieniony w inne związki węgla, jeżeli ma być przyswojony przez heterotrofy (organizmy cudzożywne takie jak my, które uzyskują niezbędną dla życia energię chemiczną przez trawienie materii roślinnej i zwierzęcej). W środowiskach lądowych i morskich, rośliny, prokarioty, glony i inne autotrofy (organizmy, które wytwarzają energię chemiczną ze związków nieorganicznych i zewnętrznych źródeł energii) w procesie fotosyntezy przetwarzają za pomocą chlorofilu dwutlenek węgla w węglowodany. Fotosynteza przetwarza za pomocą światła nieorganiczny węgiel z dwutlenku węgla w węglowodany, organiczne związki o wysokiej energii chemicznej. Fotosynteza przywraca biosferze węgiel z dwutlenku węgla, konwertując go w bardziej skomplikowane związki chemiczne. Przez ten

proces energia słoneczna pośrednio lub bezpośrednio zasila prawie całe życie na Ziemi. Życie, jakie znamy, nie istniałoby bez fotosyntezy. Transfer węgla pomiędzy biosferą i światem nieożywionym jest nazywany cyklem węglowym.

Azot



Wiele ważnych procesów podczas cyklu azotowego jest przeprowadzanych przez bakterie, przede wszystkim konwersja atmosferycznego azotu w użyteczną formę (amoniak) i denitryfikacja (powrót azotu to powietrza i wody). Spalanie (paliw kopalnianych i pożary lasu), błyskawice i aktywność wulkaniczna tworzą tlenki azotu i kwas azotowy, które przywracają azot glebie i wodzie. Cykl azotowy ma cztery ważne procesy: 1) Asymilacja: absorpcja i włączenie azotu do systemów żywych, 2) Rozkład: produkcja amoniaku przez bakterie w czasie rozkładu uryny zwierząt, 3) Nityfikacja: produkcja azotanów z amoniaku, 4) Denitryfikacja: Konwersja azotanów w azot gazowy

Kolejnym niezbędnym do życia pierwiastkiem jest azot. Jest on potrzebny w organizmach żywych pod

postaciami związków organicznych, takich jak proteiny, chlorofil i kwas nukleinowy. Azot to około 78 procent powietrza i 48 procent wszystkich gazów rozpuszczonych w wodzie morskiej. Aby organizmy żywe mogły go przyswoić, gazowy azot musi być przekształcony do innej, chemicznie użytecznej postaci. Tylko niektóre rodzaje bakterii azotowych są w stanie przetworzyć azot z powietrza w inne związki chemiczne. Dzieje się to w czasie cyklu azotowego (cyklu nitryfikacyjnego), kiedy gazowy azot jest wiązany w azotan (NO_3^-), azotyn (NO_2^-) i amon (NO_4^+).

Bakterie azotowe pobierają azot i włączają go w swoje systemy jako proteiny. Azot przechodzi do sieci pokarmowej przez odżywianie i powraca przez cykl po śmierci. Związki azotowe rozdzielają się podczas rozkładu, stając się amoniakiem. Rośliny pobierają część amoniaku, a reszta albo rozpuszcza się w wodzie, albo pozostaje w glebie. Mikroorganizmy przetwarzają amoniak w azotany i azotyny (nitryfikacja). Azotany z rozkładających się szczątków mogą albo zostać zakopane w osadzie na dnie oceanu, albo przejść denitryfikację, podczas której azot wraca do toni wodnej jako gaz.

Pewna istotna cecha cyklu azotowego doskonale ilustruje połączenia pomiędzy lądowymi i wodnymi ekosystemami. Chociaż organizmy morskie zależą od biologicznych związków azotowych, biolodzy sądzą, że bardzo niewiele azotu jest wiązane w wodzie. Bakterie azotowe wytwarzają związki chemiczne głównie na lądzie, skąd trafiają one do morza między innymi poprzez spływy powierzchniowe i odchody ptaków.

Tlen

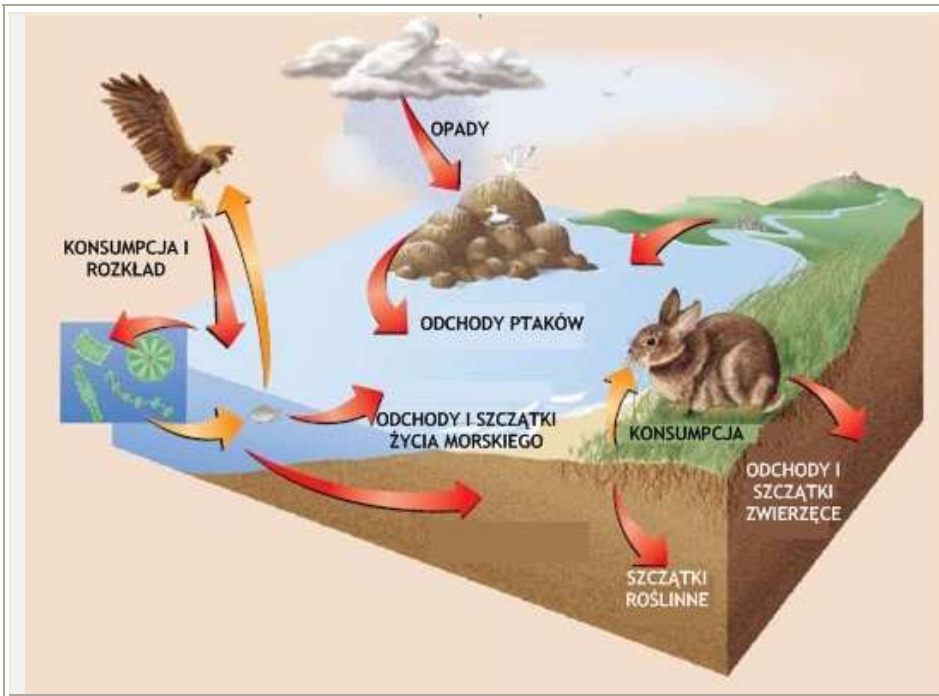
Większość (choć nie wszystkie) organizmów żywych jest zależna od tlenu, wykorzystywanego w oddychaniu, w którym to procesie energia chemiczna zawarta w węglowodanach jest zużywana do podtrzymywania funkcji życiowych. W tym procesie chemicznym wykorzystywany jest fakt, że tlen jest wysoce reaktywnym pierwiastkiem (chętnie łączy się z innymi substancjami). Nawet autotrofy, które wytwarzają tlen podczas fotosyntezy, używają go do oddychania.

Tlen rozpuszcza się w wodzie jako produkt uboczny fotosyntezy morskich autotrofów, albo, w mniejszym stopniu, pochodzący z atmosfery. Wskutek tego powierzchnia światowych oceanów jest bogata w tlen, natomiast głębia jest w niego uboga, co pokazuje kluczową rolę glonów i roślin wyższych w rozkładzie tlenu. Na większych głębokościach brak jest wystarczającej ilości światła dla procesu fotosyntezy, wobec tego jest tam znacznie mniej tlenu, a więc znacznie mniej życia.

Fosfor i krzem

Fosfor jest kolejnym ważnym dla życia pierwiastkiem. Jest używany w przemianie ADP/ATP, która jest częścią procesu zamiany energii chemicznej w energię niezbędną do życia. Fosfor jest także częścią DNA i innych kwasów nukleinowych, czyli molekuł, które przenoszą informację genetyczną od rodziców do potomstwa. Fosfor łączy się z węglanem wapnia tworząc podstawowy budulec kości i zębów.

W środowisku morskim niektóre mikroskopijne organizmy, nazywane okrzemkami i radiolariami, w podobny sposób używają krzemu w swoich muszlach i szkieletach. W tych organizmach krzem występuje pod postacią dwutlenku krzemu, potocznie zwanego krzemionką (ang. Silica). Co więcej, większość piasku jest zbudowana z krzemionki, ponieważ jest ona powszechnym składnikiem skał i minerałów oraz jest trwałym związkiem chemicznym. Fosfor i krzem stosunkowo szybko zmieniają się w fosforan i krzemionkę, pod którymi postaciami mogą być spożytkowane przez bakterie i fitoplankton. Z drugiej strony, jeżeli stały się częścią muszli i szkieletu, cykl ten może być znacznie dłuższy, gdyż toną i stają się częścią osadu na dnie morza. Powrót z osadu do biosfery i ponowne wykorzystanie przez organizmy żywe może zająć długi czas. Jednakże, w czasie kiedy są w osadzie, są kluczowe dla przetrwania organizmów zamieszkujących bentos.



Fosfor jest kolejnym ważnym dla życia pierwiastkiem. Jest używany w przemianie ADP/ATP, która jest częścią procesu zamiany energii chemicznej w energię niezbędną do życia. Rozpuszczony fosfor jest transportowany do morza przez spływ powierzchniowy i przesiąkanie gruntu. Fosfor jest używany przez rośliny, potem utylizowany przez zwierzęta, a następnie uwalniany z odpadków przez rozkład. Odchody ptaków są jednym z głównych źródeł fosforu w wodzie morskiej

Żelazo i metale śladowe

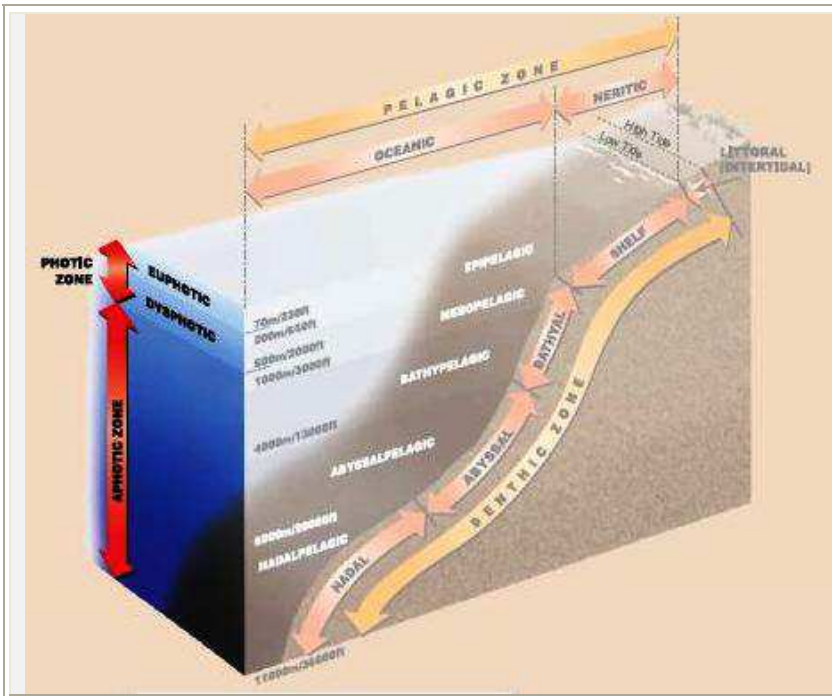
Żelazo, a także inne metale śladowe mieszczą się w definicji mikroelementów. Mikroelementy to składniki pokarmowe niezbędne dla organizmu, ale zużywane w bardzo małych ilościach. Organizmy wykorzystują żelazo do tworzenia wyspecjalizowanych protein, takich jak hemoglobina (więcej o hemoglobinie w rozdziale piątym) i enzymy. Rośliny używają żelaza do produkcji chlorofilu, choć samo żelazo nie jest częścią cząsteczki chlorofilu. Inne śladowe metale, takie jak mangan, miedź i cynk, są wykorzystywane w enzymach.

Żelazo jest bardzo ważne dla życia morskiego, zwłaszcza dla fitoplanktonu, i równocześnie jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych pierwiastków na Ziemi. Ponieważ jednak nie rozpuszcza się dobrze w wodzie morskiej, nie jest w niej łatwo dostępne. Mała część, która się rozpuści, łatwo reaguje z innymi cząsteczkami, łączy się z nimi i opada na dno. Naukowcy odkryli, że brak żelaza w niektórych częściach oceanu ogranicza przyrost fitoplanktonu. W teorii, dodanie na szeroką skalę żelaza do wody morskiej mogłoby wyzwolić gwałtowny wzrost fitoplanktonu, który z kolei znacznie zmniejszyłby ilość dwutlenku węgla w atmosferze. To mogłoby pomóc w zmniejszeniu efektu cieplarnianego, najprawdopodobniej będącego skutkiem emisji do atmosfery dwutlenku węgla przy spalaniu paliw kopalnianych.

Jeżeli ten kontrowersyjny plan dojdzie do skutku, to stanie się to prawdopodobnie na południowej półkuli, na której, jak już się tego dowiedziałeś, jest mniej ładu niż na północno-wschodniej. Łądy są źródłem żelaza w oceanie, więc południowe morza mają mniej żelaza, posiadając mniej ładu, z którego mogłoby ono spływać, albo być nawiane jako pył. Innych składników pokarmowych jest tam wystarczająca ilość, więc często to brak żelaza jest ograniczeniem populacji fitoplanktonu. Można więc oczekiwać, że zwiększenie zawartości żelaza przyniesie proporcjonalny przyrost fitoplanktonu.

Światło

Światło dociera tylko do górnych rejonów większości zbiorników wodnych - do strefy zwanej strefą fotyczną. Do dna światło dociera tylko, gdy woda jest stosunkowo płytka i przejrzysta. W bardzo czystej wodzie światło nie dociera dużo głębiej, niż do około 600 metrów (2000 stóp). Średnio dociera ono do 100 metrów (330 stóp). Tak jak jest opisane w rozdziale czwartym, woda rozprasza i absorbuje światło, więc w znaczącym stopniu dociera ono do nie więcej niż dwóch procent objętości oceanu. Zbiorniki z wodą słodką często mają proporcjonalnie większe strefy fotyczne, głównie dlatego, że są tak płytkie.



Strefy oceanu ze względu na penetrację światła słonecznego. Znacząca penetracja oceanu przez światło słoneczne jest ograniczona do około 200 metrów (650 stóp). Obszar, do którego dociera światło, jest nazywany strefą fotyczną, a z kolei strefa afotyczna znajduje się w kompletnej ciemności. Strefa fotyczna jest podzielona na eufotyczna - wyższą, i na dysfotyczną - niższą. W strefie fotycznej egzystuje olbrzymia większość życia morskiego. Do strefy dysfotycznej światło jeszcze dociera, ale nie w wystarczającej ilości dla obfitego życia fotosyntetycznego.

To jak głęboko światło penetruje wodę, zależy od tego, jak jest woda - czysta bądź zmaczona. W strefach przybrzeżnych, z dużą ilością splotów powierzchniowych, zasięg światła może być ograniczony do mniej niż 3 metrów (10 stóp). W najczystszej wodzie spektrofotometr (przyrząd mierzący natężenie światła w różnych zakresach spektrum) może zaobserwować światło nawet na głębokości 590 metrów (1900 stóp). Jednak tak jak już zostało napisane, znacząca ilość światła dochodzi jedynie do około 100 metrów (330 stóp); na głębokości 150 metrów (500 stóp) może jeszcze być na tyle światła, żeby ludzkie oko je zarejestrowało.

Mimo że strefa fotyczna może docierać aż do 200 metrów (650 stóp), najbardziej produktywny biologicznie region mieści się w jej górnej, płytszej części. Ta górna partia strefy fotycznej jest nazywana strefą eufotyczną. Pomimo, że strefa eufotyczna stanowi jedynie około 1 procent oceanów, ze względu na pośrednią lub bezpośrednią potrzebę obecności światła do przeżycia, żyje w niej większość organizmów morskich. W tej strefie organizmy fotosyntetyczne wprowadzają energię słoneczną do cyklu biologicznego. Poniżej leży strefa dysfotyczna, do której dociera światło, jednakże w niewystarczającej ilości dla życia fotosyntetycznego.

Poniżej strefy dysfotycznej leży strefa afotyczna. Do tej strefy światło już nie dociera. Stanowi ona zdecydowaną większość oceanu, ale żyje w niej tylko niewielki ułamek organizmów morskich. Mimo że w środowisku morskim strefa ta leży za głęboko dla nurka rekreacyjnego, możesz dotrzeć do niej w wielu zbiornikach słodkowodnych, które stale mają ograniczoną widoczność, takich, jak sztuczne jeziora i zalane kamieniołomy. W wielu z nich poniżej 18 metrów (60 stóp) jest bardzo mało światła albo nie ma go w ogóle.

Ze wszystkich czynników mętność wody najbardziej wpływa na pionowy rozkład wodnych autotrofów. Maksymalna głębokość, na której mogą przetrwać organizmy fotosyntetyczne (bazując na minimalnej ilości światła potrzebnego do fotosyntezy), wzrasta, kiedy mętność maleje. Autotrofy zazwyczaj nie egzystują w oceanach poniżej 190 metrów (600 stóp), a w większości słodkich wód granica ta leży płycej. Poszczególne organizmy używają różnych części widma światła, zależnie od rodzaju pigmentu używanego do fotosyntezy. Na przykład czerwone glony, wykorzystują zielone i niebieskie barwy, z końca widzialnego spektrum światła, co pozwala im przeżyć na większych głębokościach, niż glonom zielonym i brązowym, które z kolei wykorzystują czerwony koniec widzialnego widma światła. Czerwone glony wydają się czerwone, bo absorbują światło zielone i niebieskie, a odbijają czerwone - kolor, który widzimy.

Rozkład życia oceanicznego zależy w dużej części od potrzeby organizmów fotosyntetyzujących pozostawania w płytkich, oświetlonych światłem słonecznym wodach. Takie rejony zazwyczaj występują wzdłuż wybrzeży, gdzie dno morskie jest płytkie i umożliwia przymocowanie się większych gatunków, takich jak listownice (ang. kelp), a splot powierzchniowy z brzegu dostarcza składników pokarmowych. Ze względu na obfitość światła potrzebnego im do życia, w płytkich wodach występują również koralowce, choć jak zobaczysz później, do życia wymagają wody praktycznie pozbawionej pierwiastków okarmowych.

Ubarwienie ochronne

Zarówno w systemach lądowych jak i w morskich, niektóre zwierzęta zwiększają swoje szanse przetrwania przez bycie mniej widocznymi dla drapieżników lub też dla ofiary. Ich naturalny kamuflaż wykorzystuje kolor, a często także kształt, do wtopienia się w tło. W środowisku morskim można znaleźć wiele typów kamuflażu.

Najbardziej powszechnym kamuflażem jest ubarwienie i wzory na zwierzęciu, odpowiadające jego środowisku. Jeżeli zwierzę pozostaje w bezruchu, drapieżnikowi jest bardzo ciężko je zauważyć. Tak samo, ofiara może błąkać się w polu rażenia ukrytego drapieżnika i nawet nie wiedzieć co ją zaatakowało.

Ryby, które żyją w otwartej toni, zazwyczaj są ciemniejsze od góry, co czyni je niewidoczne z góry na tle dna, oraz srebrne od dołu, co z kolei czyni je niewidocznymi na tle powierzchni, patrząc od dołu (ang. countershading).

Inne organizmy łączą kolor i kształt. Na przykład, rurecznicowate (ang. Trumpetfish) mają długi i smukły kształt oraz kolor, które czynią je podobnymi miękkiemu koralowcom. Ryby te ustawiają się pionowo wśród koralowców, udając gałąź, czyhając na nieświadomą ofiarę.

Niektóre organizmy mają bardzo żywe kolory, które dla oka ludzkiego wydają się bardzo zwracającymi uwagę. Natura jednakże jest mądrzejsza. Wiele gatunków nocnych ryb (aktywnych w nocy) posiada czerwone bądź pomarańczowe ubarwienie. Woda absorbuje te kolory bardzo szybko, więc organizmy te w nocy lub w ciemnych szczelinach, gdzie zazwyczaj ukrywają się w dzień, zlewają się z ciemnym tłem. Jedne z najbardziej złożonych ubarwień ochronnych występuje u zwierząt, które mogą zmienić ich kolor i wzór, dostosowując je do dna morskiego. Umiejętność tę posiadają niektóre gatunki fląder, a także wiele mięczaków, takich jak ośmiornica i małża. Głównymi z tą zdolnością dysponują chromatoforami w swojej skórze. Każdy chromatofor zawiera kolorowy pigment, który może być przez zwierzę uwolniony za pomocą skurczu mięśni znajdujących się dookoła. Różne chromatofory mają różne kolory. Uwalniając kolor tylko z odpowiednich chromatoforów, zwierzę może zmienić zarówno kolor skóry, jak i jej wzór. Jeszcze inną strategią ubarwienia ochronnego jest nieposiadanie koloru w ogóle, jak meduzy i żebroplawy. Organizmy te posiadają przezroczyste tkanki, pozwalając światłu i kolorom przechodzić przez siebie. Czyni je to trudniejszym do zauważenia, bo niezależnie od kąta patrzenia na nie zlewają się z tym, co jest za nimi



Kur diabeł (ang. *Sculpin*, z rodzaju *Scorpanea*) z zachodniego wybrzeża Ameryki Północnej ukrywa się przed drapieżnikami, wykorzystując swój czerwony i brązowy kolor, a także wzór na skórze, kształt i wyrostki



Szkaradnica (ang. *Stone fish*, z rodzaju *Synanceja*) z Wielkiej Rafy Koralowej w Australii jest mistrzem kamuflażu. Mieszkanka bentosu, siedzi cicho czekając na następny posiłek przepływający w pobliżu jej wielkiej paszczy



Hajdukowate (ang. *Squirrel fish*, z rodzaju *Holocentrinae*) są nocnymi łowcami. Ich czerwony kolor pozwala im wtopić się w ciemne tło



Ośmiornica, mistrzyni szybkiej zmiany koloru, jest zdolna do imitacji praktycznie każdego wzoru i koloru. Niektóre gatunki zmieniają kolor nie tylko, aby się ukryć, ale także jako część godów, aby udać groźne albo kiedy są przestraszone



Żebroplawy mają przeźroczyste ciała, które pomagają im ukryć się, gdy unoszą się w toni ich wodnego siedliska

Cechy wybrzeża

Przenieśmy teraz naszą uwagę od fizycznych właściwości wody do fizycznych właściwości linii brzegowej i wybrzeża. Mimo że myślimy o oceanie jako wielkim wodnym obszarze, wiele jego procesów dzieje się na krawędziach - to jest na wybrzeżu. Na pierwszy rzut oka może wydawać się, że wybrzeża są delikatne, jednak dalekie są od delikatności jeżeli chodzi o wpływ przyrody na nie. Wybrzeża stawiają czoło falom i prądom oceanu. Obszary te istnieją w stanie ciągłej zmiany, mimo to organizmy żyją tam w jednym z najbardziej wydajnych i wymagających środowisk na Ziemi.

Z drugiej strony, jeżeli chodzi o wpływ człowieka, to wybrzeża są delikatne. Wiele z najbardziej ekologicznie istotnych środowisk znika albo umiera przez zanieczyszczenia i rozwój przemysłowy. Jakkolwiek wybrzeża wytrzymują przerażające bombardowanie przez naturalne procesy, pozornie błahe procesy człowieka często powodują bardzo szkodliwe skutki.



Fiord Tracy Arm z dwoma lodowcami, znajdujący się koło Juneau na Alasce w USA

Klasyfikacja wybrzeża

Naukowcy, tak jak dzielą morza na regiony ze względu na fizyczne właściwości, klasyfikują także w różny sposób wybrzeża. Podobnie do systemów używanych do klasyfikacji stref oceanu i stylów życia, systemy klasyfikowania wybrzeża zależą od tego, co badasz. Naukowcy klasyfikują wybrzeża na różne sposoby. My opiszemy jeden, najbardziej związany z nurkowaniem, który używa krótko- i długoterminowej dynamiki pomyślanej jako powód kształtowania się wybrzeża.

Według tego systemu naukowcy dzielą wybrzeża na pierwotne (ang. primary) i wtórne (ang. secondary). Wybrzeża pierwotne zostały uformowane przez procesy geologiczne nie związane bezpośrednio z oceanem. Wybrzeża wtórne natomiast powstały przez działanie morza. Wybrzeże może więc być równocześnie pierwotne i wtórne. Taki rodzaj nazywany jest czasem wybrzeżem kombinacyjnym (ang. combination coast).

Wybrzeża pierwotne

Naukowcy przypisują powstawanie pierwotnych wybrzeży siłom nie związanym z morzem. Należą do nich

erozja lądowa (od płynącej wody, wiatru albo lodowców), osadzanie, aktywność wulkaniczna i ruch płyt tektonicznych (wielkich płyt, z których zbudowana jest powierzchnia Ziemi, pływających po jej roztopionym wnętrzu). Sądzi się, że wybrzeża pierwotne pozostały stosunkowo niezmienione od wzrostu poziomu morza po ostatniej erze lodowcowej.

Wybrzeża erozyjne

Wybrzeża uformowane przez erozję lądową są jednymi z najbardziej dramatycznych. W skład nich wchodzi wybrzeże fiordowe i wybrzeże estuariowe (ang. drowned river valleys). Naukowcy sądzą, że kiedy poziom morza był niski, erozja ukształtowała ląd, a następnie poziom morza się podniósł, zalewając zerodowany obszar.

Według naukowców, wybrzeże fiordowe ukształtowało się, gdy lodowce przesunęły się w stronę linii brzegowej podczas ostatniej ery lodowcowej. Lodowce wycięły wielkie, głębokie rowy w lądzie, które następnie zostały zalane, gdy podniósł się poziom morza. Norwegia i Alaska (USA) znane są z posiadania wielu wybrzeży fiordowych.

Wybrzeża estuariowe

powstały w podobny sposób, ale źródłem erozji były rzeki. Rzeki uformowały doliny, które zostały zalane, gdy podniósł się poziom morza. Zatoka Chesapeake w USA jest przykładem wybrzeża estuariowego. Zarówno wybrzeża fiordowe, jak i estuariowe mogą formować estuaria.

Estuaria to częściowo zamknięte obszary wodne, gdzie miesza się słodka i słona woda. Są to ważne ekosystemy z ciągłym przepływaniem i wymianą składników pokarmowych zanoszonych do estuariów przez rzekę lub rzeki. Słona woda wpływa i odpływa z estuariów za sprawą dziennych przyptyków i odpływów. Pozwala to na stały przepływ pierwiastków pokarmowych do okolicznych środowisk morskich. Estuaria są klasyfikowane przez naukowców na podstawie przepływu i wzorów obiegu wody.

Sedimentation coasts



Sedimentation coasts formują się, gdy materiał niesiony przez rzekę do oceanu osiada i gromadzi się przy ujściu. Zdarza się to najczęściej tam, gdzie istnieje szeroki szelf kontynentalny, na którym osad może się gromadzić, oraz brak jest rzek o dużych wahanach poziomu wody, które mogłyby uformować estuaria. Dwa sławne wybrzeża tego typu to delta Nilu w Egipcie i pokazana tutaj delta Missisipi w Stanach Zjednoczonych

Wybrzeża takie formowane są, gdy materiał niesiony przez rzekę do oceanu osiada i gromadzi się przy ujściu. Zdarza się to często tam, gdzie jest szeroki szelf kontynentalny, na którym osad może się gromadzić oraz brak jest rzek o dużych wahanach poziomu wody, które mogłyby uformować estuaria. Obszar zgromadzonych osadów często przybiera postać trójkąta - ten typ wybrzeża zwany jest deltowym. Nazwa ta pochodzi od trójkątnej greckiej litery delta (Δ).

Delty tworzą płaskie obszary z bardzo żyzną glebą. Dwa sławne wybrzeża tego typu to delta Nilu w Egipcie i delta Missisipi w Stanach Zjednoczonych.

Wybrzeża wulkaniczne

Najbardziej rozpoznawalne wybrzeża uformowane przez działalność wulkaniczną występują na Hawajach (US). Wybrzeże wulkaniczne powstaje, gdy wulkany wyrosły na dnie morza przebijają jego powierzchnię. Ciągły wypływ lawy powiększa brzeg wyspy. Proces ten wciąż trwa na Hawajach.



Wybrzeże wulkaniczne. Wyspy wulkaniczne posiadają jeden z najbardziej rozpoznawalnych typów wybrzeży, uformowanych przez aktywność wulkaniczną



Wybrzeża uskokowe. Naukowcy przypisują powstanie wybrzeży uskokowych ruchom płyt tektonicznych

Wybrzeża uskokowe

Wybrzeża uformowane przez działalność tektoniczną to przede wszystkim *wybrzeża uskokowe*. Wybrzeża te powstają, gdy płyty tektoniczne zderzają się i pod wpływem kolizji przemieszczają się w górę lub w dół, oddzielnie lub wspólnie. Wybrzeże uskokowe tworzy się, gdy zderzenie podnosi część dna morskiego ponad powierzchnię wody albo gdy uskok otwiera się, rozprzestrzenia i pozwala morzu zalać nowy obszar. Dobrym tego przykładem jest Zatoka Tomales w Kalifornii, USA.

Wybrzeża wtórne

Wybrzeża wtórne są skutkiem działalności morza, takimi jak erozja przez fale, osadzanie materiału przez ruchy morskie i życie morskie. Dynamika wybrzeża, która zmienia linię brzegową w stosunkowo krótkiej skali czasowej, jest związana głównie z tymi procesami. Jednak niektóre procesy przy tworzeniu się wybrzeża wtórnego, takie jak budowanie rafy koralowej, trwają całkiem długo.



Wybrzeża estuariowe powstały w wyniku formowania dolin przez starożytne rzeki, które następnie wylały, gdy podniósł się poziom morza. Zatoka Chesapeake w USA jest przykładem wybrzeża estuariowego

Wybrzeża ukształtowane przez erozję fal

Stałe uderzanie przez fale nieustannie eroduje i zmienia linię brzegową. Procesy geologiczne nadają linii brzegowej nieregularny kształt, a działanie fal ciągle ją wygładza. W ogólności, dzieje się tak, gdy energia fal skupia się na wystających obszarach wybrzeża. Ścierają się one na linii brzegowej i mogą spowodować spektakularne formacje tam, gdzie wybrzeże wznosi się wysoko ponad morzem. Dobrym tego przykładem są groty, łuki i filary skalne, powszechne na wielu wybrzeżach całego świata.

Deposition coasts

Deposition coasts tworzą się, gdy działanie morza doprowadza do zebrania się osadów w jednym miejscu.

Rodzajami deposition coasts są mierzeje, plaże, solniska i równiny błotne. Zauważ, że choć zarówno pierwotne sedimentation coasts, jak i wtórne deposition coasts powstają przez akumulację osadu, w istocie różnią się od siebie. Wtórne deposition coasts pochodzi od osadów oceanicznych przyniesionych przez ruchy wody morskie, natomiast pierwotne sedimentation coasts są zbudowane z osadów przyniesionych do morza przez rzekę.



Groty morskie są przykładem wybrzeża powstałego pod wpływem erozji przez fale

Mierzeje (wyspy barierowe, ang. barrier islands, barrier spits) to typ wybrzeża (wybrzeże mierzejowo-zalewowe), który uformował się, gdy materiał gromadził się równoległe do brzegu, tworząc barierę pomiędzy morzem a istniejącym brzegiem. Mierzeje są ważne, bo chronią główne wybrzeże przed energią fal sztormowych. Mierzeje przesuwają się z biegiem czasu, ale ich migracja jest bardzo wolna z ludzkiego punktu widzenia. Wiele z nich jest zamieszkałych i dobrze zagospodarowanych.

„Typowa” mierzeja ma pięć cech: plażę oceaniczną, wydmy oceaniczne, barrier flat, solnisko i lagunę (zalew). Plaża oceaniczna niewiele różni się od innych plaż. W tyle za plażą, wiatr nawiewa piasek w głąb i tworzy wydmy oceaniczne. Stabilizują je trawa i inna rosnąca na nich roślinność. Wydmy chronią mierzeję przed sztormami i pływami, rozpraszając ich energię. Chociaż większe sztormy przedostają się przez wydmy, pomagają w konserwacji mierzei i zmniejszają swoją energię, zanim dotrą do głównego wybrzeża za mierzeją.

Za wydmami znajduje się barrier flat, szeroki, stosunkowo płaski obszar, z roślinnością obejmującą zarówno trawy, jak i lasy. Kształtują go wiatry, które zmiatają wydmy. Poza barrier flat znajduje się solnisko, które jest łąką w paśmie pływów, zazwyczaj biologicznie różnorodną i wydajną. Solnisko przechodzi w lagunę (zalew), czyli stosunkowo płytką wodę otoczoną mierzeją i głównym lądem.

Globalnie, mierzeje tworzą się w stosunkowo niewielu miejscach, natomiast powszechnie można znaleźć typową *plażę piaskową*. Jest ona także typem deposition coasts. Istnieje wiele typów plaż, ale ogólnie rzecz biorąc, plaża jest zdefiniowana jako nagromadzenie luźnego osadu przy brzegu dużego zbiornika wodnego.

Solniska i równiny błotne występują wzdłuż linii brzegowej tam, gdzie topografia dna uniemożliwia rozbijanie się dużych fal. Pozwala to na gromadzenie się osadów morskich na brzegu. Solniska i równiny błotne są zalewane przez pływy i zazwyczaj są bogatym środowiskiem, pełnym życia.



Mierzeje to typ wybrzeża akumulacyjnego, który uformował się, gdy materiał gromadził się równoległe do brzegu, tworząc barierę pomiędzy morzem a istniejącym brzegiem. Mierzeje są ważne, bo chronią główne wybrzeże przed energią fal sztormowych

Wybrzeże zbudowane przez organizmy morskie

Wiele brzegów pojawia się z powodu aktywności biologicznej. Według naukowców, organizmy morskie budują wybrzeża, dostarczając struktur osłabiających działanie fal i prądów. Prawdopodobnie najbardziej znanymi są rafy koralowe tworzone przez koralowce. Kolejne pokolenia kolonii koralowców wzrastają i nadbudowują się na wapiennych szkieletach poprzednich generacji. Po długim czasie, mogą stworzyć masywne rafy, takie jak największa rafa barierowa świata, Wielka Rafa Koralowa w Australii.

Również inne organizmy budują wybrzeża. Ostrygi pozostawiają muszle, które gromadzą się na brzegu. Rośliny morskie pomagają utrzymywać osady oraz formują wybrzeże, tłumiąc fale i prądy. Roślinami takimi są np. trawa morska i trawa marszowa. Mangrowce tworzą lasy mangrowe. Są to ważne wybrzeża dla środowiska, o których przeczytasz więcej w dalszej części. Natomiast teraz przyglądnijmy się dynamice, która buduje i zmienia wtórne wybrzeża.

Siły kształtujące wybrzeża

Wiele sił fizycznych i biologicznych współpracuje, aby stworzyć wybrzeże wtórne. Wszystkie mają na ciebie, jako nurka wpływ, gdyż tworzą wiele ze środowisk, w których nurkujesz. Ich efekty są wyraźne, a ich wciąż toczące się działanie zauważysz w czasie nurkowania.

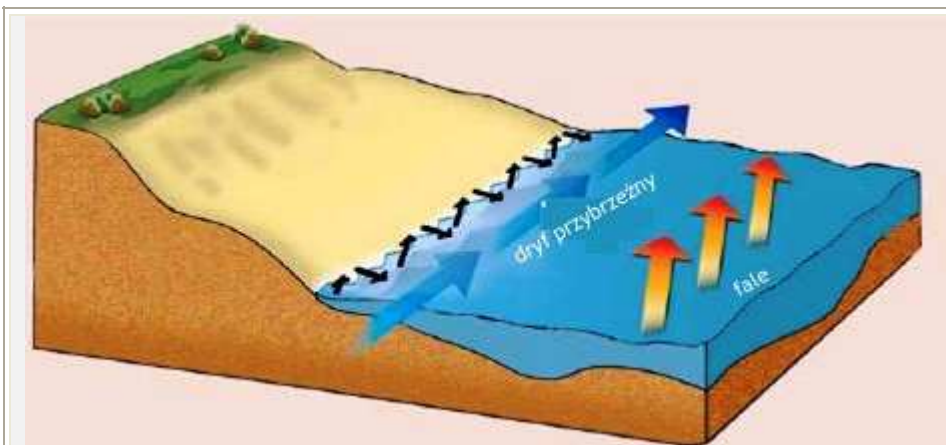
Dryf przybrzeżny

Jedną z najbardziej znaczących sił kształtujących wybrzeże jest dryf przybrzeżny, czyli przenoszenie materiału wzdłuż linii brzegowej przez prąd przybrzeżny. Może pamiętasz jeszcze z twojego szkolenia nurkowego, że prąd przybrzeżny jest wynikiem fal dochodzący do plaży pod pewnym kątem, co generuje prąd poruszający się równolegle do wybrzeża.

Ponieważ fale dochodzą do brzegu pod kątem, piasek i osady przenoszone są w stronę brzegu pod tym samym kątem. Kiedy fala dochodzi do płytkiej wody, płytsza część fali, bliższa brzegowi, wlecze się po dnie bardziej, niż dalsza od brzegu, głębsza część. Spowalnia to część fali bliższą brzegowi, powodując, że fala zakręca i jest prawie równoległa z linią brzegową.

Dzięki opisanemu procesowi zwalniania i zaginania fali, kiedy woda z każdej fali cofa się, robi to pod kątem niemalże prostym do brzegu. Piasek i osady płyną z powrotem pod tym samym kątem co woda. Sumaryczny ruch fal powrotnych złączony z sumarycznym ruchem fal płynących do brzegu powoduje prąd przybrzeżny. Kiedy nurek pływa z fajką albo nurkuje, prąd przybrzeżny unosi go wzdłuż plaży, z dala od zaplanowanego miejsca wyjścia z wody, o ile oczywiście nurek nie uwzględnił go w swoich planach. W czasie nurkowania w prądzie przybrzeżnym powinieneś albo zacząć nurkowanie powyżej miejsca wyjścia z wody, albo nurkować pod prąd, tak aby później móc zdryfować z powrotem.

Dryf przybrzeżny to ruch piasku i osadów, gdy prąd przenosi materiał wzdłuż wybrzeża. Ponieważ prąd przybrzeżny występuje, gdy do brzegu dochodzą fale, dryf przybrzeżny przenosi piasek i osady przede wszystkim, gdy powszechnie występują wiatry.



Prąd przybrzeżny i dryf przybrzeżny powstają, gdy fale docierają do brzegu pod pewnym kątem, a powracają pod kątem niemalże prostym. Piasek i osady unoszone są pod tymi samymi kątami, co fale. Sumaryczny ruch fal powrotnych złączony z sumarycznym ruchem fal płynących do brzegu przenosi piasek i osady wzdłuż linii brzegowej

Działalność piasku

Większość piasku pochodzi z erozji. Erozja może być wynikiem fal uderzających w brzeg albo może występować na lądzie. W drugim przypadku, piasek jest unoszony do oceanu przez rzeki i strumienie. Piasek może zbierać się na plaży niezmiernie daleko od miejsca jego pochodzenia. Na przykład, podstawowym źródłem piasku dla wschodniego wybrzeża Stanów Zjednoczonych i dla Zatoki Meksykańskiej jest erozja w Appalachach. Oczywiście niecały piasek pochodzi z daleka. Dla niektórych wysp jedynym źródłem piasku jest erozja lokalnych skał. Na przykład, wyróżniający się czarny piasek na wyspach wulkanicznych pochodzi z zerodowanych skał wulkanicznych.

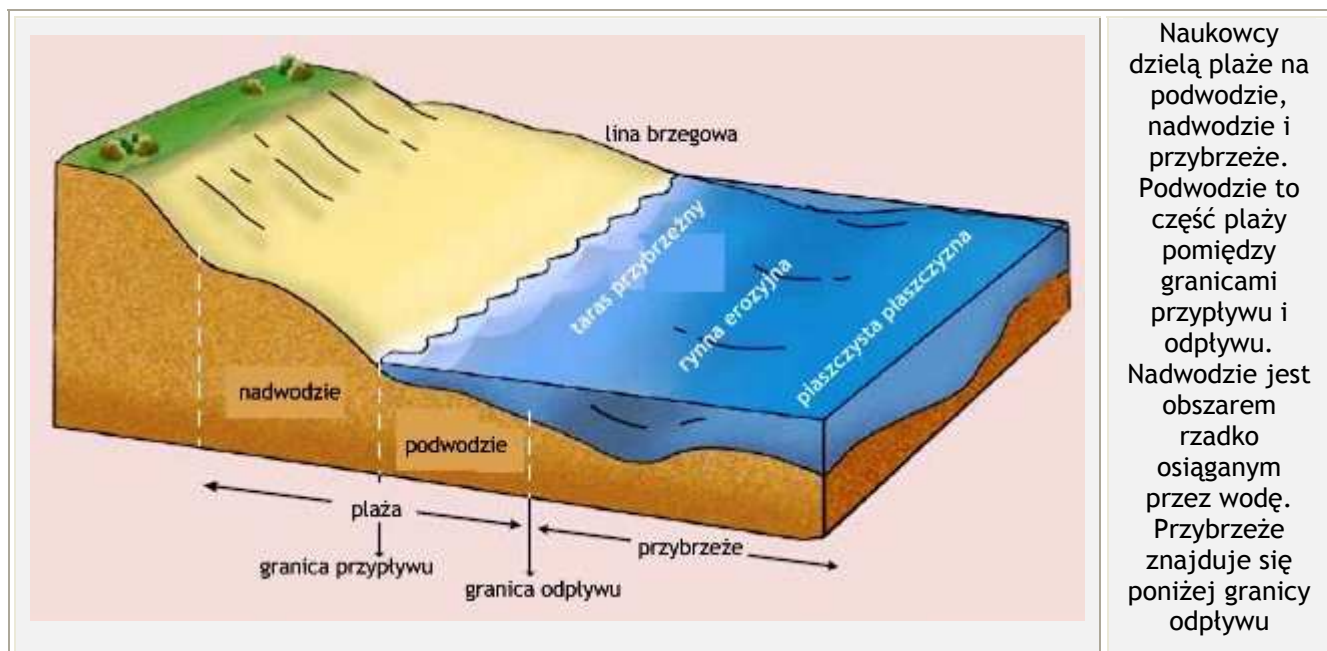
W rejonach tropikalnych duża ilość piasku ma początek w źródłach biologicznych, takich jak koralowce. Erozja wyciera martwe części rafy, tworząc piasek koralowy. Kilka gatunków, takich jak papugoryby, żywi się koralowcami i ich wapiennymi szkieletami, wydala piasek jako odchody. Proces ten nazwany jest *bioerozją*. Istnieje wiele bioerozujących bezkręgowców, m. in. jeżowce.

Dynamika plaży

Plaże są bardzo zmienne, gdyż ruch wody ciągle je kształtuje i zmienia. Jeżeli regularnie nurkujesz z

brzegu, po jakimś czasie z dużym prawdopodobieństwem zauważysz znaczące zmiany tej samej plaży.

Naukowcy dzielą plażę na trzy podstawowe części, każdą z różnymi właściwościami związanymi ze zmianami plaży. *Podwodzie* (ang. *foreshore*), zwane też plażą zewnętrzną, bądź dolną i *nadwodzie* (ang. *backshore*) zwane też plażą wewnętrzną, bądź górną, to dwie sekcje, o których myślimy, gdy potocznie mówimy o „plaży”. Podwodzie to część plaży, która bywa zalewana wodą. Jest to rejon pomiędzy granicami przyptywu a odpływu. Taras przybrzeżny to płaska część podwodzia, gdzie rozbijają się fale. Nadwodzie jest obszarem rzadko osiąganym przez wodę. Znajdują się tam wydmy i trawy, które pomagają w stabilizacji nadwodzia. Rozciąga się ono w głąb lądu, aż do końca plaży.



Naukowcy dzielą plażę na podwodzie, nadwodzie i przybrzeże. Podwodzie to część plaży pomiędzy granicami przyptywu i odpływu. Nadwodzie jest obszarem rzadko osiąganym przez wodę. Przybrzeże znajduje się poniżej granicy odpływu

Przybrzeże to obszar poza tarasem przybrzeżnym. Zawiera zazwyczaj głębszą przybrzeżną rynnę erozyjną (inaczej *obniżenie międzyrewow*), a dalej płytką płaszczystą piaskową. Obie formy są równoległe do brzegu. To co znajduje się poza tym obszarem, nie jest już traktowane jako plaża, bo ustaje tam ruch osadów, przynajmniej, jeżeli chodzi o dynamikę plaży.

Kształt i wygląd plaży zależy od wielu oddziałujących na siebie czynników. Takimi czynnikami są rozmiar ziarna osadu na plaży, energia fal i kąt nachylenia zbocza plaży. Rozmiary ziaren wahają się od bardzo małych (gлина i muł), aż do dużych otoczków. Wraz ze wzrostem ziarna, wzrasta nachylenie plaży i energia fal. Dzieje się tak dlatego, że potrzeba większej energii, żeby fala przeniosła duże ziarno na plażę. Tak samo potrzeba większej energii, żeby przenieść to ziarno na strome wybrzeże. Wysoko energetyczne fale sortują ziarna przez to, że przenoszą duże osady wysoko na plażę. Fala powrotna ma mniejszą energię, więc porywa z powrotem do morza lżejsze ziarna, pozostawiając na plaży cięższe. W bardzo wzburzonym morzu, lżejsze ziarenka mogą w ogóle nie opaść, będąc wciąż w ruchu na plażę i z powrotem.

Na płaskiej, nisko energetycznej plaży dzieje się odwrotnie. Ten typ plaży ma szeroki obszar, na którym rozprasza się energia fal. Pozwala to osiąść małym ziarenkom, tworząc typową piaszczystą plażę.

Ponieważ w wielu regionach energia fal zmienia się sezonowo, plaże mogą się zmieniać w ciągu roku. Zimowe sztormy i ich potężne fale wypłukują z plaży piasek. W lecie przeważają łagodniejsze fale niosące piasek z powrotem.

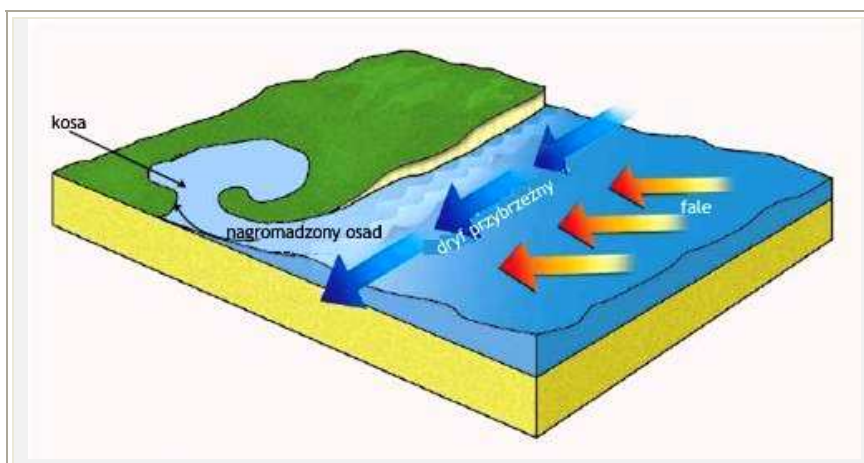
Ostatecznie, dynamika przenoszenia piasku z i na plażę musi być w równowadze. Gdyby było inaczej, plaże albo zniknęłyby, albo rozrosłyby się ponad miarę. Gromadzenie się i rozpraszanie piasku jest w ogólności kontrolowane poprzez *komórkę brzegową* (ang. *coastal cell*). Komórka brzegowa jest lokalnym obszarem, w którym połączone mechanizmy transportu materiału sumarycznie nie prowadzą ani do straty, ani do zysku piasku. Przykładowo, piasek może stale wchodzić do komórki brzegowej przez sptyw z rzeką i erozję fal. Piasek zbiera się w przybrzeżu, przesuwając się wzdłuż wybrzeża z dryfem przybrzeżnym. W końcu napotyka podwodny kanion, albo brzeg szelfu kontynentalnego, gdzie spada w głęboką wodę, opuszczając system.

Wielkoskalowe piaszczyste rzeźby terenu

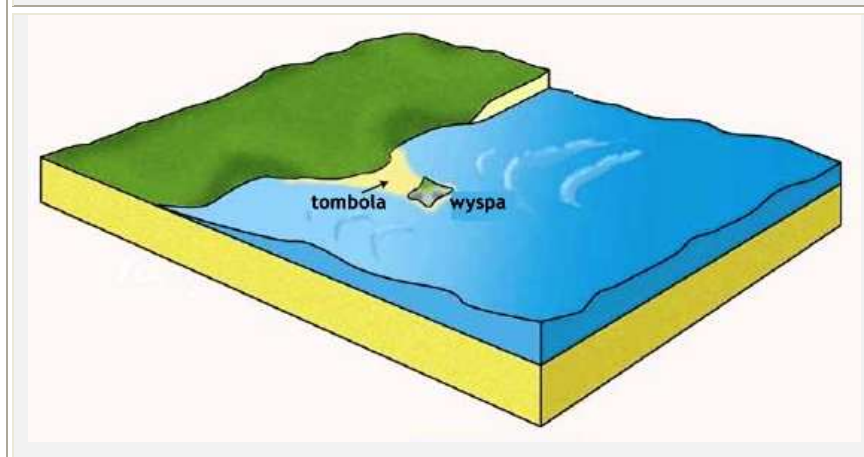
Ruch piasku i jego gromadzenie tworzą znaczące rzeźby wybrzeża. Twory te wpływają na przepływ wody i kształtują środowisko.

Kosa (ang. *spit*) to podłużne nagromadzenie piasku, przyłączone z jednej strony do lądu, rozciągające się w kierunku dryfu przybrzeżnego. Tworzy się, gdy prąd przybrzeżny zakręca przy zatamaniu plaży i wpływa na stosunkowo spokojne wody zatoki. Prąd zwalnia i nie może już przenosić większej masy osadów. Piasek opada z wody, osadza się i formuje kosę. Kosa często ma kształt haka zagiętego w głąb zatoki przez falowanie refrakcyjne, gdy fale uginają się wokół niego. Kiedy kosa wystarczająco urośnie, może utworzyć mierzeję przy ujściu zatoki (ang. *bay mouth barrier*). Mierzeję często przecinają naturalne i utworzone przez ludzi kanały, umożliwiając łodziom dostęp do zatoki.

Tombole to kosa, które wyrosły pomiędzy dwoma wyspami, albo pomiędzy wyspą a lądem. Tak jak kosa, tombolo tworzy się, gdy prąd przybrzeżny zwalnia. W tym przypadku prąd zwalnia dookoła dwóch stron lądu, gromadząc piasek po obu stronach, co w końcu prowadzi do połączenia dwóch kos.



Kosa to podłużne nagromadzenie piasku, przyłączone z jednej strony do lądu, rozciągające się w kierunku dryfu przybrzeżnego



Tombole to kosa, które wyrosły pomiędzy dwoma wyspami, albo pomiędzy wyspą a lądem. Powstają, gdy prąd przybrzeżny zwalnia dookoła dwóch stron lądu, gromadząc piasek po obu stronach, co w końcu prowadzi do połączenia się dwóch kos

Rafy koralowe

Wzrost raf koralowych jest prawdopodobnie najbardziej znaczącym biologicznym procesem, który wpływa na wybrzeże. Rafa koralowa może być masywna, ale tylko jej zewnętrzna warstwa, polipy koralowców, jest żywa. Poszczególne polipy wraz ze wzrostem tworzą zewnętrzny szkielet z węgla wapnia. Ta właśnie część koralowców tworzy rafy koralowe. Kolejne pokolenia koralowców żyją i umierają, każde pokolenie rośnie na szkieletach poprzednich. Pomimo że każde pokolenie dodaje jedynie ułamek rafy, po odpowiednio długim czasie (setkach lat), wyrastają olbrzymie rafy.

Podobnie jak inne formy wybrzeża, rafy koralowe są podzielone przez naukowców na różne typy zależnie od tego, jak wpływają na linię brzegową. Jeden z pierwszych systemów klasyfikacji raf koralowych został stworzony przez Karola Darwina. Podzielił on rafy na przybrzeżne, barierowe i atole.

Rafy przybrzeżne (ang. *fringing reefs*) leżą wzdłuż wysp lub brzegu stałego lądu. Tworzą obrzeżenie wybrzeża, stąd ich angielska nazwa (ang. *fringe*). Rafy przybrzeżne mają stok rafy, który jest jej zewnętrzną oceaniczną częścią, gdzie dzieje się większość aktywności biologicznej. Platforma rafy, jej

górna część, przejmując większą część energii fal. Strefa przybrzeżna rafy ma mniejszą aktywność biologiczną.

Rafa barierowa (ang. *barrier reef*) ma podobną strukturę do rafy przybrzeżnej, ale znajduje się dalej od brzegu. Podczas gdy rafy przybrzeżne są częścią głównego wybrzeża, tak jak przeczytałeś wcześniej, pomiędzy rafą barierową a wybrzeżem jest laguna. Rafy barierowe zazwyczaj są dużo większe. Powstają, gdy istnieją skały albo inne duże podłoże, na którym może zacząć rosnąć rafa. Nazywana jest barierową, bo tworzy barierę pomiędzy głównym wybrzeżem a otwartym oceanem.

Atol to rafa koralowa w kształcie pierścienia otaczająca płytką lagunę. Darwin był jednym z pierwszych naukowców, którzy rozważali, jak mogły powstać atole. Stoją one w głębokiej wodzie, daleko od jakiegokolwiek lądu. Przy głębi zbyt dużej do wzrostu koralowców, atole po prostu nie mogły urosnąć z dna. Darwin sądził, że atole powstają na resztach wysp wulkanicznych. Wyspa wulkaniczna w wodach tropikalnych w naturalny sposób obrasta rafą przybrzeżną. Gdy wulkan wygasa, wyspa zatapia się na przestrzeni setek tysięcy lat. Rafa natomiast wciąż wzrasta, nawet gdy ląd w końcu opadnie pod powierzchnię morza. Koralowce wciąż budują rafę, gdy ląd tonie, zostawiając ostatecznie tylko pierścień rafy w pobliżu powierzchni.

Środowiska roślinne

Rafy koralowe wzrastają w rejonach o stosunkowo wysokiej energii fal, natomiast tam, gdzie energia fal jest niższa, wybrzeże może być zdominowane przez środowiska roślinne. Trawa morska może żyć całkowicie pod powierzchnią oceanu, ale większość roślin morskich żyje częściowo ponad wodą. W obu przypadkach rośliny dostarczają strukturę, która pomaga utrzymać osady w jednym miejscu i absorbują energię.

Jednymi z najważniejszych typów zdominowanych przez rośliny linii brzegowych są lasy mangrowe. Dostarczają one ważnego biologicznie środowiska. Mangrowce tworzą siedlisko dla wielu młodocianych organizmów do przeżycia w nim, aż będą na tyle duże, żeby współzawodniczyć na przyległych rafach koralowych.

Mangrowce bezpośrednio wpływają na wybrzeże przez utrzymywanie w jednym miejscu osadów i przez absorbowanie energii fal. Najczęściej mangrowce i rafy koralowe koegzystują. Rafa koralowa absorbuje dużą część energii fal. Dzięki temu woda uspokaja się na tyle, żeby mogły rosnąć mangrowce. Mangrowce swoimi korzeniami jeszcze bardziej absorbują energię fal i utrzymują osady. To spowalnia erozję. Przez utrzymywanie osadów mangrowce ograniczają ilość składników pokarmowych, która przepływa do okolicznych raf, co jest kluczowe, bo koralowce mogą przetrwać tylko w wodzie o niskiej zawartości pierwiastków pokarmowych. Składniki pokarmowe zabijają koral, bo pozwalają na wzrost glonów, co z kolei zmniejsza ilość światła docierającego do koralu oraz współzawodniczą z koralami w dostępie do zasobów i miejsca w środowisku.

Wiele tropikalnych wysp nie istniałoby, gdyby nie kombinacja raf koralowych i mangrowców, chroniących je przed erozją przez fale i prądy. Podobnie, wiele raf koralowych nie przetrwałoby bez przyległych mangrowców. Co ważne, wiele razy zniszczenie mangrowców na potrzeby rozwoju doprowadziło wprost do zanikania albo kompletnej utraty pobliskiej rafy koralowej.

Działalność człowieka

Tak jak kształtujemy dla naszych potrzeb środowisko, wpływamy także na linię brzegową. Istnieją dwie podstawowe motywacje, dla których ludzie modyfikują wybrzeże. Po pierwsze, stwarzają nowe struktury brzegowe, takie jak przystanie. Po drugie, chronią na istniejącym wybrzeżu istniejące budynki i inne struktury, na przykład przez postawienie muru ochronnego, tak aby przyływ i morze nie mogły zniszczyć osiedla zbudowanego tuż powyżej plaży.



Ostrogi to sztuczne występy, które prostopadle z brzegu sterczą do wody. Często są budowane, żeby ochronić jakiś obszar przed prądem brzegowym, albo dla celów rekreacyjnych

Wśród zbudowanych przez ludzi struktur brzegowych wymienić należy ostrogi, pirsy, falochrony i wały nadmorskie. Wiele z nich jest popularnymi miejscami nurkowymi. *Ostrogi* to sztuczne występy, które prostopadłe z brzegu sterczą do wody. Mogą być budowane, żeby stworzyć obszar chroniony przed prądem brzegowym albo dla celów rekreacyjnych, takich jak wędkarstwo. Bardzo często są budowane ze stosów głazów i kamieni, ale mogą być też zrobione z worków z piaskiem, betonu i innych materiałów.

Pirsy to zasadniczo to samo, co ostroga, ale zbudowana do umocnienia wejścia do przystani. *Falochrony* biegną równolegle do brzegu albo zaczynają się na brzegu, po czym zakręcają na morzu. Ich celem jest zbudowanie sztucznej laguny dla przystani albo plaży. *Wał nadmorski* stoi albo w wodzie wzdłuż brzegu, albo na górze plaży. Działa jak bariera blokująca fale przed wejściem na brzeg i erodowaniem łądu.



Pirsy. Pirsy są budowane, żeby ochronić, bądź umocnić wejście do przystani

Można łatwo zrozumieć, dlaczego właściciel hotelu chce zbudować wał nadmorski, żeby ochronić kosztowną inwestycję jaką jest wielopiętrowy budynek albo dlaczego inwestor chce przystani, w której turyści mogliby zakotwiczyć swoje łodzie. Jednakże struktury brzegowe zbudowane przez człowieka kolidują z naturalnymi procesami lądowymi. Dotyczy to zwłaszcza przepływu piasku.

Pirsy i ostrogi blokują prąd przybrzeżny. Powoduje to gromadzenie się piasku w górze prądu i jego wypłukiwanie w dole. Na końcach pirsów mogą tworzyć się kossy. Wały nadmorskie skutecznie absorbują energię, ale tworzą problemy na ich końcach. Odbita energia koncentruje się na końcach wałów. Niechroniony łąd przy wałach nadbrzeżnych cierpi więc pod wpływem zwiększonej erozji.

Wskutek tych i innych struktur brzegowych plaża może erodować z dala od miejsc, gdzie to się naturalnie dzieje. Ten niechciany efekt często prowadzi do kolejnych działań ludzi. W tym przypadku, odpowiedzią może być refulacja (ang *renourishment*). Refulacja plaż polega na przeniesieniu piasku lub osadów z innych miejsc, żeby zastąpić na plaży zerodowany piasek.

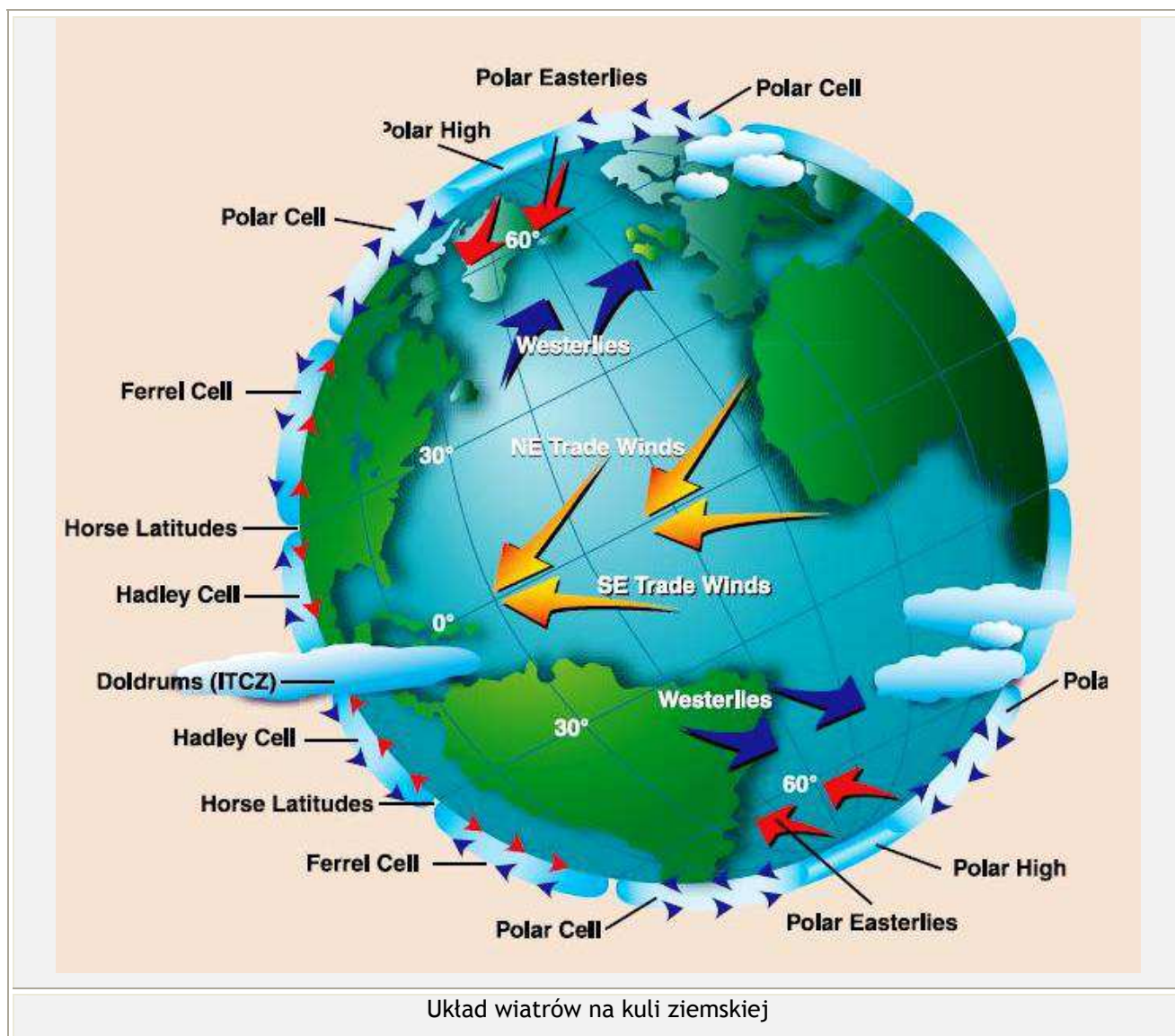


Wał nadmorski. Wały nadmorskie blokują fale przed wejściem na brzeg i erodowaniem łądu

Na nieszczęście z refulacją plaży związany jest szereg problemów. Po pierwsze, jest kosztowna. Po drugie, tak naprawdę nie jest to rozwiązanie stałe, ale jedynie czasowa łata. Jeżeli struktura, która powoduje erozję zostanie na swoim miejscu, plaża będzie wciąż erodowała. Po jakimś czasie, plaża znowu będzie wymagała refulacji. Po trzecie, wybranie piasku z innego miejsca wpłynie na tamto środowisko. Drenaż piasku z przybrzeża może zniszczyć wspólnotę biologiczną. Ponadto, przez naturalne

filtrowanie, piasek z przybrzeża ma mniejsze ziarenka niż nabrzeżny. Ten sam proces filtrowania wypłucze mały piasek z plaży szybciej, niż zerodował piasek pierwotny. Możliwym rozwiązaniem problemów stworzonych przez ludzkie struktury jest zmiana w stosunku do brzegu i jego zagospodarowania. Próby ochrony plaży przez sztuczne struktury dają tylko krótkoterminowe zyski. Zmiana polityki na taką, która popiera rozwój wybrzeża akceptujący naturalne procesy brzegowe, zamiast próbować je zmieniać, wydaje się lepszą odpowiedzią. W krótkim terminie może być to niewygodne, zwłaszcza w istniejących wspólnotach na wybrzeżu, zależnych od sztucznych struktur. W długiej skali czasowej, bardziej efektywnie i taniej jest jednak pracować w zgodzie z naturą, a nie przeciwko niej.

Tam i z powrotem



Współcześni naukowcy zdają sobie sprawę, że powietrze, ląd i morze wciąż wymienia się materią i energią. Wiatr może poderwać piasek z suchej pustyni Sahary i wrzucić je do Morza Karaibskiego, zmieniając jego podwodne środowisko. Dynamika tego oddziaływania powoduje, że woda przenosi się po powierzchni Ziemi na różne sposoby, powodując erozję, ruchy gleby i wpływając na ludzką aktywność.

Główną przyczyną ruchu wody jest energia wiatru, która przenosi się do wody, gdy wieje on ponad jej powierzchnią. To powoduje dwa główne typy ruchu wody: prądy i fale, które mogą być również wynikiem działania innych sił niż siły wiatru.

Prądy powierzchniowe

Gdy wiatry wieją na rozległym obszarze ze sporą trwałością kierunku i siły, znaczące objętości wody

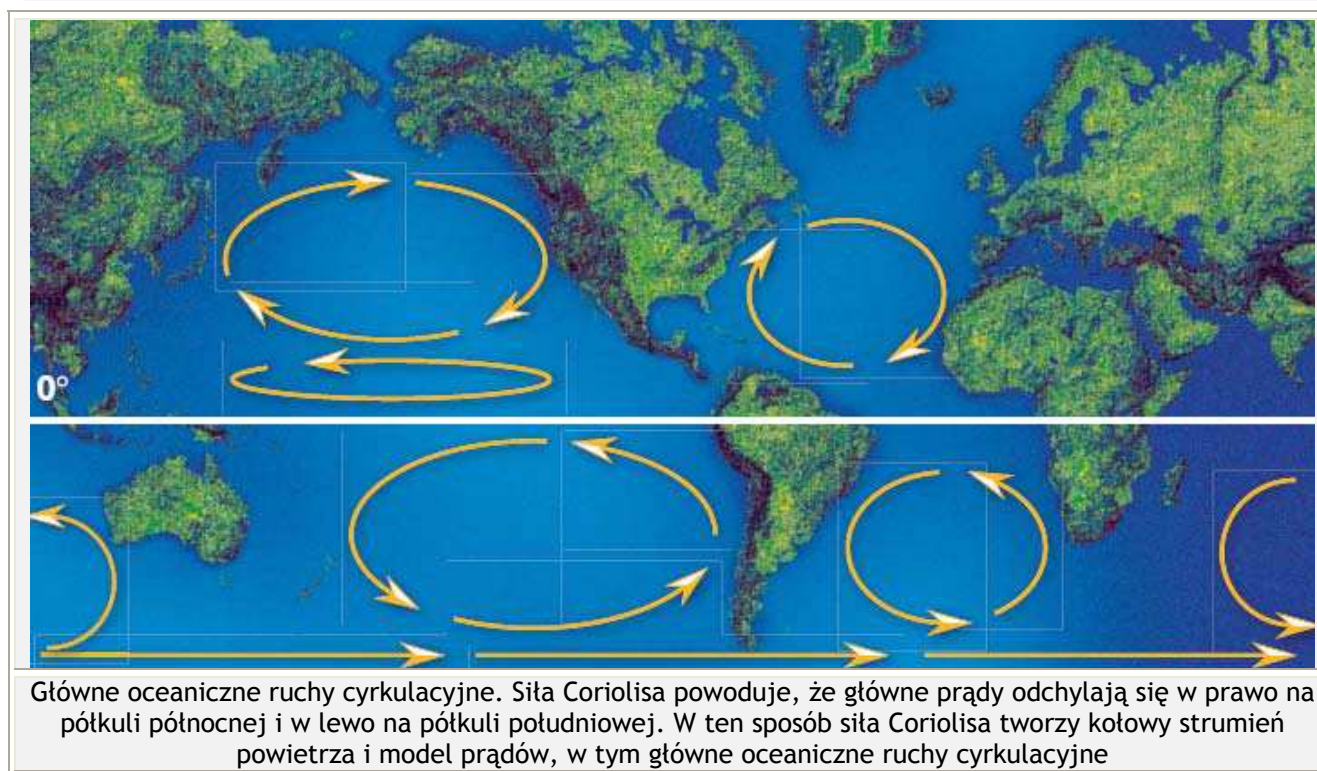
poruszają się poziomo po oceanie. Na półkuli północnej pasaty (ang. *trade winds*, blisko 15°N szerokości) wieją z północnego wschodu na południowy zachód. Wiatr zachodni na średnich szerokościach wieje głównie z południowego zachodu. Na bardzo dużych szerokościach polarne wiatry wschodnie wieją ze wschodu na zachód. Na półkuli południowej jest lustrzane odbicie takiego układu pasa wiatrów.

Energia pochodząca z tego układu wiatrów kieruje głównymi powierzchniowymi prądami oceanicznymi. Niektóre z tych prądów transportuje 100 razy więcej wody niż wszystkie rzeki razem wzięte. Prędkość prądu powierzchniowego gwałtownie maleje wraz z głębokością, stając się zaniedbywana na głębokości około 190 m (600 stóp).

Na główne prądy oceaniczne również wpływa wirowanie Ziemi. Efekt ten nazwany jest siłą Coriolisa (ang. *Coriolis effect*) i wyjaśnia, dlaczego obiekty na półkuli północnej odchylają się w prawo od kierunku siły działającej na nie (w tym przypadku wiatr jest siłą, a obiektem jest powierzchnia wody). Na półkuli południowej jest prawdziwe twierdzenie przeciwne. Tam obiekty odchylają się w lewo od kierunku działającej na nie siły. W rezultacie, woda ma zwyczaj gromadzić się na środku basenu oceanicznego, gdy główny prąd oceaniczny przechodzi wzdłuż jej krawędzi zgodnie z siłą Coriolisa. Ten krążący ruch wody nazywany jest ruchem cyrkulacyjnym (wirowym, ang. *gyre*) i odgrywa główną rolę w globalnym ogrzewaniu i rozkładzie życia morskiego.



Prądy pojawiają się nie tylko w oceanach, ale również w dużych jeziorach, morzach, a nawet mniejszych akwenach morskich. Jednak im mniejszy akwen, tym silniejszy musi być wiatr, aby rozwinąć prąd o danej mocy, ponieważ mniejsza jest powierzchnia, w poprzek której następuje transfer energii. Wiele dużych jezior ma wystarczającą powierzchnię, aby wytworzyć znaczące prądy (i fale).

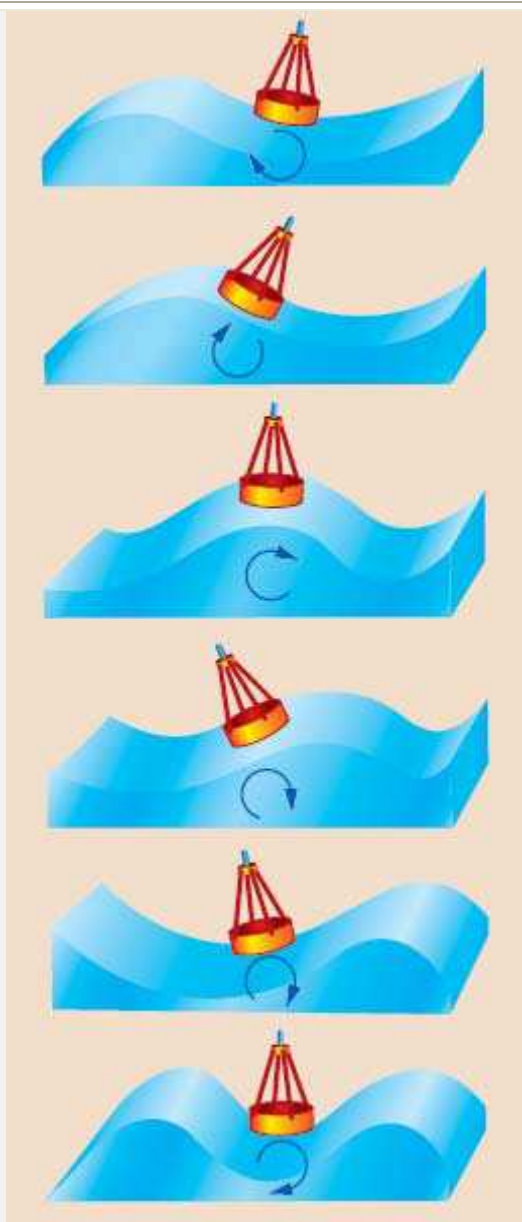


Fale

Rozmiary fal wahają się od ułamka cala dla małych fal kapilarnych, do fal sztormowych sięgających 30 i więcej metrów (100 stóp). Fale są bardziej złożone, niż się to pozornie wydaje.

Fala to przekaz energii poprzez materię. Gdy energia przenosi się przez materię jako fala, materia porusza się w przód i w tył lub obraca się, ale potem wraca do pozycji wyjściowej. Następnie energia przechodzi do materii sąsiadującej itd. Na przykład, wyobraź sobie kamień wrzucony do stawu. Zmarszczki na wodzie rozchodzą się coraz dalej od miejsca upadku. Nie rozchodzi się jednak woda, a jedynie energia. Gdy widzisz zmarszczenia na wodzie, widzisz energię poruszającą się jako seria fal od miejsca zaburzenia jako fala postępująca (ang. *progressive wave*). Fala nazywa się „postępująca”, ponieważ widać postęp energii od jednego punktu do drugiego.

Są trzy typy fal postępujących: podłużne, poprzeczne i orbitalne.



Ruch fali orbitalnej. Gdy fala nadchodzi, boja porusza się w przód na czole fali. Wznosi się, przechodzi ponad grzbietem fali i cofa się, opadając w dół na tył fali. Pojedyncze cząstki wody poruszają się po kole (pokazane jako zakrzywione strzałki) dopóki energia fali nie przejdzie przez wodę

Fala podłużna pojawia się, gdy materia porusza się do przodu i w tył w tym samym kierunku, tak że energia się przesuwa. Ten typ fali może poruszać się przez wszystkie stany materii, przenosić się przez skompresowane i rozprężone cząsteczki tak jak sprężyna. Falą podłużną jest dźwięk.

Gdy w materii pojawia się *fala poprzeczna*, wówczas ruch materii jest prostopadły do kierunku, w którym fala porusza się jako całość. Na przykład, gdy potrząsaszesz w górę i w dół naprężoną ułożoną poziomo liną, lina porusza się pionowo, ale fala rozchodzi się poziomo wzdłuż długości liny.

Fale orbitalne przenoszą się tylko przez ciecz. W oceanach głównie te właśnie fale nas interesują. Pojawiają się, gdy energia porusza ciecz w ruchu wirowym, przechodząc przez nią. Wyobraź sobie pływająca boję. Gdy zbliża się fala, boja przesuwa się do przodu na czoło fali. Wznosi się, przechodzi ponad grzbietem fali i cofa się, opadając w dół na tył fali.

Chociaż woda (ciecz) przesuwa się poprzez ruch orbitalny, powraca do położenia początkowego. Dalej rozchodzi się tylko energia. Patrząc na boję na ilustracji, widać, jakby ruch orbitalny pojawiał się tylko w jednej płaszczyźnie. W rzeczywistości ruch orbitalny postępuje w dół na coraz mniejszych orbitach do głębokości równiej pół długości fali (długość fali to pozioma odległość między dwoma identycznymi punktami na dwu falach, np. od grzbietu do grzbietu).

Charakterystykę fali można wyrazić matematycznie. Jest to pożyteczne, ponieważ pozwala ci obliczyć zachowanie fali na podstawie informacji, które posiadasz. $H:L$ to stosunek wysokości fali do jej długości. Jeśli znasz długość fali (L wyrażone w metrach) i okres (T czas w sekundach), możesz wyznaczyć szybkość (S w m/s) idealnych *fali wody głębokiej*, czyli fal w dostatecznie głębokiej wodzie, tak by dno nie wpływało na fale.

Można to wyrazić wzorem:

szybkość = długość fali / okres czyli $S = L/T$

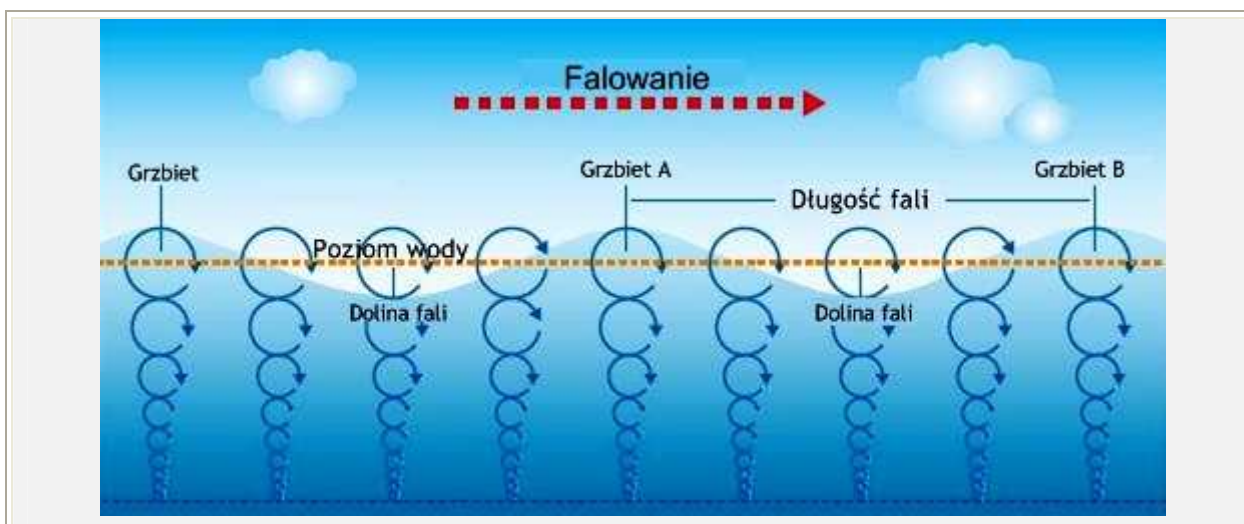
Pamiętaj jednak, że to równanie, choć przydatne, nie bierze pod uwagę innych czynników, które wpływają na szybkość fal na głębokich wodach, ani szybkości fali, gdy wejdzie na płytsze wody.

Fale oceaniczne: długość fali i siły zaburzające			
Typ fali	Podstawowa standardowa długość fali	Podstawowa siła zaburzająca	Siła przywracająca
Fala wiatrowa kapilarna	Mniej niż 1,73 cm	Wiatr	Napięcie powierzchniowe
Fala wiatrowa grawitacyjna	Do 150 m	Wiatr	Grawitacja
Fala sejsmiczna	200 km	Aktywność sejsmiczna	Grawitacja
Pływy	Do 17 000 km	Słońce i Księżyc	Grawitacja i siła Coriolisa

Przyczyny powstawania fal i ich charakterystyka

Przyjrzyjmy się teraz przyczynom powstawania fal i ich zachowaniu w świecie rzeczywistym. *Siły zaburzające* wywołują fale, a siły przywracające (ang. *restoring forces*) opierają się im. Natężenie i czas trwania siły zaburzającej oraz oddziaływanie sił wzmacniających dają charakterystykę fal.

Ciecz dąży do pozostania w spoczynku. Porusza się jedynie, gdy przekazana jest jej energia, czyli gdy coś ją zaburzy. Te siły zaburzające, które wywołują fale oceaniczne, obejmują wiatry, siły grawitacji i aktywność sejsmiczną. Wiatr to najpowszechniejsza siła zaburzająca, gdy przechodzące powietrze trze o powierzchnię wody. Zmiany grawitacji wywołują fale, których zapewne nie traktowałeś jako fale, a mianowicie przyływy i odpływy. Ich charakter odróżnia je znacząco od innych fal, dlatego rozpatrzmy je osobno. Aktywność sejsmiczna obejmuje trzęsienia Ziemi, erupcje wulkaniczne, które z kolei powodują tsunami.



Główne składniki fali i schemat orbitalny. Długość fali to odległość w poziomie między dwoma identycznymi punktami na dwu falach - na rysunku odległość między A i B. Grzbiet (ang. *crest*) to najwyższy punkt fali powyżej średniego poziomu wody. Dolina fali (ang. *trough*) to najniższy punkt, a wysokość to pionowa miara od doliny fali do jej grzbietu. Okres (T) to czas, w którym dwa takie same miejsca fali przejdą przez dany punkt; częstość to liczba fal, która przechodzi przez ustalony punkt w ciągu 1 sekundy. Zauważ, że schodząc coraz głębiej, natężenie fali orbitalnej słabnie aż do głębokości równej $1/2$ długości fali

Każdy rodzaj sił zaburzających produkuje fale o innej długości. Wiatry najczęściej tworzą fale o długości od około 60 do 150 m. Długość fali pływów jest porównywalna z rozmiarem basenu oceanicznego, a fale tsunami mają długość około 200 km.

Grawitacja jest główną siłą przywracającą dla dużych fal i fal sejsmicznych. Grawitacja dąży do spłaszczenia fali poprzez ściągnięcie jej z powrotem do poziomu wyjściowego. Ponieważ długości fal są bardzo duże, grawitacja i siła Coriolisa to dwie główne siły przywracające dla zjawiska pływów. Napięcie powierzchniowe (ang. *surface tension*) jest ważną siłą przywracającą dla najmniejszych fal, tzw. fal kapilarnych, których długość wynosi około 1,7 cm lub mniej. Napięcie powierzchniowe wywołane jest silną polarną naturą wiązań wody, co przeciwdziała zaburzaniu powierzchni. Więcej o napięciu powierzchniowych dowiesz się w rodz. 4.

Możesz klasyfikować fale na podstawie tego, która siła przywracająca jest najbardziej efektywna. Fale kapilarne są tak sklasyfikowane, ponieważ główną siłą przeciwną im jest napięcie powierzchniowe. Fale kapilarne tworzą się jako pierwsze, gdy nad spokojną wodą powieje wiatr. Jednak, gdy fale stają się większe, napięcie powierzchniowe staje się względnie mało znaczące jako główna siła przywracająca. Grawitacja, ciężar fali, przejmuje kontrolę, dlatego duże fale nazywamy falami grawitacyjnymi.

Chociaż siły zaburzające mogą być nieco przypadkowe w natężeniu, czasie trwania oraz miejscu powstawania, fale mają tendencję do organizowania się w układy. Fale, które jeszcze nie są tak zorganizowane, płyną z różną szybkością. Najdłuższe fale przeganiają mniejsze. W końcu jedynie fale o podobnej długości płyną razem. Jest to rozkołys (ang. *swell*), który jest po prostu podnoszeniem i opadaniem jednakowego układu fal na morzu.

Grupy fal rozkołysu o podobnej charakterystyce mają tendencję to płynięcia razem w zespole (ang. *wave trains*). Pierwsza fala w zespole stopniowo wytraca energię, którą przejmują nowe fale powstające w podążającej części zespołu. Gdy fala prowadząca ulega rozproszeniu, powstają następne fale i dołączają do zespołu. Cały zespół porusza się z połową szybkości pojedynczych fal przez cały proces rozpraszania i odbudowywania. Gdy zespół fal osiąga wody płytkie, prędkość grupowa i indywidualna stają się takie same. Dzieje się tak ponieważ głębokość wpływa na charakterystykę fal, prowadząc do pojęcia *fal wód głębokich* i *fal wód płytkich*.

Fale wód głębokich pojawiają się tam, gdzie woda jest głębsza niż połowa długości fali. Ruch wody w fali orbitalnej maleje bardzo szybko wraz z głębokością. Jeśli woda jest głębsza niż połowa długości fali, wówczas nie ma oddziaływania fali z dnem, które może wpłynąć na charakterystykę fali. Ryba płynąca na 20 metrach nie zauważy efektu fali przechodzącej nad jej głową, jeśli fala ta ma długość 40 m lub mniej. Ponieważ dno nie wpływa na fale wód głębokich, ich ruch orbitalny postępuje w sposób niezakłócony.

Gdy woda jest płytsza niż $1/4$ długości fali, dno tworzy opór, który wpływa na ruch orbitalny. To prowadzi do spłaszczenia ruchu kołowego w ruch eliptyczny. Gdy głębokość wynosi około $1/12$ długości fali, fala staje się falą wód płytkich. Na głębokości między $1/2$ a $1/12$ długości fali, fale są przejściowe, postępując od charakterystyki głębokowodnej do płytkowodnej.

W tym samym czasie mogą istnieć fale wód głębokich i fale wód płytkich. Dobrym przykładem jest olbrzymia fala stworzona przez pływy. Z definicji jest to zawsze fala wód płytkich, ponieważ długość fali jest porównywalna z rozmiarem basenu oceanicznego. Aby pływy były falami wód głębokich, ocean musiałby mieć większą głębokość niż średnica Ziemi! Wiatr tworzy fale, które mogą być falami wód głębokich na szczycie pływów. Fale kapilarne są niemal zawsze falami wód głębokich, ponieważ woda musi być w miejscu ich występowania głęboka jedynie na 0,9 cm.

Jak zaznaczono wcześniej, fale wiatrowe rosną na skutek tarcia z powietrzem, które transportuje energie do wody. Gdy fala rośnie, wystawia na wiatr coraz większą powierzchnię, pozwalając na większy przepływ energii. Trzy czynniki, które powodują wzrost fali to szybkość wiatru, czas trwania i rozbieg (ang. *fetch*).

Szybkość wiatru jest ważna, ponieważ aby oddać fali energię, wiatr musi być od niej szybszy. Czas trwania wiatru to czas, kiedy wiatr wieje w jednym kierunku. Nawet wiatr o dużej prędkości nie wywoła dużych fal, kiedy czas jego trwania jest krótki lub kierunek często i znacząco się zmienia. Rozbieg to powierzchnia, na której wieje wiatr. Z kolei na małym stawie nigdy nie powstaną duże fale, nawet jeśli szybki wiatr będzie wiał wiele godzin, ponieważ nie ma tam dostatecznej powierzchni, aby przenieść wymaganą energię do stworzenia dużych fal.

Połączenie tych trzech czynników daje maksymalny teoretyczny rozmiar fal. Powyżej tego teoretycznego maksimum, siły zaburzające i siły przywracające równoważą się, nie pozwalając na dalszy wzrost fali. Gdy powierzchnia osiąga maksymalny rozmiar, nazywamy ją w pełni rozwiniętym morzem (ang. *fully developed sea*).

Przy działaniu wszystkich tych czynników jako niezależnych zmiennych, czyli szybkości wiatru, czasu trwania i rozbiegu, w pełni rozwinięte morze występuje nie tylko na dużym morzu. Średnia wysokość fal dla w pełni rozwiniętego morza sięga od $1/4$ m do około 15 m.

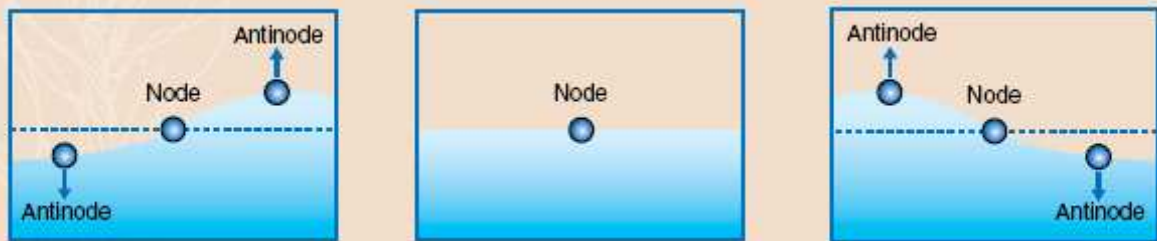
Tak jak w przykładzie z małym stawem, te trzy czynniki również wpływają na największe fale,

które mogą istnieć na oceanie. Pamiętaj, że ocean ma duże, niczym nieblokowane, połacie wody, nad którymi mogą rozwinąć się fale wiatrowe. Może jest to zaskakujące, ale czasem fala może być większa niż maksymalny teoretyczny rozmiar dla w pełni rozwiniętego morza. Naukowcy uważają, że takie fale (ang. *rogue wave*) są wynikiem oddziaływania między dwoma bliskimi zespołami fal (ang. *wave trains*). Kiedy z różnych powierzchni zjeżdżają zespoły fal, oddziałują na siebie nawzajem konstruktywnie lub destruktywnie. Jeśli fale są w jednej fazie, grzbiety i doliny pokrywają się a wysokości fal łączą się, tworząc większą wspólną falę. Również nadzwyczajnie duże fale mogą być wynikiem fal, które biegną w przeciwną stronę niż prąd, co powoduje wyostrenie fali. Ten drugi mechanizm jest prawdopodobnie częstszym powodem bardzo dużych fal (ang. *rogue wave*).

Jeśli zespoły fal są nie w fazie, tak że grzbiety jednego zespołu pokrywają się z dolinami fal drugiego, fale znoszą się wzajemnie. Jednak ani konstruktywna, ani destrukcyjna interferencja nie mogą działać na odległość większą niż kilka długości fal. Dlatego na przykład interferencja destrukcyjna nie może powodować względnie spokojnego morza w czasie silnych wiatrów. Stosunkowo rzadko razem występują zsynchronizowane zespoły fal o takiej samej długości. Najczęściej są one wzajemnie nieco przesunięte w czasie, co prowadzi do tego, że oddziałujące zespoły zazwyczaj są na przemian konstruktywne i destruktywne. Skutkuje to morzem mieszanym z cyklami dużych i małych fal. Widziałeś zapewne przybój, który zmienia się cyklicznie od okresu spokoju, następnie powstaje duża fala, a następnie cofa się, i tak w kółko. Jest to efekt dwu nieco różnych zespołów fal idących razem.

Przybój i załamanie fal

Jeśli kiedykolwiek byłeś na plaży, widziałeś zapewne fale, które załamują się i tracą energię jako przybój (ang. *surf*). Czy myślałeś kiedykolwiek, jak fale się załamują? W wodach głębokich fale załamują się, gdy stosunek H:L przekracza 1:7. Czyli gdy wysokość przewyższa 1/7 długości fali, fala załamuje się jako grzywacz (ang. *whitecap*). Ten sam stosunek jest prawdziwy dla wód płytkich, choć w wyniku innych procesów.



Fala stojąca to pionowe oscylacje, w których woda kołysze się w przód i w tył, podnosząc się i opadając na końcach, ale blisko centrum pozostaje względnie nieruchoma. Punkt fali, który jest stacjonarny, nazywamy węzłem (ang. *node*); strzałki fali stojącej (ang. *antinode*) pojawiają się tam, gdzie jest maksymalna pionowa zmiana

Fale wód głębokich stają się przejściowe, gdy wkraczają na wody, które są płytsze niż połowa długości fali. W tym punkcie dno zaczyna oddziaływać na fale. Gdy ta porusza się w kierunku brzegu, ruch orbitalny spłaszcza się, stając się eliptycznym. Oddziaływanie z dnem spowalnia falę, zmniejszając jej długość i kumulując jej energię w ciaśniejszy obszar. To powoduje wzrost wysokości fali.

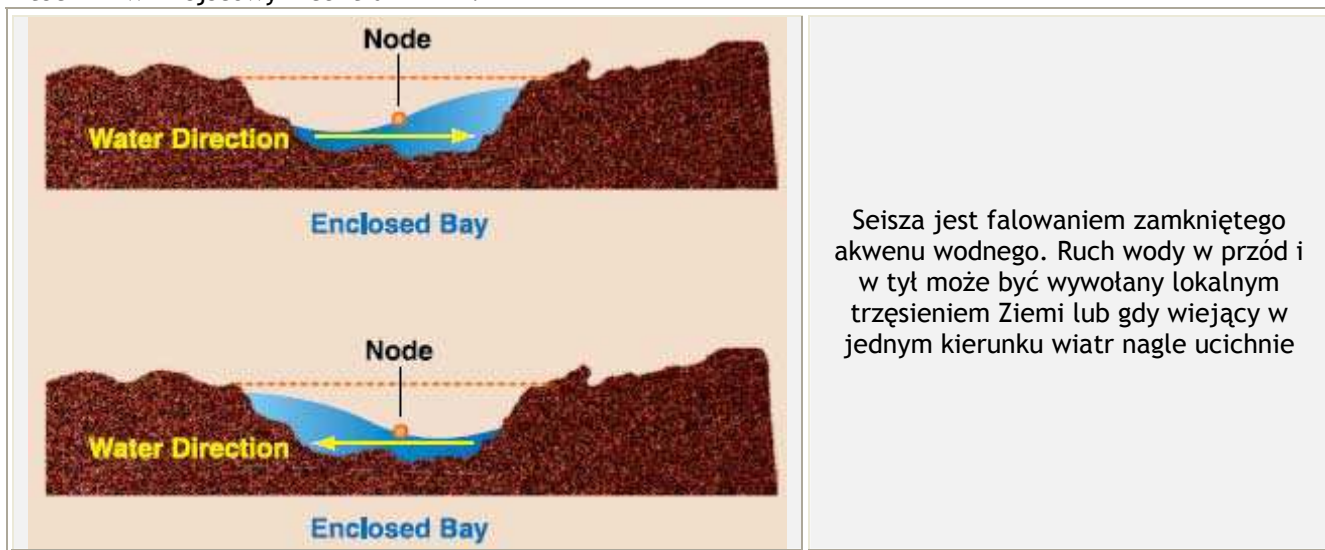
Gdy fala nadal zbliża się w kierunku brzegu, jej długość nadal spada, a wysokość wciąż rośnie, co powoduje zbliżanie się do stosunku H:L równego 1:7. Fala przekracza wartość 1:7, gdy głębokość jest 1,3 razy większa od wysokości fali. Ponieważ grzbiet fali biegnie teraz szybciej niż jej dolina i ponieważ wysokość fali jest większa niż 1,7 razy jej długości, fala staje się niestabilna. Niestabilność powoduje, że fala załamuje się, a jej grzebień przewraca się w przód.

Są trzy podstawowe typy załamania fal. W falach *plunging breakers* grzbiet fali zawija się na szczycie, wylatuje w górę, a następnie spada na dno. Pojawiają się na średnio stromych plażach, które szybko spowalniają nadchodzące fale, tak że szczyt fali dostownie leci przed jej podstawą. Fale *spilling breakers* pojawiają się na łagodnie pochylonych plażach. Szczyt fali gwałtownie opada i przesuwają w dół czoło fali, a ta powoli wytraca prędkość. Fale *surging breakers* występują na bardzo stromych plażach, które są niemal jak ściany wyrastające z głębokiej wody. Ponieważ nie ma tam kontaktu fali z dnem (lub jest bardzo mały), fale nie spowalniają, ale napływają praktycznie niezałamane. Ponieważ nie wytracają energii po drodze, fale te mogą być bardzo niszczycielskie.

Jeśli nurkujesz w przyboju, pamiętaj, że różne typy fal wymagają różnych technik, a charakterystyka każdej z nich ma swoje plusy i minusy. Fale *plunging breakers* mogą być trudne do pokonania, ponieważ rozbijają się na tobie, ale ich dobrą stroną jest krótka strefa przyboju i jeśli dobrze trafisz, możesz je szybko przepluć.

Najczęstszą przyczyną falowania jest tarcie wiatru o powierzchnię wody. Fale *surging breakers* są

bardzo silne i mogą rzucić cię na ściany czy skały, ale możesz je wykorzystać jako windę, która wyniesie cię na brzeg. Przed nurkowaniem w nieznanych warunkach przyboju, uzyskaj informacje co do właściwych technik w miejscowym centrum PADI.



Seisza jest falowaniem zamkniętego akwenu wodnego. Ruch wody w przód i w tył może być wywołany lokalnym trzęsieniem Ziemi lub gdy wiejący w jednym kierunku wiatr nagle ucichnie

Załamanie, ugięcie i odchylenie

Poprzedni opis przyboju jest w pewnym stopniu wyidealizowany, ponieważ zakłada, że fale uderzają w brzeg pod kątem prostym. W rzeczywistości rzadko się tak zdarza. Na zachowanie fali wpływają *załamanie, ugięcie i odchylenie*.

Czytając o prądach przybrzeżnych i o dryfcie przybrzeżnym dowiedziałeś się, że fale zbliżając się do brzegu pod kątem, mają tendencję do skręcania, aż staną się równoległymi do brzegu. Powodowane jest to wleczeniem się wody po płytszej, bliższej brzegowi stronie fali, a nazywane jest *załamaniem fali* (ang. *wave refraction*). Gdy linia brzegowa jest nieregularna, załamanie zazwyczaj skupia energię fali w kierunku cypli, ponieważ grzbiet fali najbliższy danemu cyplowi spowalnia pierwszy, skręcając falę w jego stronę.

Ugięcie fali pojawia się, gdy fala przechodzi przeszkodę, np. molo. Energia w fali przesuwa się, pozwalając na uformowanie nowego wzoru fali za przeszkodą. Ugięcie jest tym, co pozwala bardzo wzburzonemu morzu rozkładać przystań, która w innych warunkach jest dobrze chroniona. Fale ugięte po przejściu przez kanały między wyspami mogą zmienić wzór fali daleko od brzegu.

Odbicie pojawia się, gdy fale uderzają w ostrą, niemal prostopadłą przeszkodę w wodzie, np. falochron. Fala zachowuje większość swojej energii i odbija z powrotem w kierunku otwartej wody. Energia fali odbitej może odbijać się po wnętrzu zamkniętego obszaru, tworząc złożone wzory fal. Dobrym przykładem jest kształt, który otrzymujemy po pojedynczym wrzuceniu czegoś w nieruchome wody basenu. Pojedynczy układ fal oddala się od centrum, ale gdy dojdzie do ściany basenu, odbija się i w innym kierunku porusza się jako nowy układ fal. W tym samym czasie inna strona fali dosięga innej ściany i dzieje się to samo. Wkrótce nie można już rozróżnić kształtów, bo odbite fale oddziałują a kolejne ulegają odbiciu.

Odbicie może powodować również falę stojącą. Fala stojąca to pionowe oscylacje, w których woda kołysze się w przód i w tył, podnosząc się i opadając na końcach, ale w centrum pozostaje względnie nieruchoma. Fala stojąca nie jest orbitalna, ale ma doliny i grzbiety, które zmieniają się miejscami. Punkt fali, który jest stacjonarny, nazywamy węzłem (ang. *node*), strzałki fali stojącej (ang. *antinode*) pojawiają się tam, gdzie jest maksymalna pionowa zmiana.

Fale niszczące

Na otwartym morzu, nawet bardzo duże fale mogą się czasem wydawać niegroźne. Statek przepływa nad nim, czy przez nie. Gdy osiągają wody płytsze i nie tracą swojej energii, ich siła zaczyna być dostrzegalna. Fale kierowane wiatrami burzowymi mogą być groźne na obszarze wybrzeża. Istnieją trzy odrębne typy fal znane ze swojej niszczycielskiego działania: nagon sztormowy (ang. *storm surge*), seisza (ang. *seiche*) i tsunami.

Obliczanie szybkości tsunami

Jak szybkie są tsunami? Gdy znasz głębokość, możesz sam to obliczyć. Prędkość fali wód płytkich wyznaczona jest równaniem:

$$V^2 = gd,$$

gdzie

V = prędkość

g = przyspieszenie grawitacyjne ($9,8 \text{ m/s}^2$)

d = głębokość wody

czyli prędkość = pierwiastek z przyspieszenia grawitacyjnego razy głębokość.

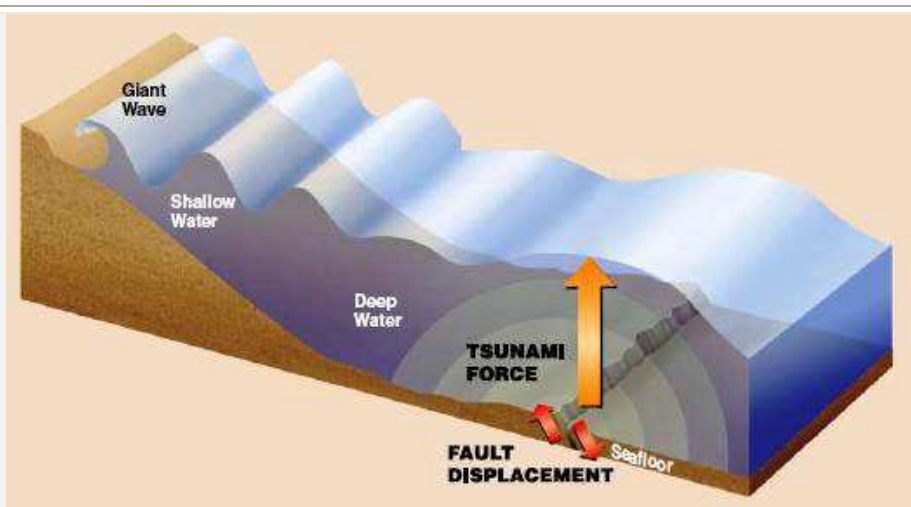
Przypuśćmy, że tsunami powstaje w wodzie, która ma 4000m głębokości.

$$V^2 = (9,8 \text{ m/s}^2) \times (4000 \text{ m})$$

$$V = 198 \text{ m/s.}$$

Czyli szybkość tsunami może wynosić 198 m/s, czyli 712,8 km/h, dopóki fala nie uderzy w wody płytsze.

Nagon sztormowy to niszczycielska fala, która powstaje, gdy bardzo silne wiatry pchają wodę w stronę brzegu, gdzie się gromadzi. Im płytsza woda i im dalej od brzegu się rozciąga, tym większy nagon. Dlatego amerykańskie Wybrzeża Stanowe mają największe nagony sztormowe, które mogą przekraczać 9 metrów dla huraganów o V kategorii.



Tsunami wywołane jest gwałtownym przemieszczeniem wody spowodowanym osunięciem ziemi, górą lodową, erupcją wulkaniczną a najczęściej trzęsieniem Ziemi. Długi okres i długość fali czyni je niemal niezauważalnymi na otwartym morzu

Gdy sztorm przesuwa się do brzegu, nagony sztormowy powstają na szczycie pływów. Gdy zbiegnie się nagon sztormowy i ekstremalnie duży przyptyw, zniszczenia nisko położonych obszarów przybrzeżnych mogą być ogromne. Również wiatry huraganowe powodują uszkodzenia konstrukcji, a około 90% wypadków śmiertelnych w czasie trwania huraganu jest wynikiem nagonów sztormowych. Nagon sztormowy nie jest falą postępującą i istnieje tylko w sztormach wirowych.

Sejsza jest formą fali stojącej, która może być niszcząca. Sejsze, które formują się w dużych zatokach i jeziorach jako fala, która kołysze w przód i w tył, mogą być wynikiem silnego wiatru, który pcha w górę poziom wody z jednej strony basenu. Kiedy wiatr cichnie, woda kołysze się w przód i w tył z częstością wyznaczoną przez rozmiar basenu i jego głębokość.

Szwajcarskie jezioro w Genewie jest znane z sejszy; to tutaj naukowcy po raz pierwszy opisali to zjawisko. Na wszystkich Wielkich Jeziorach amerykańskich regularnie występują sejsze. Gdy pojawiają się razem z falami sztormowymi, powodują zniszczenia nabrzeżnych domostw.

Tsunami w 2004 r.

26 grudnia 2004 r. ponad 140 tys. ludzi zostało zabitych w południowej Azji w masywnych falach morskich powstałych na skutek najsilniejszego od 40 lat trzęsienia Ziemi. Setki tysięcy ludzi zostało pozbawionych dachu nad głową i poranionych przez klęskę żywiołową.

Podmorskie trzęsienie ziemi o magnitudzie 9 w skali Richtera uderzyło w zachodnie wybrzeże Sumatry w Indonezji o 07:58:50 czasu lokalnego. Było to najsilniejsze w świecie trzęsienie ziemi od trzęsienia o sile 9,2 na Alasce w 1964 r. i czterech większych od 1900 r. Największym zanotowanym trzęsieniem ziemi było Wielkie Chiłijskie Trzęsienie Ziemi w 1960 r. o magnitudzie 9,5 w skali Richtera.

Wstrząsy wywołały tsunami, które uderzyło w ciągu 3 godzin od trzęsienia i w Tajlandii sięgało do 10 m. Wielokrotne tsunami uderzyło i zniszczyło obszary nadbrzeżne dziewięciu krajów na Oceanie Indyjskim, w tym prowincję Aceh (północna Sumatra), wybrzeża Sri Lanki, wybrzeża Tamil Nadu (południowy stan Indii), wyspę-prowincję tajlandzką Phuket, Tajlandię i nawet Somalię położoną 4100 km na zachód od epicentrum.

Okolo 80% tsunami objawiło się na Pacyfiku. Na szczęście wiele miast wokół oceanu, głównie w Japonii, ale także na Hawajach, posiada system ostrzegający i procedury w wypadku poważnych tsunami. Jednym z najlepszych metod przewidywania tsunami jest monitorowanie trzęsień ziemi, które powodują większość tego rodzaju fal.

W ostrzeganiu przed tsunami pomaga sieć sejsmografów, wskaźniki fal (takie jak używane przez International Tsunami Warning System) i pomiary satelitarne zmian poziomu morza



Zniszczenia wywołane przez tsunami w 2004 r. w południowo wschodniej Azji

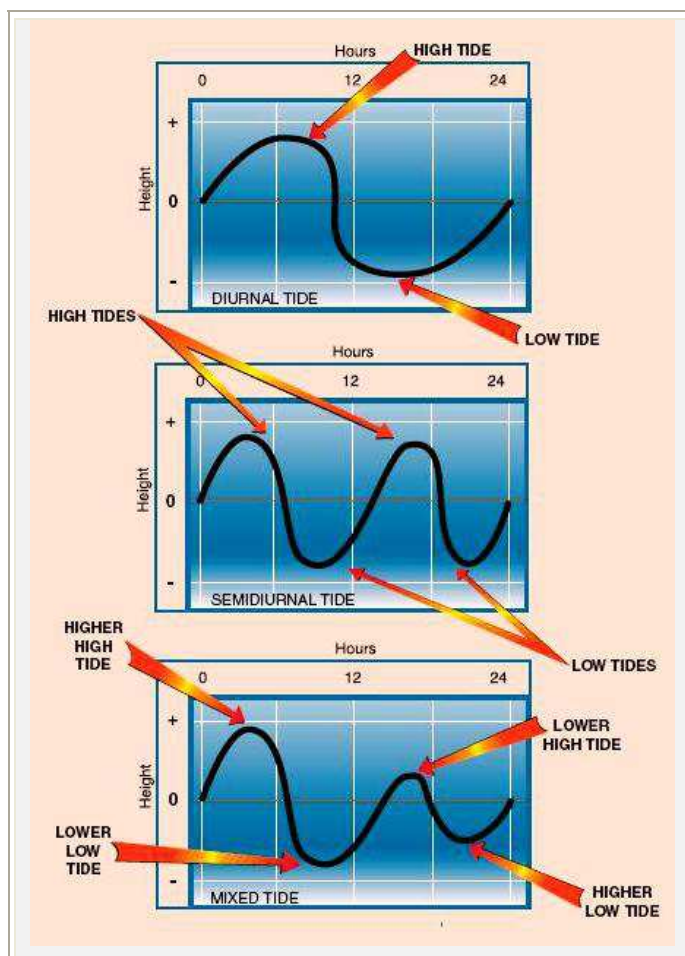
Tsunami jest wynikiem gwałtownego przesunięcia wody w wyniku np. osunięcia ziemi, upadku góry lodowej do morza, erupcji wulkanicznej, a najczęściej trzęsienia Ziemi. Tsunami pochodzi od japońskiego słowa *fala portowa* (ang. *harbor wave*), dzięki swojej szczególnej destrukcyjności w portach i w zatokach. Możliwe, że słyszałeś również określenie *fale pływowe* (ang. *tidal waves*), choć jest to niewłaściwy termin, ponieważ nie są ani wynikiem pływów, ani nie są bezpośrednio związane z pływami w żaden sposób.

Początkowo może się to wydać dziwne, ale wszystkie tsunami są falami wód płytkich w tym samym sensie, jak pływowe wybrzuszenie jest falą wód płytkich. Typowe tsunami ma długość fali rzędu 200 km, a najgłębszy punkt oceanów (Rów Mariański) to „jedynie” 11 km. Nie ma takiego miejsca na oceanach, gdzie można by traktować tsunami jako fale wód głębokich. Choć są one falami, gdy uderzają, wyglądają raczej jak powódź zalewająca wybrzeże.

Tsunami to szybko poruszające się fale, które poruszają się tysiące kilometrów. Nie stanowią problemu na wodach otwartych. Mają bardzo dużą długość fali i gdy się rozchodzą, są niemal niezauważalne. Statki mogą podnosić się i opadać o około metr, gdy przechodzi tsunami, ale czynią to bardzo powoli. Japońskie przypowieści ludowe opowiadają o przypadku, gdy rybacy, żeglując po morzu przez cały dzień, dopływają do swoje wioski i znajdują ją zniszczoną przez tsunami. Rybacy nie zdawali sobie sprawy, że tsunami przeszło pod nimi, gdy żeglowali.

Gdy tsunami osiąga brzegu, staje się znacznie wyższe. Fala rusza do brzegu, załamuje się i wyrzuca ogromne masy wody i energii na brzeg. Jeśli dolina fali poprzedza grzbiet fali na brzegu, fala wodna słabnie, tak jakby następował masywny odpływ. Okres narastania może trwać kilkanaście minut i jest przyczyną ofiar śmiertelnych. Ciekawscy plażowicze, nieostrzeżeni o niebezpieczeństwie, spacerowali po suchym dnie wywołanym wcześniejszą doliną fali, a chwilę później zostali zatopieni przez falę. W historii zapisano tsunami napływające na zbocze o wysokości 530 m w Zatoce Lituya (ang. Lituya Bay) na Alasce w 1958 r.

Pływy



Układ pływy zmienia się wraz z położeniem. Niektóre miejsca mają pojedynczy przyptyw i odpływ raz dziennie. Taki układ nosi nazwę pływy dobowej. Inne obszary mają półdobowe pływy - dwa z grubsza równe przyptywy i odpływy dzienne. Pływ mieszany oznacza układ złożony z dwu nierównych przyptywów i odpływów dziennie

Pływy to fale odpowiedzialne za podnoszenie i opadanie powierzchni morza (zazwyczaj dwa razy dziennie), co powoduje naprzemienne odkrywanie i zakrywanie morskiego życia wzdłuż wybrzeża. Odgrywają ważną rolę w wyznaczaniu, kiedy dane miejsce doświadczy silnych prądów, zmian głębokości i zmian widoczności. Dlatego pływy powodują zmiany w warunkach nurkowania: czasem je polepszają, a czasem pogarszają. Pływy również oddziałują na życie wodne, głównie w środowisku morskim, gdzie prądy pływowe zmieniają rozkład planktonu. Ruch pływowy wynika z oddziaływania grawitacyjnego Ziemi, Księżyca i Słońca. Za ogólną własność można przyjąć, że najlepsze warunki występują w czasie przyptywów.

Okresowa natura orbit i ruchu Ziemi, Słońca i Księżyca powoduje, że pływy można przewidywać. Czas trwania pływu, liczba i zasięg zależą od wzajemnego położenia tych trzech ciał i lokalnych cech topograficznych. Mając te informacje można stworzyć precyzyjną tabelę przytyków i prądów, aby przewidzieć czas i wysokość przytyków w każdym miejscu na świecie. Organizmy wodne, a szczególnie te żyjące w pasmie przytyków strefy przybrzeżnej, w prosty sposób zależą od swobodnego zegara i dostosowują swoją aktywność do przytyków. Przed nurkowaniem sprawdź miejscową tabelę przytyków i dowiedz się, w jaki sposób pływy oddziałują na warunki lokalne i życie wodne.

Przyczyny przytyków

Przyczyną przytyków jest grawitacyjne przyciąganie Księżyca i, w mniejszym stopniu, Słońca. Tworzą na oceanie ogromne fale o długości rzędu rozmiaru basenu oceanicznego. W zasadzie Słońce i Księżyc powodują dwa „wybrzuszenia”

wody po przeciwnych stronach Ziemi. Wzajemna pozycja Słońca i Księżyca powoli zmienia się, więc wybrzuszenia rotują wokół Ziemi. Gdy linia brzegowa obraca się w stronę wybrzuszenia, pływy narastają, a gdy obraca się w stronę przeciwną wybrzuszeniu, pływy opadają.

To naiwne proste wytłumaczenie zjawiska przytyków zaproponował Isaac Newton. Jest ono nazwane *teorią statyczną* i zakłada, że Ziemia jest idealnie jednolita, woda jest bardzo, bardzo głęboka i nie ma lądów. Problem z teorią statyczną jest taki, że Ziemia nie jest idealnie jednolita, woda nie zawsze jest bardzo głęboka i mamy sporo obszarów lądowych. Z tego powodu teoria Newtona jest zbyt prosta, aby opisać rzeczywiste pływy. W niektórych miejscach występują dwa przytyki dziennie, w innych tylko jeden. W niektórych miejscach pływy są ekstremalne, w innych nie. Z powodu lądów i zmiennej głębokości, pływy nie przemieszczają się jak fale na otwartym morzu, gdzie nie ma przeszkód. Pływy to fale, które przedzierają się poprzez i wokół przeszkód. Zrozumienie przytyków wymaga bardziej złożonego modelu.

Pierre-Simon Laplace zmodyfikował model Newtona, tak aby uwzględnić zmienność przytyków. Jego model, nazwany *teorią dynamiczną*, przewiduje, że zamiast dwu przytykowych wybrzuszeń, jest ich kilka. Dzieje się tak ponieważ oprócz grawitacji Słońca i Księżyca, uwzględnić należy również niedoskonały kształt Ziemi, pory roku, miesiąc, kształt basenu oceanicznego i siłę Coriolisa. Pływy okrążają ponad tuzin punktów amfidromicznych (węzłowych, bez przytyków, ang. *amphidromic points*). Są to punkty, gdzie woda nie podnosi się ani nie opada w czasie przytyków, ale wokół niego promieniście przemieszczają się grzbiety fal przytykowych. W punkcie amfidromicznym nie ma pionowego ruchu przytykowego, ale daleko od niego może powstać wzmocniony ruch przytykowy, ponieważ przytyki zmieniają się przez cały dzień.

Układy pływów i prądy



Układy pływów w USA pokazują jak względnie bliskie obszary (w sensie globalnym) mogą mieć różne pływy. Na zachodnim wybrzeżu i w części Zatoki Meksykańskiej przeważają pływy mieszane. Inne części wzdłuż Zatoki Meksykańskiej mają pływy dobowe. Wschodnie wybrzeże USA jest zdominowane przez pływy półdobowe

Ponieważ występują wielokrotne wybrzuszenia pływowe oraz inne oddziaływania, układy pływów zmieniają się wraz z położeniem. Niektóre miejsca mają pojedynczy przyptyw i odpływ raz dziennie. Taki układ nosi nazwę pływ dobowy (ang. *diurnal tide*). Półdobowe pływy (ang. *semidiurnal tide*) oznaczają dwa z grubsza równe przyptywy i odpływy dziennie, tak jak przewidywał model Newtona. Pływy mieszane (ang. *mix tides*) oznaczają układ złożony z dwu nierównych przyptywów i odpływów dziennie. Różne obszary mają różne układy pływów w zależności od miejsca i punktów amfidromicznych. Dlatego bardzo długie wybrzeże może mieć więcej niż jeden układ pływów.

Kształt i głębokość basenu oceanicznego wpływa na układy pływów. Skok pływu (ang. *range*), czyli różnica między przyptywem a odpływem, zależy głównie od kształtu basenu i jego rozmiaru. Duże rozległe baseny mają zazwyczaj mniejszy skoki pływów niż baseny mniejsze i płytsze.

Pływy dzienne tworzą prąd, który wpływa i wypływa z zatok, rzek, portów i innych obszarów ograniczonych. Napływ nazywany jest prądem przyptywowym (ang. *flood current*) a wypływ to *slack current*. Środek między przyptywem a odpływem tworzy pływ martwy (ang. *slack tide*), gdzie niewiele wody ulega przesunięciu. Te zmiany pływu są ważne dla ludzi, których praca związana jest z morzem. Duże statki mogą być w stanie wejść lub wyjść z portu w czasie przyptywu, który zapewni odpowiednią głębokość. Żaglowce często wykorzystują odpływ, który wyprowadza je w kierunku morza.

W pewnych przypadkach może powstać fala przyptywu w ujściu rzeki (ang. *tidal bore*). Dzieje się tak, gdy przychodzący pływ tworzy falę, która wpływa do rzeki, zatoki czy innego względnie wąskiego obszaru. Jest to prawdziwa fala pływowa (tzn. wywołana pływem) i może sięgać kilku metrów wysokości. Na Amazonce i na rzece Severn w Anglii z takich fal przyptywu korzystają surferzy.

Wpływ Księżyca na życie

Na Księżycu raczej nie ma życia, ale z pewnością istnieją pewne typy organizmów, na które Księżyc wpływa. Jeśli sobie przypominasz, litoral to obszar na dnie morza, który czasem, ale nie zawsze, znajduje się pod wodą. Jest to dno morskie, które codzienne pływy zakrywają i odkrywają.

Organizmy, dla których takie pływowe zbiorniki są schronieniem, przystosowały się do podnoszenia i opadania poziomu oceanu. Dotyczy to również odpornych glonów i skorupiaków, które mogą przetrwać kilkugodzinny odpływ, podczas którego są pozbawione wody. Inne organizmy litoralne przetrwają w zbiornikach pływowych - miejscach, które zatrzymują wodę w czasie odpływu.

Organizmy Nielitoralne również przystosowały się do zjawiska pływów. Księżycówka (lunark, ang. grunion) to ryba o długości 12-15 cm, która zbiera się w nocy, by złożyć ikrę tuż po największym syzygijnym przyptywie na południowo zachodnich plażach Północnej Ameryki. Wykorzystując nadzwyczajnie wysoki poziom wody, ryby składają jaja w piasku i wracają do morza. Chociaż rokroczne wędrówki księżycówek są dającym się przewidzieć wydarzeniem, na które czekają plażowicze, to jednak naukowcy wciąż nie mają pewności, skąd ryby wiedzą, kiedy wypłynąć na brzeg.

Co ciekawe, w 1981 roku odkryto, że również koralowce dostosowują czas rozmnażania do pływów. Uwalniają plemniki i jaja do wody w czasie pływu kwadrantowego (pływu minimalnego), przy minimalnych wahaniach pływowych. Wydaje się, że spokojna woda wpływa korzystnie na rozmnażanie, ponieważ pozwala plemnikom i jajom mieszać się i wydajniej zapłodnić

		
Zbiorniki pływowe to jeden z przykładów na to, jak grawitacja Księżyca wpływa na ziemskie życie	Coroczne cykle pływowe rządzą rozmnażaniem księżycówek	Koralowce dostosowują czas uwolnienia plemników i jaj do cykli pływów. Rozmnażają się w czasie pływów kwadraturowego, przy minimalnych wahanach pływowych. Spokojna woda korzystnie wpływa na ich rozmnażanie

Pływy syzygijne i kwadraturowe

Wpływ Księżyca na powstawanie pływów jest około dwukrotnie silniejszy niż wpływ Słońca. Grawitacja Słońca jest znacznie silniejsza, ale wpływa na zjawisko pływów słabiej niż Księżyc, ponieważ Słońce jest dużo dalej. Grawitacja Słońca i Księżyca inaczej oddziałuje na pływy, w zależności od położenia tych ciał względem Ziemi.

Gdy Słońce, Księżyc i Ziemia ustawione są w linii, ich siły grawitacyjne dodają się, podnosząc wybrzuszenia wód pływowych. Możesz ocenić, kiedy to się zdarzy, patrząc na fazę Księżyca. Kiedy jest now (Księżyc jest niewidoczny), Księżyc i Słońce ustawione są po tej samej stronie Ziemi, a w czasie pełni, Księżyc i Słońce znajdują się po przeciwnych stronach Ziemi. Oba te układy tworzą najsilniejsze przyprływy i odprływy nazywane pływami syzygijnymi (ang. *spring tides*).

Gdy Księżyc jest w pierwszej lub w trzeciej kwadrze, linie łączące Księżyc, Ziemię i Słońce tworzą kąt prosty. Grawitacja Słońca osłabia wielkość wybrzuszenia wynikającego z przyciągania Księżyca. Prowadzi to do podniesienia odprływu i obniżenia przyprływu. Te słabsze pływy nazywane są kwadraturowymi (ang. *neap tides*).

Ekologia, Ekosystem a Nurkowanie

Teraz gdy posiadasz już podstawową wiedzę o charakterystyce fizycznej i procesach zachodzących w oceanie oraz innych środowiskach wodnych, przyjrzyjmy się ekologii, która bada zawile procesy łączące organizmy ze sobą i ze środowiskiem.

Ekologia

Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej, termin *ekologia* stał się modnym zwrotem często używanym przez media i polityków. Dlatego też wielu ludzi jest zaskoczonych, dowiadując się, że ekologia *nie jest* tym samym co ruch na rzecz ochrony środowiska. Zapewne masz ogólny pogląd na to, czym jest ekologia, ale aby o niej dyskutować przejrzyście i ze zrozumieniem, ważna jest precyzja i konkrety.

Ekologia to nauka badająca relacje między organizmami i między organizmami a środowiskiem. Ekologia obejmuje szeroki zakres dyscyplin, począwszy od biologii, fizyki, geologii, klimatologii, oceanografii, paleontologii, a skończywszy na astronomii. Poza czynnikiem *biotycznym* (dotyczącym życia), badanie ekologiczne dotyczy również aspektów *abiotycznych* (nieożywionych). Aspekty te obejmują temperaturę, wiatr, pH, prądy, minerały i światło słoneczne, o których już czytałeś. Ekologia bada również czynniki biologiczne, takie jak ilość i typ organizmów w środowisku. Ekologia analizuje relacje i oddziaływanie aspektów biotycznych i abiotycznych środowiska. Celem jest zrozumienie jak, poprzez relacje i oddziaływania, zmiany w środowisku wpływają na organizmy w tym środowisku. W ekologii morskiej łączą się cztery dziedziny: oceanografia biologiczna, chemiczna, geologiczna i fizyczna. Również te same nauki znajdują zastosowanie, gdy badasz ekosystem wody słodkiej.

Przesuwająca się baza - Pomoc oceanom

Oceany pokrywają ponad 71% powierzchni Ziemi i głęboko wpływają na całe ziemskie życie - żywią ludzi, kierują układem pogody, zapewniają transport i zasoby naturalne oraz wspierają gospodarki. Niestety oceany są systematycznie degradowane w trudny do zauważenia sposób, zagrażający miejscom wyjątkowej piękności i zasobom żywności dla milionów. Aby podnieść świadomość zamierania oceanów i wdrożyć rozwiązania przywracające straconą przez oceany żywotność, społeczność musi przede wszystkim uświadomić sobie, jak wiele już straciliśmy. Przywrócenie oceanów do stanu sprzed kilkudziesięciu lat - to nie wszystko. Baza, którą mierzona jest kondycja oceanu, zmieniła się drastycznie - dwie czy trzy generacje wstecz była tu obfitość i piękno. Dziś ta baza jest znacznie osłabiona.

Według Shifting Baselines Ocean Media Project, baza (ang. baseline) jest punktem odniesienia z przeszłości - mówi, jak różne sprawy wyglądały dawniej. Jeśli pozwolimy, by ten punkt odniesienia przesunąć, pozbawimy się standardu pozwalającego na porównywanie obecnej kondycji oceanu z tym, co było w przeszłości. Ryzyko jest takie, że w końcu zaakceptujemy aktualny stan degradacji jako naturalny.

Przesuwająca się baza zwraca naszą uwagę na powagę problemu zamierania oceanu. Ocean jest wielki i do niedawna był w stanie sam się o siebie troszczyć. Jednakże pokazuje nam, że ludzkość przeciążyła jego zasoby i zdolność do zdrowienia. Niestety współczesne społeczeństwo nie zdaje sobie sprawy jak sytuacja stała się dramatyczna, od śmierci rafy koralowej, poprzez nadmierne odławianie lasów brunatnic, po globalny zanik łowisk. Problem stał się poważny.

Chociaż problemy oceanu są na poziomie zarówno globalnym, jak i na poziomie ekosystemu, ale nie wszystko jeszcze stracone. Kilkunastu wybitnych biologów morza i twórców filmowych zapoczątkowało kampanię na rzecz edukacji społeczeństwa o zamieraniu oceanów. Naukowcy i organizacje wierzą, że ludzie po prostu nie rozumieją, że stan oceanów poważnie się pogorszył i akceptują osłabioną kondycję oceanu jako coś normalnego.

Przykładem przesuwającej się bazy jest kondycja samych plaż. Młodzi w każdym wieku serfowali beztrosko po dzikich błękitnych wodach, krystalicznie czystych u wybrzeży Kalifornii i Hawajów. Dziś, zanim wejdą do wody, zastrzyk przeciwtężcowy i badanie na obecność pałeczek coli są niezbędnymi i wymaganymi procedurami poprzedzającymi surfing. Jest to praktyka akceptowana, ponieważ dzisiaj młodzi ludzie są nieświadomi nieskazitelności oceanu w przeszłości. Współczesnym ludziom brak punktu odniesienia (podstawy, bazy), by zrozumieć, o ile zdrowszy był ocean zaledwie kilka pokoleń wstecz.

Terminologia ekologiczna

Ekologowie używają określonych terminów stosowanych także przez biologów i innych naukowców. Zapewne niektóre z nich są ci dobrze znane. Jednak przy czytaniu dalszej części tego rozdziału, dobrze jest znać precyzyjne znaczenie poszczególnych terminów.

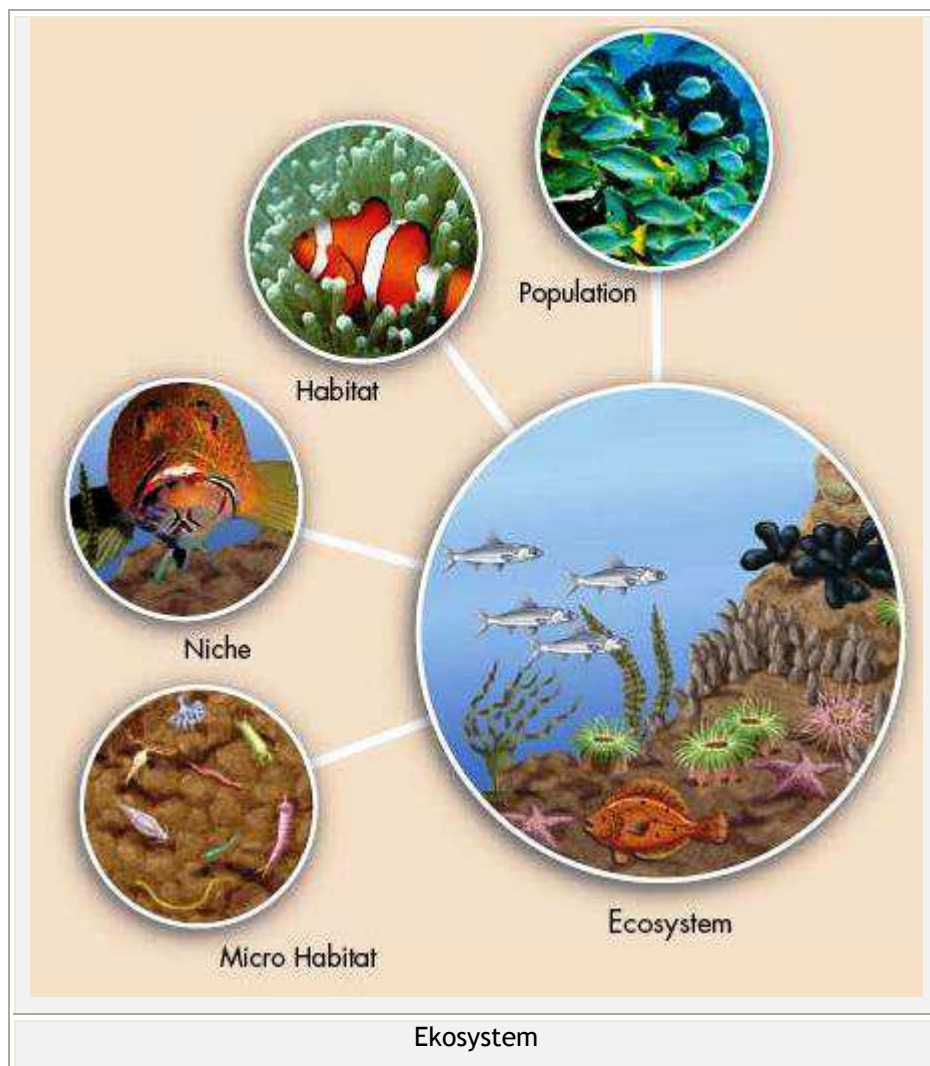
Znasz prawdopodobnie pojęcie *ekosystemu*. Ekosystem to odrębna jednostka zazwyczaj z wyraźnie zdefiniowanymi granicami fizycznymi, odrębnymi warunkami abiotycznymi, źródłem energii, środowiskiem organizmów oddziałujących, przez które przenoszona jest energia. Żaden system nie istnieje całkowicie w izolacji (z wyjątkiem warunków sztucznych). Ocean składa się z takich oddziałujących ekosystemów.

Środowisko to zbiór różnych organizmów żywych i oddziałujących w ekosystemie. Uwzględnia on wszystkie gatunki i typy organizmów. *Populacja* to grupa tego samego gatunku żyjąca i oddziałująca w środowisku. Oddziaływanie jest częścią definicji, ponieważ czasem dwie populacje tego samego gatunku żyją w jednym środowisku. Przykład taki istnieje u wybrzeży wyspy Vancouver w Kanadzie. W tych wodach stada ork żyją względnie blisko siebie, a jednak pozostają oddzielnymi populacjami, które rzadko ze sobą oddziałują. Na tyle na ile mogą to stwierdzić naukowcy, stada te nawet się nie krzyżują. Dlatego te oddzielne stada będą uważane za oddzielne populacje w środowisku.

Siedlisko (habitat) obejmuje obszar i warunki, w których występuje organizm. Pewne gatunki są przystosowane do bardzo specyficznych siedlisk, podczas gdy inne występują w różnorodnych siedliskach. Na przykład chitony (*wielopłytkowce*, ang. *chitons*) żyją w obszarze skalistego przedbrzeża², podczas gdy ośmiornice żyją w szerokim zakresie głębokości i w różnych częściach rafy. W porównaniu z ośmiornicą, chiton ma wąsko zdefiniowane siedlisko. *Mikrosiedlisko* istnieje w bardzo małej skali. Na przykład małe skorupiki i robaki żyją w przestrzeni pomiędzy ziarnkami piasku na dnie morskim.

2 Przyp. tłum.: przedbrzeże - podwodzie, część brzegu między granicą przyprływu a odpływu

Rola organizmu w jego siedlisku nazywana jest jego *niszą*. Bardzo różne gatunki zajmują tą samą niszę. Na przykład na rafach koralowych krewetka czyszcząca (ang. *cleaner-shrimp*) i ryba czyszcząca (ang. *cleaner-fish*) żyją, żywiąc się pasożytami i obumarłą lub zranioną skórą ryb rafowych. Aby uniknąć nieporozumień co do siedliska i niszy, myśl o siedlisku jako o adresie organizmu, a o niszy jak o jego pracy.



Przepływ energii i cykle odżywcze

Przepływ energii przez sieć pokarmową wpływa na ekosystem, wyznaczając, jak wiele energii przenosi się z jednego poziomu organizmów do następnego, gdy organizmy zjadają się nawzajem. We wszystkich ekosystemach jest mniej drapieżników wysokiego rzędu niż zdobyczy niskiego rzędu. Ekosystem kształtowany jest przez wartość produktywności pierwotnej (ilość pożywienia produkowana przez autotrofy (organizmy samożywne) przeznaczona do konsumpcji przez dany okres). Wysoka produktywność pierwotna tworzy potencjał dla wielu organizmów na wysokich poziomach troficznych (poziomach konsumpcji) i potencjał dla wielu innych poziomów troficznych.

Podobnie, cokolwiek co wpływa na przepływ energii, będzie wpływać także na ekosystem. Na

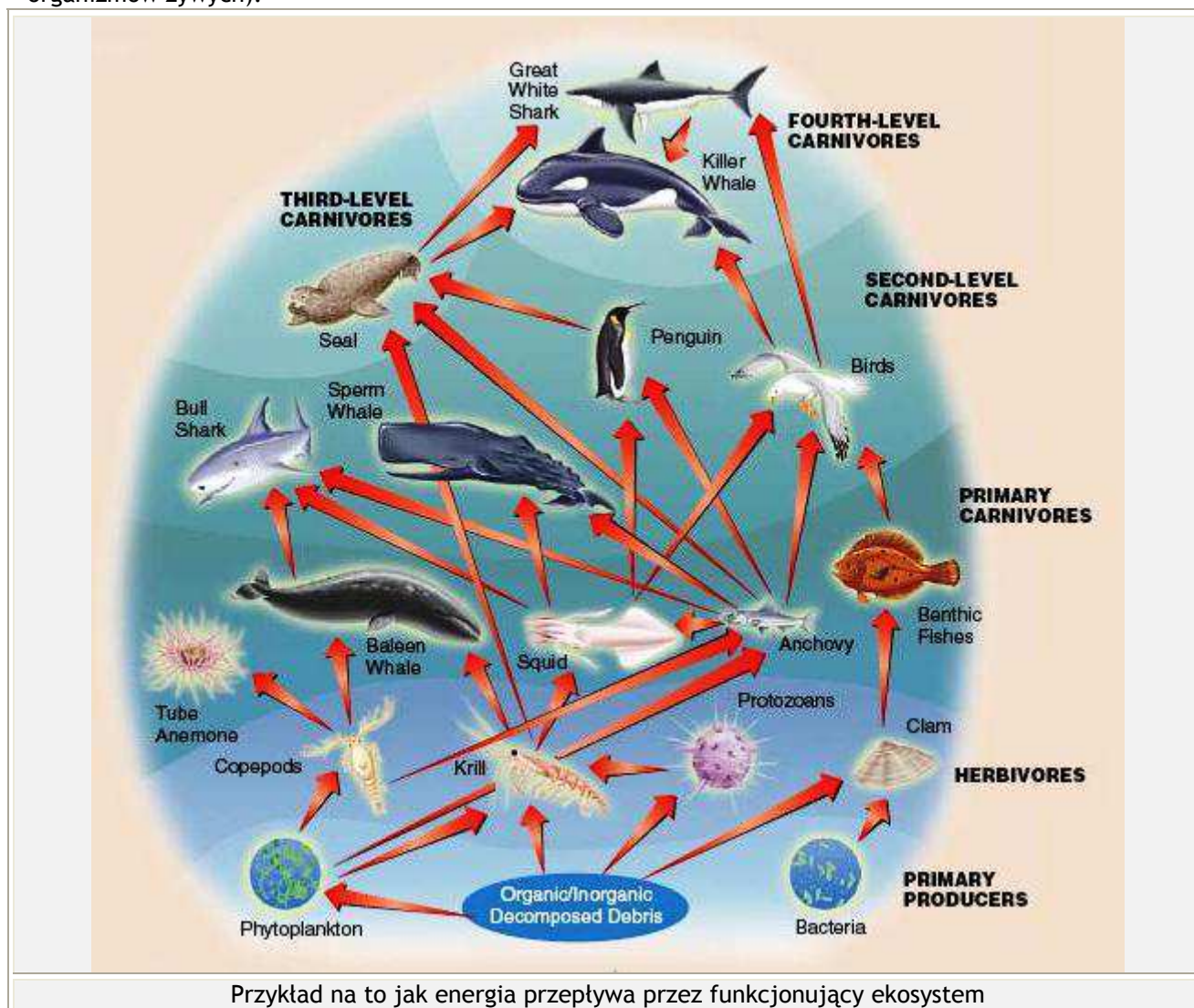
przykład, jeśli zanieczyszczenie powoduje znaczne osłabienie konsumentów pierwszego rzędu ekosystemu, zakłóca to przepływ energii do wyższych poziomów troficznych. Dlatego, nawet z wystarczającą produktywnością pierwotną, ekosystem może stracić ze środowiska wiele organizmów wysokiego rzędu.

Energia przepływa przez ekosystem, aż ostatecznie ginie jako ciepło w wodzie, atmosferze i przestrzeni. Z drugiej strony składniki pokarmowe nie giną. Węgiel, azot, fosfor i inne kluczowe pierwiastki krążą przez ziemskie ekosystemy. Cykl węgla jako składnika pokarmowego jest podstawą dla większości biomasy we wszystkich ekosystemach. Jak już czytałeś wcześniej, węgiel to podstawą dla całego życia.

Cykl azotowy uważany jest za bardziej ograniczony w ekosystemach wodnych niż ekosystemach lądowych. Jak już się dowiedziałeś, dzieje się tak, ponieważ azot nieorganiczny musi być związany w składnikach organicznych, zanim organizmy będą mogły go użyć. Bakterie azotowe żyją głównie w ekosystemach lądowych. (Jednakże obecnie część naukowców podejrzewa, że bakterie azotowe mogą być bardziej powszechne niż wcześniej myślano w ekosystemach morskich.) Odchody ptaków morskich, erozja, odpływ niosący ze sobą azotowe składniki organiczne (i fosforowe) ze środowiska lądowego do morskiego.

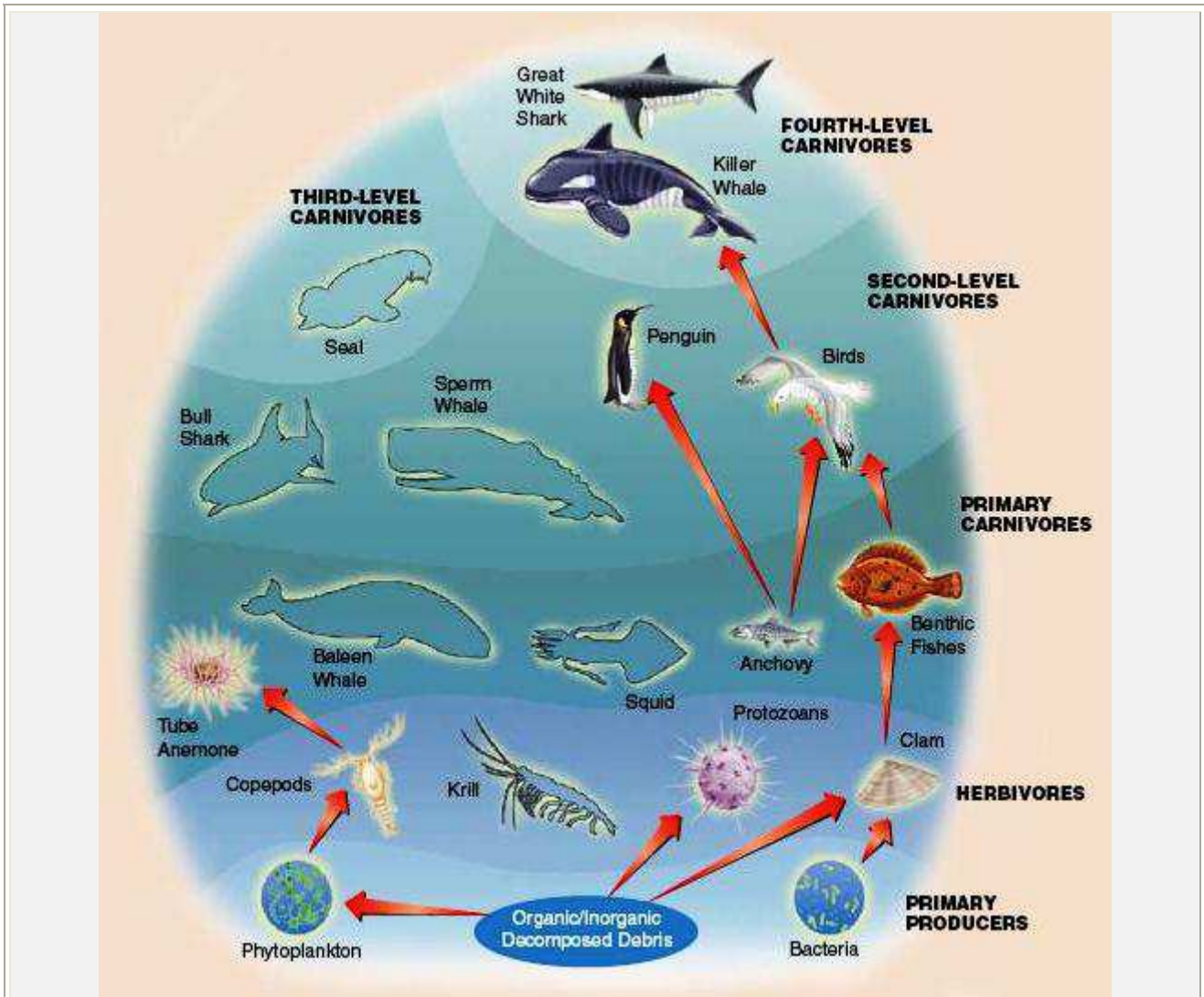
Znaczenie ekologiczne cykli pokarmowych jest zazwyczaj większe niż znaczenie przepływu energii. Wynika to z tego, że składniki pokarmowe w większym stopniu niż energia ograniczają ilość organizmów, które mogą żyć w danym ekosystemie. Możesz to sam stwierdzić, porównując wiele ciepłych, tropikalnych ekosystemów morskich z zimnymi, umiarkowanymi ekosystemami morskimi. Ekosystemy tropikalne mają przeważnie więcej dostępnej energii (światła słonecznego), a jednak warunki oceaniczne nie zapewniają im tak wielu składników pokarmowych. Jedynie kilka wydajnych ekosystemów morskich (rafy koralowe)

istnieje w wodach tropikalnych. Umiarkowane wody przybrzeżne mają stosunkowo mniej światła słonecznego, ale otrzymują dużo więcej składników pokarmowych i produkują dużo więcej biomasy (masy organizmów żywych).



Ekosystemy na otwartym morzu

Przyjrzyjmy się ekosystemom występującym na otwartym oceanie i kilku głównym grupom, które stanowią większość organizmów morskich tam żyjących. Możesz myśleć o tym jako o ekosystemach innego rodzaju niż te, które widywałeś w czasie nurkowania, i do pewnego stopnia masz rację. Z drugiej strony, część tych ekosystemów oddziałuje ściśle z ekosystemami przybrzeżnymi, a wszystkie one odgrywają ważną rolę w utrzymaniu globalnego ekosystemu, od którego zależy całe życie.



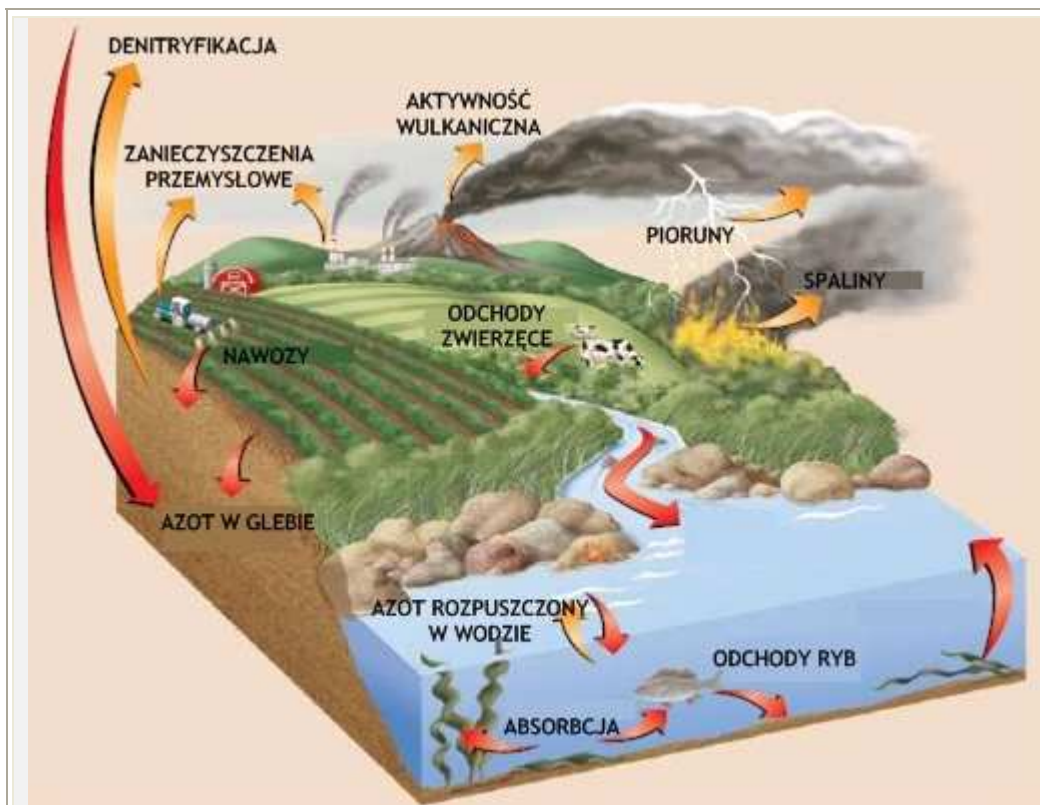
Znaczny spadek w ekosystemie konsumentów pierwszego rzędu zakłóca przepływ energii do wyższych poziomów troficznych. Zauważ zmniejszenie ilości i typów zdobyczy dostępnych orkom. Populacja ta będzie cierpieć w tym ekosystemie, chyba że przeniosą się na bardziej wydajne tereny

Ekosystem neustonowe



Czerwone zabarwienie pewnych bruzdnic nadaje szkodliwemu kwitnieniu alg nazwę „Czerwony Przyptyw”

Wcześniej dowiedziałeś się, że neuston to plankton, który żyje, dryfując na powierzchni morza. Środowisko to tworzy bardzo cienki ekosystem - w wielu wypadkach głębokość wynosi kilka milimetrów. Mimo to neuston tworzy ważny ekosystem. Dzieje się tak, ponieważ otrzymuje on maksimum światła słonecznego i ponieważ pokrywa około 71% powierzchni Ziemi. Populacje *sinic* (cyanophyte) *okrzemków* (diatom), *bruzdnic* (dinoflagellate) - wszystkie formy fitoplanktonu - w ekosystemie neustoniu mogą być 10 tysięcy razy liczniejsze niż w warstwie wody kilka milimetrów głębiej. To czyni strefę neustoniu ważnym ekosystemem dla produktywności pierwotnej na całym świecie.



Azot atmosferyczny musi być związany w innych składnikach, takich jak azotan czy amoniak, zanim organizmy będą mogły go użyć. Ostatnie dowody wskazują, że bakterie azotowe mogą być znacznie powszechniejsze w środowiskach morskich niż wcześniej naukowcy uważali

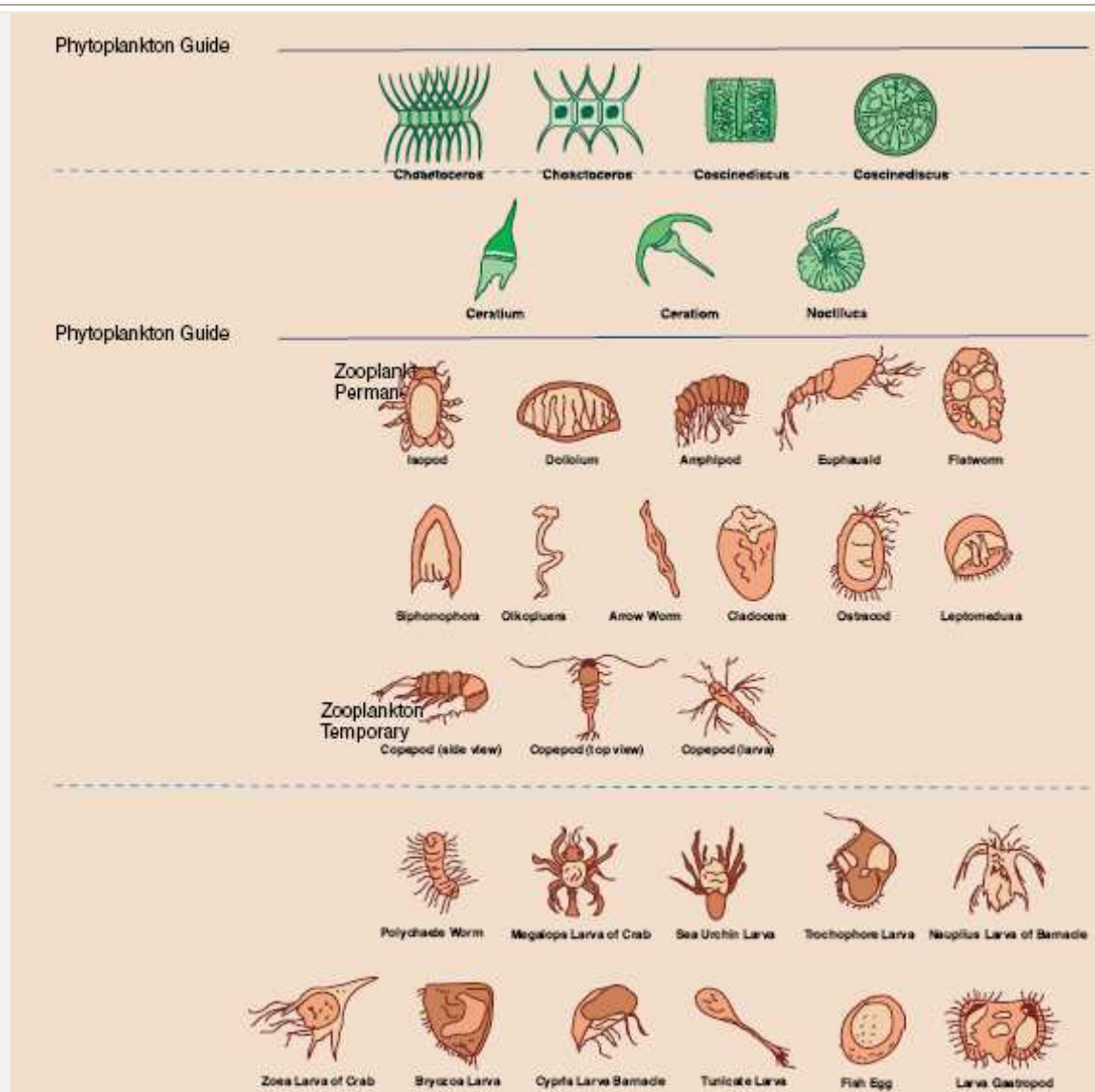
Glony morskie są oceanicznym odpowiednikiem roślin lądowych i odpowiadają za 90% produktywności pierwotnej i produkcji tlenu na Ziemi. Od wielkich listownic (klasa brunatnic, ang. *kelp*) do fitoplanktonu, glony są fundamentem dla całego morskiego życia. Glony są prawdopodobnie najbardziej istotnymi organizmami potrzebnymi do zrozumienia ekosystemu neuston.

Okrzemki (ang. *diatoms*, gromada *Bacillariophyta*) są powszechne tak w środowisku morskim, jak i słodkowodnym. Jest ich od 5000 do 50 000 gatunków. Występują jako swobodnie dryfujące, przyczepione do jakiegoś podłoża w postaci cienkiej narośli lub tworzą kolonie podobnie jak sinice (ang. *blue-green algae*). Większość z nich jest mikroskopijna, dlatego na ogół pozostają niezauważane. Dwie wyróżniające cechy okrzemków to obecność ściany komórkowej wysyczonej krzemionką oraz ich oliwkowe i żółtobrazowe zabarwienie, spowodowane głównym pigmentem fotosyntetycznym - chlorofilem. Krzemionkowa ściana komórkowa przybiera różną rzeźbę w zależności od gatunku. Często są to prążki, zagłębienia, pory, guzki, kolce i in.



Bioluminescencja wywołana jest przez małe bruzdnice. Wiele nocnych i głębokowodnych gatunków używa bioluminescencji do wabienia ofiar

Ponieważ okrzemki biorą udział w fotosyntezie, w miesiącach zimowych przechodzą w stan spoczynku. Wiosną, gdy poziom światła słonecznego podnosi się, okrzemki rozpoczynają fotosyntezę, wzrastając i rozmnażając się gwałtownie. W szczytowym okresie macierzystego osobnika może powstać ponad milion okrzemków. Z tego powodu okrzemki uważa się za odpowiedzialne za produkcję około 25% fotosyntetycznej biomasy na Ziemi. W czasie zakwitów okrzemków żywi się nimi inny plankton i ryby.



Chociaż organizmy, które tworzą neuston, są jednymi z najmniejszych stworzeń w oceanach, są jednocześnie jednymi z najważniejszych. Ponieważ przeważnie ich nie widzisz, łatwo je przegapić. Z tego powodu środowisko to pozostawało nieodkryte, aż ktoś przeciągnął gęstą sieć pod wodą i zbadał jej zawartość pod mikroskopem

Okrzemki są jednym z gatunków planktonu, który może powodować *Szkodliwe Kwitnienie Alg* (ang. *Harmful Algae Blooms*, *HAB* - czasem nazywany czerwonym przypiływem, lub zakwitem (przyp. tłum)). Pewne okrzemki produkują toksyny, które następnie ulegają koncentracji w rybach i innych gatunkach w czasie HAM i mogą po ich zjedzeniu spowodować zatrucie u ludzi.

Bruzdnice są drugą najbardziej wydajną grupą *producentów pierwotnych* (jest to inna nazwa autotrofów, nazywanych tak ponieważ są pierwszymi, czy też pierwotnymi, źródłami, dzięki którym energia staje się dostępna życiu). Znanych jest około 1100 gatunków, z czego większość (93%) to gatunki morskie. Jest to szczególnie ciekawa grupa organizmów, ponieważ ich charakterystyka jest wspólna tak dla roślin, jak i dla zwierząt. Tak jak inne prawdziwe rośliny, większość bruzdnic zawiera fotosyntetyczne pigmenty i może samodzielnie wytwarzać pożywienie. Jednakże tak jak zwierzęta mogą przemieszczać się po wodzie, używając długich, podobnych do biczów, przydatków nazywanych *wiciami* (*flagellum*). Z tego powodu ich powiązania do innych organizmów są niejasne. Część naukowców uważa, że bruzdnice mają jednak więcej wspólnego ze zwierzętami niż z roślinami.

Bruzdnice rozmnażają się bezpłciowo poprzez podział. Pod wpływem dobrych warunków środowiska mogą rozmnażać się gwałtownie, podwajając swoją populację z każdym podziałem. W wyniku tego mogą się stać gatunkiem dominującym w miejscowym zbiorowisku planktonu, co jest inną formą HAB. Zjawisko to wynika z gwałtownego wzrostu (kwitnienia) w populacji pewnych gatunków bruzdnic, które

mają czerwone zabarwienie i mogą drastycznie obniżyć twoją widoczność pod wodą. Wtedy HAB nazywany jest „czerwonym przypiływem”.

Oprócz zabarwienia wody i ograniczenia widoczności, tak jak w okrzemkowym HAB, czerwone przypiływy mogą wywołać poważne choroby, nawet śmiertelne, u innych form życia morskiego i lądowego, a nawet u ludzi. Gatunek bruzdnic z rodzaju *Gonyaulax* produkuje toksynę nazywaną saksytoksyną (ang. *saxitoxin*). W czasie czerwonych przypiływów, gatunek ten jest tak liczny, że organizmy filtrujące jedzenie z wody, takie jak małże i ostrygi, zaczynają kumulować toksynę w tkance. Zjedzenie małży czy innych owoców morza, zawierających te toksyny, może spowodować chorobę, a nawet śmierć. Choroba ta nazywana jest *paralitycznym zatruciem mięczakami* (ang. *paralytic shellfish poisoning* - PSD). W czasie miesięcy letnich w strefach umiarkowanych, jeśli zostanie zaobserwowany czerwony przypiływ, część plaż może być zamknięta dla zbieraczy małż.

Kolejnym fenomenem wywołanym eksplozją populacji bruzdnic jest zjawisko powszechnie, a zarazem błędnie, określane mianem „fosforescencji” wody nocą. Możesz go zobaczyć w nocy w postaci wirujących rozbłysków, gdy wiosło zanurza się w wodzie lub gdy łódź motorowa tworzy kilwater. W rzeczywistości jest to *bioluminescencja*, a powodują ją małe bruzdnice, które wytwarzają „zimne” światło, gdy są poruszane czy potrząsane np. przez twoje płetwy w czasie nurkowań nocnych. Przeważnie odpowiedzialni są za to zjawisko przedstawiciele rodzaju *Noctiluca*.

Ekosystem neuston jest ostatnio poddawany badaniom, ponieważ pojawia się wiele substancji zanieczyszczających, które głęboko na niego wpływają. Co zaskakujące, wykonano zaledwie kilka badań porównujących warstwy neuston z warstwami wody poniżej. Analiza ta pokazała, że warstwa kilku pierwszych milimetrów aż do kilku centymetrów znacznie różni się od głębszych warstw wody. Przeważnie, poza wszystkimi innymi substancjami, warstwy neuston utrzymują znacznie więcej składników pokarmowych i związków węgla. Napięcie powierzchniowe podtrzymuje jaja, larwy i mikroskopowe życie na górnej warstwie wody.



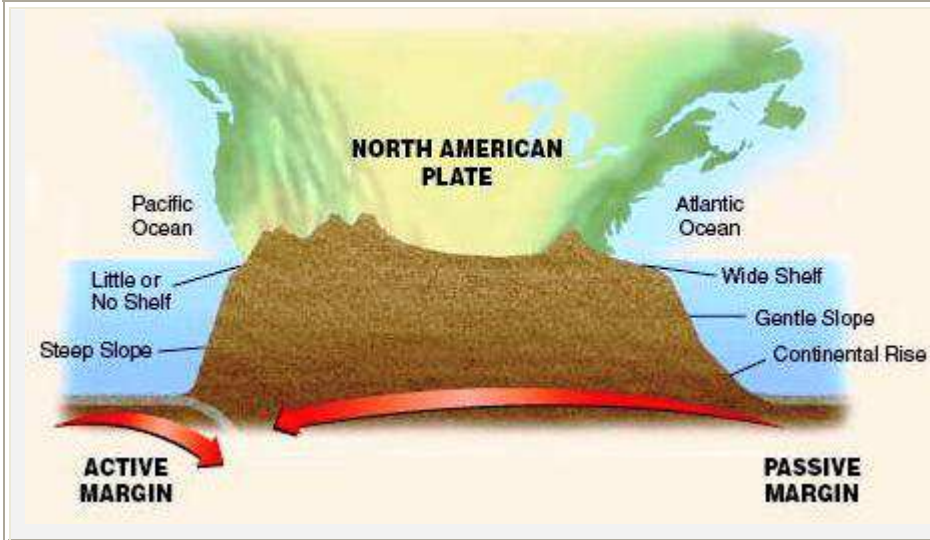
Największym środowiskiem neuston jest Morze Sargassowe, które znajduje się północnej części Oceanu Atlantyckiego

Jednakże nie jest to prawda ogólna. W pewnych miejscach fotosynteza i produktywność pierwotna jest znacznie poniżej neuston. Jedną tego przyczyną może być *fotoinhibicja* (ang. *photoinhibition*), która polega na zbyt silnym nasłonecznieniu, które powoduje obniżenie produktywności pierwotnej. Fotoinhibicja jest powszechna w morzach tropikalnych. Ponieważ jest tam mało wody do ochrony organizmów neuston, światło ultrafioletowe może być przyczyną części fotoinhibicji. Jeśli to prawda, to naruszenie ozonu może spowodować, że gdy światło UV będzie docierać do powierzchni Ziemi, fotoinhibicja będzie wyrządzać coraz większe szkody.

Drugi czynnik obniżający produktywność pierwotną w ekosystemie neuston to zanieczyszczenia. Ołów, żelazo, nikiel, miedź i ropa naftowa często koncentrują się w warstwach neuston, podobnie jak korzystne składniki pokarmowe. W związku z globalnym ociepleniem, naukowców interesuje, w jaki sposób zanieczyszczenia wpływają na ekosystemy neuston. Ocean może zmniejszyć globalne ocieplenie poprzez absorpcję dwutlenku węgla. Atmosferyczny dwutlenek węgla rozpuszcza się w wodzie morskiej poprzez warstwy neuston. Zanieczyszczenia, które wpływają na te warstwy, mogą stworzyć barierę, która spowolni lub zastopuje rozpuszczanie dwutlenku węgla (i innych gazów) w wodzie.

Dryfujące resztki, czy to naturalne, czy też wytworzone przez człowieka, działają jako potencjalna ochrona i przyciągają morskie istnienia. To tworzy odrębne ekosystemy neuston, które rozwijają się wokół dryfujących w wodzie materiałów. Największy na świecie dryfujący ekosystem to

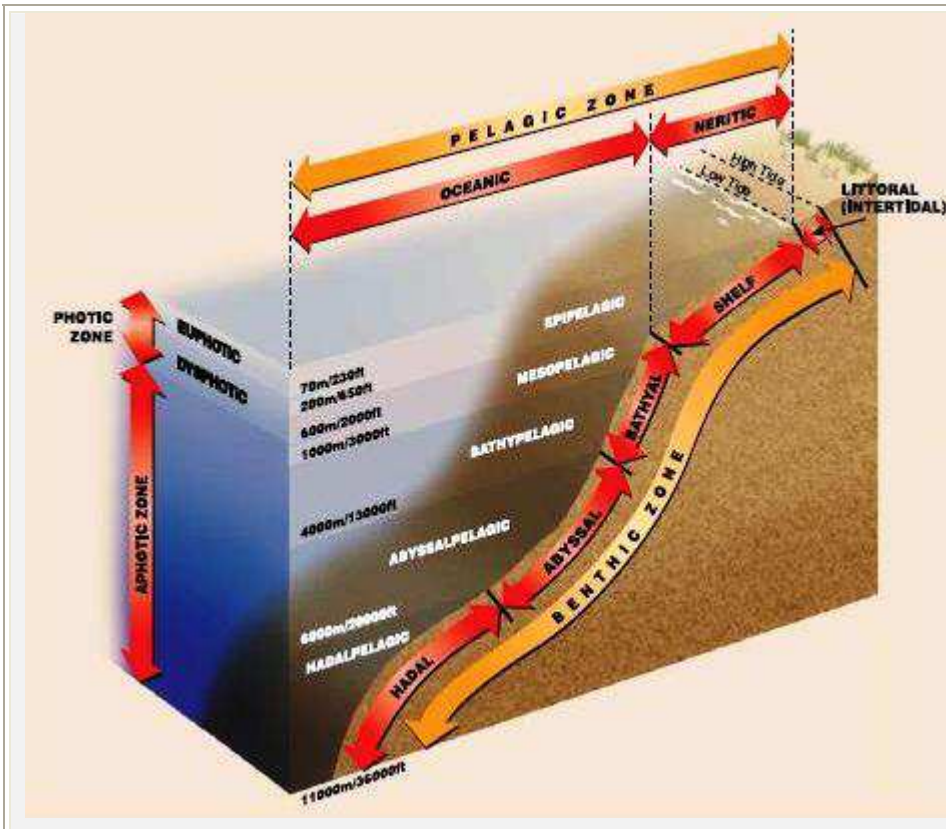
Morze Sargassowe (ang. *Sargasso Sea*). Części brunatnic z rodzaju *Sargassum* gromadzi się w środku północnoatlantyckiego wiru (kołowy prąd w basenie oceanicznym wywołany efektem Coriolisa), dryfując w masywnym swoistym dywanie i żywiąc złożoną biocenozę. Brunatnice te tworzą ogromne dryfujące masy, które utrzymują całe środowisko neustonów. Do gąszczu *Sargassum* wchodzi również różne gatunki małych ryb, skorupiaków i innych organizmów. Są to gatunki, które normalnie łączy z ekosystemami bliskimi linii brzegowej. Z drugiej strony rybka sargassowa (ang. *Sargassum fish*) jest gatunkiem żabnicy (ang. *frogfish*) przystosowanym specjalnie do życia w takim ekosystemie. Dostosowała się do warunków *Sargassum*, polując na małe skorupiaki i ryby.



Strefa nerytyczna to słup wody powyżej szelfu kontynentalnego. Płyta Północnej Ameryki ma szeroki wschodni szelf kontynentalny i dlatego tam strefa nerytyczna jest większa niż na zachodnim wybrzeżu

Morze Sargassowe i inne ekosystemy neustonów wokół dryfujących resztek są kolejnym przykładem oddziaływania ekosystemów. Ryby drapieżne ukrywają się pod glonami sargassowymi lub pod resztkami, żywiąc się rybami i innymi częściami neustonów, który tam żyje. Z kolei te drapieżniki dostarczają pożywienie rybom pelagicznym, rekinom, delfinom i innym dużym drapieżnikom.

Szelf Kontynentalny



Ponieważ szelf kontynentalny jest stosunkowo płytki i położony blisko linii brzegowej, strefa nerytyczna korzysta ze składników pokarmowych spływających z lądu. Składniki te wznoszą się również wraz z prądami z poziomu głębokiej wody. Potężenie przenikania światła, małej głębokości i wielu składników pokarmowych uczyniło szelf kontynentalny bardzo ważnym w świecie wodnym i jednym z głównych odwiedzanych przez nurków ekosystemów

Jak już wiesz, strefa nerytyczna (płytkomorska, ang. neritic zone) to obszar wody między punktem odpływu a krawędzią szelfu kontynentalnego. Obszar ten może sięgać od zaledwie kilku do kilkuset kilometrów w głąb morza. Jest to znaczący ekosystem morski, ponieważ jest najbardziej produktywnym biologicznie obszarem oceanu i jedną z tych stref, w której najczęściej nurkujemy.

Głębokość szelfu kontynentalnego rzadko przewyższa 200 metrów (650 stóp). Dzięki temu składniki pokarmowe zatrzymywane są w płytkiej strefie fotycznej (ang. photic zone) a woda, nagrzana Słońcem, pozostaje ciepła. Będąc blisko linii brzegowej, strefa nerytyczna korzysta również ze składników pokarmowych spływających rzekami. Biopierwiastki wznoszą się również wraz z prądami z głębokiej wody na krawędź szelf i także biologicznie wzbogacają tę strefę. Wszystko to powoduje, że przybrzeżny ekosystem oceaniczny jest wysoce produktywny i jednocześnie stanowi wymarzone miejsce nurkowe.

Wyptywanie wód głębinowych - upwelling

Wyptywanie wód głębinowych (prąd wznoszący, ang. *upwelling*) odgrywa znaczącą rolę w produktywności biologicznej przybrzeżnych ekosystemów oceanicznych. Dzieje się tak, ponieważ wyptywanie wód głębinowych przenosi składniki pokarmowe z wód głębokich na płytkie, które są bardziej produktywne. Jest to szczególnie ważne, biorąc pod uwagę składniki pokarmowe, które opadają na względnie mniej produktywne dno w głębokiej oceanicznej strefie abisalnej.

Wiatr powoduje upwelling, ponieważ tworzy prądy, które pchają wodę powierzchniową blisko brzegu na otwarte morze lub w dół wybrzeża. Gdy wody powierzchniowe odpłyną, głębsze pokłady wody wpłyną na ich miejsce, niosąc ze sobą składniki pokarmowe. Na większości obszarów, jeśli nastąpi wyptyw wód głębinowych, łatwo go zauważysz. Jeśli prąd znoszący właśnie się rozpoczął, woda będzie przejrzysta i zimna.

Czasem możesz zobaczyć oznaki związane z biologiczną aktywnością, takie jak ławica żerujących rybek-przynęt (ang. *schools of feeding baitfish*). Często, kilka dni po wyptywie wód głębinowych, widoczność spada na skutek podwyższonego przyrostu planktonu ze składników pokarmowych w wodzie.

Rola prądów wznoszących jest niewątpliwa, ponieważ obszary o największej aktywności wyptywu mają jednocześnie największy poziom składników pokarmowych i na ogół najwyższą produktywność. Przykładem są przybrzeżne wody Peru, Morze Beringa, Grand Banks na Atlantyku i głębokie wody otaczające Antarktydę.



Wyptyw wód głębinowych z głębokich warstw oceanu na płytkie i zstępujący szelf kontynentalny

Prądy wznoszące a przetrwanie

Jedną z najstraszniejszych opowieści o przetrwaniu to opowieść o amerykańskim badaczu Ernieście Shackletonie. Shackleton dotarł do Antarktydy z 28-osobową załogą na statku *Endurance* pod koniec 1914 r. Ich planem było przejść Antarktydę z psimi zaprzęgami. Jednak Antarktyda, jak pokazała historia, miała inne plany.

W styczniu 1915 r. *Endurance* wybrał drogę przez dryfujący lód, próbując zacumować. Shackleton szukał najkrótszej drogi przez kontynent. Jednakże wraz z nadejściem zimy dryfujący lód wielokrotnie blokował statek. Piętrzący lód stawał się grubszy i mimo prób posuwania się naprzód, 19 stycznia 1915 r. *Endurance* został unieruchomiony między krami. Shackleton wiedział, że on i jego ludzie muszą pozostać tam przez długą zimę, bo kry nie puszcza się aż do wiosny.

Żałoga mieszkająca na *Endurance* zużyła zapasy zabrane na ekspedycję. Mądry dowódca ciągle zlecał jakieś projekty załodze, aby byli wciąż zajęci. Zdawał sobie sprawę, że lepiej, aby byli zbyt zajęci i nie mieli czasu na smutki czy wątpliwości.

Myśląc długofalowo, Shackleton wiedział, że zapasy żywności, choć obfite, prawdopodobnie nie wystarczą na długie miesiące, które ich czekają. Żałoga zajmująca się polowaniem to załoga pochłonięta działaniem i jednocześnie zapewniająca prowiant. Na pierwszy rzut oka byli na jałowej Antarktydzie, na lądzie bez lasów czy roślin. Shackleton wiedział jednakże, że na oko jałowa Antarktyda, jest naprawdę bogatym ekosystemem. Daleka od bycia pozbawiona życia, z morzami będącymi najobfitszymi obszarami ziemskimi. Morskie ssaki, ptaki i ryby zapewniły załodze niezbędnego pożywienia. Przede wszystkim łowili foki i pingwiny. Z nadejściem zimy ich ilość spadała. Żałoga była świadkiem sezonowego narastania i opadania ekosystemów polarnych. Antarktyda eksplodowała życiem na wiosnę i lato, zimą stawała się wymarłą.

Żałoga *Endurance* była zmuszona pozostać na brzegu przez cały 1915 r. W październiku znów zaczęto szukać fok i pingwinów, a 27 października grube kry zmiażdżyły statek. Shackleton przeprowadził swoich ludzi przez lód na nogach i łodzią na Wyspę Słoniową, gdzie dotarli 16 kwietnia 1916 r. Po kilku tygodniach planowania Shackleton i pięciu towarzyszy pożeglowało w małej, otwartej łodzi do Georgii Południowej, najbliższego zamieszkałego przez ludzi miejsca. Było ono oddalone o ponad 1289 km, a przebyć należało jedno z najburzliwszych mórz świata. Dotarli tam 10 maja. Po ponad tygodniu dotarli do stacji łowiącej wieloryby.

Aż do 30 sierpnia zajęto Shackletonowi wyposażenie statków i powrót na Wyspy Słoniowe, by uratować swoją załogę. Wszyscy przeżyli 105 dni oczekiwania na ratunek. Przetrwali żywiąc się głównie mięsem fok i pingwinów - hojny dar jednego z najbardziej produktywnych ekosystemów.

Ekosystemy przybrzeżne

Ekosystemy przybrzeżne nie są tymi, o których najczęściej myślimy, planując nurkowanie. Jednakże ekosystemy te są ważne z powodu ich oddziaływania z innymi ekosystemami. A ponieważ nie są typowymi miejscami nurkowymi, możesz znaleźć przyjemność, nurkując w nich.

Ekosystemy przybrzeżne są przeważnie wysoce produktywnymi z podobnych powodów jak ekosystemy szelfu kontynentalnego. Korzystają z bogatego w składniki pokarmowe spływu wód lądowych. Ponieważ są płytkie, organizmy bentosowe w tych ekosystemach żyją w górnej strefie fotycznej zamiast w dolnej, tak jak ma to miejsce na otwartym morzu. Rośliny słonolubne mogą rosnąć na dobrze naświetlonych płyciznach, dając schronienie. Rośliny te działają jako podstawa dla kilku różnych typów ekosystemów, które nie mogą istnieć na otwartym oceanie. Połączenie składników pokarmowych, obfitości światła i osłony czyni ekosystemy przybrzeżne urozmaiconymi i bogatymi. Mimo że na ogół nie spotykasz dużych organizmów w ekosystemach przybrzeżnych, zapewniają one azyl dla młodocianych przedstawicieli gatunków żyjących na otwartym oceanie. Na przykład w ten sposób lasy mangrowe (ang. *mangrove swamps*) dbają o zdrowie rafy koralowej.

Aktywność ludzka w rozległy sposób wpływa na ekosystem przybrzeżny. Skutki są tak zróżnicowane, jak i natychmiastowe. Historycznie ludzie zawsze mieli skłonność do życia nad wodą, tym samym zbliżając się do tego ekosystemu. Oznacza to, że wiele z naszej działalności potencjalnie wpływa na ekosystem przybrzeżny, choć nie zawsze jest to takie oczywiste. Na przykład rolnictwo może zmienić te ekosystemy, gdy nadwyżka nawozu zostanie wymyta do morza wraz z opadami deszczu. Różnorodność działań ludzkich jest tak szeroka, że nie zawsze potrafimy przewidzieć wszystkie ich skutki dla ekosystemu.

Ponieważ konsekwencje są natychmiastowe, skutki dla ekosystemu nadbrzeżnego mogą być dużo poważniejsze. Na przykład substancje zanieczyszczające często dostają się do ekosystemu w postaci zagęszczonej. Dla kontrastu, ekosystemy oceanu otwartego korzystają na osłabieniu tych efektów na

wodach otwartych. Pewne głębokie i dalekie ekosystemy morskie położone są w takim oddaleniu od ludzkiej działalności, że jej efekty są minimalne (przynajmniej do tej pory).

Jeden szczególny problem dotyczy ekosystemu przybrzeżnego, mianowicie *eutrofizacja*, czyli nadmiar składników pokarmowych, które powodują nierównowagę ekologiczną. Eutrofizacja jest bodźcem dla jednych gatunków i zgubą dla innych. Splew nawozów może obniżyć nadmiar składników pokarmowych w wodzie, pobudzając nadmierny wzrost alg, czy też kwitnienie alg. Gdy algi umierają, rozkład biomasy zużywa dostępny tlen. Zmniejszenie ilości tlenu zabija ryby i inne organizmy morskie. Choć są i inne przyczyny szkodliwego kwitnienia alg (HAB), eutrofizacja jest najbardziej znaczącą.

Estuarium

Estuarium (ujście rzeki) istnieje tam, gdzie pływy spotykają rzeki. Nie występuje zawsze wszędzie, gdzie rzeka wpada do morza, ale jest powszechne tam, gdzie zakres pływów jest duży. Pozwala to przyptywom popychać wodę w górę rzeki, często zalewając duże połacie lądu. Estuaria mogą tworzyć wielkie, złożone delty (o których czytałeś wcześniej) tworzące zatoczki, laguny i wysepki, lub być prostymi akwenami rzecznyymi wpadającymi do morza.

Estuaria wytapiają i kumulują splewający osad, są więc bogate w składniki pokarmowe i biologicznie produktywne. Większość głównych rzek Ameryki Północnej, splewając do Atlantyku, wpada najpierw do estuariów. Dlatego właśnie Północny Atlantyk nie ma zbyt wiele osadu tak jak inne baseny oceaniczne z podobnymi rzekami. Niestety, powoduje to również, że estuaria są szczególnie czułe na eutrofizację, ponieważ te same procesy wytapiają nadmiar składników pokarmowych, jak i splewający nawóz.



Estuaria działają jak wysypisko śmieci, filtr i absorber składników pokarmowych (i substancji zanieczyszczających). Ciągłe uzupełnianie składników pokarmowych skutkuje wysoką produktywnością pierwotną. Estuaria sięgają od prostych ekosystemów takich jak rozległy akwen rzeki wpadającej do morza (rozlewisko) po wielkie, złożone delty tworzące zatoczki, laguny i wysepki.

Estuaria działają jak wysypisko śmieci, filtr i absorber składników pokarmowych (i substancji zanieczyszczających). Część ekologów nazywa estuaria „nerkami” biosfery z powodu ich oczyszczających funkcji. Ciągłe uzupełnianie składników pokarmowych skutkuje wysoką produktywnością pierwotną z glonów i halofitów - roślin słonolubnych. To z kolei utrzymuje duże środowisko organizmów.

Pewne czynniki ograniczają produktywność w estuarium. Po pierwsze organizmy tego ekosystemu muszą tolerować szeroki zakres zasolenia. *Stres osmotyczny* (ang. *osmotic stress*), czyli zmiana zasolenia, która powoduje, że woda dyfunduje do lub z organizmów wodnych, wywołany rosnącymi i opadającymi falami, które mieszają się z wodą słodką, okazuje się zgubny w skutkach dla wielu organizmów. Przypominasz sobie, że część organizmów toleruje duży zakres zmienności poziomu zasolenia, ale większość jednak nie. Dlatego zmienność zasolenia prowadzi do zmniejszenia ilości gatunków żyjących w estuarium.

Rośliny kwitnące w siedliskach morskich są gatunkami lądowymi zaadaptowanymi do życia w słonowodnych estuariach, równinach wodnych, zalewanych falami skalistych wybrzeżach. Istnieje około

ćwierć miliona gatunków roślin lądowych i zaledwie około 200 zidentyfikowanych roślin żyjących w środowisku morskim.

Rośliny wodne można podzielić na dwa zasadnicze grupy: zanurzone (ang. *submergent*, rośliny, które żyją całe zanurzone) i rośliny o liściach pływających (ang. *emergent*, rośliny, które żyją, mając korzenie zanurzone, ale znaczna część rośliny wzrasta nad wodą)³. Jednakże mimo małego zróżnicowania gatunkowego, rośliny wyższe morskie grają zadziwiająco istotną rolę w kondycji zdrowotnej oceanów. Tylko dwie grupy roślin tkankowych z powodzeniem podbiły środowisko morskie: trawa morska (ang. *seagrasses*) i rośliny mangrowce (ang. *mangroves*). Trawy morskie to rośliny zanurzone a mangrowiec to rośliny pogranicza ziemno-wodnego. Gatunki obu tych grup są tak silne, że wszędzie gdzie występują, tworzą własny unikalny habitat (siedlisko).

Tak rośliny zanurzone, jak i pływające wnoszą swój wkład do biosfery oceanicznej. Produkują tlen, choć rośliny pływające przeważnie uwalniają tlen do atmosfery, nie do wody morskiej. Co więcej, rośliny morskie zapewniają ważne siedlisko dla innych morskich organizmów.

Estuaria zapewniają obszar płytkiej, osłoniętej wody oraz składniki pokarmowe, tworząc doskonałe wylęgarnie. W tym żyznym schronieniu, larwy i osobniki młodociane gatunków oceanu otwartego mogą uniknąć drapieżników i dorosnąć, zanim odważą się wyjść w morze. Szacunki pokazują, że estuarium służy jako wylęgarnia dla ponad 75% gatunków ryb użytkowych. To czyni z estuarium kluczowe siedlisko tak dla gospodarki rybnej, jak i dla kondycji zdrowotnej oceanów.

Estuaria przyczyniają się do produktywności sąsiednich systemów morskich na co najmniej dwa sposoby. Po pierwsze osobniki młode, które przetrwały i dorosły w estuariach migrują z nich. Ogólnie w systemach wodnych panuje reguła, że im organizm większy, tym jest bezpieczniejszy, ponieważ jest mniej drapieżników, które mogą go zaatakować i zjeść. Dlatego estuaria przyczyniają się do produktywności, przez zwiększenie liczby osobników, które przetrwały niepewny okres larwalny i młodociany. Po drugie estuaria zapewniają stały dopływ składników pokarmowych do sąsiednich ekosystemów, wyłapując osad i inne materiały spływające w czasie deszczy i burz. Dostarczanie składników pokarmowych przyczynia się do produktywności, redukując eutrofizację i inne szkody wywołane wpływem niefiltrowanej wody do otwartego morza.

Solnisko

Solniska (słone bagna, ang. *salt marshes*) istnieją w estuariach i wzdłuż wybrzeża. Tworzą się tam, gdzie teren jest płaski, łagodnie nachylony, z bogatym w składniki pokarmowe osadem naniesionym przez pływy. Są one stowarzyszone z estuariami, ponieważ rzeki są ciągłym źródłem pokarmu.



Solniska zawierają trawy z rodzaju *Spartina*. Halofit ten gromadzi sól w korzeniach, aż stężenie przewyższa stężenie wody morskiej. To powoduje, że woda dyfunduje do korzeni a nie z korzeni. Gruczoty solne w liściach i łodydze wydalają nadmiar soli

³ Przyp. tłum. - W polskiej literaturze rośliny wodne dzieli się na rośliny zanurzone, pływające, o liściach pływających i halofity. W przypadku roślin morskich nie ma tak skomplikowanego podziału..

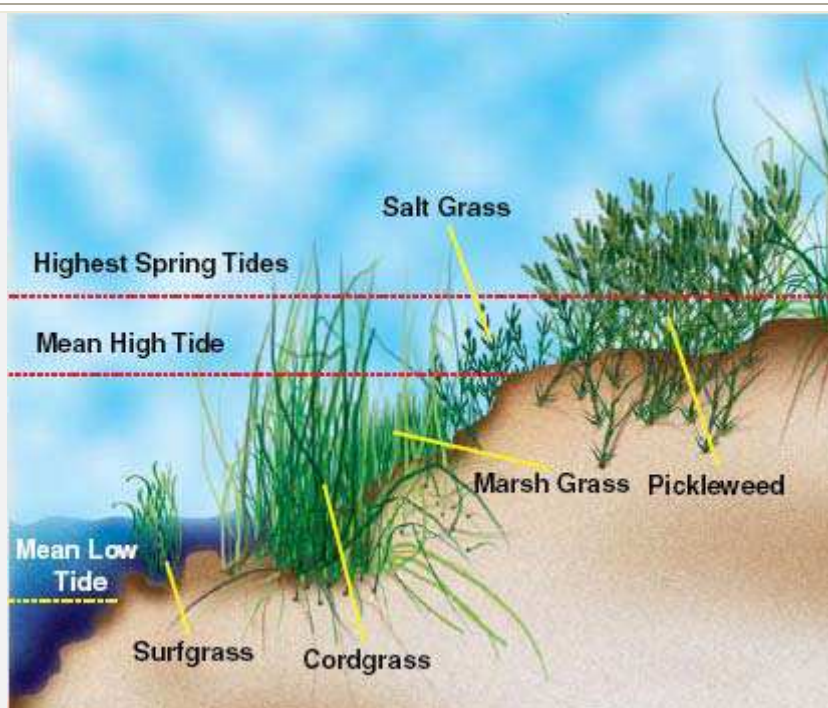
Warunki w obrębie solnisk są różne, co wpływa na typy organizmów zamieszkujące różne obszary w obrębie tego ekosystemu. Górna część solnisk obejmuje obszary, które rzadko zalewane są przez pływy. Z kolei dolna część solnisk obejmuje tereny zalewane przez słoną wodę zgodnie z cyklami pływów, czyli najczęściej dwa razy dziennie. Wynika z tego, że organizmy nisko położonych części solnisk, muszą tolerować znacząco większy stres osmotyczny niż gatunki w niszach górnej części solnisk.

Woda słona jest największym wyzwaniem dla roślin żyjących w solniskach i innych ekosystemach przybrzeżnych. Tak jak organizmy lądowe, znakomita większość roślin pobiera wodę słodką bezpośrednio lub pośrednio z opadów deszczy. Jednak wystawienie na działanie wody słonej, odwadnia większość roślin. Dzieje się tak, ponieważ niska koncentracja wody w wodzie morskiej powoduje, że woda słodka zawarta w roślinach dyfunduje na zewnątrz. Z drugiej strony rośliny morskie przeciwstawiają się dehydratacji poprzez adaptację, na przykład poprzez woskową powłokę czy inną ochronę, która redukuje straty wody i zapobiega odwadnianiu. Dzięki takiemu przystosowaniu halofity (słonorośla, ang. *halophyte*) zajmują niszę, nie konkurując z innymi roślinami i stały się gatunkiem dominującym.

Halofity w dolnej części solnisk muszą wciąż radzić sobie ze stresem osmotycznym. Trawy z rodzaju *Spartina* (ang. *hollow reed*, *cordgrass*) są dobrym przykładem adaptacji halofitów do tej części ekosystemu. Trawy te mają aparat szparkowy (stomata), czyli otwory w liściach, przez które oddychają. Szparki pozwalają przemieścić tlen do zanurzonej części rośliny, natleniając beztlenowy muł. *Spartina* koncentruje sól w swoich korzeniach, tak że stężenie soli przewyższa stężenie w wodzie morskiej. To powoduje, że woda dyfunduje do korzeni zamiast z korzeni. Gruczoły solne w liściach i łodydze wydalają nadmiar soli.

Rośliny w górnej strefie solniska nie muszą dwa razy dziennie zmagać się z pływami. Co więcej, wpływ wody słodkiej rozcieńcza wodę morską, zmniejszając stres osmotyczny. Organizmy rozwijające się w tej części ekosystemu przystosowały się w różny sposób. Jednym z przykładów jest soliród zielony (*Salicornia europea*, ang. *pickleweed*), który nadwyżkę soli przechowuje w przeznaczonych do tego liściach. Gdy ładunek soli skumuluje się, liść odpada od rośliny, zabierając sól ze sobą, a na jego miejsce powstaje kolejny liść.

Halofity dominują w solniskach, mimo to nie są pożywieniem dla zbyt wielu organizmów. Rośliny solnisk są twarde i słone, co czyni je nieodpowiednimi dla większości roślinożerców. System korzeni przechowuje osad, który wraz z nagromadzonymi martwymi halofitami, tworzy gęstą zbitą masę humusu. Humus (próchnica, ang. *humus*) to masa rozkładającej się materii organicznej tworząca glebę lub osad. W solniskach humus zapewnia siedlisko dla ogromnego środowiska bezkręgowców, ptaków wodnych, narybku, larw, jaj i innych organizmów.



Przekrój poprzeczny typowego umiarkowanego solniska pokazujący pospolitą roślinność zanurzoną i pływającą

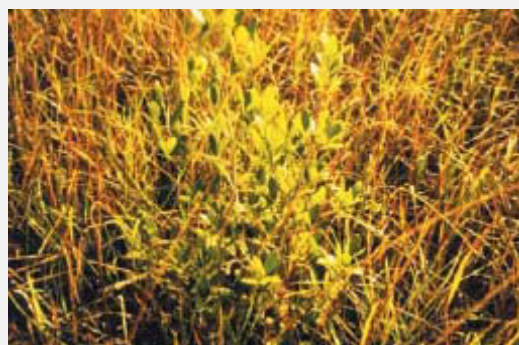
Lasy mangrowe

Drzewa mangrowe (ang. *mangrove trees*), o których już czytałeś, są jednym z najważniejszych przybrzeżnych ekosystemów morskich, szczególnie gdy przylegają do rafy koralowej. Choć lasy mangrowe są cuchnące, błotniste, pełne moskitów i ogólnie mało atrakcyjne, ich spleciony system korzeniowy dostarcza schronienia wielu małym organizmom. Ich mętna woda zapewnia składniki pokarmowe mikroorganizmom, które z kolei stanowią pokarm dla młodych zwierząt.

Zapewnienie ochrony i jedzenia daje młodym zwierzętom większe szanse na przeżycie, niż miałyby na otwartym morzu. To pierwszy powód, dla którego lasy mangrowe są ważne dla swojego środowiska: spełniają funkcję żłobka dla sąsiednich ekosystemów, np. dla rafy koralowej. Wiele z gatunków tu dorastających jest ważnych gospodarczo i ekonomicznie.



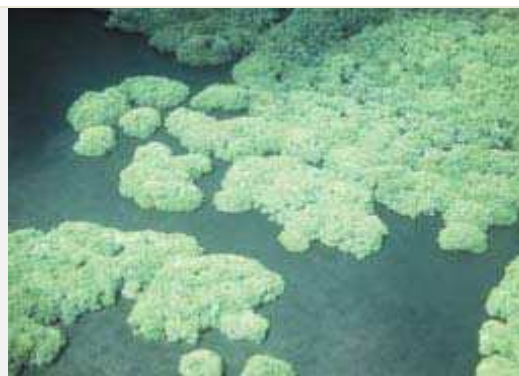
Mangrowce czerwone (*Rhizophora mangle*) wyrastają powyżej linii wody w szczudłowate korzenie. Uzupełniają wodę słodką w wyniku odwróconej osmozy, usuwając wodę morską przez przystosowane korzenie



Korzenie mangrowca czarnego (*Avicennia germinans*) rosną w osadzie poniżej linii wody. Rurki, nazywane pneumatoforami, (pneumatophores, korzenie oddechowe) działają jak fajki nurkowe, tak aby dostarczyć powietrze do korzeni zanurzonych w mule. Drzewa usuwają sól poprzez specjalne gruczoły w liściach



Mangrowce białe (*Laguncularia racemosa*) nie mają specjalnych przystosowań. Bardzo dobrze tolerują słoną wodę, ale najlepiej rosną wysoko powyżej linii płyty, gdzie ich korzenie nie potrzebują specjalnej adaptacji



Mangrowce są kluczowym ekosystemem w klimacie tropikalnym i subtropikalnym. Funkcjonują jako schronienie dla narybku i filtry osadowe, a także chronią linie brzegowe przed zniszczeniami na skutek sztormów i erozji

Drugim powodem, dla którego lasy mangrowe są tak ważne, jest filtrowanie wody spływającej. Czytałeś już o tym. Poprzez wyłapywanie spływających osadów, mangrowce chronią ekosystemy przybrzeżne (w szczególności rafy koralowe), które mogą zostać zranione lub zabite przez opadający osad, lub nadmiar składników pokarmowych w wodzie. Obecnie wielu ekologów uważa mangrowce za ekosystem przejściowy, czyli miejsce, gdzie morskie i lądowe ekosystemy oddziałują ze sobą i wpływają wzajemnie na swoją kondycję.

Trzecia korzyść płynąca z lasów mangrowych to ich zdolność przetrzymywania osadów. Spowalniają fale i zmniejszają erozję, jednocześnie pozostawiają składniki pokarmowe spożywane przez mieszkające tam organizmy. Lasy mangrowe szczególnie dobrze chronią linie brzegowe przed erozją sztormową (ang. *storm erosion*) spowalniając i wytłumiając fale sztormowe. Choć huragan, tajfun czy tsunami będą wciąż powodować erozję, ale straty osadu i erozja są nieistotne czy też znacząco mniejsze

w porównaniu do strat przy niechronionym wybrzeżu.

Las lasów mangrowych stał się istotną sprawą w kontekście ekspansji miejskiej i bioproduktywności. Dla nieobeznanych z kluczową rolą mangrowców jako schronieniem dla osobników młodocianych, mogą się one wydawać bezużytecznym terenem podmokłym. W rezultacie inwestorzy wybudują tam biurowce i domy mieszkalne. Większym nawet zagrożeniem jest przekształcenie lasów namorzynowych w gospodarstwa morskie hodujące krewetki. Strata lasów namorzynowych oznacza stratę przyległego ekosystemu oceanicznego. Udokumentowane skutki obejmują szkody i zniszczenia raf koralowych wynikające ze spadku populacji ryb.

Drzewa namorzynowe nie stanowią pojedynczego gatunku, ale w rzeczywistości grupę ponad 50 gatunków z kilkunastu rodzin stonolubnych drzew i krzewów. Pod wieloma względami, mangrowce zajmują podobne nisze jak halofity, które charakteryzują solniska, ale są większe, twardsze i występują w klimacie tropikalnym.

Mangrowiec czerwony (rodzaj *Rhizophora*) wyrasta powyżej linii wody w szczudłowate korzenie. Dzięki temu do korzeni może dostać się tlen. *Rhizophora* uzyskuje wodę słodką, filtrując wodę morską w przystosowanych do tego korzeniach, które usuwają sól. Jest to przykład odwróconej osmozy, która jest procesem transportującym wodę przez półprzepuszczalną membranę wbrew naturalnemu gradientowi ciśnienia osmotycznego. Jest to forma transportu aktywnego zachodzącego w komórce transportującej materiał z obszaru o niskim stężeniu do obszaru o wysokim stężeniu.

Mangrowce z rodzaju *Avicennia* (mangrowiec czarny) ma korzenie rosnące w osadzie poniżej linii wody. Mangrowce te napowietrzają swoje korzenie rurkami wyglądającymi jak fajki do nurkowania nazywanymi pneumatoforami, które przenoszą powietrze do korzeni pod wodą. Pewne gatunki *Avicennia* usuwają sól poprzez przeznaczone do tego liście, podobnie jak soliród zielony. Inne posiadają specjalne gruczoły solne w liściach.

Mangrowce białe z rodzaju *Laguncularia* nie mają takich przystosowań. Bardzo dobrze tolerują słoną wodę, ale najlepiej rosną wysoko powyżej linii pływów, gdzie ich korzenie nie potrzebują specjalnej adaptacji. Tym mangrowcom do przetrwania wystarcza spływająca woda słodka.

Trawa morska

Ekosystemy trawy morskiej są podobne do innych ekosystemów bazujących na halofitach, które stabilizują osady i zapewniają schronienie i siedlisko dla innych organizmów. Jednak trawa morska różni się od innych halofitów w kilku ważnych punktach, co czyni ją i jej ekosystem odmiennymi. Trawa morska to jedyna roślina zanurzona, czyli żyjąca w całości pod wodą z wyjątkiem trwania rzadkich bardzo mocnych odplywów. Pewne gatunki żyją na głębokościach dochodzących do 30 m (100 stóp). Traw morska może wchodzić w skład ekosystemu mangrowców czy solnisk. Częściej jednak trawa morska żyje w koloniach rozciągających się w poprzek dna jak podwodne „pastwisko”, czasem sąsiadujące z rafą koralową a czasem rosnące pośród niej. Ich system korzeniowy splata się, formując gęszcz poniżej warstwy osadów. Nie wszystkie ekosystemy przybrzeżne są atrakcyjnymi miejscami nurkowymi, ale część „pastwisk” trawy morskiej z różnorodnymi formami życia i dość przejrzystą wodę oferuje interesujące miejsca do nurkowania z fajką.



Trawa morska rośnie na podwodnych „pastwiskach”, czasem rozciągających się na szerokim obszarze dna morskiego. Ich system korzeniowy splata się, formując gęszcz, który pomaga zatrzymać i stabilizować osad. Większość gatunków wypuszcza pyłek do prądów wodnych, aby się rozmnażać, bardzo podobnie do roślin lądowych, które uwalniają pyłki w powietrze.

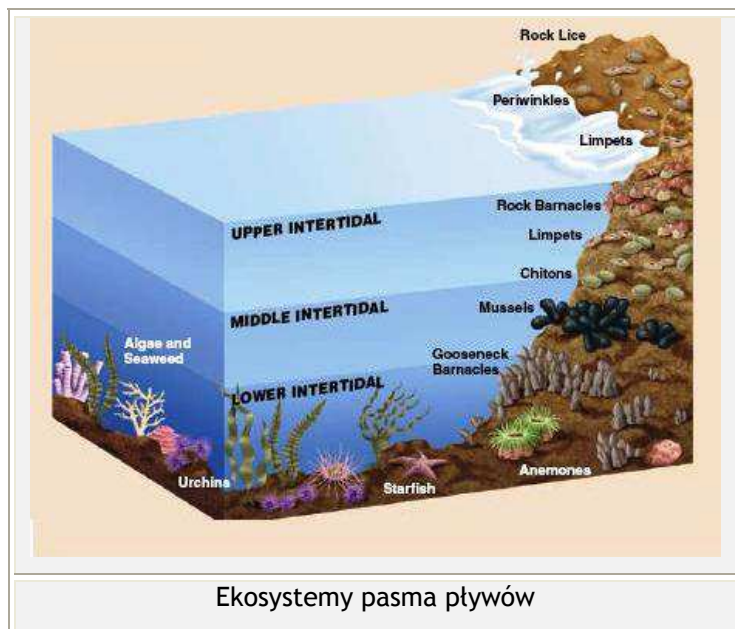
Trawa morska nie potrzebuje źródła słodkiej wody. W odróżnieniu od innych halofitów, nie ma potrzeby ekstrahowania wody słodkiej z wody morskiej. Wewnętrzne zasolenie trawy morskiej jest równe zasoleniu wody morskiej. Woda otaczająca ją i zapewnia niewyczerpywalne zapasy wszystkiego, co potrzebuje. Trawy morskie posiadają wewnętrzne kanaliki powietrzne i pobierają tlen z wody. Większość gatunków nawet wypuszcza pyłek do prądów wodnych, aby się rozmnażać, bardzo podobnie do roślin lądowych, które uwalniają pyłki w powietrze.

Z tych powodów ekosystem traw morskich różni się od innych ekosystemów opartych na halofitach. Nie potrzebują źródła słodkiej wody i mogą istnieć na dużych głębokościach. W odróżnieniu od innych

halofitów, trawa morska jest jadalna i dostarcza pożywienia innym mieszkańcom ekosystemu. Są poważnie uszkodzane przez mikroby, bezkręgowce, ryby, żółwie, a nawet manty i diugonie (ang. *dugongs*).

Pasmo pływów strefy przybrzeżnej - Intertidal zone

Ekosystemy w globalnej strefie pływów strefy przybrzeżnej to ekosystemy, które czasem mogą znaleźć się powyżej linii wody. Inne części pasm pływów strefy przybrzeżnej osiągają głębokość około 10 m (33 stóp). Są to ekosystemy, przez które przepływasz podczas nurkowań przybrzeżnych lub spędzasz tam całe nurkowanie płytkie. W wielu miejscach jest odrębne, ale stopniowe przejście, które zauważysz, płynąc przez pasmo pływów do ekosystemów położonych niżej.



Jak sobie przypominasz, strefa sublitoralna (ang. *supralittoral zone*) to obszar zanurzony jedynie w czasie najsilniejszych przyptywów. Największym wyzwaniem stojącym przed organizmami żyjącymi w ekosystemach sublitoralnych jest wysychanie i stres termiczny. Również stale utrzymująca się mgiełka parującej słonej wody prowadzi do wysokiego poziomu zasolenia.

Organizmy w siedliskach strefy sublitoralnej, dzięki różnym przystosowaniom, pozostają wilgotne. W odróżnieniu od wielu organizmów morskich, mogą pozyskiwać tlen tak z powietrza, jak i magazynować go w tkankach, aby przetrwać wiele godzin bez wody. Co więcej, muszą być dostatecznie odporne, aby wytrzymać cykliczne poruszanie i uderzenia fale. Pąkle (ang. *barnacles*), pobrażki (ang. *periwinkles*) oraz czaszki (czareczki, ang. *limpets*) to

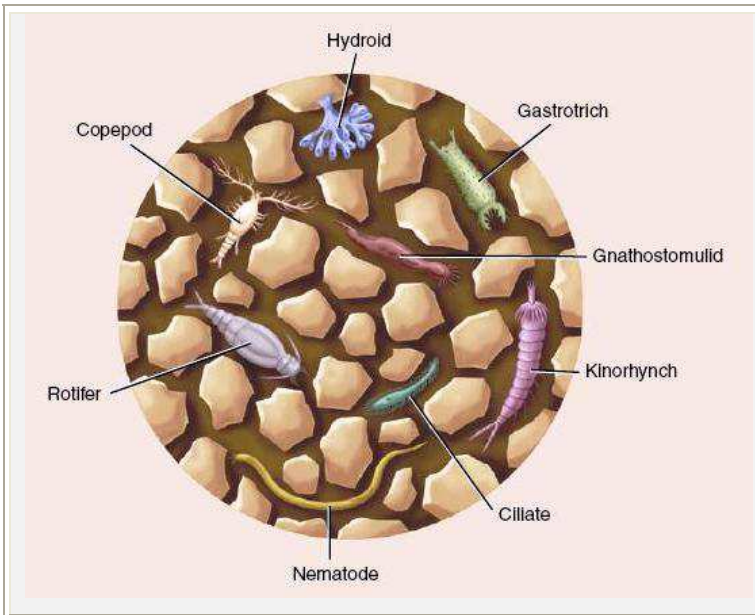
przykłady organizmów przystosowanych do życia w strefie sublitoralnej.

Pozostała część strefy litoralnej (obszar między strefą odplywu a strefą przyptywu) stawia czoła podobnym wyzwaniom. Jednak tutaj życie nie pozostaje powyżej powierzchni wody przez taki długi czas jak w strefie sublitoralnej. Organizmy w ekosystemie litoralu również stoją w obliczu groźby wysychania, stresu termicznego i ruchu wody. Postępując w kierunku morza, środowisko staje się mniej stresogenne wobec wysychania i stresu termicznego, chociaż fale i kołysanie nadal pozostają wyzwaniem. Wiele organizmów sublitoralnych również i tu dobrze się rozwija: wodorosty morskie (ang. *seaweeds*), ukwiały (ang. *anemones*), omułki (ang. *mussels*).

Najniższa część litoralu rzadko, kiedy wystawiona jest na działanie powietrza, jedynie w wypadku niezwykle silnych odplywów. Z wystarczającą ilością wody, składników pokarmowych i światła słonecznego stanowi ona wysoce produktywny obszar w większości ekosystemów przybrzeżnych. Dalego jedynym wyzwaniem, któremu trzeba tu sprostać, jest duża konkurencja.

Plaże

Dla niewytrenowanego oka typowa piaszczysta plaża wydaje się niemalże pozbawiona życia. Wygląda prawie jak pustynia, na której czasem znajdujemy muszlę lub rozgwiazdę. Nie ma w zwyczaju nurkować z plaży, przy której nie ma raf, wraków czy innych ciekawych obiektów. Plaża, podobnie jak świat podwodny oglądany z powierzchni, wydaje się pozbawiona życia.



Ekosystemy plaż zawierają robaki, mięczaki i ryby żyjące w przykrytym wodą piasku plaży. Organizmy żyjące wśród ziaren piasku, choć małe, są tak zróżnicowane, że około 1/3 wszystkich znanych typów zwierząt ma swoją reprezentację w tej meiofaunie

W rzeczywistości plaże są bogatymi i produktywnymi ekosystemami. Pełnią również istotne role, które wpływają na inne ekosystemy morskie. Piasek chroni linię brzegową. Gdy fala podchodzi na brzeg, podrywa piasek. Każde ziarenko piasku rozprasza małą porcję energii fali. Taka porcja pomnożona przez miliardy i miliardy ziarenek piasku redukuje siły niszczące linię brzegową. To pierwszy sposób, w jaki plaże wpływają na ekosystemy. Zmniejszają sedymentację powodowaną erozją wybrzeża.

Ekosystemy plaż są pełne organizmów żyjących w materiałach organicznych w mieszaninie piasku. Organizmy złożone, w tym robaki, mięczaki i ryby, żyją w przykrytym wodą piasku plaży. Meiofauna (meiobentos, ang. *meiofauna*), czyli organizmy bentosu, które żyją w przestrzeniach między ziarnami piasku, jest tak zróżnicowana, że skatalogowanie środowiska ekosystemu pojedynczej plaży zajęłoby całe lata. Około 1/3 wszystkich znanych typów zwierząt ma swoją reprezentację w meiofaunie. Również glony i inne organizmy niezwiązane z żyją wśród ziaren piasku.

Oddziaływanie między ruchami wody a meiofauną stanowi drugi sposób, w jaki plaże wpływają na inne ekosystemy morskie. Fizyczne i organiczne procesy w ekosystemie plaż powodują rozkład materiału organicznego i nieorganicznego. To czyni plażę wielkim filtrem, który przetwarza związki wpływające do morza lub wymyte z morza.

Następnym razem, gdy będziesz nurkował z plaży, by zobaczyć rafy czy inne ciekawe obiekty, wypłynij na piaszczysty teren i przyjrzyj mu się z bliska. Cierpliwość i rozwijanie umiejętności obserwacji zaowocuje poznaniem niewiarygodnej różnorodności przyrody, która wcześniej pozostawała niewidoczna.

Ekosystemy listownic i wodorostów morskich

Pojęcie „wodorosty morskie” (glony morskie, ang. *seaweed*) odnosi się do zróżnicowanej grupy czerwonych (krasnorosty), zielonych i brązowych alg (brunatnice), czasem nazywanych *makroglonami* (ang. *macro algae*). Wszystkie one dostarczają podstaw dla ekosystemów rozwijających się między ich nibytodęgami, chwytnikami i blaszkami. To wszystko powoduje, że ekosystem listownic jest prawdopodobnie najbardziej zróżnicowany i ważny również dla nurków. Lasy listownic (ang. *kelp forest*) znajdziesz na całym świecie w zimnych wodach. Dzieje się tak, ponieważ wymagają one składników pokarmowych znajdujących się w chłodnych oceanach. Najbogatszy i najbardziej produktywny ekosystem listownic istnieje w wodach przybrzeżnych z wypływem wód głębinowych (ang. *upwelling*). W czystych wodach z dostateczną ilością światła i składników pokarmowych, wielka listownica *wielkomorszcz gruszkonośny* (*Macrocystis pyrifera*) może osiągnąć długość nawet 60 m (200 stóp) zapewniając siedlisko dla znacznego ekosystemu. Lasy listownic i inne oparte na wodorostach ekosystemy należą do biologicznie najbardziej produktywnych. Ich produktywność pierwotna przewyższa produktywność lasów lądowych i dorównuje produktywności raf koralowych.



Najszybciej rosnący glon, wielkomorszcz gruszkonośny, może osiągnąć 60 metrów (200 stóp) długości. Zapewnia obfite siedlisko i podtrzymuje najbardziej biologicznie produktywne ekosystemy lub jest ich integralną częścią



Brunatnice, takie jak wielkomorszcz gruszkonośny (*Macrocystis pyrifera*), są bardziej złożone strukturalnie niż inne glony. Umocowane do dna przez chwytники (ang. holdfasts), nibytodygi brunatnic (ang. stripes) sięgają w kierunku powierzchni. Nibytodygi posiadają blaszki (ang. blades), które pływają dzięki pneumatocytom

Przedstawiciele typu *Phaeophyta*, powszechnie nazywane brunatnicami (ang. *brown algae*), są bardziej strukturalnie złożone niż inne glony. Wiele gatunków brunatnic ma chwytники (ang. *holdfasts*), blaszki, skórzano podobne giętkie nibytodygi (ang. *stripes*) oraz wypełnione gazem pneumatocyty (ang. *pneumatocysts*). Chwytники mocują je do skał, tak jak korzenie mocują rośliny lądowe (ale chwytники nie są korzeniami, bo nie przenoszą składników pokarmowych). Blaszki są odpowiednikami liści. Wiele gatunków żyje w litoralu, więc ich nibytodygi, odpowiednik łodyg u roślin lądowych, z łatwością uginają się, przeciwdziałając złamaniu przez fale. Aby trzymać blaszki blisko powierzchni i słońca, wiele gatunków posiada pneumatocyty. Pneumatocyty są pływającymi strukturami wypełnionymi gazem, które podnoszą glon z dna. Blaszki również przeciwdziałają wysychaniu, co pomaga im, gdy zostaną częściowo wyrzucone na brzeg lub są całe powyżej powierzchni w czasie odpływów. Brunatnice mają charakterystyczne oliwkowozielone/brazowe zabarwienie dzięki pigmentowi nazywanemu *fucoxanthin*.

Spośród 1500 gatunków brunatnic największe i najbardziej imponujące są różne gatunki listownic (ang. *kelp*). Listownic mają chwytники, nibytodygi i pneumatocyty. Olbrzymia listownica, wielkomorszcz gruszkonośny, może rosnąć ponad 30 cm (12 cali) dziennie i osiągnąć powierzchnię z głębokości 24 m (80 stóp). Listownice są ważne, ponieważ stanowią podstawę dla wielu ekosystemów przybrzeżnych strefy umiarkowanej, tak jak koralowce są podstawą dla wielu morskich ekosystemów tropikalnych. Lasy listownic dominują na wybrzeżach Kolumbii Brytyjskiej, Kalifornii, Półwyspu Kalifornijskiego (Baja Mexico), większości Morza Śródziemnego i Nowej Zelandii.

Ponieważ listownica uzależniona jest od słońca, chłodnej wody i składników pokarmowych, w zauważalny sposób reaguje na zmiany środowiska. Na przykład w czasie El Niño temperatura wód przybrzeżnych w Południowej Kalifornia wzrasta. Powoduje to często masowe wymieranie listownic,

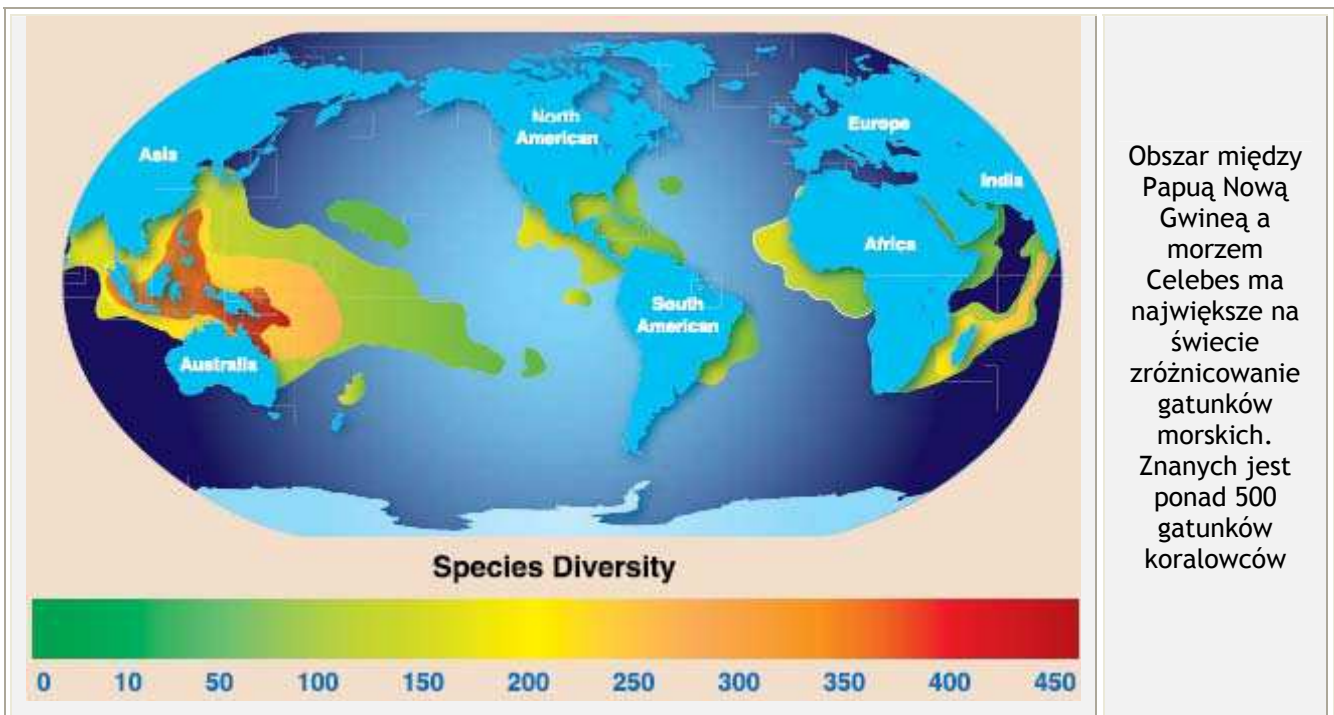
zakłócając lokalne ekosystemy na rok lub dłużej.

Ekosystemy listownic są prostym przykładem na to, dlaczego tak ważne są szerokie badania ekologiczne, a nie badania pojedynczych organizmów. Oto przykład. Wydra morska jest drapieżnikiem występującym w lasach listownic. Dopóki nie zaczęto jej chronić, na pewnych obszarach z powodu swojego futra była obiektem polowań, aż do niemal całkowitego wyginięcia. Co zaskakujące, na tych obszarach listownica zaczęła gwałtownie wymierać.

Jaka była tego przyczyna? Do jednych z niewielu organizmów żywiących się listownicami należy jeżowiec. Te szkarłupnie zjadają gumowate chwytniki, które mocują listownicę. Jeżowce są jednocześnie jednym z głównych pokarmów wydr morskich. Energia potrzebna ssakom żyjącym w chłodnych wodach morskich jest znacząca, więc średnia wydra morska zjada sporą ilość jeżowców. Wyginięcie wydr morskich zakłóciło równowagę ekologiczną lasów listownic, usuwając głównego naturalnego wroga jeżowców. To pozwoliło w niekontrolowany sposób wzrosnąć populacji jeżowców. Więcej jeżowców oznaczało więcej zjadaczy chwytników listownic. W końcu jeżowce zaczęły zjadać listownice szybciej niż mogły one rosnąć. Jest to doskonały przykład współzależności, która istnieje w każdym ekosystemie. Pokazuje, że każdy organizm bierze udział w utrzymaniu równowagi, która pozwala rozkwitnąć życiu.

Ekosystemy rafy koralowej

Ze wszystkich ziemskich ekosystemów, niewiele dorównuje rafie koralowej. Większość naukowców jest przekonana, że są to najbardziej taksonomicznie zróżnicowane ekosystemy oceanów. Obszar środkowo południowego Pacyfiku, między Papua Nową Gwineą a morzami Sulu i Celebes, ma największe na świecie zróżnicowanie gatunków morskich. Jest tam ponad 2000 gatunków ryb, a każdego roku odkrywane są nowe gatunki. Naukowcom wydaje się, że koralowce i rafy koralowe powstały właśnie tu, ponieważ oddalając się od tego obszaru, spotyka się coraz mniejszą różnorodność raf koralowych.



Chociaż rafy koralowe podtrzymują tę ogromną różnorodność, są jednak bardzo delikatnymi ekosystemami. Przez ostatnie kilka dekad naukowcy, nurkowie i inni zaznajomieni z koralowcami martwią się kondycją tych ekosystemów. Korale żyją w bardzo ściśle określonych warunkach. Żyją w czystych wodach, więc bruzdnice *zooksantelle* (ang. *dinoflagellate*) (*zooxanthellae*) koegzystując w polipach, mają światło potrzebne do fotosyntezy. Potrzebują również umiarkowanego ruchu wody, który zapobiegne kumulacji osadu w polipach. Drobinki materii mogą zatkać i zdusić polipy.

Ekosystem koralowców wymaga również wody, która jest względnie wolna od składników pokarmowych. Może się to wydawać dziwne, biorąc pod uwagę wysoką produktywność tego ekosystemu. Jednak ekosystem koralowców wydajnie przekazuje i przechowuje materiał organiczny. Brak składników pokarmowych w wodzie chroni koralowce przed konkurującymi organizmami, takimi jak różne gatunki glonów.

Z tego powodu eutrofizacja jest jednym z największych zagrożeń dla ekosystemu koralowców. Wzrost poziomu składników pokarmowych w wodzie pozwala rywalizującym glonom nadmiernie wzrosnąć i zdusić kolonie koralowców. Pozwala to również na wzrost planktonu, zmniejszając tym samym przejrzystość wody i ilość światła dochodzącego do polipów. Do pewnego stopnia są to procesy naturalne, ale w ciągu kilku ostatnich dekad poziom eutrofizacji wzrasta. Wiele raf, kiedyś zdominowanych przez koralowce, jest teraz zarośnięte glonami. Rafy koralowe są bardzo czułe, co zostało udokumentowane. Na przykład wycinanie drzew dla przemysłu drzewnego w głębi wyspy może zniszczyć otaczającą ją koralowce. Dzieje się tak, ponieważ bez drzew, które trzymają glebę, znacznie więcej osadów spływa do oceanu w czasie opadów. Musimy zachować ostrożność, ponieważ działalność człowieka, która pozornie wydaje się odległa i niezwiązana z danym ekosystemem, może w rzeczywistości istotnie na niego wpływać.

Oprócz eutrofizacji ekosystemowi rafy koralowej zagraża stres termiczny. Globalne ocieplenie może podnieść temperaturę powyżej progu przeżycia koralowców. Kolejne zagrożenie to zamulanie, jako wynik pogłębianie wybrzeża i licznych budów. Powoduje to kumulacje osadu na polipach szybciej niż ruchy wody są w stanie je usunąć. Choroby koralowców wydają się być coraz powszechniejsze. Należą do nich „ataki” grzybów, sinic, bakterii i innych glonów, które niszczą i wypierają koralowce. Naukowcy wciąż ustalają prawdopodobne źródła i przyczyny tych chorób.

Bez względu na konkretne zagrożenia, ważne jest stosowanie zasad ekologii do ogólnego obrazu. Nie chodzi wyłącznie o troskę o koralowce, ale o cały ekosystem koralowców. Tak jak wytępienie wydry morskiej zagroziło listownicom, wyginięcie koralowców zagraża innym organizmom w tym ekosystemie. Na przykład papugoryba (ang. *parrotfish*) żywi się koralowcami. Gdy koralowiec ginie, ilość papugoryb maleje, ponieważ tracą one główne źródło pokarmu. Drapieżniki żywiące się papugorybami również tracą. Inne organizmy nie przetrwają, ponieważ konkurencyjne glony nie zapewnią takiego samego siedliska jak rafa koralowa. Zanik koralowców jest podobny do efektu domina w całym ekosystemie morskim, nie tylko w ekosystemie koralowców. Ostatecznie znaczenie zaniku koralowców wpłynie na globalny ekosystem w sposób, który ekologowie wciąż próbują określić.

Ekosystemy polarne

Oceany na obu biegunach należą do najbardziej produktywnych zbiorników, ponieważ ich wody są bogate w składniki pokarmowe. Krańcowe zimno i ciemność zimą zmniejsza bioproduktywność, ale produktywność w czasie ciepłych i długich letnich dni rekompensuje zimowy zastój. Wszystkie gatunki wielkich wielorybów i wiele innych morskich ssaków zdobywa pożywienie na obszarach polarnych. Są to jedyne morza zdolne utrzymać wielkie populacje tych nienasyconych olbrzymów. Rafy koralowe charakteryzują się dużą różnorodnością relatywnie małej populacji, natomiast w morzach polarnych jest odwrotnie - posiadają małą różnorodność w dużej populacji. Z tych powodów coraz więcej nurków zaczyna odwiedzać obszary polarne.

Bądź wykształconym konsumentem

Świat oszał na punkcie owoców morza i pochłania je w rekordowej ilości. Według World Resources Institute spożycie ryb i produktów rybołówstwa od 1960 r. wzrosło o 240%. Można to przyrównać do około 91 milionów ton owoców morza spożywanych rocznie - więcej niż wołowiny i drobiu łącznie.

W czym istnieje problem? Wg ONZ około 70% światowej populacji ryb jest uszczuplona, nadmiernie odławiana lub bliska wyczerpaniu. Zanieczyszczenia, zniszczenia siedlisk i przetłowień (łowienie przewyższające możliwości uzupełniania populacji), wszystko to przyczynia się do dramatycznego pogorszenia stanu populacji. Znaczące zmiany temperatury oceanu, takie jak zjawisko El Niño oraz okresowe oscylacje również przyczyniają się to obniżenia zasobów rybnych, szczególnie gdy procedury administracyjne nie biorą pod uwagę tych zagrożeń.

Okazuje się jednak, że to nie te celowe połowy są zagrożeniem. Bycatch (przyłów), czyli wynik komercyjnego rybołówstwa, chwyatanie „przy okazji” milionów gatunków ryb, jak również żółwi morskich, ptaków morskich oraz rekinów każdego roku w połowach haczykowych, na żyłkę, przy użyciu sieci. Przyłów jest bardzo rzadko zgłaszany, a najczęściej na wpół martwy wyrzucany z powrotem do oceanu. Naukowcy szacują, że 27 milionów ton przyłowów, niemal 1/3 całkowitego światowego połowu ryb, przechodzi niezgłoszona. International Whaling Commission komunikuje, że ta olbrzymia masa zawiera między 65 000 a 80 000 wielorybów, delfinów, fok i innych morskich ssaków.

Owoce morza są podstawą życia dla ponad 200 milionów ludzi, którzy uzależnieni są od rybołówstwa, jako od źródła pożywienia i źródła utrzymania. Spadek populacji ryb może również zmienić kondycję środowiska morskiego na całym świecie. Jako konsumenci i nurkowie możemy zrobić wiele, aby

polepszyć sytuację. Możemy chronić podwodne środowisko, polepszyć zarządzanie kurczącymi się zasobami ryb i zachować łowiska dla przyszłych pokoleń.

Możesz pomóc, zastanawiając się nad wyborem spożywanych owoców morza. Wiele organizacji informuje konsumentów, jakich owoców morza unikać, aby obniżyć nadmierne odłowy i niszczenie środowiska. The Seafood Watch Guide for America, The Good Fish Guide for the UK i The Sustainable Seafood Guide for Australia to przykłady przewodników, które pomagają dokonać bezpiecznego dla zwierząt morskich wyboru. Przewodniki te udzielają wielu informacji o stosowanych metodach połowów i ich wpływie na dany gatunek ryb. Na końcu ramki znajdziesz listę zaleceń dotyczącą tego, co zamawiać, a czego unikać przy wyborze owoców morza w ulubionej restauracji czy przy kupowaniu w sklepie.

Zauważ, że jedne ryby są dobrym wyborem, jeśli pochodzą z danego źródła czy łowiska, ale należy ich unikać, gdy pochodzą z łowiska zbyt silnie eksploatowanego lub gdy używana jest zła metoda połowu. Lista się ciągle zmienia, więc zaglądaj na stronę www.seafoodwatch.org.

Gdy kupujesz owoce morza, poszukaj eko-naklejki takiej jak Dolphin Friendly czy Marine Stewardship Council. Marine Stewardship Council (MSC) opracował standardy środowiskowe dla bezpiecznego i dobrze zarządzanego rybołówstwa. To oznaczenie nagradza świadome i ekologiczne zarządzania rybołówstwem. Naklejka daje konsumentowi pewność, że produkt nie pochodzi z nadmiernie eksploatowanych łowisk. Wykaz produktów z naklejkami MSC można znaleźć w internecie.

Zapytaj w sklepie i restauracji, czy ich zapasy owoców morza mają naklejki „bezpieczny dla środowiska”. Jeśli nie mają lub jeśli nie wiedzą, o co pytasz, wytłumacz im i zachęć, aby wzbogacili swoją ofertę o tego typu produkty. Twoje wymagania jako konsumenta mogą wpłynąć na lokalnych przedsiębiorców.

Nie zakładaj, że hodowlane owoce morza zawsze są przyjazną środowisku alternatywą. Akwakultura może wydawać się rozwiązaniem problemu nadmiernych odłowów, ale sama nie jest pozbawiona problemów. W zależności od gatunku, farmy mogą wprowadzić lub podnieść w środowisku naturalnym poziom odpadów, toksyn, chorób i chemikaliów. Co więcej, gatunki mięsożerne, jak łosoś i krewetka, wymagają bardzo dużych ilości ryb jako pożywienia, aby osiągnąć rozmiary zadowalające handlowców. Funt (0,45 kg) hodowlanego łososa wymaga 1-2 kg (2-5 funtów) ryb jako pożywienia. Wiedząc, z jakiego źródła pochodzą zamawiane przez ciebie owoce morza, możesz użyć przewodnika bezpiecznych owoców morza i eko-naklejek, aby podjąć decyzję. Na przykład hodowlane ostrygi i małże, pod względem bezpieczeństwa środowiska, są lepszym wyborem, niż potawiane ze stanowisk naturalnych.

Nie zostawiaj kwestii związanych z zarządzaniem rybołówstwem i wspieraj inicjatywy, które polepszają stan łowisk poprzez rozsądne zarządzanie, ochronę zasobów, odpowiednie procedury rybołówstwa i odpowiedni sprzęt rybacki. Turtle Exclude Devices (TED) to modyfikacja sprzętu rybackiego, która pozwala przejść przez włók krewetek dużym zwierzętom jak żółwie morskie czy rekiny.

Wspieraj zakładanie Marine Protected Areas (MPA) (morskie obszary chronione). Badania wskazują, że właściwie zaprojektowane MPA zachowują bioróżnorodność, zapewniając schronienie i miejsce rozrodu dla wielu gatunków ryb. MPA mają również potencjał do zwiększenia zasobów ryb, a zatem umożliwią poławianie poza granicami MPA.

Upewnij się, że masz pełne informacje, zanim założysz akwarium. Akwarium czy hodowla ryb ozdobnych musi być prowadzona rozsądnie i ostrożnie, aby nie niszczyła raf koralowych i ich mieszkańców. Bądź uczulony na kwestie ochrony ryb ozdobnych i prowadzenia handlu nimi.

Upewnij się, czy twój kraj wprowadził w życie Kodeks Odpowiedzialnego Rybołówstwa (Code of Conduct for Responsible Fisheries) Organizacji Narodów Zjednoczonych i związany z nim Międzynarodowy Plan Działań (International Plans of Action - IPOA). Te dobrowolne działania mają na celu zapewnienie efektywnej ochrony i zarządzania żywymi zasobami wodnymi. Działania skupiają się na powstrzymaniu nielegalnych, niezgłaszanych i nieuregulowanych połowów (ang. IUU - illegal, unreported, unregulated), które powodują problemy w międzynarodowym zarządzaniu rybołówstwem. Jeśli twój kraj nie wprowadził w życie tego Kodeksu i narodowego planu działań, zachęć rząd, by to uczynił.

Zjadaj pokarmy niżej położone w łańcuchu pokarmowym. Gdy zjadasz zboże, kukurydzę, jesteś konsumentem pierwszego rzędu. Gdy jesz wołowinę czy drób, jesteś konsumentem drugiego rzędu, a gdy zjadasz ryby, możesz być konsumentem piątego rzędu. Potrzeba w przybliżeniu 10 tys. kg producentów pierwotnych, aby stworzyć kilogram tuńczyka. Jest to nie tylko biologiczne kuriozum. Jest to znacząca kwestia ekonomiczna i środowiskowa wpływająca na to, jak odżywia się społeczność ludzka.

Uświadamiaj swoją rodzinę, przyjaciół i współpracowników. Powiedz im, czemu wspierasz bezpieczne rybołówstwo i co oni mogą zmienić. Konsument, poprzez swój głos i portfel, ma możliwość

dokonać pozytywnych zmian, ale tylko wówczas, gdy się o to postarają.		
Najlepszy wybór	Dobra alternatywa	Unikaj
Sum (Catfish) (hodowlany)	Małże (Clams)(naturalny)	Kawior (Caviar)(naturalny)
Kawior (Caviar) (hodowlany)	Dorsz pacyficzny (Cod: Pacific)	Antar patagoński, kłykacz (Chilean Seabass/Toothfish)
Małże (Clams) (hodowlany)	Krab błękitny (Crab: Blue)	Dorsz atlantycki (Cod: Atlantic)
Kieszeniec magister (łac. cancer magister) (Crab: Dungeness)	Paluszki krabowe/ Surimi (Crab: imitation /Surimi)	Krab królewski (importowany) (Crab: King)
Krab śnieżny (Crab: Snow) (Kanada)	Krab królewski (Alaska) (Crab: King)	Flądry(Atlantyk) wyjątek to: poskarp letni(Summer Flounder)/Flądra(Fluke)
(łac.Menippe mercenaria) (Crab: Stone)	Krab śnieżny (USA) (Crab: Snow)	Granik (Grouper)
Halibut pacyficzny (Halibut:Pacific)	Poskarp letni (Flądra wyst. w zach. Atlantyku)/Flądra (Flounder: Summer/ Fluke)	Halibut atlantycki (Halibut:Atlantic)
Homar kolczasty (langusta) (Lobster: Spiny) (USA)	Homar amerykański/atlantycki (Lobster: American /Maine)	Żabnica, nawęd (Monkfish)
Omulek (hodowlany) (Mussels)	Koryfena(smagła, złota makrela) (mahi-mahi[hawaj.]/Dolphinfish [ang.]/Dorado[hispz.])	Gardłosz atlantycki (Hoplostethus atlanticus) (Orange Roughy)
Ostrygi (hodowlany) (Oysters)	Ostrygi (poławiany) (Oysters)	Rockfish (Pacyfik)
Łosoś (poławiany na Alasce) (Salmon)	Rdzawiec (Pollock)	Łosoś (hodowlany, w tym Atlantycki) (Salmon)
Sardynki (Sardines)	Przegrzebek (Scallop: Bay)	Rekiny*
Krewetka (Shrimps)	Przegrzebek (Scallop: Sea)	Krewetki (hodowlane z importu i łowiony włokiem)
Skalnik prążkowany(hodowlany) (Striped bass) [okoniowce]	Krewetki (hodowlane lub z trałowania, USA)	Lucjan czerwony (Snapper: Red)
Jesiotr (sturgeon) (hodowlany)	Sola (Sole) (Pacyfik)	Sola (Sole) (Atlantyk)
Tilapia (Tilapia) (hodowlany)	Kalmary (Squid)	Jesiotr (sturgeon) (importowany z połowów)
Pstrąg: tęczy (hodowlany) (Trout: Rainbow)	Miecznik (ryba miecz)* (Swordfish) (USA)	Miecznik (ryba miecz)* (Swordfish) (importowany)
Tuńczyk biały (łowiony na wędę ciągnioną (za statkiem rybackim)) (Tuna: Albacore)	Tuńczyk biały (połowy sznurami haczykowymi)(Tuna: Albacore)	Tuńczyk błękitnopletywy (Tuna: Bluefin)
Tuńczyk wielkooki, opastun (łowiony na wędę)(Tuna: Bigeye)	Tuńczyk wielkooki, opastun (połowy sznurami haczykowymi) (Tuna: Bigeye)	
Tuńczyk żółtopłetwy (łowiony na wędę) (Tuna: Yellowfin)	Tuńczyk żółtopłetwy (połowy sznurami haczykowymi) (Tuna: Yellowfin)	
	Tuńczyk konserwowy (Tuna: canned light)	
	Tuńczyk konserwowy/ biały Tuna: canned white/Albacore*	
* gwiazdka oznacza ostrzeżenie FDA i EPA dla kobiet planujących dzieci oraz dla dzieci		

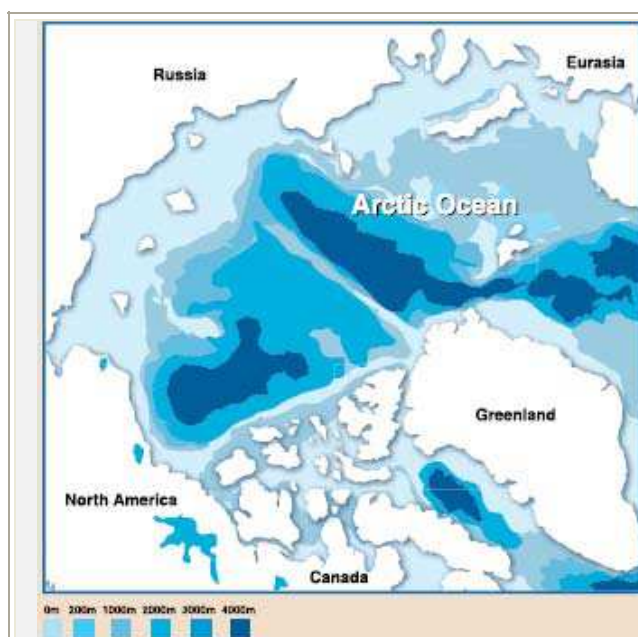
Arktyka

Północny krąg polarny składa się z pierścienia płytkiego kontynentalnego szelfu, który pozostaje nienaruszony z wyjątkiem Cieśniny Beringa (ang. Bering Strait) i górnego Północnego Atlantyku. Sam wierzchołek Ziemi jest głębokim basenem wypełnionym morzem. Jego większa część jest stale zamrznięta.

Ekosystem morski Arktyki musi stawić czoła obniżonej ilości światła dochodzącego pod lód i do wody, która jest na granicy zamarzania. Dlatego pod stałą czapą lodu życie jest względnie uboższe. Gatunki, które żyją w takich warunkach, są do tego specjalnie przystosowane; mają przeciwdziałające zamrożeniu związki w krwi i skrajnie niski metabolizm.

Jednak na krawędzi czapy życie wzmaga się w czasie cieplejszych miesięcy. Gdy wiosną słońce topi lód, woda wypływa z lodu i wpada do głębokich zbiorników. Ciepłe prądy z południa oddziałują z zimną wodą na krawędziach szelfu kontynentalnego. Ten proces podnosi składniki pokarmowe z dna szelfu.

Niezwykłe wysoka produktywność pojawia się wzdłuż łuku na północnym Pacyfiku i w poprzek Północnego Atlantyku od kwietnia do sierpnia. Wody te utrzymują wielkie łowiska, morskie ssaki i inne organizmy. Ekosystem kwitnie dzięki składnikom pokarmowym wynoszonym z dna.



Północny krąg polarny składa się z pierścienia płytkiego kontynentalnego szelfu, który pozostaje nienaruszony z wyjątkiem Cieśniny Beringa (ang. Bering Strait) i górnego Północnego Atlantyku. Jego większa część jest stale zamrznięta



Południowy ocean otaczający antarktyczny szelf kontynentalny jest najgłębszy na świecie. Teren szelfu kontynentalnego jest bogaty w składniki pokarmowe, czyniąc z nich jeden z najbardziej produktywnych biologicznie miejsc na Ziemi.

Antarktyda

Antarktyda ma ostrzejszy klimat niż Arktyka. Dzieje się tak częściowo z tego powodu, że pory roku na południowej półkuli są bardziej skrajne niż na półkuli północnej. Jest tak również dlatego, że Antarktyda różni się geograficznie od Arktyki. Antarktyda to kontynent, a nie zamrożone morze. Nie jest również otoczona szelfami kontynentalnymi, ale ma swój własny szelf kontynentalny. Antarktydę otacza najgłębszy na świecie i najrozleglejszy pierścień oceaniczny. Z tych powodów ekosystem Antarktydy ma znaczące różnice w porównaniu do Arktyki, ale również wiele podobieństw.

W czasie zimy zamarzające morza otaczające Antarktydę niemal podwajają obszar wokół kontynentu. Zwiększa to teren mniej więcej o rozmiar Północnej Ameryki. Latem topnienie tej tafli lodu prowadzi do wybuchu bioproduktywności.

Gdy warstwa lodu rozszerza się, tworzy się zimna słona woda. Ta ciężka woda odpływa od kontynentu. Gdy opada, miesza się z wodami głębokiego oceanu, tworząc najgęstszą wodę w oceanie, tzw. antarktyczną wodę przydenną (Antarctic Bottom Water), która znajduje się głęboko w basenie oceanicznym. Kierujące prądami wiatry przesuwają wodę powierzchniową od kontynentu, powodując wpływ w to miejsce wód głębinowych.

Ta bogata w składniki pokarmowe woda głębinowa osiąga powierzchnię w obszarze Antarktycznej Dywergencji (Antarctic Divergence) znajdującym się około 65° - 70° szerokości południowej, gdzie bogata w składniki pokarmowe antarktyczna woda opada poniżej cieplejszych wód oceanicznych położonych nieco na północ. Jest to największy na świecie obszar bogaty w składniki pokarmowe. Dywergencja antarktyczna podtrzymuje masywny rozkwit fitoplanktonu od listopada do lata na półkuli południowej. Populacje widłonogów i krylu są większe niż jakiegokolwiek populacje innych gatunków znajdujących w innych ekosystemach. Szacuje się, że pojedyncza ławica krylu przewyższa 100 milionów ton, czyli więcej niż światowy roczny komercyjny połów ryb.

Ten produktywny obszar wodny rozciąga się na północ, aż spotka ciepłe wody oceanów Atlantyckiego, Indyjskiego i Spokojnego. W tym miejscu zimna woda antarktyczna opada poniżej ciepłych wód. Obszar ten nazywany jest Konwergencją Antarktyczną (Antarctic Convergence) Znajduje się na około 50° - 65° szerokości południowej.

Tak jak na Arktyce, organizmy żyjące w najzimniejszym ekosystemie mają swoje przystosowania. Aby przetrwać, niektóre ryby mają własności przeciwdziałające zamarznięciu, a wiele organizmów ma bardzo wolny metabolizm. Z powodu takiego metabolizmu, część ryb nie ma hemoglobiny we krwi. Ich krew przenosi dostateczną ilość tlenu bez ich pomocy. Ponieważ Antarktyda jest względnie izolowanym ekosystemem, większość gatunków występują tylko na tym kontynencie.

Ekosystemy głębinowe

Jako nurek nie będziesz schodził z akwalungiem do ekosystemów głębinowych, ale w pojeździe zanurzalnym czy dzięki podwodnemu pojazdowi bezzałogowemu (ang. Remotely Operating Vehicle - ROV) możesz zwiedzić głębie bezpośrednio lub pośrednio. Część najbardziej spektakularnych programów dokumentalnych, np. dotyczących spoczywających na dużych głębokościach wraków *Titanica*, czy *Bismarcka*, mogłeś oglądać w telewizji.

W głębokim oceanie poniżej szelfu kontynentalnego, światło i ciepło słoneczne nigdy nie dochodzą do dna, gdzie średnia temperatura wynosi 2°C (35,6 F). Bez światła nie ma fotosyntezy, a co za tym idzie, w większości głębin oceanicznych nie ma produktywności pierwotnej. Składniki pokarmowe dostają się tu z wyższych warstw jako *morski śnieg* (*marine snow*). Śnieg morski to bez przerwy opadający osad, martwe organizmy, odchody i inne składniki pokarmowe pochodzące z produktywnych płytszych wód. Ciągły deszcz składników pokarmowych jest podstawą dla prawie wszystkich, ale nie dla wszystkich, ekosystemów głębinowych. Wcześniej czytałeś o tym, że w większości ekosystemów wodnych życie ograniczone jest ilością składników pokarmowych, a nie energią. W głębinie jest jednak odwrotnie.

Strefa abisalna

Większość głębin oceanicznych jest strefą abisalną, która pokrywa około 30% powierzchni Ziemi. Równiny głębinowe (ang. *abyssal plains*) są jednymi z najgłębszych i najbardziej płaskich a znajdują się na głębokościach między 3 a 4 km (9900 - 13000 stóp). Bez produktywności pierwotnej abisał cierpiałby na brak życia, a jednak jest tu wielka różnorodność gatunkowa.

Morski śnieg powoduje, że głębiny są bogate w rozprzestrzeniające się równomiernie składniki odżywcze. Bez fotosyntezy nie ma wystarczającej energii, która by podtrzymała tak wielką obfitość

organizmów wielokomórkowych. Są wśród nich szkarłupnie (ang. *echinoderms*), takie jak strzykwa (ang. *sea cucumber*), lilia morska (ang. *sea lillie*), węzowidło (ang. *brittle star*). Rzadkie są koncentracje dużych organizmów. Jednak widziano buławika ostrogon (ang. *rattail*), głębinowe rekinki psie (ang. *dogfish*), rekinki kocie (ang. *catshark*), skorupiaki, mięczaki i wiele gatunków ryb głębinowych.

Największa różnorodność w abisalu występuje w meiofaunie. Podobnie jak w piasku plaż, w głębinowym osadzie i mule można znaleźć reprezentacje niemal wszystkich typów zwierząt. Koncentracja i populacja jest mniejsza niż na płytszych wodach, ale różnorodność jest równie wielka.

Whale-fall

Chociaż równiny głębinowe są typowe dla większości ekosystemów głębinowych, jest kilka istotnych wyjątków, w tym *whale falls*. Whale-fall (upadek wieloryba) jest dokładnie tym, co wynika z nazwy: miejscem gdzie umarły wieloryb opada na spoczynek na dnie głębin.

Padlina wieloryba dostarcza ogromnej koncentracji składników pokarmowych na terenie, który na co dzień zasilany jest jedynie rozproszonym śniegiem morskim. Naukowcy uważają, że w rezultacie tego rozwija się odrębny lokalny ekosystem, który przechodzi trzy etapy.

Pierwszym etapem jest przybycie padlinożerców. W przeciągu kilku miesięcy zjadają tkanki miękkie wieloryba. Śluzica (ang. *hagfish*), buławik siwy (ang. *grenadier*), głębinowy pająk morski (ang. *spider crab*) i rekin⁴ (ang. *sleeper shark*) to padlinożercy biorący udział w tym procesie. Drugi etap trwa około roku. Robaki, małe skorupiaki i inne małe organizmy odżywiają się pozostałą tkanką miękką, a tkanka rozprasa się wokół wieloryba jako szczątki. Biologowie wciąż próbują określić, w jaki sposób organizmy te docierają do wieloryba.



Whale-fall w basenie Santa Cruz

Ostatni etap wiąże się z rozpadem szkieletu ssaka, który może trwać lata, a nawet dziesięciolecia. Połamane kości dostarczają stałego zapasu siarczku. W tym siarczku żyją *bakterie chemosyntetyzujące*. Bakterie te są ważne, ponieważ są autotrofami i chociaż nie fotosyntezują, ale wytwarzają węglowodany z nieorganicznej energii chemicznej. Chemosynteza jest jedynym możliwym typem produktywności pierwotnej w głębinach oceanu. Bakterie chemosyntetyzujące, żyjące w siarczku padliny, tworzą źródło pożywienia dla wieloszczetów (ang. *tubeworm*), skorupiaków, brzuchonogów (ang. *gastropod*), małży (ang. *bivalve*). Bakterie te wydają się tymi samymi, które występują wokół otworów hydrotermalnych i zimnych wycieków. Możliwe, że padlina wieloryba umożliwia kolonizację ekosystemu głębinowego, co podniosłoby znaczenie whale-fall jako ekosystemu.

Tak tworzony ekosystem nie dotyczy tylko wielorybów. Każde duże zwierzę opadające po śmierci na dno tworzy ekosystem nazywany „whale-fall”. Nawet listownice i glony sargassowe, tak jak i duże ryby dostarczają koncentracji składników pokarmowych, które podtrzymują lokalny ekosystem przez czas od kilku miesięcy do roku.

Otwory hydrotermalne i zimne wycieki

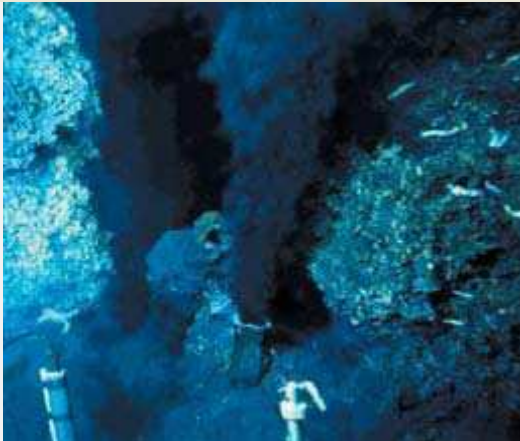
Otwory hydrotermalne to źródła gorących wód mineralnych znajdujących się w głębinach oceanicznych. Ogrzana woda oceaniczna wypływa z tych otworów wzbogacona o rozpuszczone w niej minerały, dostarczając jednego z kilku źródeł produktywności pierwotnej w głębinach. Bakterie chemosyntetyzujące, które żyją w rozpuszczonych siarczku, tworzą podstawę tego ekosystemu,

4 Przyp. tłum: najprawdopodobniej chodzi tu o *Pacific sleeper shark, Somniosus pacificus*

dostarczając pożywienia dla kilkunastu poziomów organizmów, co skutkuje różnorodnością środowiska.

Podobnie jak otwory hydrotermalne, zimne wycieki to obszary, gdzie węglowodory i wody bogate w siarczek przesączają się ze skał na dnie oceanu. Nazywane są „zimnymi” wyciekami, ponieważ są chłodne w porównaniu z otworami hydrotermalnymi. Są jednak ogrzewane przez energię geotermalną z wnętrza Ziemi.

Zimne wycieki umiejscowione są tam, gdzie bogata w minerały woda morska wypływa z dna oceanicznego, ale nie jest gorąca tak, jak wypływy z otworów hydrotermalnych. Zimne wycieki, podobnie jak otwory hydrotermalne, utrzymują oparty na chemosyntezie ekosystem. Chemosyntetyzatorami są te same żyjące się siarczkami bakterie, ale będąc zależnymi od minerałów wypływających z danego otworu, środowisko wokół zimnego wycieku zależy od chemosyntetyzujących bakterii, które żywią się metanem lub innymi węglowodorami.



Środowiska otworów hydrotermalnych bazują raczej na chemosyntezie niż na fotosyntezie. Wyspecjalizowane bakterie działają jako podstawa piramidy pokarmowej, tworząc zróżnicowane środowisko

Strefa hadalna - rowy oceaniczne

Strefa hadalna (ang. *hadal zone*) obejmuje największe oceaniczne głębokości - głębokie rowy oceaniczne, gdzie płyta oceanu zderza się z płytą kontynentalną. Głębokość w tych obszarach sięga od około 5000 m do 6000 m (16500 do 19700 stóp), choć pewne miejsca sięgają poniżej 11000 m (36 000 stóp).

Niewiele wiemy o ekosystemie strefy hadalnej głównie z powodu ograniczeń technologicznych. Ekstremalne ciśnienie powoduje, że wykonanie pojazdów podwodnych czy instrumentów zdolnych obserwować takie głębokości jest drogie i trudne. Wykonano zaledwie kilka pojazdów zanurzalnych, które mogą bezpiecznie schodzić do strefy hadalnej i zorganizowano jedną załogową wyprawę do najgłębszego miejsca w oceanie.

Z tego powodu wiedza naukowców o życiu w strefie hadalnej jest ograniczona do przelotnych zerknięć. Większość z nich pochodzi z ROV (Remote Operated Vehicles) i krótkich wizyt przy użyciu pojazdu podwodnego. Dzięki tym krótkim wizytom znaleziono organizmy nawet w Rowie Mariańskim (najgłębsze znane miejsce na Ziemi), ale charakter i zasięg ekosystemów hadalnych pozostaje nieznanymi.

Ekosystemy wód słodkich

Mimo że jest jedynie niewielką częścią ziemskiego środowiska wodnego, ekosystem wód słodkich jest niezwykle ważny i, być może, najbardziej bezpośrednio ważny dla ekosystemów lądowych. Nie ma lepszego przykładu różnorodności ekosystemu wody słodkiej niż Amazonka. Wielu naukowców uważa, że Amazonka jest najbardziej różnorodnym obszarem, zawierającym niemal tyle gatunków ryb ile zliczono we wszystkich rafach koralowych i pięć razy więcej gatunków niż znaleziono na rafie Karaibskiej.



Gradient temperatury w jeziorach i w stawach wpływa na rozkład życia, podobnie jak w oceanach, ale na mniejszą skalę

Limnologia, badanie ekosystemu wody słodkiej, jest ogólnie podzielona na dwa obszary: wody *lenityczne* (ang. *lentic*) - siedliska wód stojących takich jak jeziora i stawy, oraz wody *lotyczne* (ang. *lotic*) siedliska wód płynących takich jak rzeki i strumienie. Pewne mokradła, równiny błotne, czy estuaria, które zawierają sporo mokrej ziemi, również są ekosystemami wody słodkiej.

Ekosystem wody lenitycznej

Jeziora i stawy są w gruncie rzeczy śródlądowymi depresjami zawierającymi słodką wodę. Zmieniają się od małych stawów mniejszych niż hektar do wielkich śródlądowych mórz pokrywających tysiące kilometrów kwadratowych. Mogą być płytkie na jeden metr, jak i sięgać głębokości ponad 2000 m.



Ekosystem wód lenitycznych złożony jest z siedlisk wód stojących typu jezior czy stawów

Jeziora i stawy formują się poprzez erozję glacialną i osadzanie, kumulację skał i gruzu blokującą strumienie lub w wyniku ruchów skorupy ziemskiej, które powodują zapadanie i wypiętrzanie lądu. Pewne akweny wody słodkiej tworzy się w wyniku aktywności niegeologicznej, gdy celowo blokujemy rzeki i strumienie, aby zmagazynować wodę, zasilać i nawadniać. Kamieniołomy i nieczynne kopalnie wypełniają się wodą, a nawet bobry blokują strumień, by stworzyć płytkie, ale często rozległe stawy.

Tak jak w oceanie, gradienty temperatury w jeziorach i stawach wpływają na rozkład życia, ale na mniejszą skalę. Litoral to obszar blisko brzegu jeziora, gdzie światło penetruje dno i rosną rośliny ukorzenione. Poza nim są wody otwarte, czyli *strefa limnetyczna* (ang. *limnetic zone*) zasiedlona przez plankton i ryby. Poniżej obszaru efektywnego przenikania światła, leży strefa nazwana strefą otchłani (ciemności) lub *afotyczną* (ang. *afotic zone*), jeśli używamy terminologii morskiej. Tutaj różnorodność życia zmienia się wraz z głębokością i zasobami tlenu.

Tak jak w oceanie, bentos, dla niewprawnego oka, może wydawać się strefą dość ubogą, ale dno zbiornika daje schronienie dla wytężonej aktywności biologicznej istniejącej dzięki rozkładowi materii organicznej. Bakterie beztlenowe (ang. *anaerobic*) przeważają na dnie poniżej strefy ciemności, za to dno litoralu bogate jest w tlenowe organizmy rozkładające materię.

Łańcuch pokarmowy ekosystemów wielu jezior zależy od słodkowodnego fitoplanktonu, choć pewne jeziora zależą silnie od *detrytus* (ang. *detritus*, drobne resztki roślin i tkanki zwierzęcej). Większość jezior jest przedmiotem eutrofizacji w wyniku dodatkowych składników pokarmowych pochodzących ze ścieków i odpadów przemysłowych. Eutrofizacja wywołała znaczące szkodliwe zmiany biologiczne w wielu ekosystemach wód słodkich. Z powodu małych rozmiarów, w porównaniu do oceanów, efekty eutrofizacji jezior i stawów ujawniają się gwałtowniej i ostrzej. Mimo mniejszej różnorodności niż w ekosystemach morskich, wiele ekosystemów wody słodkiej jest biologicznie bogate. Dobrym przykładem jest najgłębsze i najstarsze ziemskie jezioro. Uważa się, że Bajkał na Syberii ma 25 milionów lat i 1620 m (5315 stóp) głębokości. Zawiera ponad 20% ziemskich zasobów niezamarzniętej słodkiej wody. W Bajkale lub w jego pobliżu żyje ponad 1500 gatunków. Chyba najbardziej zaskakującym mieszkańcem jeziora jest foka bajkalska, jedna z kilku gatunków fok żyjących w wodach słodkich.

Ekosystem wód lotycznych

System płynących wód słodkich - rzek i strumieni - nazywany jest ekosystemem wód lotycznych. Ekosystemy te wykazują dużą różnorodność właściwości fizycznych i ekologicznych. Oczywiście, warunki blisko źródła rzeki różnią się od warunków przy ujściu. Występuje również gradient w poprzek rzeki wynikający ze zmian temperatury i głębokości, szerokości kanału, szybkości prądu i topografii dna.

Zmiany w tych warunkach fizycznych znajdują odzwierciedlenie w organizmach żywych, które zamieszkują ekosystem. Ponieważ ekosystemy lotyczne są przedmiotem ciągłego ruchu, aby dobrze się rozwijać, wymagają ciągłego dostarczania składników pokarmowych ze źródeł lądowych.

Wiele rzek zaczyna swój bieg jako małe strumienie w cienistych zalesionych obszarach. Strumyki te silnie zależą od detrytus, który jest przetwarzany przez wiele bezkręgowców - rozdrabniacze, filtratory, zbieracze. Organizmy te wraz z glonami spowalniają ruch składników pokarmowych wzdłuż strumienia. Gdy strumienie powiększają się i są wystawione na działanie słońca, ich zależność przesuwają się od detrytus do produkcji swojego własnego pożywienia z glonów i zakorzenionych roślin wodnych. Gdy rzeka wciąż rośnie, przesuwają się znów do zależności od detrytus i rozkładającej się materii organicznej.

Ogólnie, system położony w dole rzeki zależy od nieefektywności przerabiania składników pokarmowych w górze rzeki. To, co żyje w dole rzeki, przeżywa na tym, co pozostało z tego, co było w górze rzeki. Znaczą to również, że zanieczyszczenia, które wchodzą do układu w górze rzeki, skumulują się w organizmach mieszkańców w dole rzeki.

Inwersja temperaturowa w wodzie słodkiej

Wiele jezior i stawów zmienia się cyklicznie wraz z sezonową stratyfikacją temperatury. Proces ten rozpoczyna się wiosną, gdy słońce nagrzewa powierzchnię wody. Gdy woda nagrzewa się, staje się mniej gęstsza, a zatem lżejsza. To pozwala jej unosić się na zimniejszych, gęstszych warstwach wody położonej poniżej, co powoduje powstanie termokliny.

Gdy jesienią temperatura spada, woda powierzchniowa traci ciepło do atmosfery poprzez konwekcję, przewodnictwo i parowanie. Powoduje to spadek temperatury wody powierzchniowej. Z czasem temperatura między dnem a powierzchnią jeziora się wyrównuje. Teraz woda może swobodnie cyrkulować, przenosząc tlen i składniki pokarmowe przez cały zbiornik. To sezonowe mieszanie nazywane

jest inwersją (ang. *overtune*).

Z powodu unikalnych fizycznych właściwości wody (patrz rozdz. 4), tworzenie lodu ma pewne znaczące i nieoczekiwane efekty w stratyfikacji termicznej. Ochładzająca się woda staje się gęstsza, ale gdy temperatura osiągnie 4°C (39 F) gęstość zaczyna spadać, powodując, że zimniejsza woda jest lżejsza. Ta bliska zamarznięcia lżejsza woda pozostaje na powierzchni, a gdy temperatura dalej spada, woda zamarza.

Co ciekawe, woda tuż pod powierzchnią lodu może być ogrzewana przez promieniowanie słoneczne. Ponieważ temperatura wody jest poniżej 4°C (39 F), ogrzewanie w rzeczywistości zwiększa jej gęstość. Cięższa woda zaczyna opadać na dno, gdzie miesza się z wodą ogrzaną ciepłem przewodzoną z mułu dennego. W rezultacie może rozwinąć się niewielka odwrócona stratyfikacja, w której woda staje się cieplejsza wraz z głębokością.

Gdy wiosną topnieje lód, woda powierzchniowa znów osiąga 4°C (39 F) i zaczyna opadać. To mieszanie wspomagane wiatrem rozprzeczającym wody, jest ważnym procesem, ponieważ uwalnia przydenne składniki pokarmowe i miesza je z bogatą w tlen wodą powierzchniową - rezultat jest podobny do wypływu wód głębinowych w oceanach. Tworzy to idealne warunki wzrostu dla planktonu. Gdy sezon postępuje, znów rozwija się letnia stratyfikacja

Słdkowodne mokradła

Mokradła słdkowodne (*wetlands*, ang. *wetlands*) mają wiele wspólnego z jeziorami i strumieniami. Nie są to ekosystemy, w których miałbyś ochotę nurkować, ale są ważne dla innych ekosystemów słdkowodnych, tak jak mangrowce i estuaria są znaczące dla sąsiednich ekosystemów morskich.

Główna różnica między mokradłami a innymi ekosystemami słdkowodnymi jest taka, że tu woda znajduje się na poziomie gruntu, blisko niego lub poniżej poziomu gruntu, oraz że jest zajęta przez roślinność. Mokradła zdominowane są przez trawy to marsze (ang. *marshes*). Mokradła zdominowane przez roślinność lesistą to bagno (ang. *swamps*). *Wetlands* składające się głównie z nagromadzonego torfu (nierozłożonego lub częściowo rozłożonego materiału) to torfowiska (ang. *mires*). Torfowiska zasilane przez wodę zawartą w glebie mineralnej i zdominowane przez turzycę (ang. *sedges*) to żuławy (ang. *fens*).

Wetlands zdominowane przez mech torfowiec (ang. *sphagnum moss*) i zależne od opadów atmosferycznych, aby zapewnić sobie wilgotność i składniki odżywcze to bagna ombrogeniczne (torfowiska ombrogeniczne, ang. *bogs*). Bagna te zablokowały drenaż a składniki pokarmowe są prawie niedostępne dla ekosystemu. Składniki pokarmowe gromadzą się jako torf (ang. *peat*), a produktywność na bagnach jest niska. Chociaż marsze mają również ograniczony drenaż, nie blokują wpływu składników pokarmowych. Trawy marszowe i inne organizmy ciągną składniki pokarmowe z gleby i czynią je łatwo dostępnymi dla ekosystemu.

ROZDZIAŁ 3

Sprzęt Nurkowy

Dostosowanie do podwodnego świata



SPIS TREŚCI

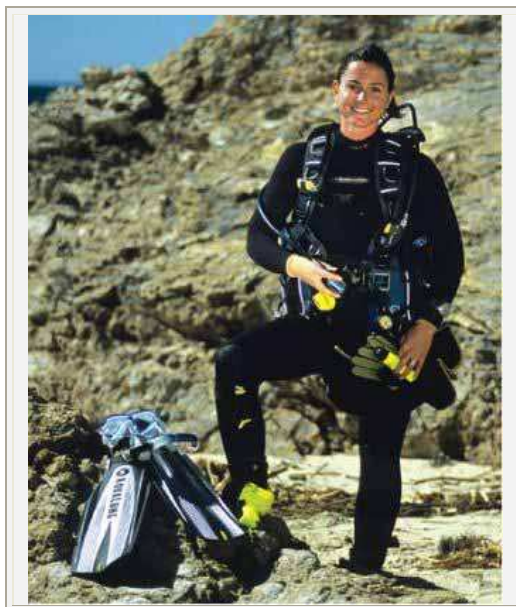
Dostosowanie do podwodnego świata.....	1
Wstęp	4
Kompletnie wyposażony nurek.....	4
Ochrona termiczna - skafandry.....	5
System balastowy	5
Akwalung	5
Oprzężowanie.....	6
Noże lub inne przyrządy tnące.....	6
Tabele i plannery nurkowań rekreacyjnych.....	6
Przyrządy sygnalizacyjne	6
Książeczka nurkowa - Log Book	6
Wybór ekwipunku	7
Przygotowanie nowego sprzętu do użycia.....	7
Przechowywanie i konserwacja ekwipunku	8
Mycie sprzętu po nurkowaniu	8
Suszenie	9
Przechowywanie.....	9
Maski	10
Materiały	10
Rodzaje masek.....	11
Cechy masek	11
Maski pełnotwarzowe.....	12
Wybór właściwej maski	13
Fajki	14
Materiały	14
Cechy.....	15
Płetwy	17
Materiały	17
Style	18
Cechy płetw.....	18
Jak wybrać właściwy model płetwy	20
Akcesoria do masek, fajek i płetw.....	20
Preparat zapobiegający parowaniu	20
Pisak.....	21
Preparaty do konserwacji.....	21
Części zamienne.....	21

Skafandry nurkowe	22
Cienkie skafandry i “żylety”	22
Suche skafandry	27
Dodatki do skafandrów	33
Akwalung.....	35
Kamizelki ratunkowo wypornościowe.....	36
Systemy balastowe.....	40
Butle	44
Automaty oddechowe	53
Alternatywne źródła powietrza	61
Manometr.....	63
Rebreathery o obiegu zamkniętym i półotwartym	70
Akcesoria nurkowe.....	75
Noże i narzędzia tnące	75
Tablice i planery nurkowania	76
Log booki	76
Tabliczki	77
Torby na sprzęt.....	77
Flagi i bojki	78
Sygnalizacja i bezpieczeństwo	78
Tlen i apteczka	79
Zaczepty, karabinki i klipsy	80
Specjalistyczny ekwipunek nurka	80
Oświetlenie	80
Podwodny sprzęt Foto - Video	82
Bojki.....	84
Wykrywacze metalu	85
Worki wypornościowe	86
Kołowrotki.....	86
Systemy lokalizacji.....	86
Analizatory gazów i przepływomierze	86
Systemy komunikacji	87
Skutery podwodne (DPV).....	87

SPRZĘT NURKOWY

DOSTOSOWANIE DO PODWODNEGO ŚWIATA

Wstęp



Ponieważ nie jesteśmy organizmami wodnymi, potrzebujemy sprzętu by dostosować się do podwodnych warunków środowiska. Każde dostosowanie (widzenie, oddychanie, utrzymanie ciepła itp) wymaga użycia jednego lub więcej elementów sprzętu, co powoduje że nurkowanie, porównując do innych sportów wymaga użycia złożonego sprzętu. Sprzęt nurkowy nie tylko zapewnia utrzymanie funkcji życiowych ale integruje się blisko z ciałem nurka. Z tego powodu jest ważne by wybierać sprzęt zgodny z osobistymi preferencjami, dopasowany i komfortowy. U zarania nurkowania, sprzęt był prymitywny i nie oferował możliwości wyboru. Im bardziej nurek oddalał się od modelowego młodego mężczyzny o przeciętnej budowie ciała i dobrej kondycji fizycznej, tym trudniej było mu znaleźć odpowiedni sprzęt. Na szczęście te czasy minęły. Dzisiaj prawie każdy niezależnie od rozmiaru, sylwetki, czy płci może znaleźć komfortowy, pasujący sprzęt nurkowy. Sprzęt stał się także lżejszy, ładniejszy i o lepszych parametrach. Ten rozdział opisuje sprzęt nurkowy: czego potrzebujesz, jak to działa, dostępne rodzaje i odmiany, jak dbać o sprzęt itp. Zawarte są także porady i uwagi, które pomogą rozsądnie zainwestować w

sprzęt, podobnie jak zrobiłby to instruktor PADI, Centrum lub Resort Nurkowy. Opisany jest przede wszystkim sprzęt rekreacyjny, ale rozdział zawiera także informacje o sprzęcie do nurkowania technicznego i innych rodzajów nurkowania

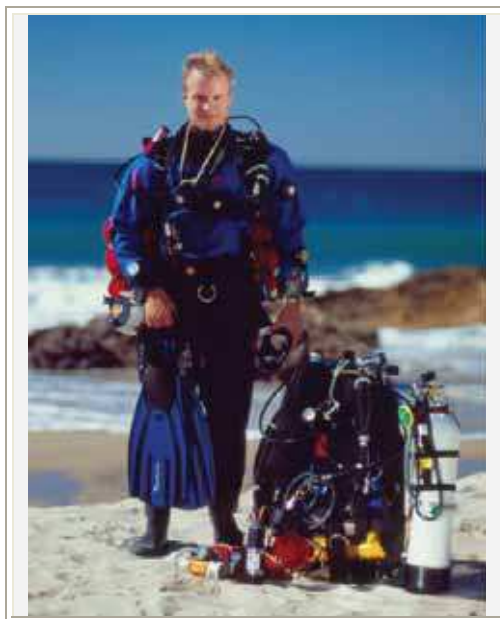
Kompletnie wyposażony nurek

Co to znaczy “kompletnie wyposażony nurek”? Nie ma na to pytanie jednoznacznej odpowiedzi, ponieważ wymagania sprzętowe dla nurka różnią się od siebie w zależności od celu nurkowania i rodzaju nurkowiska. Jeśli na przykład wybieramy się na nurkowanie podłodowe, potrzebna jest jak najlepsza ochrona termiczna, która w tropikach nie ma prawie w ogóle znaczenia. Różne rodzaje nurkowań wymagają różnych elementów wyposażenia; np. chcąc robić podwodne zdjęcia, trzeba się zaopatrzyć w aparat fotograficzny z obudową.

Pomijając różnice, jest jednak pewien podstawowy zestaw, który jest potrzebny każdemu nurkowi, niezależnie od rodzaju aktywności podwodnej, zarówno do nurkowań rekreacyjnych jak i technicznych. Przyjrzyjmy się każdemu z elementów podstawowego wyposażenia nurkowego.

Chcąc nurkować, dostosowujemy się pod trzema podstawowymi względami: widzenia pod wodą, oddychania oraz pływania używając nóg, a nie rąk. Butla z automatem i kamizelką, maska i płetwy są zatem podstawą. Używana jest również fajka aby oszczędzać powietrze z butli oddychając na powierzchni wody, gdy mamy do przepłynięcia dłuższy odcinek a mamy pustą bultę, zwłaszcza gdy jest prąd lub są fale. Z wyjątkiem kilku sytuacji, fajka jest uważana za obowiązkową część wyposażenia nurkowego, nawet jeśli do oddychania na powierzchni można byłoby użyć automatu i powietrza z butli. W nurkowaniu technicznym fajki na ogół nie są używane, ponieważ potencjalnie powodują więcej problemów, niż ich rozwiązują. Mimo to niektórzy nurkowie techniczni zabierają ze sobą fajki, jeśli na przykład mają do przepłynięcia długi dystans po powierzchni lub spodziewają się, że będą czekali w wodzie zanim nie zostaną podebrani np. przez łódź.

Ochrona termiczna - skafandry



Będziesz potrzebować skafandra nurkowego do każdego nurkowania, aby ochronić ciało zarówno przed nadmierną utratą ciepła jak i skaleczeniami, otarciami. W rozdziale czwartym można dowiedzieć się, że woda przewodzi ciepło około 20 razy szybciej niż powietrze, zatem nasze ciało wychładza się o tyle razy szybciej w wodzie niż w powietrzu. Właśnie dlatego można się niebezpiecznie wychłodzić w temperaturze, która na powierzchni uznana byłaby za komfortową. W bardzo ciepłej wodzie rola cienkiego skafandra może ograniczyć się do ochrony skóry przed uszkodzeniami, jeśli nie do ochrony termicznej. Do skafandrów zaliczamy bardzo cienkie ochraniacze (często tylko z lycry) i popularne „żylety”, mokre neoprenowe skafandry o różnej grubości oraz suche skafandry. Pierwsze z wymienionych stosowane są w bardzo ciepłych wodach, bardziej dla ochrony przed zranieniami niż termicznej. Mokre neoprenowe skafandry wydłużają pobyt w ciepłej wodzie i chronią przed wychłodzeniem w wodach chłodniejszych. Najlepszą izolację od zimna zapewnia suchy skafander, umożliwiając nurkownia w zimnej wodzie, włączając wody Arktyki i Antarktydy.

Oprócz skafandra, zwykle używane są różne rodzaje rękawic, butów i kapturów. Do nurkowań technicznych, które zwykle trwają dwa, trzy razy dłużej od rekreacyjnych, stosowana jest zwiększona ochrona termiczna; prawie nigdy nie są to ochraniacze z lycry, ale co najmniej neoprenowy skafander.

System balastowy

Skafandry nurkowe posiadają dodatnią pływalność. Większość ludzi również jest naturalnie mniej lub bardziej dodatnio pływalna. Dlatego do nurkowania niezbędny jest system balastowy, który równoważy pływalność, umożliwiając nurkowi zanurzenie pod wodę. Nie używamy zbyt dużej ilości balastu, aby nie zanurzać się zbyt szybko. System balastowy może być umieszczony na specjalnym pasie, szelkach lub zintegrowany z kamizelką. W nurkowaniu rekreacyjnym, system balastowy musi mieć mechanizm szybkiego rozpinania, za pomocą którego można się go szybko pozbyć jedną ręką - w sytuacji, w której z różnych powodów chcesz pozostać na powierzchni. Podczas nurkowań technicznych też możesz potrzebować balastu, choć w większości sytuacji nie - wyposażenie do nurkowania technicznego jest na ogół wystarczająco ciężkie, aby samo służyć za balast. Jeśli jednak balast jest zabierany na nurkowania techniczne, niebezpieczeństwa związane z jego przypadkową utratą są największym zagrożeniem, dlatego mechanizmy zwalniające balast są nieco bardziej skomplikowane i wymagają więcej niż jednego ruchu, aby je zdjąć.

Akwalung

Akwalung składa się z trzech elementów: butli ze sprężonym gazem, automatem oddechowym oraz kamizelki ratunkowo wypornościowej, zwanej często „jacketem” (angielski skrót używany na całym świecie: BCD). Każdy z tych elementów składa się wielu mniejszych. Zostaną omówione w dalszych częściach Encyklopedii.

Butla z gazem sprężonym pod wysokim ciśnieniem

Jest to butla wykonana z aluminium lub stali, w której znajduje się sprężone powietrze (lub wzbogacone powietrze). Typowe ciśnienie w butli waha się od 150 do 200 atmosfer. Do nurkowań rekreacyjnych używana jest jedna butla; nurkowie techniczni zwykle biorą dwie, połączone ze sobą specjalnym zaworem, zwanym manifoldem.

Automat oddechowy

Automat oddechowy dostarcza powietrza z butli za każdym razem, kiedy bierze się wdech. Automat zmniejsza ciśnienie powietrza wydostającego się z butli i dostosowuje do ciśnienia panującego na głębokości, na której znajduje się nurek. Redukcja ciśnienia odbywa się dwuetapowo. Automat oddechowy posiada zapasowe źródło powietrza, którym w sytuacji awaryjnej dzielimy się z parnterem oraz manometr - przyrząd, który pokazuje aktualne ciśnienie w butli. Kolejny wąż, zwany węzłem średniego ciśnienia, przyłącza się do inflatora kamizelki.

Kamizelka ratunkowo wypornościowa (“jacket” lub BCD)

Nadmuchiwana kamizelka, którą nurek ubiera na siebie, przytrzymuje butlę i automat oddechowy na właściwym miejscu. Umożliwia ona kontrolę pływalności poprzez dodawanie i wypuszczanie powietrza za pomocą inflatora. Dodając lub wypuszczając powietrze z butli do kamizelki możemy albo swobodnie i bez wysiłku utrzymywać się na powierzchni wody, zanurzać i wynurzać się w sposób kontrolowany i pływać pod wodą na odpowiedniej głębokości. Kamizelka może też mieć zintegrowany system balastowy. Nurkowie techniczni używają nieco innej konfiguracji: mają dwa niezależne automaty oddechowe oraz używają kamizelek zwanych skrzydłami z uprzężą. Skrzydło znajduje się pomiędzy butlami a uprzężą. Nurkowie techniczni mogą mieć dwa niezależne nadmuchiwane elementy skrzydła oraz dwa niezależne inflatory.

Oprzędkowanie

Podczas nurkowania konieczne jest wiedzieć, ile powietrza zostało jeszcze w butli, ale nie jest to jedyna wartość, jaka jest istotna dla nurka. Informacja o tym, jak długo nurek był pod wodą oraz aktualna głębokość są kluczowe jeśli chce się uniknąć choroby dekompresyjnej. Jako minimum trzeba posiadać zatem zegarek lub czasomierz oraz głębokościomierz, choć obecnie najpopularniejszym urządzeniem jest komputer nurkowy. Przyrząd ten oblicza w czasie rzeczywistym, na podstawie zdefiniowanego matematycznego modelu, limit bezdekompresyjny, zapamiętując czas i głębokość nurkowania. Wśród popularnych przyrządów używa się również podwodnych kompasów ułatwiających nawigację. Do nurkowania technicznego potrzebne są te same przyrządy, ale zabierane są pod wodą dwa przyrządy do pomiaru czasu i głębokości - na wypadek awarii.

Nurkowie rekreacyjni mogą umieścić wszystkie przyrządy w konsoli, razem z manometrem; nurkowie techniczni wszystkie przyrządy umieszczają na nadgarstkach.

Noże lub inne przyrządy tnące

Chociaż wypadki zaplątania nie są częste, to jednak warto mieć ze sobą nóż lub inne narzędzie tnące jako standardowy element wyposażenia nurkowego (z wyjątkiem miejsc, gdzie taki jest zabroniony przez lokalne prawo). Typowym narzędziem jest nóż nurkowy, choć niektórzy wybierają specjalne nożyce i sekatory lub inne przyrządy tnące. Nurkowie techniczni idą o krok dalej, zawsze biorąc dwa przyrządy do cięcia, z których jeden jest tak umiejscowiony, by był osiągalny dowolną ręką.

Tabele i plannery nurkowań rekreacyjnych

Nurek rekreacyjny zawsze pozostaje pod wodą tak długo, żeby w każdej chwili mógł wynurzyć się bezpiecznie do powierzchni bez konieczności wykonywania przystanków dekompresyjnych. Nawet używając komputera nurkowego, można stosować tabele nurkowe do planowania nurkowań oraz jako zabezpieczenie w razie awarii komputera. Planner Nurkowań Rekreacyjnych (RDP) jest najpopularniejszą z tabel, choć można używać innych, na przykład table US Navy (nieco inaczej zaprojektowanych). Tabliczki nurkowe zabierane pod wodę, na których można zrobić notatki, pomagają trzymać się planu nurkowania oraz ułatwiają komunikację z partnerem.

Nurkowie techniczni wykonują nurkowania z obowiązkowymi przystankami bezpieczeństwa na określonych głębokościach i odpowiednio długie. Często potrzebują bardziej skomplikowanych komputerów, które umieją obliczać przystanki dekompresyjne, ale zawsze planują nurkowanie i biorą ze sobą tabliczki z wypisanymi przystankami na wypadek awarii komputera. Przystanki obliczone są nie na podstawie RDP ale przy użyciu specjalnych programów komputerowych.

Przyrządy sygnalizacyjne

W wielu sytuacjach możesz być niewidoczny na powierzchni, zwłaszcza, jeśli wynurzysz się z dala od łodzi z powodu prądów lub błędów w nawigacji. Sygnalizatory wizualne i dźwiękowe pomogą zwrócić uwagę załogi na łodzi lub innych nurków, również w sytuacji awaryjnej.

Książeczka nurkowa - Log Book

Certyfikat nurkowy potwierdza kwalifikacje, a książeczka nurkowa jest historią pokazującą, w jaki sposób te kwalifikacje zostały zdobyte. Zapisując każde nurkowanie w książeczce nurek tworzy namacalny dowód swojego doświadczenia, wymagany niekiedy przez organizatorów nurkowań oraz przez szkoły nurkowania gdy nurek chce podwyższyć umiejętności zapisując się na kurs. Typowa książeczka jest papierowym zeszytikiem, gdzie spisuje się daty, czasy, głębokości i specyfikę odbytych nurkowań. Inną formą log book'a jest pamięć osobistego komputera nurkowego, której zawartość można oddrukować.

Wybór ekwipunku

Inwestując w ekwipunek nurkowy, inwestuje się we własne bezpieczeństwo, osiągnięcia i dobrą zabawę. Dlatego należy wybrać specyficzny zestaw, w zależności od tego, gdzie planowane jest nurkowanie oraz jaki jest jego charakter. Każdy potencjalny wybór jest uzależniony od innych czynników, jednak można powiedzieć, że istnieją cztery główne zasady wyboru sprzętu:

1. Po pierwsze: bezpieczeństwo. Producenci sprzętu nurkowego projektują i wykonują sprzęt w taki sposób, że przy prawidłowym użytkowaniu jest on bezpieczny. Dlatego wymogi bezpieczeństwa odwołują się raczej do właściwego wyboru rodzaju wyposażenia, aby nie było zbyt przestarzałe w stosunku do planów nurkowych. Na przykład: cienki skafander jest dobrym wyborem do nurkowania w tropikach, ale niebezpiecznym na nurkowanie podlodowe. Należy pamiętać, że wybiera się sprzęt, który będzie podtrzymywał życie pod wodą. Zawężenie wyboru sprzętu do specyfiki planowanego nurkowania jest konieczne.
2. Poza bezpieczeństwem, najważniejszy jest komfort. Sprzęt, w którym nurek czuje się komfortowo jest najczęściej dokładnie takim, jakiego potrzebuje; poświęcanie komfortu jest niepotrzebne. Ubieranie ekwipunku, w którym czujemy się źle ogranicza radość z nurkowania i może spowodować problemy. Stały dyskomfort zwiększa stres i odwraca uwagę od tak kluczowych spraw jak kontrola urządzeń pomiarowych czy dbanie o partnera. Dobry nurek kończy nurkowanie, gdy pojawia się problem, zatem wchodzenie do wody wiedząc, że problem się pojawi, mija się z sensem. Jest tak duży wybór rodzajów ekwipunku, że można połączyć funkcjonalności i komfort bez strat dla żadnego.
- 3.
4. Upewnij się, że używasz serwisowanego sprzętu. Ekwipunek nurkowy wymaga regularnych przeglądów, jeśli chcesz go używać wiele lat. Automaty oddechowe, butle, kamizelki, skafandry (zwłaszcza suche) i inne elementy powinny być przeglądane i naprawiane w określonych przez producenta odstępach czasu. Zwykle jest tak, że Centrum Nurkowe PADI serwisuje sprzęt, który oferuje w sprzedaży, ale można również znaleźć wyspecjalizowane punkty konkretnych producentów.
5. Wypróbuj sprzęt lub chociaż zapytaj o opinię kogoś, kto takiego używa. Najlepszym rozwiązaniem jest możliwość wypróbowania elementu ekwipunku przed jego zakupem, chociaż w praktyce rzadko jest to możliwe. Dobrym pomysłem jest porównanie dwóch podobnych modeli lub rozmowa z doświadczonym nurkiem (na przykład pracowników centrum nurkowego).



Przygotowanie nowego sprzętu do użycia



Aby usunąć wosk, którym maska została pokryta w celu zabezpieczenia jej przed zniszczeniem, delikatnie umyj maskę za pomocą pasty do zębów lub innego detergentu.

Po zakupie nowego sprzętu i powrocie do domu warto od razu przystąpić do zmontowania wszystkich elementów. Wiele z nich trzeba najpierw umyć i dopasować. Producenci masek, fajek i płetw pokrywają nowe produkty warstwą silikonu, która pełni funkcję ochronną podczas magazynowania. To ważne, aby nową maskę umyć przed pierwszym użyciem, ponieważ w innym razie nie będzie możliwe aby zabezpieczyć maskę przed parowaniem. Aby umyć nową maskę, fajkę, płetwy, najlepiej użyć pasty do zębów lub innego środka, który nie rysuje powierzchni. Zanim to zrobisz, zapoznaj się z zaleceniami producenta, zwłaszcza jeśli maska ma szkła specjalnego przeznaczenia, korekcyjne, kolorowe, pokryte substancją zapobiegającą parowaniu. Niewłaściwy detergent mógłby zniszczyć takie powierzchnie.

Dopasuj pasek od maski i płetw tak, aby dobrze i wygodnie leżały. Zrób to samo z kapturem i butami nurkowymi, jeśli planujesz ich używać.

Nieźłym pomysłem jest podpisanie własnego sprzętu niezmywalnym mazakiem, ale zrób to po pierwszym, drugim użyciu sprzętu podczas nurkowania - tak, aby być pewnym, że wosk zabezpieczający sprzęt został całkowicie usunięty; wtedy mazak będzie trzymał się lepiej. Przed podpisywaniem sprzętu należy odtłuścić powierzchnię, używając detergentu lub zmywacza do paznokci. Większość elementów ekwipunku można podpisać w takich miejscach, które są niewidoczne, gdy masz sprzęt na sobie, ale widać je, gdy sprzęt jest przechowywany, na przykład na wewnętrznej części kieszeni na stopę płetw kaloszowych.

Przygotowanie akwalungu ma własne specyficzne wymagania. Zwykle centrum nurkowe, które sprzedaje sprzęt, składa automat poprzez wkręcenie węży do pierwszego stopnia w odpowiednich miejscach.

Kamizelkę dopasowuje się do własnego rozmiaru, uwzględniając rodzaj skafandra (im grubszy, tym rozmiar kamizelki większy). Dobrze jest sprawdzić, jak wysoko umieścić kamizelkę na butli, aby było wygodnie i połączyć automat, kamizelkę i butlę w celu sprawdzenia wszystkiego. Dzięki temu, przed nurkowaniem pozostaną tylko drobne dopasowania.

Przechowywanie i konserwacja ekwipunku

Inwestując w sprzęt chce się używać go i mieć w dobrym stanie przed długi czas. Na szczęście 90% sukcesu zależy do tego, w jaki sposób nurek go myje, przechowuje i konserwuje. Okresowe(co rok lub co dwa lata) przeglądy i serwis stanowią pozostałe 10%.

Mycie sprzętu po nurkowaniu

Po każdym nurkowaniu należy dokładnie myć sprzęt w słodkiej wodzie. Wyjątkiem jest, jeśli nurkuje się w idealnie czystej, słodkiej wodzie. Mycie usuwa zabrudzenia, osady, sól, które pozostawione na powierzchni sprzętu mogą być źródłem korozji i awarii ruchomych części. Sól na przykład jest niebezpieczna, ponieważ powoduje korodowanie metalowych części, a jej wytrącone kryształki mają ostre krawędzie, które mogą uszkodzić lub zablokować ruchome i miękkie elementy wyposażenia.

Oprócz słonej wody, chlor jest równie szkodliwy dla sprzętu. Połączenie słońca i chloru powoduje blaknięcie skafandra. Z tego powodu należy płukać sprzęt po chlorowanej wodzie z równą uwagą jak się to robi po nurkowaniu w wodzie słonej.



Podstawową dbałością o sprzęt nurkowy jest każdorazowe mycie go słodką wodą po nurkowaniu.

Na szczęście, dokładne mycie sprzętu w słodkiej wodzie wystarcza, aby utrzymać go w dobrej formie. Ciepłsza woda jest skuteczniejsza w usuwaniu soli i chloru; można też używać specjalnych preparatów wspomagających usuwanie tych substancji. Używaj łagodnego strumienia wody - zwłaszcza, gdy płuczesz automat, zawory, przyrządy pomiarowe, delikatne elementy.

Część producentów sprzedaje specjalne preparaty do mycia i konserwacji sprzętu, zwłaszcza do usuwania chemikaliów, pleśni, bakterii i innych „mieszkańców” mokrych i suchych skafandrów. Jeśli nie możesz umyć sprzętu zaraz po nurkowaniu, najlepsze co możesz zrobić, to trzymać go mokrym, aby zapobiec krystalizacji soli. Może pomóc spray usuwający sól. Jeśli sprzęt jednak wyschnie zanim zdążysz go wysuszyć, zamocz go w słodkiej wodzie i zostaw go w niej na kilka godzin zanim ostatecznie go wypłuczesz.

Korozja i uszkodzenia: Wrogowie naturalni sprzętu nurkowego

W naturze większość materiałów łączy się z tlenem (utlenia się) tworząc różne związki chemiczne. Czyste metale rzadko występują w przyrodzie. Rudy żelaza i aluminium na przykład występują w postaci tlenków żelaza i tlenku glinu, które w specjalnych procesach są wyodrębniane jako czyste metale. Stal (która jest robiona z żelaza), aluminium, mosiądz i guma neoprenowa utleniają się w określonych warunkach i czasie. Jednak niektóre materiały, utleniają się mniej niż inne. Stal, które jest wzbogacona innym metalem, np. niklem, jest odporna na utlenianie (czyli na rdzę). Znana jako stal nierdzewna, może się jednak utlenić, jeśli zapewni się odpowiednie warunki.

Aluminium się utlenia, ale zewnętrzna utleniona powłoka stanowi jednocześnie ochronę przed dalszym utlenieniem metalu poniżej zewnętrznej powłoki.

Alumium jest za to podatne na inną formę korozji, zwanej reakcją galwaniczną.

Ten typ korozji może wystąpić, jeśli dwa różne metale dotykają się wzajemnie, co powoduje przepływ elektronów niosących ze sobą cząsteczki metali z jednej powierzchni na drugą.

Mosiądz należy do jednego z najbardziej odpornych na korozję metali, dlatego jest często używany w produkcji automatów oddechowych.

Jednak mosiądz również się utlenia po odpowiednio długim czasie. Wielu producentów zastąpiło już mosiądz innym metalem: tytanem. Oprócz tego, że tytan jest jednocześnie lekki i wytrzymały, należy do najwolniej utleniających się metali w przyrodzie.

Katalizatory przyspieszają utlenianie. Ponieważ utlenianie związane jest z przepływem elektronów, wszystko co poprawia ich przepływ (np. prąd elektryczny), przyspiesza utlenianie. Woda jest dość dobrym przewodnikiem, więc wiele metali utlenia się w wodzie znacznie szybciej. Słona woda jest świetnym przewodnikiem, co wyjaśnia, dlaczego przyspiesza ona utlenianie bardziej niż słodka.

Stopy na bazie żelaza, takie jak na przykład stal, korodują bardzo szybko w słonej wodzie. Tytan utlenia się tak samo wolno w wodzie jak i na powierzchni.

Tak jak elektrolity przyspieszają utlenianie metali w wodzie, tak promienie ultrafioletowe oraz ozon przyspieszają utlenianie neoprenu. W elementach gumowych, do produkcji których użyto naturalnej gumy, promienie ultrafioletowe pochodzące z promieniowania słonecznego oraz wystawianie skafandra na działanie ozonu powoduje chemiczny rozpad materiału. To powoduje niszczenie neoprenu.

Wszystko, co posiadasz, a co jest zrobione z kauczuku, rozpada się bez względu na to, czy tego używasz, czy nie.

Guma silikonowa, nie jest prawdziwą gumą, jest w pełni syntetycznym materiałem. Mimo, że jest droższa niż neopren, jest znacznie bardziej odporna na utlenianie i zniszczenia, dlatego w niektórych elementach wyposażania nurkowego (np. w maskach) już nie używa się neoprenu.

Suszenie

Po wypłukaniu, wysusz sprzęt dokładnie przed spakowaniem go. Jest to kluczowe zwłaszcza, jeśli zamierzasz przechowywać go w miejscu, gdzie obieg powietrza jest ograniczony, ponieważ niedokładnie wysuszony zacznie pleśnieć. Susz sprzęt w zacienionym miejscu, nie wystawiaj go na bezpośrednie działanie słońca, ponieważ promienie ultrafioletowe niszczą m.in. neopren, a nadmierne ciepło może uszkodzić delikatne przyrządy pomiarowe.

Idealnie jest, jeśli suszysz i przechowujesz sprzęt nurkowy na wieszakach specjalnie zaprojektowanych do tego celu - mają one odpowiednią grubość i wytrzymałość, są gładkie i szerokie, odporne na korozję. Niektóre wieszaki są zaprojektowane do przechowywania kapturów, butów i rękawiczek.

Przechowywanie

Przechowuj sprzęt z dala od bezpośrednich promieni słonecznych, w chłodnym pomieszczeniu, osłoniętym od spalin i źródeł ozonu. Gumowe elementy przechowuj nie naciągnięte, zachowujące naturalny kształt.

Elementy silikonowe trzymaj z dala od neoprenowych, ponieważ neopren może odbarwić silikon. Jeśli zamierzasz przechowywać gumowe elementy przez dłuższy czas, owiń je w plastikową torbę.

Zalecenia różnią się dla różnych skafandrów, zatem sprawdź, co w kwestii przechowywania poleca producent. Ogólnie rzecz biorąc, przechowuj nie neoprenowe skafandry złożone lub powieszzone. Większość producentów suchych skafandrów zaleca przechowywanie ich złożonych delikatnie w specjalnej do tego celu torbie.



Wieszak na skafandry nurkowe jest sztywny i wytrzymały, jest gruby, aby nie dopuścić do odkształcenia skafandra podczas przechowywania go na wieszaku.

Maski

Oczy nie są przystosowane do widzenia pod wodą, dlatego to właśnie maski pełnią rolę podwodnego okna na świat. Jeśli masz cały komplet sprzętu, ale nie masz maski, nie możesz pójść nurkować. A jeśli masz tylko maskę, wciąż możesz czerpać radość z pływania i oglądania podwodnego świata w jego płytszych partiach. Bezspornie, to maska jest najważniejszą częścią ekwipunku nurka. Maski zmieniały się pod względem kształtu, użytych materiałów i wyglądu od czasu pierwszych prototypów, powstałych w latach 30. i 40, ale to, co pozostało niezmiennie, to przezroczysta część, przez którą patrzymy, gumowa część przylegająca do twarzy oraz pasek, przytrzymujący maskę na głowie.

Materiały

Obecnie większość masek jest wykonana z bezbarwnego lub kolorowego silikonu. Jest on bardziej wytrzymały od neoprenu i nie powoduje uczuleń. Większość osób preferuje przezroczysty lub czarny silikon. Ten drugi jest popularny zwłaszcza wśród podwodnych fotografów i filmowców, aby poprawić jakość patrzenia przez wizjer aparatu lub kamery. Powierzchnia przed oczami jest na ogół wykonana z hartowanego szkła. W przeciwieństwie do zwykłego szkła, szkło hartowane kiedy pęka, nie rozpada się tylko trzymając się razem, tworząc mniej ostrych, małych kawałeczków. Plastik nie jest odpowiednim materiałem, ponieważ nie można powstrzymać parowania i łatwo się zarysowuje. Niektóre rodzaje plastiku są jednak bardziej podobne do szkła i niektórzy producenci stosują je w swoich maskach.

Produkcja masek

Większość producentów wytwarza maski łącząc automatykę z pracą ręczną. Pierwsze etapy produkcji wykonują maszyny, które natryskują silikon do form a następnie poddają obróbce termicznej o określonych parametrach. Temperatura i czas zależą od rodzaju silikonu i jego składu chemicznego.

Elementy z twardego plastiku (takie jak obudowa maski) wytwarzane są w podobny sposób. Obróbka termiczna silikonu i elementów plastikowych czyni te materiały odpowiednio wytrzymałymi, elastycznymi.

Następnym etapem jest wyjęcie silikonu i plastiku z form - odbywa się ono ręcznie albo maszynowo. W niektórych zakładach elementy przenoszone są taśmociągami do kolejnych etapów procesu, gdzie są montowane, w innych fabrykach komponenty gromadzone są w koszach i ręcznie montowane.

Często zdarza się tak, że nadmiar silikonu lub plastiku wystaje z formy i wtedy ręcznie przycina się nadmiar materiału.

Końcowy montaż następuje prawie zawsze ręcznie. Monter umieszcza szybki, obudowę, pasek i uchwyty na właściwych miejscach.

Po końcowej kontroli maska jest pokrywana warstwą ochronną a następnie pakowana, ręcznie lub maszynowo.

Rodzaje masek



Maski różnią się od siebie wyglądem. Od starych modeli o owalnym kształcie do bardziej popularnych, zaprojektowanych tak, aby miały jak najmniejszą objętość i zapewniały jak największe pole widzenia. **Maski panoramiczne** cechują się dwiema dodatkowymi szybkami, umieszczonymi po bokach, w celu zwiększenia pola widzenia. Wczesne modele masek panoramicznych miały bardzo dużą objętość, to powodowało, że były trudne do oczyszczenia z wody, do przedmuchiwania podczas zanurzania i do zabezpieczenia przed zaparowaniem. Zostały stopniowo wyparte z rynku.

Maski niskoprofilowe posiadają szybkę bliżej twarzy a wokół nosa tylko silikonową ostonę, tak, że nos wystaje poza szybkę. Dzięki temu wewnątrz maski ma mniejszą objętość a szybki są bliżej oczu. Maski niskoprofilowe są łatwiejsze do przedmuchiwania i oczyszczenia z wody niż maski panoramiczne. Zwykle oferują dość dobre pole widzenia dzięki przybliżeniu szybki, ale nie tak szerokie jak to miało miejsce w maskach panoramicznych. Oba typy masek były popularne od lat 70. ubiegłego stulecia. Od lat 80. i 90. zostały pomalutku zastępowane trzecim typem maski, która łączyła w sobie zalety obu poprzednich. Kombinacje cech maski panoramicznej i niskoprofilowej wciąż są popularne dzisiaj, chociaż nurkowie

preferują maski o bardzo małej objętości bez dodatkowych szybek po bokach.

Maski szerokokątne zaczęły być produkowane na początku lat 90., jako wynik starań producentów o coraz lepsze pole widzenia bez zwiększania objętości. Jednym z pomysłów było umieszczenie dodatkowych szybek u dołu maski, aby zwiększyć pole widzenia tego, co poniżej oczu, ale ten model się nie przyjął. Wiele wiążących modeli jest tak zaprojektowanych, że szkła ustawione są pod kątem, nie równoległe do twarzy i w ten sposób poszerzając pole widzenia.

Cechy masek

Materiały i rodzaj maski to nie wszystko, co powinienś o nich wiedzieć. W zależności od osobistych upodobań, są jeszcze inne cechy, które być może Ci się spodobać. Niektóre subtelne różnice mogą oddzielić maski wykonywane w starej i nowej technologii, mimo, że na pierwszy rzut oka wyglądałyby identycznie.



Większość współcześnie produkowanych masek ma powiększone pole widzenia dzięki specjalnemu ułożeniu i kształtowi szkieł.

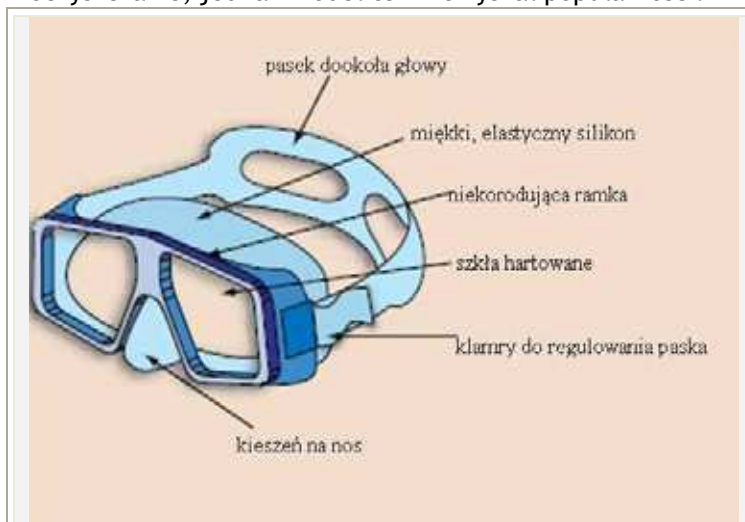
Wykończenie brzegów silikonowych. W maskach nowoczesny silikon jest cieńszy przy brzegach, co powoduje lepsze dopasowanie do twarzy i większy komfort.

Podwójny silikon. Prawie wszystkie maski lepszej jakości mają wewnątrz dodatkową silikonową warstwę,

k która przylega do twarzy, powodując lepsze dopasowanie. Ten „płaszczyk” jest umieszczony dookoła twarzy, od części policzkowych do czoła. Nie ma go przy nosie, dzięki czemu łatwo maskę oczyścić z wody.

Dopasowanie długości paska. Popularne maski mają klamry po bokach, które umożliwiają zaciąganie lub zwalnianie paska nawet, gdy maskę mamy ubraną na twarzy. Jest to duża zaleta, że możemy maskę dopasować na sobie, zwłaszcza, gdy na przykład w ostatniej chwili zdecydujemy się na ubranie kaptura. Wiele nurków zakłada maskę z luźnym paskiem a następnie zaciąga go aż poczuje się komfortowo.

Zaworki do oczyszczania. Zaworki do oczyszczania maski są jednostronnymi zaworami, które umożliwiają wydychanie wody z maski bez konieczności przechylania głowy do tyłu. Taka cecha maski ułatwia jej oczyszczanie, jednak model ten nie zyskał popularności.



Szkła specjalnego przeznaczenia. Niektóre maski mają specjalne powłoki na szklach, które albo zapobiegają parowaniu, albo są koloryzowane w celu oglądania świata podwodnego w naturalnych kolorach (szkła są na przykład czerwone). Maski z powłoką antyparującą nie są jednak popularne, ponieważ skutecznych sposobów na zabezpieczenie przed parowaniem jest tak dużo, że nie ma to wpływu na decyzję o wyborze maski. Kolorowe szkła nie są w powszechnym użyciu, jednak mają swoich amatorów.

Z elektronicznymi wyświetlaczami. Najnowszy produkt w dziedzinie masek to takie, które na szkiełku wyświetlają informacje z komputera nurkowego. Być może staną się popularne ze względu na

niezbyt wygórowaną cenę i łatwość obsługi. Prostota zawsze pozostanie najważniejszą cechą maski.

Maski pełnotwarzowe



Jedną z przyczyn stosowania masek pełnotwarzowych jest możliwość umieszczenia w nich urządzeń do komunikacji podwodnej. Maską na zdjęciu ma wbudowany automat oddechowy i jej używanie wymaga specjalnego przeszkolenia oraz praktyki.

Mimo, że „zwykłe” maski spełniają większość oczekiwań nurków rekreacyjnych i technicznych, są sytuacje, gdy będziesz chciał mieć maskę pełnotwarzową. Jest ich kilka rodzajów, w zależności od powodu, dla którego ubierasz taką maskę.



Maska pełnotwarzowa Scubapro

Najprostszy model jest używany po to, aby zapewnić lepszy komfort termiczny. Automat oddechowy wkładany jest z przodu a ustnik wystaje od wewnętrznej części. Ten model jest popularny wśród nurków z północnej Europy, zwłaszcza zimą.

Inna maska, używana po to, aby mieć pod wodą przestrzeń powietrza wokół twarzy, pozwalającą na oddychanie bez ustnika i rozmawianie - używając specjalnych urządzeń do komunikacji. Takie maski mają automat wbudowany i wymagają specjalnego przeszkolenia przed użyciem (więcej na temat komunikacji podwodnej w dalszej części niniejszego rozdziału). Taki typ maski sprawdza się również podczas nurkowań w bardzo zanieczyszczonej wodzie.

Do nurkowań technicznych być może będziesz chciał użyć do oddychania mieszanek o dużej zawartości tlenu. Nurkowie techniczni są potencjalnie bardziej narażeni na skutki toksyczności tlenowej podczas oddychania nim w czasie dekompresji. Wskutek

drgawek wywołanych toksycznością tlenową nurek może zgubić tradycyjny ustnik i utopić się. Maski pełnotwarzowe redukuje to ryzyko w pewien sposób. Aby móc przestrzegać procedur dekompresji, które zakładają wymianę mieszanek oddechowych kilka razy podczas nurkowania, najlepsze maski pełnotwarzowe dla nurków technicznych posiadają wymienne puszki. Zewnętrzną część puszki można wymienić na inną poprzez rozłączenie jednej i podłączenie, zabezpieczenie i oczyszczenie z wody drugiej. Wewnętrzna część drugiego stopnia jest wbudowana na stałe do maski, wymieniana jest tylko puszka połączona z odpowiednią mieszanką oddechową.



Najlepsze maski pełnotwarzowe do nurkowania technicznego to takie, które mają otwór, przez który wkłada się „zwykajny” automat oddechowy. Dzięki temu można wymieniać drugie stopnie podczas nurkowania



Wybór właściwej maski

Nie jest niczym trudnym wybranie właściwej maski, ale musisz ją wypróbować. To jak leży jest najważniejsze, mniej ważne od stylu, wyglądu, koloru. Niewłaściwie dobrana maska będzie Cię denerwować podczas każdego nurkowania. Na szczęście podaż masek jest ogromna, wybierać i przebierać można do woli.

Aby sprawdzić, czy maska jest dobrze dopasowana:

6. Zdejmij pasek i przełóż go do przodu maski - tak, żeby po przyłożeniu maski do twarzy pasek nie obejmował głowy.
7. Przyłóż maskę do twarzy - silikon powinien przylegać dookoła twarzy, równo, nie rolować się i nie zaginać.
8. Pomału wciągnij powietrze nosem. Maski powinna lekko się pszyssać do twarzy tak, aby nie spadła jeśli zaczniesz poruszać głową.

Prawdopodobnie znajdziesz kilka masek, które będą dobrze przylegać, ale zauważysz też, że któreś z nich przylegają lepiej niż inne. Wybierz jedną z tych, które przylegają najlepiej. Jeśli musisz wybrać pomiędzy maską, która wspaniale leży a maską, która ma jaką dodatkową cechę, to wybierz tę pierwszą.

Jeślinosisz okulary lub szkła kontaktowe

Czy musisz pływać pod wodą jak niedowidzący, jeśli na codzień używasz okularów lub szkieł kontaktowych? Nie. Obecnie jest kilka rozwiązań dla nurków z wadami wzroku.

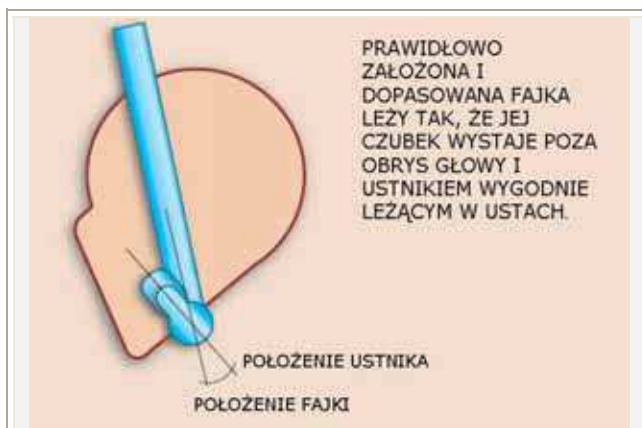
Pierwszym sposobem jest przyklejenie soczewek wewnątrz maski. Jest to dobre rozwiązanie dla osób cierpiących na astygmatyzm lub dla dalekowidzów. Jeśli jesteś krótkowidzem najlepszym pomysłem jest zakup maski ze szklami korekcyjnymi wbudowanymi zamiast zwykłego szkła. Takie maski trzeba zrobić na zamówienie, ze skierowaniem od optyka, ze szklami dobranymi odpowiednio do korekcji wady wzroku. Maski te posiadają na ogół dwa oddzielne szkła więc można dobrać innego typu soczewki dla każdego z oczu.

Możesz również nosić soczewki kontaktowe pod wodą, chyba że producent tego szczególnie nie zaleca.

Jeślinosisz szkła kontaktowe, upewnij się, że przepuszczają powietrze. Jest pewne ryzyko zgubienia soczewki, jeśli zalejesz maskę wodą, choć praktyka pokazuje, że soczewki nie wypadają w takich sytuacjach. W każdym razie warto mieć ze sobą zapasową parę soczewek, na wszelki wypadek. Maski z zaworkami w pewien sposób zapobiegają zgubieniu soczewek, ponieważ jeśli te wypadną z oczu, soczewki zatrzymują się przed zaworkiem, wewnątrz maski. Niektórzy nurkowie z małą wadą wzroku decydują się na nurkowanie bez specjalnych soczewek. To jest niezły pomysł zwłaszcza dla krótkowidzów, ponieważ refrakcja przybliża i powiększa wszystkie obiekty, czyniąc je lepiej widocznymi.

Jedną z opcji jest również korekcja wzroku laserem. Jak dotąd nie zgłoszono żadnego przypadku komplikacji wywołanych nurkowaniem u osób, które przebyły taką operację. Nie ma też teoretycznych przeciwwskazań poza powstrzymaniem się od nurkowania przez ustalony przez lekarza (na ogół wynoszący około trzech miesięcy).

Fajki



Fajka pozwala na oddychanie na powierzchni bez podnoszenia głowy ponad wodę. Może to nie brzmieć niezwykle, dopóki nie uświadomisz sobie, że głowa przeciętnego człowieka waży 7-9 kg. Za każdym razem, gdy podnosisz głowę ponad powierzchnię wody, tracisz energię. Środek ciężkości znajduje się poniżej głowy, dlatego nawet dodatnio pływalny zużywasz energię do pobierania wdechów. Z fajką możesz pływać godzinami po powierzchni z twarzą pod wodą. Bez fajki - nie możesz. Bez fajki albo szybko się zmęczysz, albo będziesz musiał zacząć pływać na plecach (co jest możliwe tylko, jeśli nie ma fal). Fajki są uważane za podstawowe wyposażenie każdego nurka rekreacyjnego (z wyjątkiem kilku

wyjątków).

Oprócz tego, że fajka pozwala nurkowi oddychać na powierzchni bez utraty energii ani bez używania powietrza z butli, główną przyczyną konieczności posiadania fajki jest wzgląd bezpieczeństwa. Nawet w spokojnej, tropikalnej wodzie jest możliwe, że nurek wypłynie z dala od łodzi lub brzegu bez powietrza. Fajka ułatwia w takiej sytuacji oddychanie i zrelaksowanie się podczas pływania. W doskonałych warunkach nurkowych być może nawet nie będziesz planować, żeby wziąć fajkę ze sobą, ale warto ją mieć ze sobą na wszelki wypadek. Ponieważ nurkowie techniczni stosują inne procedury niż nurkowie rekreacyjni, fajka nie stanowi elementu wyposażenia, który zwiększa bezpieczeństwo. Jeśli jednak jest ewentualność, że będą musieli płynąć długo po powierzchni, zapatrują się w model, który jest składany lub zwijany i mieści się do kieszeni.

Fajki są wygiętymi rurkami, które mają ustnik oraz zaczep do maski. Tak jak w przypadku innych elementów wyposażenia, można wybrać spośród wielu materiałów i cech dodanych.

Materiały

Teoretycznie każda rurka, którą kupujesz, będzie składała się z plastikowej tuby i silikonowego ustnika. Czasem cała wygięta część fajki składa się z silikonu.

Długość fajki

Niektórzy uważają, że dłuższa fajka jest lepsza, ponieważ wystaje ponad wodę, ale że jej główną wadą jest trudność w dokładnym oczyszczeniu z wody. Jest ona mniej efektywna z dwóch powodów: Martwa przestrzeń powietrzna - jak dowiedziałeś się w rozdziale 5 podręcznika, pierwsza część każdego wdechu który robisz, pochodzi z martwych przestrzeni powietrznych. Jest to powietrze, które zalega w przestrzeniach powietrznych po zrobieniu wydechu i ma sporo dwutlenku węgla. Przy wdechu, pobierasz zatem najpierw powietrze z martwej przestrzeni. Fajka zwiększa powierzchnię martwej przestrzeni powietrznej. Im jest większa, tym więcej zalegającego powietrza się w niej znajduje. Na przykład: gdyby twoja fajka miała 122 cm długości, oddychałbyś ciągle tym samym powietrzem, wdychając i wydychając go do fajki.

Ciśnienie wody - druga trudności polega na tym, że z dłuższej fajki trudniej wydmuchać wodę. Każde 15 cm fajki daje ok. 63 g wody więcej do wydmuchania. Zaworek do oczyszczania pomaga pozbyć się wody, ale część niej wylewa się od góry. Im fajka dłuższa, tym trudniej tę wodę wydmuchać. Najlepszym rozwiązaniem jest fajka wystarczająco długa, aby wystawała nieco ponad obrys głowy - wystarczy to, aby zapobiec ciągłemu wpadaniu wody od góry minimalizując objętość martwej przestrzeni powietrznej

Cechy

Dzisiejsze fajki mają różnorodne cechy, spośród których możesz wybrać takie, które Ci najbardziej odpowiadają.



Fajki uważane są za element podstawowego wyposażenia nurka rekreacyjnego. Możesz wybrać fajkę spośród wielu dostępnych modeli i kolorów.

Rozmiar. Kiedyś fajki różniły się od siebie długością i średnicą, więc trzeba się było zastanowić, jaką wybrać, bo jeśli kupiło się niewłaściwy model: za krótki lub za długi lub za chudy, fajka była bezużyteczna. Z czasem producenci zauważyli, że rozmiary fajek nie muszą bardzo się różnić, żeby pasowały na wszystkich nurków. Obecnie fajka ma długość 35-45 cm (mierzona do środka ustnika do końca prostej części), oraz 19-25mm mierząc wewnątrz. Najważniejszą sprawą przy projektowaniu fajki jest zmniejszenie przestrzeni powietrznej wewnątrz rurki - im jest ona krótsza, tym przestrzeń mniejsza, ale fajka nie może być zbyt krótka, ponieważ przy najmniejszej fali zakryje się wodą. Szersza fajka też ułatwia oddychanie przez nią, ale zbyt szeroka będzie niemożliwa do oczyszczenia.

Kształt. Fajki dostępne w latach 60. miały kształt litery "U" z jednym krótszym bokiem wkładanym do ust. Dzisiejsze fajki są tak wyprofilowane, że układają się wokół głowy, więc można wygodniej z nią pływać bez obawy, że zosanie zalana wodą od góry.

Wygodny ustnik. Tak jak w przypadku maski, która jest źle dopasowana, tak ustnik w fajce (lub w automacie oddechowym), który jest niewygodny, może zepsuć nurkowanie. Na szczęście większość nowoczesnych fajek posiada ustniki dopasowane anatomicznie do szczęki. Są miękkie i bardziej wytrzymałe od ustników gumowych starego typu.

Umiejscowienie ustnika. Dobrej jakości fajka ma ustnik, którego położenie i wysokość można regulować. Można zatem ułożyć fajkę prawidłowo przy głowie a następnie obrócić lub nagiąć ustnik tak, aby wygodnie leżał.



Fajki elastyczne lub sztywne. Niektórzy nurkowie wolą rurki, które mają miękką część dolną (ustnik i wygiętą część). Jest to bardzo wygodne dla nurków, ponieważ rurka odstaje od twarzy gdy jest nieużywana i nie przeszkadza nurkowi oddychającemu z automatu. Inni wolą rurki sztywne z zapęciem, które łatwo odpina się od maski. Jeśli preferujesz rurkę elastyczną, wybierz taką, która karbowaną część ma gładką wewnątrz. Jest ona łatwiejsza do oczyszczenia i stawia mniejsze opory oddechowe.

Zaworki do oczyszczania fajki. Zaworki są obecnie standardem; przepuszczają wodę tylko w jedną stronę - na zewnątrz. Wystarczy mocniej dmuchnąć w fajkę, by całkowicie oczyścić ją z wody.



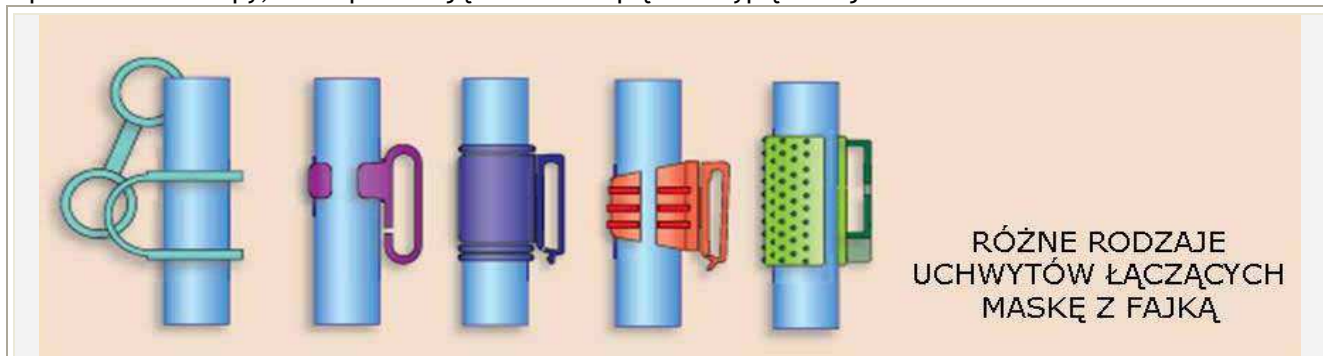
Jeśli przewidujesz, że nie będziesz używał fajki podczas nurkowania, możesz wybrać model składany, który będziesz przechowywał w kieszeni jacketu.

Zaworki zabezpieczające przed zalaniem fajki od góry. Niektóre fajki są wyposażone w zaworki i inne elementy, które zabezpieczają fajkę przed zalaniem wodą od góry.

Fajki składane. Jednym z najnowszych pomysłów na temat fajek jest funkcja składania, zwijania i w inny sposób zmniejszania fajki do rozmiarów umożliwiających włożenie jej do kieszeni od jacketu. Wiele z nich

nie jest tak komfortowa jak „tradycyjne” fajki, ale stanowi atrakcyjną alternatywę dla nurków, którzy nurkując w bardzo dobrych warunkach, używają fajki okazynie

Zaczepy. Fajka może być różnie przyczepiona do maski. Mogą być to zwykłe gumowe obręcze lub inne plastikowe zaczepy, które pozwalają na łatwe zapięcie i wypięcie fajki.



Płetwy

Płetwy pomagają pływać za pomocą nóg, zwiększając ich efektywność i eliminując potrzebę używania rąk pod wodą. Cechą wspólną wszystkich płetw jest duże pióro, które stawia opór podczas płynięcia oraz kieszeń na stopę. Istnieją również płetwy zakładane na dłonie, które wyglądają jak rękawice z błonami pomiędzy palcami, przeznaczone dla osób niepełnosprawnych, nie mogących używać nóg do pływania.

Materiały

	
Wszystkie płetwy posiadają duże pióro, które ułatwia nurkowi poruszanie się w wodzie. Większość nurkujących zakłada płetwy na stopy, chociaż istnieją modele naręczne, dla osób niepełnosprawnych.	Większość współczesnych płetw wyprodukowano w całości z gumy lub połączenia gumy i plastiku.

Nowoczesne płetwy są wykonane z gumy i różnego rodzaju plastiku. Niektóre modele składają się wyłącznie z twardej gumy, ale większość to płetwy zrobione z przynajmniej dwóch, trzech różnych materiałów. Typowa płetwa ma wykonaną kieszeń na stopę z miękkiej gumy i plastikowego pióra. Płetwy wykonane w całości z gumy składają się z jednego kawałka. Płetwy plastikowo gumowe są składane z kilku elementów. Płetwy wyglądają prosto, ale są efektem wielu naukowych eksperymentów i doświadczeń. Wiele z nich ma w swoim składzie tak zaawansowane materiały jak grafitowe włókna aby jak najwięcej energii pochodzącej z pracy nóg przenieść na efektywność pracy płetw. Pióra różnią się od siebie grubością i twardością (odpornością na wyginanie). Nawet płetwy zrobione z jednego kawałka gumy mają różną grubość w różnych miejscach płetwy, aby zmaksymalizować jej efektywność.

Style

Nowoczesne płetwy produkowane są jako dwa rodzaje: płetwy kaloszowe i płetwy paskowe. Kaloszowe są mniej popularne wśród nurków rekreacyjnych a nie używane w ogóle przez nurków technicznych. Paskowe są na ogół większe, bardziej wydajne podczas nurkowania z akwalungiem. Mają otwarty tył z paskiem, który dopasowuje się do stopy. Płetwy paskowe występują w kilku podstawowych rozmiarach (S, M, L, XL); nurkowie ubierają do nich specjalne neoprenowe buty (nawet w tropikalnych wodach), które zwiększają komfort (nie tylko termiczny) pływania.

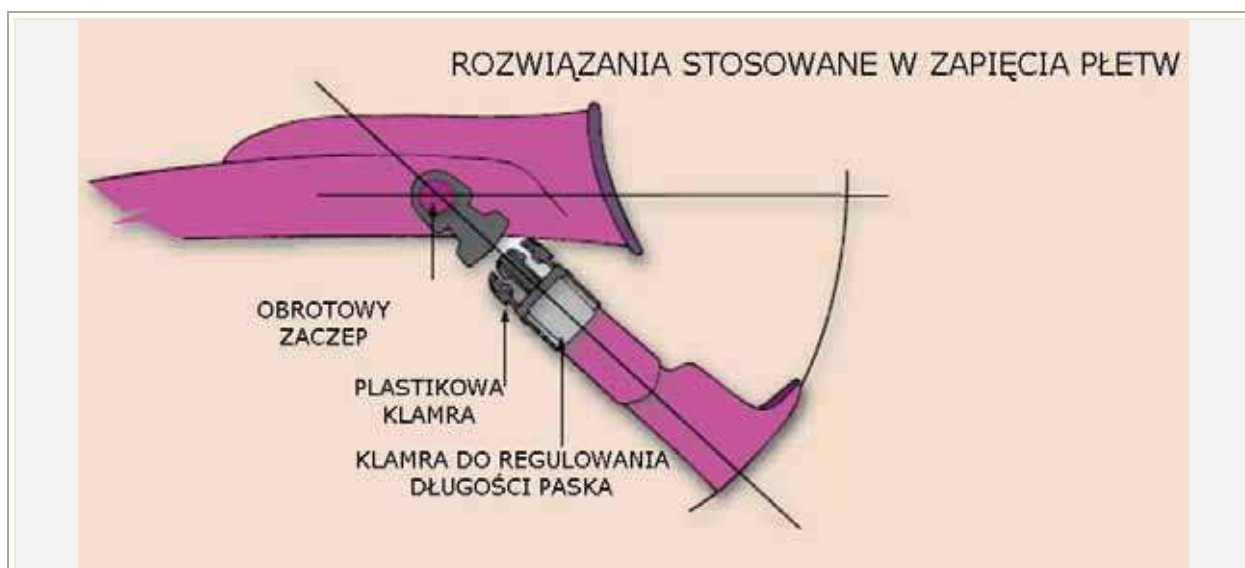


Płetwy kaloszowe mają gumową kieszeń, w którą wkłada się całą stopę; powinna być dobrze dopasowana do jej rozmiaru. Szybko się je zakłada; na ogół na bosą stopę lub stopę w cieniutkiej gumowej skarpetce. Większość płetw kaloszowych ma małe pióro i dlatego są bardziej odpowiednie do snorkelingu niż do nurkowania z akwalungiem, zwłaszcza w trudnych warunkach. Wyjątkiem są płetwy specjalnie zaprojektowane do nurkowania z

akwalungiem, które mają te same cechy co płetwy paskowe, ale są kaloszowe - używane przez nurków w bardzo ciepłych wodach.

Oprócz dwóch wymienionych wyżej rodzajów płetw, są również inne, specjalnego przeznaczenia, na przykład do surfingu, do pływania na zawodach (bardzo szybkie, długie płetwy) lub do polowania na ryby. Istnieją monopłetwy, w których obie stopy umieszczone są w kieszeni jednej, dużej płetwy, używane do nurkowań na wstrzymanym oddechu.

Cechy płetw



Cechy płetw sprowadzają się do różnic w wyglądzie pióra oraz metod utrzymywania na stopie. Więcej opcji jest w przypadku płetw paskowych niż w kałoszowych.

Dopasowanie pasków. Przez lata płetwy mające możliwość dopasowania, były wyposażone w metalowe klamry, które trzymały stopę dobrze, ale były bardzo trudne w dopasowywaniu. Nurkowie prosili instruktorów o pomoc, bo trzeba było mieć i umiejętności i krzepę, aby zrobić to prawidłowo. Metalowe klamry można było dopasować tylko przed założeniem płetwy, więc była to dodatkowa uciążliwość. Dzisiejsze płetwy mają szybko zapinające się i rozpinające klamry, łatwe w obsłudze, wyposażone w paski, które można dopasować po założeniu płetwy na nogę. Klamry rozpinają się, zatem po zakończeniu nurkowania wystarczy je odpiąć z jednej strony, aby łatwo wyciągnąć stopę z płetwy. Zawsze upewnij się, że po założeniu płetwy i zapięciu klamer, pasek przylega ściśle do buta; w przeciwnym razie płetwa zsunie się podczas pływnięcia.

Płetwy sprężynowe. Sprężyny powleczone gumą lub materiałem obecnie coraz częściej zastępują zwykłe gumowe paski, choć nie jest to pomysł nowy. Po raz pierwszy pojawiły się w użyciu w latach 70. i utrzymywały się w modzie do połowy 80. ubiegłego stulecia. Po kilkunastu latach przerwy, nurkowie techniczni ponownie rozpropagowali używanie płetw sprężynowych. Zaletami tych ostatnich jest to, że nie potrzebują dopasowania oraz że są praktycznie niezniszczalne. Można kupić płetwy z gotowymi sprężynami lub wymienić gumowe paski na sprężyny kupowane osobno. Do płetw sprężynowych potrzebujesz grubych, masywniejszych butów noeprenowych, aby czuć się komfortowo.



Możesz kupić płetwy z wbudowanymi sprężynami lub dokupić sprężyny i zamontować je na własnych płetwach. Sprężyny pasują do większości klamer stosowanych obecnie w płetwach.

Żebrowanie. Teoretycznie każda płetwa ma żebrowanie na piórze. Najczęściej umiejscowione na krańcach, żebrowanie stabilizuje płetwę podczas pływnięcia, dzięki czemu nie drga ona podczas kopnięcia. Zwiększają efektywność kopień i oszczędza energię nurka.



Kanaliki - otwory w płetwach prowadzą wodę za płetwę, więc jeszcze bardziej zwiększają jej efektywność. W trakcie kopnięcia napędowego płetwa zbiera wodę przez otwory i wypycha ją wzdłuż pióra, od przodu do tyłu.

Wentyle. Płetwy wentylowane pojawiły się po raz pierwszy w latach 60. ubiegłego stulecia. Wentyle

oczyszczają płetwę z wody podczas pływnięcia, zmniejszając jej opór i oszczędzając energię nurka. Obecnie, z wyjątkiem pojedynczych modeli, nie produkuje się płetw z wentylami. Wentyle, które oczyszczają płetwy z wody podczas kopnięcia napędowego, są bardziej efektywne dla płetw miękkich. Podczas kopnięcia miękką płetwą, koniec pióra wygina się, pchając wodę w przód, zamiast w tył. Wentyle pozwalają nadmiarowi wody przepłynąć poza płetwę, minimalizując straty energii. Wentyle, które wypuszczają wodę podczas kopnięcia powrotnego są natomiast bardziej odpowiednie do płetw twardszych. Zmniejszają bowiem opór wody stawiany podczas kopnięcia powrotnego, gdy płetwa wraca do początkowej pozycji. Ten sposób wentylowania jest mniej popularny. Co najmniej jeden producent ma w ofercie płetwy, których pióro jest ostro pofałdowane aby maksymalnie zmniejszyć opór podczas kopnięcia powrotnego i zwiększając siłę kopnięcia napędowego.



Płetwy przecięte teoretycznie wymagają od nurka mniej wysiłku, aby osiągnąć ten sam efekt pływania. Naśladują ruchy płetw walen i ryb, odpychając wodę na boki.

Płetwy przecięte. Jedną z nowinek jest przecięcie pióra od zewnątrz w kierunku środka, na dwie połówki. Funkcją przecięcia ma być redukcja oporów wody, podobieństwo do płetwy ogonowej ryby lub wieloryba - woda prawie w całości jest wypychana do tyłu. To, zdaniem projektantów płetwy, czyni ją znacznie bardziej efektywną niż tradycyjne oraz wymagają mniejszych nakładów siły podczas pływania. Płetwy przecięte są coraz popularniejsze, choć nie wszyscy nurkowie są do nich przekonani. Płetwy te zaprojektowane są do kopnięć w górę i dół; pływanie w nich żabką jest mniej efektywne, a taki styl preferowany jest przez nurków jaskiniowych i technicznych, stąd ich niewielka popularność wśród tej grupy nurkujących.

Jak wybrać właściwy model płetwy

Jeśli chcesz wybrać swoje pierwsze płetwy, najważniejszą sprawą jest oczywiście dopasowanie i komfort. Weź pod uwagę, gdzie będziesz używał swoich płetw: temperatura wody, prądy i miejsca, w których chcesz nurkować. Modele kałoszowe są odpowiednie do wód ciepłych; modele paskowe odpowiadają prawie wszystkim nurkom, ponieważ można ich używać zarówno w ciepłej jak i zimnej wodzie. Jeśli nurkujesz z brzegu, płetwy paskowe są wygodniejsze, ponieważ nurek idzie do brzegu w butach, które stanowią ochronę dla stóp.

Kolejną kwestią jest dopasowanie wielkości pióra do własnej kondycji. Jeśli nie masz silnych nóg, to zbyt duże płetwy mogą być niewygodne i zbyt trudne

w użytkowaniu. Z drugiej strony, jeśli jesteś bardzo silny, to posiadanie płetw krótkich i miękkich da Ci poczucie, że kopiesz jak szalony a nie posuwasz się ani o centymetr. Na szczęście jednak takie parametry jak rozmiar pióra, kieszeni na stopę są dopasowane do rozmiarów i kondycji większości nurków. Dlatego można założyć, że jeśli płetwa pasuje nam rozmiarem, będzie również odpowiednio duża.



Najczęstszym błędem przy wyborze płetw kałoszowych jest kupowanie zbyt małego rozmiaru.

Stopa w butcie nurkowym powinna łatwo zmieścić się w całości w kieszeni płetwy, a kieszeń kończyć się tuż przed kostką.

Przymierz płetwy zakładając najpierw buty, których będziesz razem z nimi używał. Dopasuj pasek. Płetwa nie powinna być za luźna ani zbyt mocno obciążać stopy. Najczęstszym błędem przy kupowaniu płetw paskowych jest kupowanie ich w zbyt małym rozmiarze. Stopa w butcie powinna łatwo wejść do kieszeni a ta przylegać i sięgać do kostki. Jeśli nie możesz wcisnąć stopy tak daleko, to oznacza, że płetwa jest zbyt mała.

Akcesoria do masek, fajek i płetw.

Jest kilka drobiazgów, które możesz uznać za przydatne:

Preparat zapobiegający parowaniu

Jeśli niczego nie zrobisz, maska zaparuje po założeniu jej na twarz. Dzieje się tak dlatego, że twoje ciało wytwarza ciepło, które zatrzymuje się w masce i kondensuje jako para wodna na chłodnym szkiełku.

Najlepszą metodą jest pokrycie szkiełka specjalnym preparatem, który nie pozwala wodzie zamienić się w parę. Zwykle należy rozprowadzić kilka kropel preparatu na szkiełku maski i spłukać wodą. Jeśli preparat szczybie, można użyć śliny, chociaż część ekspertów uważa, że może to powodować infekcje oczu. Nie ma na ten temat statystyk, ale prawdopodobnie uznasz gotowy preparat za bardziej przyjemny sposób na nieparowanie maski.

Pisak

Będziesz potrzebował specjalnego pisaka, którym można trwale podpisać swój sprzęt. Należy wybrać pisak niezmywalny, przeznaczony do konkretnych powierzchni; w tym przypadku do gumy, neoprenu, plastiku, kordury.

Preparaty do konserwacji

Gdy guma była najpopularniejszym materiałem do wyrobu sprzętu nurkowego, konserwanty były bardzo rozpowszechnione. W przypadku nowoczesnych tworzyw nie jest to już tak konieczne. Sprawdź zalecenia producenta odnośnie konserwacji sprzętu. Nie używaj ich do automatów oddechowych i zamków od suchych skafandrów, a jeśli masz wątpliwości, lepiej zrezygnuj z ich stosowania.

Części zamienne

Paski od masek czy płetw, uchwyty do fajki i inne małe przedmioty lubią się zawieruszyć lub odpaść. Rezygnacja z nurkowania z takiego powodu może być bardzo denerwująca. Dlatego wyrób sobie nawyk zabierania ze sobą zestawu podstawowych części zamiennych do własnego sprzętu: okrągłe uszczelki, paski, zapięcia i podstawowe narzędzia powinny się w nim znaleźć.

Najważniejsze etapy w historii produkcji płetw	
Płetwy mają długą i ciekawą historię. Pierwsze pomysły na płetwy pochodzą z rysunków Leonardo Da Vinci, który narysował nurka noszącego płetwy i rękawice z błonami pomiędzy palcami. Od tego czasu było wiele zmian w wyglądzie płetwy.	
	Oryginalne “Kaczuszki” Owena Churchill’a. Owen Churchill zaprojektował pod koniec lat 30. ubiegłego stulecia pierwsze płetwy, które znalazły szerokie zastosowanie. Po udoskonaleniach Churchill opatentował je w 1933 roku. W dzisiejszych czasach płetwy te są nadal używane wśród surferów
	“Kaczuszki” wojskowe Podczas II wojny światowej, Podwodne Oddziały Niszczycielskie USA (UDT) używały najbardziej efektywnych w obecnym czasie płetw, które były długie i sztywne, ze sztywną kieszenią na stopę, co wymagało sporo wysiłku. Użytkownicy tych wojskowych „kaczuszek” mawiali, że pływanie w nich to jak pływanie z dwiema deskami przyklejonymi do stóp. Płetwy te używane były również przez cywilów po wojnie do lat 60
	Płetwy marki Voit Viking W pewnym momencie, firma AMF Voit była głównym producentem sprzętu nurkowego na świecie. Popularność płetw produkowanych przez Voit Viking bardzo wzrosła po filmie Sea Hung, w którym używał ich aktor Llyd Bridges
	Płetwy marki Otarie Otarie była marką płetw, która przeszła do historii jako najbardziej popularna wśród nurków ciepłych wód. Tysiące nurków używało ich jako swoich pierwszych płetw
	Jet Fin Płetwy Jet Fin były pierwszymi popularnymi płetwami z wentylami. Po raz pierwszy zaprezentowane przez firmę Beauchat we Francji, były w wersji kaloszowej i paskowej. Firma Scubapro, która przyczyniła się do tego, że płetwy wentylowane stały się standardowym ekwipunkiem nurka w latach 60. i 70., spopularyzowała Jet Fin w wersji paskowej. Z czasem każdy liczący się producent włączył do swojej oferty jakąś wersję płetw Jet Fin i dziś, jest to wciąż jeden z najpopularniejszych modeli płetw na świecie

	Płetwy Plana Firma Mares była pierwszym producentem płetw, który wykorzystał zaawansowane stopy plastiku przy produkcji piór i rozpowszechnił je w Północnej Ameryce. Zaprojektowano również płetwy kaloszowe odpowiednie do nurkowania z akwalungiem. Gdy wersja paskowa pokazała się na rynku w latach 80., szybko stała się najpopularniejszym modelem płetw wszechczasów
	Płetwy The Force Płetwy wprowadzone na rynek w latach 80. ubiegłego wieku, znacznie różniły się wyglądem od dotychczas produkowanych. Główną innowacją tej płetwy było charakterystyczne pióro w kształcie litery „V”. Niektóre wersje The Force są popularne do dnia dzisiejszego
	Płetwy Apollo Prestige Firma Apollo zaprojektowała płetwy, w których kieszonka na stopę bierze udział w pływaniu i pracuje razem z piórem. System tuneli odprowadzających wodę wypychają ją do tyłu płetwy zwiększając jej efektywność
	Płetwy przecięte Firma Force Fin i Apollo opracowały wspólnie pod koniec lat 90. model płetw z przeciętym piórem. To była pierwsza znacząca zmiana w wyglądzie płetw. Obecnie taki model produkowany jest na licencji przez kilka firm

Skafandry nurkowe

Woda wychładza ciało około 20 razy szybciej niż powietrze. Dlatego będziesz potrzebował ochrony termicznej nawet w wodzie o temperaturze 27-30°C. Temperatura 24°C po pewnym czasie może spowodować nawet hipotermię, ponieważ ciało w wodzie szybciej traci ciepło niż jest je w stanie wytworzyć. Poza utratą ciepła, pod wodą znajdują się przedmioty, o które możesz się zranić, poparzyć. Środowisko podwodne jest nieprzyjazne i nawet jeśli nie potrzebujesz ochrony termicznej, zabezpieczenie ciała przed potencjalnymi niebezpieczeństwami jest konieczne.

Cienkie skafandry i „żyłety”

Cienkie skafandry są podstawową ochroną dla nurka. Zwykle są to jednoczęściowe kostiumy, których funkcją jest osłona przed zranieniami. Są przeznaczone do ciepłych wód, ponieważ nie stanowią skutecznej ochrony termicznej. Poza wodą mogą służyć jako zabezpieczenie przed słońcem.

Do tej grupy skafandrów należą również „żyłety”, które zakładają jako dodatkowe ocieplenie pod grubszy skafander.

		
Cienkie skafandry „Body” są jednoczęściowymi „pajacykami”, których głównym zadaniem jest ochrona skóry przed drobnymi skaleczeniami i otarciami. Praktycznie nie stanowią żadnej ochrony termicznej, zatem są przeznaczone wyłącznie do ciepłych wód.	Mokre skafandry występują w ogromnym wyborze krojów i modeli, zwłaszcza jeśli chodzi o modele kilkuczęściowe. W zależności od grubości i kroju, są odpowiednie w zakresie temperatur 10 do 32°C.	„Szorty” to skafander, który na ogół ma krótkie nogawki i rękawy. Zapewnia komfort termiczny w tych częściach ciała, które oprócz głowy najbardziej narażone są na wychłodzenie. Są odpowiednie do wody o temperaturze 27°C lub wyższej.

Materiały

Większość cienkich skafandrów jest wykonana z lycry, tworzywa, z którego produkuje się stroje pływackie i ubrania dla sportowców. Część skafandrów ma wstawkę z neoprenu - najczęściej w okolicach torsu, aby zapewnić niewielką ochronę termiczną. Lycra występuje w pełnej gamie kolorów, więc łatwo taki skafander dopasować do reszty ekwipunku.

Cienkie skafandry mogą być również wykonane z takich materiałów jak Polartec®, podobnego do flaneli, ale z doskonałymi właściwościami izolacyjnymi. Są nieco grubsze niż materiały z lycry, ale cieńsze i lżejsze niż skafandry neoprenowe.

Kroje

Cienkie skafandry są dostępne w dwóch krojach: z zamkiem z przodu lub bez zamka. Niektóre mają krótkie rękawy i nogawki, choć większość jest szyta z długimi, zakrywając nadgarstki i kostki.

Cechy

Większość cienkich skafandrów ma zapiętki (jak w spodniach narciarskich), które utrzymują nogawki we właściwej pozycji, zapobiegając ich podsuwaniu w górę i ułatwiają założenie na nich grubszego skafandra. Mokre skafandry

Mokre skafandry są najpopularniejszym strojem nurkowym, stanowiącym zarówno ochronę termiczną jak i przed zranieniami. Występują w szerokiej gamie modeli i krojów; w zależności od grubości stanowią ochronę termiczną w wodzie od 10°C do 32°C.

Jak działa mokry skafander

Jest kilka mitów na temat tego, dlaczego mokry skafander stanowi ochronę termiczną. Jeden z nich mówi, że cienka warstwa wody znajdująca się pomiędzy skórą a pianką neoprenową stanowi ochronę. To nie jest prawda.

Izolacja pochodzi od neoprenu, z którego wykonany jest skafander. Ma on zamknięte pęcherzyki powietrza, które zwalniają tempo wychładzania organizmu. Pęcherzyki sprężają się pod wpływem ciśnienia, stanowiąc głębiej mniejszą ochronę termiczną.

Mokre skafandry wpuszczają nieco wody blisko skóry, ale zatrzymują ją na miejscu. Ciało ogrzewa wodę, która tak długo, jak długo jest uwięziona wewnątrz skafandra, pozwalając skafandrowi izolować ciepło. Jeśli pianka nie jest dobrze dopasowana, więcej wody miesza się wewnątrz i tracisz ciepło. Właśnie dlatego dobrze dopasowany mokry skafander to podstawa.

Materiały

Tak jak już przeczytałeś, mokre skafandry są wykonane z gumy neoprenowej o zwartej strukturze. Bąble zamknięte w skafandrze nie łączą się ze sobą - w ten sposób woda nie może przelewać się przez piankę tak, jakby to się działo w piance ze zwykłej gąbki. Producenci stosują dwie podstawowe technologie w produkcji neoprenu: pierwszą z nich jest wytwarzanie neoprenu w kontrolowanym procesie chemicznego nadmuchiwanie odpowiedniego rodzaju gumy. W procesie reakcji gaz bąbluje, tworząc zamknięte przestrzenie.

Drugą technologią jest wtłaczanie sprężonego azotu do gumy neoprenowej. Następnie obniża się ciśnienie i azot uwalnia się tworząc duże bąble i neopren o dobrych właściwościach izolacyjnych.

Chociaż technologia produkcji neoprenu jest znana nie od dziś i się nie zmienia, producenci udoskonalają ją, dodając składników zmiękczających i uelastyczniających. W latach 60. i 70. większość skafandrów wyposażona była w zamki, umożliwiające włożenie go. Dziś zamki stosowane są znacznie rzadziej; wysoka elastyczność neoprenu pozwala na łatwe wkładanie i ściąganie pianki.

Wadą nowoczesnych pianek neoprenowych jest również to, że są bardziej pływalne, więc musisz brać więcej ołowiu, a każde nurkowanie niszczy strukturę neoprenu i piankę trzeba raz na jakiś czas wymieniać na nową.

Grubość skafandra. Neopren może mieć różną grubość, od 1,5 do 7 mm. Cieńszy neopren jest odpowiedni do wody powyżej 24°C lub jako dodatkowa warstwa pod grubsze skafandry. Grubsze pianki, najczęściej 6 mm, są produkowane w zestawach dwuczęściowych, zakładanych jedna na drugą, tworząc warstwę 12 mm, odpowiednie do wód od 10°C do 26°C.

Warstwy pokrywające neopren. Większość mokrych pianek ma warstwy materiału pokrywającego neopren z obu stron. Warstwa zewnętrzna pokryta jest zwykle wytrzymałym, elastycznym nylonem lub innym syntetycznym materiałem. Wnętrze jest pokryte nylonem, pluszem, lub specjalnie impregnowanym tytanem lub innym, zatrzymującym ciepło przy skórze; ale głównym zadaniem powłoki wewnątrz skafandra jest ułatwienie użytkownikowi zakładania go i ochronę delikatnego neoprenu przed podarciem i zniszczeniem.

Skafandry bez warstw pokrywających, z „gołego” neoprenu, popularne w latach 60. opatulają ciało bardzo ściśle, dając dobrą ochronę termiczną. Jednak zostały wyparte przez obecne modele, ponieważ ubierać się je bardzo trudno i łatwo się darty.

Całkiem niedawno, mokre skafandry pokryte tylko od zewnątrz wróciły do mody. Warstwa zewnętrzna chroni materiał przed uszkodzeniami a parę kropel odżywki do włosów ułatwia jego zakładanie. „Goły” neopren stanowi bardzo dobrą izolację, ale nie jest dobrym rozwiązaniem dla alergików.

Kroje

Wiele krojów skafandrów pozwala na pełny wybór w zależności od tego, czy będziesz nurkował w zimnej, czy w ciepłej wodzie. Im więcej ciała zakrywasz pianką i im jest grubsza, tym lepszą stanowi ochronę.

Pianki krótkie, jednoczęściowe, stanowią ochronę termiczną torsu, który nie licząc głowy, jest najbardziej narażoną na wychłodzenie częścią ciała. Stanowią optymalną ochronę w wodzie powyżej 27°C. Inne wersje pianek mają wydłużoną część udową lub wbudowany kaptur.

Jednoczęściowe pajacyki są cieplejsze niż zwykłe krótkie pianki, ponieważ zwykle są wykonane z grubszego neoprenu. Są odpowiednie do wód od 24°C do 30°C.

Pianki dwuczęściowe to najbardziej popularny typ skafandra ze względu na użyteczność. W zależności od grubości, używając tylko jednej lub obu części, można go używać w wodach od 10°C do 27°C. Możesz używać tylko górnej „kurtki” do bardzo ciepłej wody 32°C. Najpopularniejszym modelem jest tzw. „long john”, będący połączeniem pajacyka i kurtki. Inną wersją pianki dwuczęściowej jest gruby pajacyk zapinany z tyłu i bezrękawnik z kapturem. Ta wersja dostarcza podwójną ochronę torsu.

Cechy skafandrów

Oprócz wyboru grubości i kroju warto rozważyć dodatki, które zwiększą komfort termiczny, wytrzymałość, wygodę i wygląd skafandra.

Kaptury. Pływając głową do przodu, więc woda łatwo miesza się pod pianką, wpływając od góry przez szyję. Można temu zapobiec kupując pinakę z wszytym na stałe kapturem. Ale w dobrze dopasowanej piance przelewająca się od szyi woda nie powinna stanowić dużego problemu, a możliwość używania kaptura lub nie w zależności od warunków nurkowania może być nieocenioną zaletą.

Uszczelnienia w okolicach nadgarstków i kostek to dodatkowe zabezpieczenie zmniejszające przepływ wody wewnątrz skafandra, czyniąc go podobnym do skafandra suchego. Uszczelnienia są wykonane z nieostioniętego neoprenu i mocno przylegają do skóry. Dzięki temu skafander jest bardzo szczelny i ciepły.

Podkładki pod kręgosłup. Każdy człowiek ma naturalne wgłębienie wzdłuż kręgosłupa. Niektóre skafandry mają wbudowane dodatkowe warstwy neoprenu, które wypełniają wgłębienie zmniejszając przepływ wody wewnątrz pianki. Warstwa ta stanowi również dodatkowe zabezpieczenie pomiędzy plecami a butlą.

Szycie na miarę. Dopasowanie skafandra jest kluczowe dla ochrony termicznej. Dla niektórych osób skafander uszyty na miarę jest najlepszym rozwiązaniem, choć ludzie o typowej budowie ciała bez trudu znajdą dopasowane pianki produkowane seryjnie. Im bardziej budowa ciała odbiega od typowych rozmiarów, tym uszycie na miarę przyniesie więcej korzyści. Inną zaletą szycia na miarę jest możliwość dowolnego wyboru koloru i fasonu.



Najlepszym sposobem na posiadanie idealnie dopasowanego skafandra jest uszycie go na miarę.

Ochraniacze na kolana i łokcie. Typowy nurek zużywa w skafandrze okolice kolan najszybciej. Kolana się najczęściej zginają podczas pływania, czasem kłękamy na dnie lub ocieramy kolanami o skały, zatem te okolice są najwrażliwsze na zniszczenia miejsca w skafandrze. Wiele osób chwali sobie skafandry z ochraniaczami na kolana i łokcie, które są również narażone na szybsze zużywanie. Niektórzy uważają, że ochraniacze wymagają użycia większej siły przy pływaniu, ponieważ usztywniają skafander, ale nie jest to popularny pogląd.

Ochraniacze to w większości duże neoprenowe łaty umieszczone na zewnątrz skafandra. Godne polecenia są opatentowane ochraniacze KevlarTM, które prawdopodobnie przeżyją dłużej niż sam skafander.

Zgięcia kolanowe. Innym pomysłem na zmniejszenie zużywania się skafandra w okolicach kolan jest zastosowanie zgięć kolanowych. Jest to taki sposób przycięcia skafandra, że w pozycji wiszącej nogawki są lekko zgięte. Dzięki temu guma nie naciąga się tak bardzo przy każdym ruchu i nie odkształca się.

Ochraniacze na pośladki. Osoby, które nurkują z kamienistych brzegów i ześlizgują się po ostrych krawędziach lub nurkowie, którzy z powodu np. niepełnosprawności poruszają się na siedząco, doceniają skafandry wyposażone w ochraniacze na pośladki. Są to takie same łaty, jak łokciowe i kolanowe.

Kieszenie. To, co chcemy zabierać ze sobą pod wodę, jak np. tabliczki do notatek, bojkę możemy albo przypiąć do jacketu albo schować do specjalnych kieszeni, które są przymocowane do skafandra: do nogawek lub rękawów. Kieszenie mogą być zamykane lub nie, specjalnie zaprojektowane na nóż lub inne akcesoria.



Ochraniacze na kolana oraz dodatkowe kieszenie na udach i ramionach to opcje, które możesz rozważyć w swoim mokrym skafandrze. Wielu nurków, zwłaszcza nurków technicznych, uważa kieszenie w skafandrze za znacznie wygodniejsze niż kieszenie jacketu.

Niektórzy producenci odradzają przyszywanie kieszeni do skafandrów, ponieważ osłabia to część skafandra, do której przytwierdzona jest kieszeń. Część osób uważa, że zalety kieszeni są mniejsze niż jej wady a

większą popularność kieszenie zdobyły wśród nurków technicznych, którzy unikają przypinania do uprząży zbyt wielu akcesoriów.

Gdy chcesz mieć skafander szyty na miarę

Skafander szyty na miarę jest idealnie dopasowany do twoich wymiarów, ma dokładnie taki krój i kolor jak sobie życzyłeś.

Zamiast obawiać się finansowej ruiny, odpręż się. Skafandry szyte na miarę są tylko trochę droższe od tych produkowanych seryjnie, ponieważ te drugie też potrzebują sporo pracy ręcznej przy wykończeniach. Zatem pierwszą różnicą jest fakt, że skafander na miarę jest skrojony dokładnie według twoich potrzeb i upodobań.

Poza tym może okazać się, że nie zapłacisz więcej chcąc porównać cenę produktu seryjnego z szytym na miarę, wyposażonym w ochraniacze, kieszenie, uszczelnienia, które nie są dostępne w modelach seryjnych. Oprócz tego wybierasz kolor i krój bez dodatkowych opłat.

Gdy zgłosisz się na zdjęcie miary, ubierz się w kostium, który będziesz zakładał pod skafander. To pomoże w lepszym dopasowaniu. Zdejmowanie miary może się wydawać aż nadto szczegółowe, ale pamiętaj, że skafander ubierasz na całe ciało i musi wszędzie leżeć idealnie. Przed odbiorem skafandra zmierz go. Jeśli nie będzie leżał doskonale, sprzedawca zaznaczy miejsca, w których będzie trzeba dokonać poprawek. To może wydłużyć czas oczekiwania na skafander, ale warto poczekać aby zapewnić sobie wygodę i komfort

Naprawa mokrego skafandra

Używanie skafandra może spowodować jego zniszczenie, przecięcie lub podarcie nawet w najbardziej wytrzymałych warstwach. Na szczęście dosyć łatwo dokonać drobnych napraw z użyciem specjalnych preparatów do naprawy, dostępnych w centrach nurkowych. Jeśli chcesz naprawić miejsca, które zostały podarte lub przecięte, specjalny klej wystarczy. Jeśli wymieniasz lub naprawiasz ochraniacz, warto kupić nowy na wymianę. Na przetarcia na szwach przyda się trochę specjalna taśma. Weź pod uwagę, że wymiana ochraniaczy czy przyklejenie taśmy w wytartych miejscach jest bardziej skomplikowane niż sklejenie przeciętego neoprenu i być może łatwiej jest zostawić skafander w wyspecjalizowanym serwisie.



Aby naprawić uszkodzony skafander, zlokalizuj powierzchnie, które zamierzasz skleić, a następnie posmaruj je specjalnym klejem i pozostaw do wyschnięcia. Następnie posmaruj drugi raz obie powierzchnie i przyłóż je razem do siebie i przyciśnij.

Możesz użyć klocków balastowych do obciążenia sklepanych miejsc - klej wysycha co najmniej 12 godzin.

Klej jest przeznaczony tylko do neoprenowych części, nie do powłok zewnętrznych skafandra. Zawsze postępuj zgodnie z instrukcją producenta kleju, ale generalna zasada jest taka, że po nałożeniu pierwszej warstwy kleju na obie powierzchnie odczekaj chwilę, następnie nałóż drugą warstwę, poczekaj aż zrobi się klejąca i przyłóż sklepane powierzchnie, przytrzymując je aż wyschną. Skafander może być gotowy do użycia w ciągu godziny, ale dla lepszych efektów poczekaj co najmniej jeden dzień. Jeśli skleisz go dobrze, neopren będzie równie mocny jak przed zniszczeniem.

Innych klejów używa się do przytwierdzenia ochraniaczy. Preparaty te wnikają w strukturę klejonych powierzchni, tworząc dodatkową zewnętrzną ochronę. Z ich pomocą można również przykleić łatę w miejscu przecięcia. Od strony wewnętrznej klej do przyklejania łat i ochraniaczy zmniejsza elastyczność skafandra w reperowanym miejscu.

Przed rozpoczęciem przyklejania przygotuj wszystko, co może być Ci potrzebne przy pracy. Przytnij łatę do żądanej wielkości, przyłóż do skafandra a jeśli trzeba, zaznacz pisakiem dokładne miejsce położeniałaty. Następnie oklej miejsce dookoła przyszłejłaty taśmą maskującą, chroniącą pozostałą część skafandra, aby klej nie zabrudził niepotrzebnie pianki, gdyż będzie trudny do usunięcia. Możesz nakładać klej na łatę albo na skafander - jak wygodniej. Klej jest gęsty, więc schnie wolno; użyj ciężarków (lekkich) do przytrzymania dwóch powierzchni razem podczas schnięcia. Kleje zwykle potrzebują około 12 godzin do całkowitego

związania (ale zapoznaj się z instrukcją producenta). Jeśli chcesz przyspieszyć ten proces, można dodać do kleju specjalną substancję, która przyspieszy jego wysychanie, ale wtedy musisz pracować szybciej, bo nie ma czasu na poprawki. Gdy naprawiasz większą powierzchnię, lepiej nie używać przyspieszacza, ponieważ gdy klej zaczyna wysychać, nie da się już przesunąć sklejanych powierzchni (bez przyspieszacza dzieje się tak po 3-4 godzinach od sklejenia). Po zakończeniu klejenia, delikatnie usuń taśmę maskującą. Kilka dodatkowych wskazówek: wszystkie kleje wydzielają trujące opary, więc używaj ich w przewietrzonych pomieszczeniach. Jeśli to możliwe, poproś w swoim centrum o skrawki neoprenu, na których będziesz mógł przećwiczyć klejenie, zanim zrobisz to ze swoim ulubionym skafandrem.

Nie wyrzucaj swojego starego mokrego skafandra

Jeśli będziesz o niego właściwie dbał, mokry skafander posłuży przez kilka lat. Po jakimś czasie nie będzie już on tak dobrze izolował, kolor wyblaknie. To czas, aby kupić nowy. Nie wyrzucaj jednak starego, ponieważ, gdy będzie taka potrzeba, będziesz go ubierał na nurkowania, które bardzo niszczą skafandry - jak nurkowania basenowe lub gdy będzie on wystawiony na działanie słońca. Stary skafander idzie do kosza, gdy twój nowy zamieni się w stary i kupisz jeszcze nowszy. Jeśli wprowadzisz taki cykl wymiany skafandrow, okaże się, że przedłużasz żywotność każdego z nich o 2-3 lata

Suche skafandry

Mimo, że wydaje się, że suchy skafander jest młodszym pomysłem niż skafander mokry, prawda jest inna. Pierwsze modele suchych skafandrow pojawiły się w latach 40. ubiegłego stulecia i zrobione były w całości z lateksu i były bardzo trudne w ubieraniu i w uszczelnieniu. Nurkowie z tamtych czasów nie mieli dostępu do dzisiejszych technologii. Pierwsze suche skafandry przeciekały, a nawet jeśli nie, nie były tak ciepłe. Dlatego pojawienie się mokrego skafandra było tak przełomowe w rozwoju nurkowania. Na początku lat 70. pomysł suchego skafandra odrodził się i został on ponownie zaprojektowany. Pierwsze suche skafandry wykonane były z neoprenu, materiału używanego w produkcji do dziś. W latach 80. pojawił się nowy materiał: superlekki i cienki skafander nylonowy, który zapoczątkował erę suchych skafandrow.

Jak działa suchy skafander



Wczesne modele w latach 40. ubiegłego stulecia wykonane były w całości z gumy i nie miały zamka, co utrudniało ich zakładanie i zdejmowanie.



Współczesne suche skafandry różnią się modelami, rodzajem materiałów ale mają wspólną cechę - wprowadzają przestrzeń wypełnioną powietrzem, która izoluje ciało od wody.



Jak sama nazwa mówi, w suchym skafandrze pozostajesz suchy. Powietrze przewodzi ciepło wolniej niż woda, więc otoczenie ciała przestrzenią powietrzną (lub argonową - o tym nieco później) daje bardzo dobrą izolację przed utratą ciepła. Dobrym przykładem jest porównanie komfortu termicznego jaki daje suchy i mokry skafander o tej samej grubości. Oba mają te same właściwości izolujące z punktu widzenia właściwości neoprenu, ale suchy skafander będzie chronił lepiej, ponieważ woda nie styka się ze skórą.

Suchy skafander jest wypełniony powietrzem lub argonem, który zmienia objętość wraz ze zmianą głębokości, dlatego ma system doprowadzania i odprowadzania powietrza, tak jak jacket: zawór dopustowy utrzymuje stałą ilość powietrza podczas zanurzania, a spustowy do usuwania powietrza podczas wynurzenia. To pozwala kontrolować pływalność i zapobiega ściśnięciu skafandra. Obsługi skafandra nauczysz się podczas kursu PADI Nurkowanie w Suchych Skafandrach.

Materiały

Są dwa podstawowe typy suchych skafandrów, podzielone według materiałów, z których się je wykonuje: neoprenowe i warstwowe. Główną różnicą pomiędzy nimi jest to, że skafander neoprenowy zapewnia izolację a warstwowe tylko utrzymuje suche ciało nurka. W każdym przypadku musisz używać ubrania, które wkładasz pod suchy skafander.

		
Skafandry neoprenowe wykonane są z neoprenu.	Skafandry warstwowe wykonane są z trilaminatu, kordury, gumy wulkanizowanej.	Skafandry ze sprasowanego neoprenu są bardzo wytrzymałe, co czyni je bardzo popularnymi wśród nurków.

Neoprenowy suchy skafander jest wykonany z tego samego neoprenu, z którego robi się mokre skafandy, ma jednak uszczelnienia dookoła nadgarstków i kostek, co zapobiega dostawaniu się wody do jego wnętrza. Stanowi on sam w sobie izolację, dlatego w cieplejszej wodzie być może nie będziesz potrzebował dodatkowego wewnętrznego ubrania. Skafander ten jest bardziej pływalny od warstwowego; w wypadku zalania go pod wodą nie stajesz się ujemnie pływalny. Minusem skafandra neoprenowego jest jego ściśliwość pod wpływem ciśnienia, a co za tym idzie, malejące właściwości izolujące wraz ze wzrostem głębokości. Neoprenowy „suchacz” jest też trudny do składania i długo schnie. Ma jednak niewątpliwą zaletę najcieplejszego suchego skafandra, przeznaczonego do nurkowania w bardzo zimnych wodach i nurkowaniu podłodowym.

Skafander warstwowy jest relatywnie ciekim materiałem, który skutecznie chroni nurka przed zamoczeniem. Izolację stanowi ubranie zakładane pod skafander - stopień izolacji kontroluje się poprzez dobór ilości i rodzaju ubrań. Zaletą warstwowych jest ich niewielka waga i rozmiary po złożeniu oraz fakt, że nie nasiąkają wodą i schną bardzo szybko. Skafandry te nie ulegają kompresji na głębokości, więc ich właściwości izolacyjne nie zmieniają się pod wpływem ciśnienia. Główną wadą skafandra warstwowego jest jego brak elastyczności, więc trzeba więcej siły aby się w nim poruszać. Są minimalnie dodatnio pływalne po zalaniu. Różne rodzaje warstw użytych do produkcji skafandrów decydują o ich cenie: do tego typu należą zarówno najtańsze jak i najdroższe modele. *Kordurowy* jest stosunkowo tani i to rozsądny wybór dla osób poszukujących tańszych rozwiązań. *Wulkanizowana guma* jest ciężka, ale bardzo odporna na zniszczenia, więc jest używana zarówno przez nurków komercyjnych jak i rekreacyjnych. *Trilaminat* jest lekki i mocny, popularny wśród nurków technicznych.

Skompresowany neopren. Skafandry wykonane ze skompresowanego neoprenu należą również do warstwowych, ale materiał ten różni się od innych tego typu. Skompresowany neopren to neopren poddany fabrycznie bardzo wysokiemu ciśnieniu, w którym zniszczono bąble powietrza. Materiał ten jest wytrzymały, pływalny ale nie stanowi izolacji, zatem potrzebne są dodatkowe ubrania pod skafander. Zaletą skompresowanego neoprenu jest jego rozciągliwość, co czyni go bardziej komfortowym od

kordurowych czy z trilaminatu, ale jest cięższy i schnie powoli. Wytrzymałość skafandra czyni go jednym z ulubionych suchych skafandrów, używanych obecnie przez nurków rekreacyjnych i technicznych.

Tworzywa mieszane. Mając różne właściwości różnych materiałów skłoniło niektórych producentów do wytwarzania skafandrów z połączenia kilku różnych materiałów. Jednym z pomysłów jest na przykład skafander wykonany z trilaminatu u góry i kompresowego neoprenu u dołu. Dzięki takiemu połączeniu skafander jest lżejszy i szybciej schnie niż gdyby był wykonany w całości ze skompresowanego neoprenu a daje wytrzymałość i elastyczność niedostępną dla skafandra wykonanego w całości z trilaminatu.

Kroje

Suchy skafander jest przeznaczony do nurkowania w zimnej wodzie, zatem składa się z jednej części, zakrywającej całe ciało, włącznie z nogami i rękami. Kroje różnią się od siebie pozycją zamka, która wpływa na sposób zakładania skafandra.



Zamek z tyłu wzdłuż ramion lub od ramienia do krocza, to najpopularniejsze sposoby zapinania suchego skafandra.

Wzdłuż ramion jest najpopularniejszym sposobem mocowania zamka. Zaletą jest jego prostota, łatwość zakładania i minimalizuje długość zamka (zamek jest najbardziej wrażliwą na zniszczenia częścią suchego skafandra). Wadą tego rozwiązania jest fakt, że jeśli nie jesteś człowiekiem - gumą, potrzebujesz pomocy drugiej osoby przy zapinaniu i odpinaniu zamka.

Od ramienia do biodra - początkowo używany w skafandrach kosmonautów, umożliwia założenie i zdjęcie skafandra bez pomocy.

Inne pomysły na umiejscowienie zamka to zamek od torsu do połowy pleców przez krocze oraz zamek w kształcie odwróconego „U” wokół szyi, zaczynającego się i kończącego z przodu.

Cechy

Tak jak w przypadku mokrych skafandrów, suche posiadają cechy, na które warto zwrócić uwagę podczas kupowania:

Dopasowanie.

Suchy skafander nie musi tak idealnie leżeć, jak skafander morky, więc szansa, że znajdziesz odpowiedni wśród produkowanych seryjnie jest bardzo duża, choć niewykluczone, że będziesz potrzebował skafandra szytego na miarę, jeśli twoje wymiary odbiegają od typowych. Dopasowanie nie jest bez znaczenia, ponieważ skafander musi dawać wystarczająco dużo swobody. Materiały takie jak kordura i trilaminat są nieelastyczne, co też trzeba wziąć pod uwagę. Nie kupuj jednak zbyt dużego, bo będzie w nim bardzo trudno pływać. Najlepiej przymierzać suchy skafander w ubraniu, w którym będziesz nurkował.

Modyfikacje.

Co najmniej jeden producent oferuje suche skafandry z przedłużoną częścią w okolicach torsu, która tworzy fałdę, utrzymując część kroczną na szelkach. Ten pomysł daje więcej swobody i łatwość ruchów pod wodą.

Ochrona zamka.

Zamki w suchych skafandrach są takie same bez względu na model. Mają specjalne, wodoodporne pokrycie, podobne jak w skafandrach kosmonautów. Zamki w suchych skafandrach działają na tej samej zasadzie, jak zwykłe zamki błyskawiczne i tak samo wrażliwe na zniszczenia. Niektóre zamki w suchych skafandrach mają klapy, które zamykają się nad zamkiem, stanowiąc dodatkową ochronę. Inne mają dodatkowy, drugi zamek, który zapina się nad „suchym” zamkiem.

Kryzy.

Suche skafandry miewają dwa typy kryz nadgarstkowych i nogawkowych. Skafandry neoprenowe mają neoprenowe, a warstwowe mają zwykle lateksowe kryzy. Można używać obu typów, w zależności od

osobistych preferencji. Zwolennicy kryz lateksowych uważają je za bardziej komfortowe i miękkie oraz skuteczniejsze w uszczelnianiu. Są za to mniej wytrzymałe od lateksowych, choć i to się zmienia, lateks staje się coraz bardziej wytrzymały. Jest też łatwy w wymianie, ale wadą jest to, że nie da się go zreperować - raz uszkodzoną kryzę trzeba wymienić. Neoprenowe są trudniejsze do wymiany niż lateksowe, ale mają zaletę, ponieważ da się je skleić w razie uszkodzenia.



Kryzy muszą mieć odpowiedni rozmiar, aby dopasowały się do nadgarstków i kostek. Lateksowe są w jednym rozmiarze, kupowane w kształcie stożka, który docina się w odpowiednim miejscu. Kryzy neoprenowe kupuje się w określonym rozmiarze i dopasowuje (o tym, jak dopasować uszczelkę, dowiesz się na kursie PADI Nurkowanie w Suchych Skafandrach).

Wadą nurkowania w suchych skafandrach jest to, że jeśli uszkodzisz kryzę przed wejściem do wody, nici z nurkowania. Wymiana trwa kilka godzin. Dziś można kupić skafandry z szybkowymienialnymi kryzami, które rozwiązują problem kilkugodzinnej wymiany uszkodzonej części.

Jeśli nie używasz suchych rękawic, pamiętaj, że delikatne przesiąkanie wody przez kryzę jest normalne. Gdy zaciskasz pięść, obwód nadgarstka zmienia się i tworzą się szczelinki, przez które przecieka woda. Jest to jednak prawie niezauważalne, pod warunkiem, że kryzy są dobrze dopasowane.

Suche buty.

Większość suchych skafandrów ma wbudowane buty. Skafandry warstwowe mają buty z twardego lateksu z grubymi podeszwami. W niektórych modelach buty mają dodatkowe paski, które zapinasz wokół kostki aby zminimalizować ilość powietrza jaka dostaje się do butów podczas nurkowania. W tańszych modelach skafandrów warstwowych, zamiast butów są wbudowane skarpetki. Zakłada się na nie tradycyjne buty nurkowe. Pomysł sprawdza się, ale nurkowie wolą wersję z butami. Są już na rynku modele, które mają wbudowaną część na stopę ze skompresowanego neoprenu, pod który nurek zakłada zwykłe skarpetki a na nie specjalne zewnętrzne buty. Jest to rozwiązanie cenione ze względu na wygodę i fakt, że buty nie „nadmuchują się” powietrzem podczas nurkowania.



Bez względu na rodzaj butów pamiętaj, że „suche” buty są obszerniejsze i większe niż buty „mokre”, więc prawdopodobnie będziesz potrzebował większych pletw, specjalnie do skafandra.

Kaptur.

Większość suchych skafandrów ma w komplecie mokry kaptur, zakładany osobno. Kilka modeli posiada wbudowany suchy kaptur, w którym jest cieplej ale utrudnia on zakładanie skafandra i układanie kryzy wokół szyi. Jeśli nurkujesz w bardzo zimnej wodzie, ten trud może się opłacić.

Rękawice.

Tak jak w przypadku kapturów, najpopularniejszym rozwiązaniem dotyczącym rękawic jest używanie mokrych, neoprenowych, oddzielnie od skafandra. Można wyposażać się w tzw. suche rękawice, które zapewniają lepszy komfort termiczny, ale nurek jest w nich bardzo niezręczny. Nowe modele posiadają wymienne kryzy, które można nosić albo do mokrych, albo suchych rękawic, w zależności od potrzeby.

Ocieplacze.

Wybór właściwego ocieplacza jest równie ważne, jak wybór właściwego suchego skafandra. Ten pierwszy zapewnia cały, lub prawie cały komfort termiczny podczas nurkowania. Ocieplacz z miękkiego polipropylenu sprawdza się, gdy nurkujesz w wodach, które nie są bardzo zimne lub jako spodnia warstwa pod grubszy ocieplacz; może też być wystarczający jeśli używasz suchego skafandra z neoprenu. Inną formą ocieplacza jest cienki, syntetyczny plusz, który utrzymuje wilgoć i pot z dala od ciała. To ważne, ponieważ wszystko, co utrzymuje wilgoć, wychładza organizm. Dlatego bawełna i włókna naturalne nie są zalecane jako ocieplacze pod suchy skafander. Jednymi z najskuteczniejszych ocieplaczy są polarowe - nie tylko ciepłe, ale relatywnie cienkie i dobrze izolują bez dużego zwiększania dodatkowej pływalności i nie tracą właściwości izolacyjnych nawet wtedy, gdy są wilgotne.

Zawór dodawczy i spustowy -

Suchy skafander jest podłączony z pierwszym stopniem węzłem średniego ciśnienia. Powietrze z butli dodaje się poprzez zawór dodawczy (umiejscowiony na ogół w środku klatki piersiowej) a wypuszcza przez zawór spustowy na ramieniu. Niektóre modele mają też dodatkowy zawór spustowy na przedramieniu, dla większej wygody. Wąż od inflatora łączy się z zaworem dodawczym za pomocą szybkozłączki. Najnowszy model zaworu można podłączyć z dowolnej strony, pod lub nad ramieniem. Zawór ustawia się na określoną różnicę ciśnień; działa on jak zawór nadciśnieniowy w jackecie, a ilość powietrza wypuszczanego przez zawór reguluje się poprzez odkręcenie/zakręcenie zaworu. Możesz ustawić otwarcie zaworu raz na całe nurkowanie, albo zmieniać go podczas pływnięcia. Ważną cechą nowoczesnych suchych skafandrów jest możliwość regulacji rozmiaru zaworu spustowego oraz regulowania ilości dodawanego powietrza. To ważne, ponieważ zablokowany inflator może spowodować zbyt szybkie wynurzenie, a może zająć chwilę, zanim ręka w rękawicze wypnie inflator z zaworu. Mając to na uwadze, niektórzy producenci tak zaprojektowali zawory, że spustowe opróżniają skafander szybciej, niż dodawczy jest w stanie go napęczyć. To pozwala uniknąć awaryjnego wynurzenia poprzez pełne otwarcie zaworu spustowego dając czas na rozłączenie inflatora.

Używanie argonu.



W rozwiązaniach, gdzie stosuje się argon, nurek mocuje dodatkową, małą butlę, specjalnie oznaczoną i umieszczoną zaworem w dół, po lewej stronie. Butla nie ma drugiego stopnia, więc nie da się przez pomyłkę z niej oddychać

Zamiast wypełniać suchy skafander powietrzem, możesz rozważyć kupno butli z argonem, który jest cięższy od powietrza i lepiej stanowi lepszą izolację termiczną. Mimo wątpliwości na ten temat, argon stał się popularną i lubianą przez nurków, zwłaszcza technicznych, metodą wypełniania suchego skafandra. System składa się z małej butli, specjalnie oznaczonej i ze specjalnym zaworem, przypiętej uprzężą do butli lub jacketu. Nie ma możliwości oddychania z butli z argonem, więc nie można się pomylić pod wodą.

Rozwiązania przynoszące ulgę.

Jednym z nich jest pomysł, aby umożliwić nurkom sikanie do suchego skafandra. Gdy nie masz innego wyjścia a masz na sobie such skafander, masz problem. Nawet poza wodą, zdjęcie skafandra jest czasochłonne. To poważna sprawa w przypadku nurków technicznych, którzy spędzają pod wodą kilka godzin. Istnieją trzy różne rozwiązania, z których dwa pierwsze przeznaczone są tylko dla mężczyzn. Pierwszy to zwykły zamek w okolicach krocza. Nie ma zastosowania pod wodą, ale daje szybką ulgę na powierzchni. Drugi to zbiornik, który jest zakładany na zasadzie cewnika lub zaworu jednostronnego. Trzecią metodą, jedyną stosowną dla kobiet, jest zakładanie pieluch jednorazowych dla dorosłych.

Kiedy nurkować w suchym, A kiedy w mokrym skafandrze.

Podstawową przyczyną, dla której wybieramy rodzaj skafandra jest izolacja termiczna, jaką zapewnia. Ponieważ mokry skafander dobrze chroni przed zimnem, możesz pomyśleć, że nie ma po co używać

suchego. Taki skafander jest jednak lepszym rozwiązaniem w chłodnej wodzie, w której mógłbyś nurkować w skafandrze mokrym.

9. Suchy skafander nie spręża się wraz z głębokością. Im głębiej planujesz nurkowanie, tym ta cecha

- jest ważniejsza, zwłaszcza na głębokościach poniżej 18 metrów.
10. Mimo, że mógłbyś zanurkować raz czy dwa razy w zimnej wodzie w mokrym skafandrze, suchy pozwoli ci zostać pod wodą dłużej lub zrobić więcej nurkowań mając lepszy komfort techniczny. Posiadanie suchego skafandra nie decyduje czy będziesz nurkować, ale jak długo zostaniesz pod wodą.
 11. Gdy zdejmiesz suchy skafander, jesteś suchy (lub lekko wilgotny) i masz na sobie miły, miękki ocieplacz. Mokry skafander może być doskonały pod wodą, ale po wyjściu w chłodny dzień zmarzniesz.
 12. Gdy planujesz drugie nurkowanie w tym samym dniu, założenie suchego skafandra jest tak samo komfortowe jak przed pierwszym nurkowaniem. W porównaniu z zakładaniem mokrego skafandra, komfort jest nieporównywalny.

Oczywiście, suche skafandry w porównaniu do skafandrów mokrych, też mają wady i w niektórych sytuacjach lepiej wybrać te drugie:

13. Suche skafandry wymagają więcej troski niż mokre. Jeśli uważasz, że zabiegi związane z konserwacją (mycie, suszenie, woskowanie zamka itp) mogą być dla ciebie zbyt czasochłonne, a warunki w których nurkujesz pozwolą na to, wybierz łatwy w pielęgnacji skafander mokry.
14. Suche skafandry mają większą objętość niż mokre i pływanie w nich może być bardziej męczące. Jeśli planujesz nurkowanie z dystansem do przeptynięcia po powierzchni lub wiesz, że ważna jest prędkość płynięcia, wybierz mokry skafander.
15. Chodząc suchy skafander jest wspaniały, gdy w zimny dzień wychodzisz z wody, może nie być tak przyjemnie, gdy się w niego ubierasz w gorący dzień. Opóźniasz to zostawiając założenie skafandra na ostatnią chwilę przed wejściem do wody, ale i tak będzie ci bardziej gorąco, niż gdybyś zakładał skafander mokry.
16. Jeśli uszkodzisz mokry skafander pod wodą, nie wpłynie to znacząco na komfort termiczny. Jeśli to samo stanie się ze skafandrem suchym, to zaburza całą izolację. Jest to spory problem dla nurków technicznych, którzy, ze względu na dekompresję, muszą zostać pod wodą określony czas.

Jeśli rzadko nurkujesz w wodzie poniżej 21°C i nie planujesz bardzo długich i głębokich nurkowań, prawdopodobnie nie będziesz potrzebował suchego skafandra. Z drugiej strony jeśli nie nurkujesz w wodzie cieplejszej niż 15°C, być może zawsze będziesz nurkował w suchym. Częste nurkowanie w wodzie o temperaturze pomiędzy 21°C a 13°C, to idealne warunki na suchy skafander.

Ochrona i przechowywanie suchego skafandra

Dobry suchy skafander będzie jednym z najważniejszych inwestycji w sprzęt nurkowy, zatem powinieneś o niego właściwie dbać, aby wydłużyć jego żywotność. Dbanie o suchy skafander wymaga więcej zachodu niż dbanie o mokry, ale nie dużo więcej. Po nurkowaniu optucz go w słodkiej wodzie. Zapnij zamek, aby nie dopuścić do zawilgocenia, gdyby skafander przeciekał lub woda skraplała się wewnątrz. W takim przypadku trzeba umyć go i wysuszyć również od wewnątrz. Płucząc skafander wewnątrz, umyj zawory dodawcze i spustowe. Po wypłukaniu, powieś skafander w zacienionym, przewiewnym miejscu do wysuszenia. Jeśli suszysz wewnątrz, delikatnie odwróć suchego na lewą stronę, uważając na zamek. Szczególną troską otocz zamek. Każde zanieczyszczenie może go uszkodzić. Używaj miękkiej szczoteczki i wody z mydłem do mycia zamka. Jeśli zamek jest bardzo brudny tuż po nurkowaniu, poproś partnera o oczyszczenie go jeszcze zanim go rozepniesz.

Gdy dokładnie wysuszysz skafander, złóż go delikatnie w sposób opisane przez producenta. Niektórzy zalecają przechowywanie skafandra z zapiętym zamkiem a inni z rozpiętym. Możesz nałożyć preparat lateksowy, który będzie stanowił powłokę ochronną.

Zalany suchy skafander

Zalanie suchego skafandra jest przyczyną problemów, ale prawidłowe planowanie i trening sprawi, że w takiej sytuacji będziesz wiedział co robić. Dwa podstawowe problemy to utrata pływalności i ochrony termicznej.

Pierwszy z nich można stosunkowo łatwo rozwiązać, ponieważ masz jacket. Jeśli kontrolujesz pływalność używając skafandra i jacketu, szybko ustalisz pływalność po zalaniu skafandra i zakończysz bezpiecznie nurkowanie. Całkowicie zalany suchy spowoduje ujemną pływalność, więc będziesz być może musiał pozbyć się balastu. Dlatego zawsze miej balast z systemem szybko odpinającym się. (więcej na ten temat w rozdziale o balastach)

Drugi problem, to utrata izolacji od zimna. W większości sytuacji rozwiązaniem jest po prostu zakończenie nurkowania, zdjęcie mokrego ubrania i ogrzanie. Gdy musisz zostać pod wodą dłużej z powodu dekompresji, na wszelki wypadek stosuj jedynie ocieplacze polarowe, które utrzymują izolację nawet gdy są mokre (choć mniejszą, niż gdy są suche). Nie ma sposobu, abyś było Ci ciepło i będziesz się szybko wychładzał. Staraj się tak zaplanować nurkowanie, żebyś mógł stosunkowo szybko opuścić wodę w razie uszkodzenia skafandra.

Po nurkowaniu wypłucz skafander od zewnątrz i od wewnątrz i oddaj do serwisu, zanim następny raz z nim zanurkujesz.

Zalecenia producenta mogą sugerować zabezpieczenie kryz talkiem. Nie używaj silikonu i innych silikonopodobnych produktów, ponieważ będą trudne do usunięcia ze skafandra. Nawoskuj zamek. Nie używaj silikonu w spray'u. Przechowuj skafander w plastikowej torbie (aby zabezpieczyć produkt przed działaniem ozonu) w chłodnym, suchym pomieszczeniu. Szafa w mieszkaniu jest lepszym miejscem niż piwnica czy garaż. Wypierz ocieplacz zgodnie z zaleceniami producenta. Niektórych tkanin nie można prać w detergentach. Po wysuszeniu przechowuj ocieplacz na wieszaku.

Okresowo przeglądaj i serwisuj skafander w wyspecjalizowanym punkcie, to przedłuży jego żywotność.

Dodatki do skafandrów

Twój skafander potrzebuje kilku dodatków, służących do ochrony głowy, rąk i stóp. Mimo, że być może nie zawsze będą Ci potrzebne, stanowią standardowy element ekwipunku.



Kaptury.

Bez izolacji termicznej, 75% ciepła uchodzi przez głowę. W bardzo ciepłej wodzie nie ma to dużego znaczenia, ale tam, gdzie woda spada poniżej 21 st. C, kaptur jest niezbędny. Kaptury mają różne kroje, grubości i długości. Większość kaputów ma kołnierz, który wkłada się pod skafander, ograniczając tym samym dopływ wody w okolice ramion. Można też wkładać bezrękawnik z kaputem pod skafander, dla lepszej ochrony głowy i szyi przez wychłodzeniem.

Kaputury mają różne grubości, przeznaczone do różnych warunków. Zwykle kaput ma taką samą lub nieco cieńszą grubość jak skafander. Kaptury przeznaczone do zimnych wód mają dodatkowe kryzy z neoprenu, które stanowią dodatkową ochronę. Są one często mocno zabudowane, zakrywając dużą część twarzy - wokół maski i wokół ust są wycięte otwory. Część modeli wyposażono w zamki ułatwiające zakładanie lub zdejmowanie kaptura lub niewielkie otworki na czubku uwalniające

powietrze z wnętrza kaptura.

Rękawice

Budowa dłoni nie sprzyja zatrzymywaniu ciepła. Mają one cienką skórę i są silnie ukrwione. Fizjologiczną reakcją na wychłodzenie dłoni jest obniżenie ciśnienia krwi, aby spowolnić utratę ciepła. Dlatego gdy dłonie drętwieją, tracą zręczność i siłę, co utrudnia wykonywanie czynności pod wodą.



Oprócz zimna, szkodliwa dla rąk jest wilgoć, dlatego w każdych warunkach rękawiczki są przydatne, również jako ochrona przed przypadkowymi zranieniami i otarciami.

Cieniutkie rękawiczki

stanowią wystarczającą ochronę wodzie o temperaturze powyżej 21°C. W wielu kolorach i wzorach stanowią dobre uzupełnienie ekwipunku. Wielu instruktorów nosi jaskrawo pomarańczowe rękawiczki aby być łatwo zauważalni pod wodą.

Rękawiczki neoprenowe,

odpowiednie do warunków poniżej 21°C, stanowią ochronę termiczną. Pięciopalcowe, dla większej swobody ruchów. Odmianą rękawiczek są modele z grubszy neoprenem zewnątrz i cieńszym od wewnątrz dłoni. Większość rękawiczek jest wystarczająco szeroka i długa aby łatwo nałożyć je na kryzy od skafandra. Niektóre mają dodatkowe rzepowe zapięcia, aby lepiej dopasować rękawiczkę.

Rękawiczki z jednym lub dwoma palcami

są zaprojektowane do bardzo zimnej wody, gdy nie używasz suchych rękawic. Są modele z osobnym palcem na kciuka lub trzypalcowe, z oddzielnym kciukiem i wskazującym. Wszystkie te mają na celu spowolnienie wychładzania dłoni - jeśli palce są razem, grzeją się nawzajem. Trzypalcowe są nieco wygodniejsze od dwupalcowych, ale sprawność dłoni w takich rękawicach nie jest duża. Trudność mogą sprawić takie operacje jak podłączenie i rozłączenie inflatora a nawet oczyszczenie maski. Przed pierwszym użyciem, jeśli jest taka możliwość, przeciwicz nurkowanie w nich w cieplejszych wodach. Rękawice tego typu są odpowiednie do nurkowania w wodzie poniżej 10°C.

Oto kilka porad, które powstały w wyniku lat praktyki w używaniu rękawic:

1. Pamiętaj o środowisku naturalnym - ochrona dla rąk nie oznacza ochrony dla raf. W niektórych miejscach na świecie nurkowie nie mogą zakładać rękawic, aby nie mieć pokusy dotykania wszystkiego pod wodą. Mamy tendencję do częstego dotykania koralu i życia morskiego, gdy mamy ochronę na rękach. Pamiętaj jednak, że rękawiczki nie ochronią przed wszystkim - nie są zbroją, dlatego zawsze staraj się unikać dotykania czegokolwiek pod wodą.
2. Obetnij niektóre końcówki palców w rękawiczkach, jeśli uważasz, że przez nie tracisz zręczność pod wodą. Większość izolacyjnych właściwości pozostanie, a będzie Ci wygodniej. Dodatkowym plusem jest fakt, że powstrzyma Cię to do dotykania czegokolwiek pod wodą.
3. Jeśli planujesz obcięcie końcówek palców w rękawiczkach a nie chcesz niszczyć swoich nowych, nie rób tego. Obetnij końcówki w starych, a nowe zostaw do nurkowania w chłodniejszych wodach.
4. Dwie pary na długie nurkowanie. Nurkowie techniczni, którzy ze względu na długie nurkowanie są bardziej narażeni na wychłodzenie, biorą często dwie pary rękawic. Jedną bez palców i jedną z palcami, zakładając pierwszą parę na drugą. Gdy wykonują czynności wymagające sprawności - zdejmują zewnętrzną parę, a gdy skończą i bardziej istotna jest ochrona termiczna (na przykład podczas przystanku dekompresyjnego), zakładają drugą parę na pierwszą.



Buty nurkowe

Buty nurkowe nosi się dla ochrony termicznej, dla ochrony stóp gdy nurek idzie ze sprzętem przed i po nurkowaniu oraz aby dobrze dopasować płetwy paskowe. Tak jak już przeczytałeś wyżej, wiele suchych skafandrów ma wbudowane buty lub lateksowe skarpetki, na które zakłada się buty od zewnątrz. Gdy pływasz w mokrym skafandrze, zakładasz osobno buty do płetw paskowych. Butów nie potrzebujesz tylko wtedy, gdy nosisz płetwy kaloszowe.

Buty do mokrych skafandrów mają wiele różnych krojów. Lepsze jakościowo są takie, które mają grubsze, bardziej wytrzymałe podeszwy. Większość butów ma zamek z boku, aby ułatwić ich wkładanie i zdejmowanie. Przymierzając buty, kieruj się tymi samymi zasadami jak przy kupowaniu „zwykłych” butów, buty nurkowe są produkowane w standardowych rozmiarach. Buty powinny leżeć dobrze, obejmować stopę nie ściskając jej. Mierząc buty nurkowe weź również swoje płetwy, aby upewnić się, że razem dobrze leżą.

Wybór skafandra - podsumowanie

Komfort i ciepło pod wodą jest ważne zarówno ze względów bezpieczeństwa jak i radości z nurkowania. Bardziej prawdopodobne, że pod wodą zmarzniesz niż że się zgrzejesz na powierzchni. Wybierając rodzaj skafandra weź pod uwagę:

- Temperaturę wody - to pierwszy czynnik, najważniejszy, ale nie jedyny;
- Głębokość nurkowań - zwykle głębsze miejsca są zimniejsze; poza tym skafander neoprenowy ulega kompresji. Im głębiej planujesz nurkować, tym większej potrzebujesz ochrony przed zimnem.
- Długość nurkowań - jeśli planujesz godzinne nurkowania będziesz chciał cieplejszy skafander niż gdybyś planował być pod wodą krócej.
- Liczba nurkowań - planując pojedyncze nurkowanie nie wychłodziś się tak, jakbyś robił nurkowania powtórzeniowe.
- Aktywność pod wodą - im więcej chcesz pływać i ruszać się pod wodą, tym mniej ochrony termicznej będziesz potrzebował. Jeśli planujesz spędzać w jednym miejscu sporo czasu, ubierz się cieplej.
- Upał na powierzchni - czasem będziesz nurkował w zimnej wodzie, gdy na zewnątrz będzie bardzo gorąco. Chcąc uniknąć przegrzania przed wejściem do wody, będziesz chciał włożyć na siebie mniej, kosztem komfortu podczas nurkowania. To może być dobry pomysł, jeśli masz do przejścia długi dystans lub będziesz niósł ciężki sprzęt. Najlepiej jednak tak wszystko zaplanować, żeby móc założyć skafander w ostatniej chwili.
- Zimno na powierzchni - czasem, choć bardzo rzadko, będziesz w sytuacji, gdy będziesz nurkował w ciepłej wodzie, a na powierzchni będzie bardzo zimno i nie będziesz chciał zdejmować ochronnych ubrań zbyt szybko. W tej sytuacji lepiej jest nurkować w suchym skafandrze, aby nie marznąć w mokrej pianie po nurkowaniu.
- Twoje osobiste preferencje - jesteś przyzwyczajony do warunków w jakich najczęściej nurkujesz. Jeśli jest to woda o temperaturze około 10°C a pojedziesz na nurkowanie w 26°C, poczujesz się jak w wannie. Tą samą temperaturę odczujesz jako chłodną, gdy na co dzień nurkujesz w tropikach. Poza tym uwarunkowania fizjologiczne wpływają na szybkość, z jaką generujesz i tracisz ciepło: ilość i struktura tkanki tłuszczowej, stosunek wagi to wzrostu, szybkość przemiany materii. Wraz z doświadczeniem nurkowym będziesz coraz lepiej wiedział, jaki typ skafandra będzie dla Ciebie odpowiedni w danych warunkach

Akwalung

W Rozdziale Pierwszym pt. Podwodna Przygoda, przeczytałeś, że nurkowanie na obiegu otwartym było pomysłem, dzięki któremu nurkowanie zostało spopularyzowane. Gdy ktoś mówi „akwalung” (po angielsku „scuba” co znaczy: „self contained underwater breathin apparatus”), większość osób ma na myśli obiegi otwarte. Jednak obecnie są w użyciu trzy podstawowe typy akwalungu:

Obiegi otwarte. Wdychasz powietrze z butli ze skompresowanym gazem i wydychasz go do wody. Powietrze uchodzi do powierzchni w formie bąbli.

Obiegi zamknięte (CCRs). Wdychasz powietrze z worka oddechowego (przeciwpłuca). Po wydechu powietrze pozostaje w obiegu a dwutlenek węgla jest pochłaniany i zastępowany tlenem a następnie wraca do worka oddechowego. Nie ma bąbli na zewnątrz.

Obiegi półzamknięte (SCRs). Wdychasz powietrze z worka oddechowego. Wydychasz powietrze do obiegu, który usuwa dwutlenek węgla a oczyszczone powietrze wraca do obiegu. Zestaw stale dodaje nitrozu do worka oddechowego aby uzupełnić zużyty tlen. W związku z tym nadmiar gazu jest usuwany przez zawór nadmiarowy w postaci niewielkiego, stałego strumienia małych bąbli lub pojedynczego bąbla co jakiś czas.

W rozważaniach w tym podrozdziale, będą brane pod uwagę tylko obiegi otwarte, jako typowy zestaw używany w nurkowaniu rekreacyjnym i technicznym. Więcej o obiegach zamkniętych i półzamkniętych przeczytasz się w dalszych częściach Encyklopedii.

Współczesny akwalung jest zintegrowanym systemem, składającym się z butli ze sprężonym pod wysokim ciśnieniem gazem, automatu oddechowego z alternatywnym źródłem powietrza, kamizelki ratunkowo wypornościowej (tzw. jacketu), inflatora, wytrzymałego, wodoodpornego manometru oraz systemu balastowego (w niektórych zestawach nie ma zintegrowanego systemu balastowego). Raz złożony, można go montować i rozmontowywać jako jeden i ten sam zestaw. Dzięki standaryzacji, poszczególne elementy akwalungu można ze sobą zestawiać.



Kamizelki ratunkowo wypornościowe

Po polsku „jackety”, po angielsku „BCD” Buoyancy Control Device

W latach 60. nie istniały, jako opcja pojawiły się w połowie lat 60. W połowie 70. jackety stały się obowiązkowym elementem ekwipunku nurkowego. Współczesny jacket ma trzy podstawowe funkcje: 1) pozwala unosić się na powierzchni wody, 2) kontrolować pływalność podczas nurkowania, 3) utrzymywać bultę i pozostałe części akwalungu razem w odpowiednim miejscu.

Teoretycznie, jeśli jesteś dobrze wyważony na powierzchni, możesz nie potrzebować jacketu aby nie tonąć, ale wtedy nad wodą znajdzie się tylko koniuszek Twojej głowy i fajka. Dodatkowa pływalność, jaką daje jacket, pozwala utrzymać nad powierzchnią wody również głowę, co jest relaksujące. Zauważysz podczas nurkowania, że ilość łożyska, którą potrzebujesz, zależy od ilości powietrza, jaką pozostała w butli. Typowo, na początku nurkowania, powinieneś mieć o około 2 kilogramy obciążenia za dużo. Podczas nurkowania skafander ulega kompresji a powietrze się zużywa, co wpływa na pływalność. Używając suchego skafandra, nie potrzebujesz jacketu do kontroli pływalności pod wodą, ale jest niezbędny, by pływać po powierzchni oraz jako zapasowe źródło pływalności na wypadek zalania skafandra.

Materiały i konstrukcja

Producenci oferują dwa typy jacketów. Modele dętkowe mają dwie warstwy: twardą, ochronną warstwę zewnętrzną, która okrywa i chroni dętkę, która wypełnia się powietrzem. Modele bezdętkowe wykorzystują twardy, odporny materiał, łączący w sobie właściwości dętki i okrywy.

Oba typy są niezawodne i popularne we współczesnych jacketach, choć większe, o dużej wyporności

jackety dętkowe są bardziej popularne wśród nurków technicznych a mniejsze, bezdętkowe, wśród nurków rekreacyjnych.

Style i kroje

Są cztery podstawowe kroje jacketów, pokazujących ich historyczny rozwój: zabudowany z przodu, tzw. „chomąto”, skrzydło, jakcet nowoczesny i jacket uniwersalny. Pierwszy typ wyszedł już z użycia; pozostałe trzy można w różnych kombinacjach i stylach spotkać we współczesnym nurkowaniu.

Jacket zabudowany z przodu, tzw. „chomąto” był pierwszym „prawdziwym” modelem jacketu. Zaprojektowane jako źródło wyporności na powierzchni. Duża średnica węża od inflatora, zasilanego powietrzem z butli pozwalała na łatwe dodawanie i spuszczenie powietrza z jacketu poprzez naciśnięcie guzika. Po raz pierwszy w historii nurkowania możliwa była precyzyjna kontrola pływalności. Ten model jacketu wymagał noszenia dodatkowej uprząży, utrzymującej butlę, był bardziej popularny do nurkowania z maską i rurką. W Europie model ten występował pod angielskim skrótem ABLJ (Adjustable Buoyancy Life Jacket).

Skrzydło było pierwszym modelem, który umożliwił połączenie wszystkich elementów ekwipunku w jeden zestaw. Wczesne skrzydło przypominało „chomąto” połączone z szelkami od plecaka. Ten pomysł miał niewielką, ale stałą popularność. Główną wadą modelu była tendencja do układania nurka twarzą do dołu na powierzchni wody. Skrzydło prawdopodobnie umarłoby śmiercią naturalną, wyparte przez nowszy model jacketu, gdyby nie jego popularność wśród nurków jaskiniowych, dla których okazał się optymalnym rozwiązaniem. Od połowy lat 80. do 90. ewoluowało, dostosowując się do specyficznych wymagań nurków jaskiniowych innych form nurkowania technicznego. Dziś skrzydło jest standardowym elementem akalungu wśród nurków technicznych - jest workiem o dużej wyporności, umieszczonym pomiędzy płytą na plecach a zestawem butli. Uprząż do skrzydła ma pas kroczny, żadko spotykany dziś w tradycyjnych kamizelkowych jacketach. Nazwa „skrzydło” wzięła się od nazwy produktu, której używał (i nadal używa) jego pierwszy producent.



Jacket typu „chomąto” pozostaje popularny wśród snorkujących osób, jako kamizelka wypornościowa.



Skrzydło jest obecnie podstawowym modelem używanym przez nurków technicznych.

Jacket nowoczesny. Pierwszy jacket w formie kamizelki, który miał połączyć w sobie zalety wypornościowe skrzydła przenosząc część powietrza na przód nurka, ułatwiając mu zachowanie równowagi na powierzchni wody. Pierwsza wersja została wprowadzona w 1977 roku i błyskawicznie opanowała świat nurkowy. W latach 80. każdy znaczący producent miał już w swojej ofercie nowoczesny jacket, a chomąta zupełnie wyszły z obiegu. Nurkowie uznali, że nowoczesny typ jacketu jest o wiele bardziej komfortowy niż skrzydło z uprzążą. Wczesny typ jacketu nowoczesnego był popularny, ale dętka rozmieszczona we wszystkich miejscach kamizelki sprawiała, że gdy jacket był pełny, nadmuchiwał się podnosząc ramiona zbyt mocno w górę. Zmieniło się to wraz z unowocześnieniem tego modelu, który usunął dętkę z części piersiowej na górę ramion. Ta zmiana była tak duża, że w ciągu dwóch lat opanowała całkowicie sposób produkcji jacketów, stając się najpopularniejszym modelem w nurkowaniu rekreacyjnym. Od lat 80. jacket nowoczesny ulegał niewielkim modyfikacjom i zmianom. Niektóre modele mają elementy skrzydła dla zwiększenia wyporności, inne inflator wbudowany w kamizelkę.

Jacket uniwersalny. Zwiększona popularność nurkowania technicznego na początku lat 90. zapoczątkowała nową potrzebę - jacket, który będzie odpowiedni do różnych

typów nurkowań. Stworzono kilka typów, które nadają się do wykonywania różnych typów nurkowań, spośród nich można wyróżnić jeden, dwa modele, które naprawdę dają się dostosować do zmiennych warunków i potrzeb pod wodą.

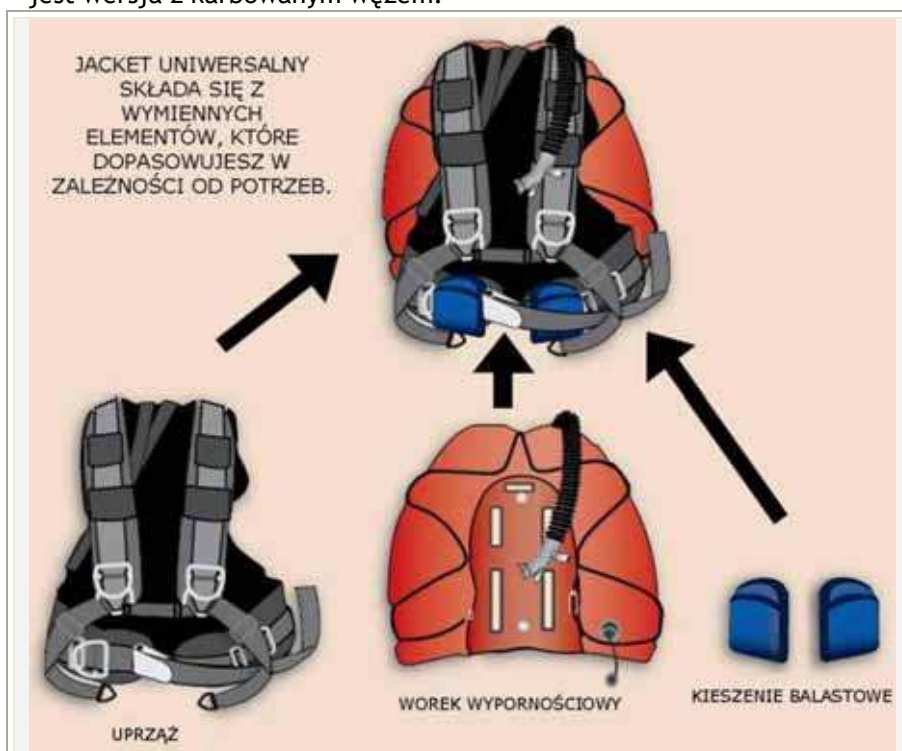
Pierwszy jacket uniwersalny powstał w połowie lat 90., miał wszechstronne, wytrzymałe i wymienne dętki. Pierwszym celem, do którego dążono, była możliwość wymiany niektórych elementów jacketu w zależności od tego, czy nurek wykonywał rekreacyjne nurkowanie w tropikach, czy głębokie na trimixie. Jacket

uniwersalny miał początkowo wygląd skrzydła, które można było skonfigurować tak, aby miał cechy jacketu nowoczesnego.

Cechy jacketów

Mimo wielu typów i modeli kamizelek, mają one wszystkie kilka cech wspólnych. Część tych cech to zwykłe ułatwienia, a część ma duży wpływ na komfort i jakość pływania. Niektóre są ciekawą opcją tylko do jakiegoś typu nurkowania; w innych warunkach należy ich unikać. Oto cechy:

System nadmuchiwanie/spuszczania powietrza. Każdy nowoczesny jacket ma wydajny system napętniania i opróżniania kamizelki powietrzem. System ten w najbardziej typowej konfiguracji składa się z grubej, karbowanej rury z inflatorem podłączanym do węża od pierwszego stopnia. Zawór spustowy otwiera przepływ powietrza opróżniając kamizelkę; naciskając zawór dodawczy, kamizelka jest napętniana powietrzem. W niektórych rozwiązaniach inflator jest zintegrowany z alternatywnym źródłem powietrza, z którego nurek oddycha, gdy, w sytuacji awaryjnej, odda swój drugi stopień partnerowi (więcej o tym w dalszej części podręcznika). Inne konfiguracje przewidują, że nurek zabiera ze sobą osobną, małą bultę z powietrzem służącym wyłącznie do napętniania jacketu. Najnowsze modele jacketów wyeliminowały długi wąż inflatora, zastępując go przyciskiem dodawczym, umocowanym bezpośrednio na jackecie. W tej konfiguracji jacket jest opróżniany za pomocą splotczki na ramieniu. Najpopularniejszym modelem jacketu jest wersja z karbowanym wężem.



Napętnianie jacketu powietrzem z ust. Przyczyną popularności węża do inflatora jest możliwość napętnienia jacketu ustami w sytuacji braku powietrza lub awarii automatu - pozwala to na rozłączenie inflatora i węża średniego ciśnienia i naciskając zawór otwierający przepływ, na napętnienie jacketu. Jackety, które nie są wyposażone w gruby wąż od inflatora posiadają cienki wąż do nadmuchiwanie ustami, rozwijany się w razie potrzeby. **Zawór nadciśnieniowy.** Wszystkie nowoczesne modele jacketów mają zawory, które otwierają się, gdy jacket jest zbyt mocno napompowany i uwalniają nadmiar powietrza, zapobiegając rozerwaniu kamizelki. Zawory te otwierają się zazwyczaj, gdy ciśnienie

wewnątrz jacketu jest wyższe od ciśnienia otoczenia o ok. 0,14 atm.

Zawory szybko wypuszczające powietrze, tzw. „splotczki” Nowoczesne jackety mają tzw. „splotczki” - zawory, które wyglądają tak jak zawór nadciśnieniowy, tylko mają szureczek, za który nurek może pociągnąć wypuszczając powietrze z jacketu. Ułatwia to opróżnianie kamizelki w sytuacji awaryjnej i eliminuje konieczność używania węża od inflatora. Splotczka i zawór nadciśnieniowy to niejednokrotnie ta sama część kamizelki; w skrzydłach używanych przez nurków technicznych, takich zaworów jest więcej niż jeden

Kieszenie. Większość modeli współczesnych jacketów ma kieszenie, które służą do przechowywania akcesoriów takich jak np. tabliczki. Są bardzo przydatne w nurkowaniu rekreacyjnym. Skrzydła mają kieszenie, które można dopiąć osobno do uprząży, chociaż nurkowie techniczni używają albo bardzo małych kieszonek albo rezygnują z nich w ogóle, wybierając kieszenie doszyte do skafandrów.

Uchwyty do węża. Kiedyś większość jacketów była wyposażona we wbudowane uchwyty, które trzymały wąż do manometru i oktopusa, aby nie niszczyły dna i życia podwodnego. Niestety wiele z nich nie utrzymywało ciężkiej konsoli wystarczająco dobrze. Dziś większość odpowiedzialnych nurków używa specjalnych przypinek i klipsów, które skutecznie przytrzymują węże przy jackecie. Plusem tego rozwiązania jest to, że nurek sam może zdecydować, w którym miejscu jacketu umieści uchwyty na węże.

Uchwyty w kształcie litery „D”, tzw. „deringi” są standardowym wyposażeniem skrzydła dla nurków technicznych, umocowane na pasach od uprząży, służą jako uchwyty do przytrzymywania dodatkowych

butli i sprzętu. Nurkowie rekreacyjni szybko skopiowali ten pomysł i producenci umieszczają deringi w jacketach. Służą one jako miejsce przyczepienia klipsa z uchwytem na wąż lub inne akcesorium.

Zintegrowane system balastowe. Mimo, że jacket ze zintegrowanym systemem balastowym możesz kupić od 1972 roku (model At-Pack), dopiero w latach 90. pomysł ten upowszechnił się. Umieszczenie systemu balastowego bezpośrednio w jackecie ma kilka zalet. Po pierwsze eliminuje ilość elementów sprzętu, wykluczając dodatkowy pas, co jest zwykle bardziej komfortowe dla nurka. Po drugie system balastowy obciąża jacket i gdy nurek jest w pozycji pionowej (np. podczas wynurzenia), jacket nie ma tendencji do podnoszenia się w górę - mając pas balastowy, nurek w pozycji pionowej często czuje jak jacket ciągnie go w górę, a pas na biodrach ciągnie go w dół. System balastowy utrzymuje zatem jacket w wygodnym i bezpiecznym ułożeniu na ramionach i wokół pasa na ciele nurka.

Nurkowie techniczni, z powodu ilości sprzętu, który zabierają ze sobą, zwykle nie potrzebują dodatkowego balastu, a jeśli już, to w ilości znacznie mniejszej niż nurkowie rekreacyjni. Nie chcąc zwiększać obciążenia na uprząży, nurkowie techniczni nie używają zintegrowanego balastu.

Uprząż balastowa. Mimo, że niezbyt popularne, są dobre do noszenia dużej ilości obciążenia, rozłożonego na ramionach i wokół pasa. Uprząż ma klamrę służącą do szybkiego zdejmowania w sytuacji alarmowej. Uprząże balastowe są najpowszechniejsze wśród nurków zimnych wód, noszących suche skafandry. Kolejny podrozdział dokładniej przybliży zagadnienie systemów balastowych.

Kamienie milowe w historii produkcji jacketów	
Od pierwszego pojawienia się pod koniec lat 60., jackety zmieniały się bardzo. W historii zapisały się niektóre modele, stanowiące kamienie milowe	
	Kamizelki Waverly UDT nie przypominały wyglądem dzisiejszego jacketu; były przystosowane raczej do pływania po powierzchni wody, stosowane pod koniec lat 60. i na początku 70. Wśród wielu podobnych modeli, Waverly były najpopularniejsze i stały się pierwszym narzędziem do kontroli pływalności; ucząc nurków korzystania z inflatora a także stały się wstępem do projektowania nowszych modeli jacketów w przyszłości
	Fenzy był jednym z pierwszych “prawdziwych” jacketów. Duży, gruby wąż do inflatora pozwalał na używanie go pod wodą jak i na powierzchni. Wykonany z grubej, wulkanizowanej gumy, Fenzy zasłużył sobie na miano niezniszczalnego. Fenzy pozwalał na kontrolę pływalności pod wodą a francuski projektant nazwał go kompensatorem pływalności - terminem określającym jacket do dziś. Po wprowadzeniu modelu w Ameryce Północnej, europejscy wytwórcy rozpoczęli produkcję podobnych jacketów jak Fenzy, ale przy wykorzystaniu tańszej technologii i materiałów. Fenzy zatem przez pewien czas miał markę wyroby ekskluzywnego, wpływającego na prestiż nurka.
	At-Pack wprowadzony na rynek w 1972 roku miał kilka rewolucyjnych rozwiązań. Przede wszystkim był systemem łączącym w jedną całość butlę, kompensator pływalności, automat oddechowy i system balastowy. Był też pierwszym modelem wyposażonym w inflator połączony z automatem wężem średniego ciśnienia. Pomysły zastosowane w At-Pack są wykorzystywane do dziś
	Jacket wojskowy BCII był pierwszym, szeroko stosowanym jacketem dwuwarstwowym. Wprowadzony do użycia w 1973 roku, spopularyzował używanie dużych jacketów typu „chomąto”, wyposażonych w inflator. BCII był jedynym, powszechnie używanym jacketem, który nie posiadał możliwości napełniania go ustami w sytuacji awaryjnej

	Jacket stabilizujący Scubapro. Firma Scubapro wprowadziła w 1977j roku jacket o kroju kamizelki, który był wygodny i komfortowy, z inflatorem na plecach. Ten wytrzymały, jednowarstwowy model stał się bardzo popularny. Nazwa „stab jacket” jest w anglojęzycznej terminologii wciąż używana. Model stabilizujący był jednym z niewielu, który przetrwał na rynku po wprowadzeniu jacketu nowoczesnego
	Jacket Bluefin był pierwszym, popularnym, dwuwarstwowym jacketem o kroju kamizelki, kopiowany przez większość producentów. Podobnie jak jacket Scubapro, zawładnął rynkiem w latach 70 i wczesnych 80
	Jacket Nowoczesny od swojego wprowadzenia w ciągu kilku miesięcy zrewolucjonizował rynek. Pierwszy raz pojawił się w grudniu 1984 roku a od stycznia 1985 roku wszyscy znaczący producenci wprowadzili podobne modele do oferty. W ciągu 6 miesięcy stał się on dla wielu firm głównym źródłem przychodów ze sprzedaży
	Skrzydło Dive Rite wprowadzono na rynek w połowie lata 80. i było pierwszym dostępnym na rynku skrzydłem do nurkowania technicznego. Wciąż dostępne w niemal niezmienionej formie
	Jacket Sea Quest ze zintegrowanym systemem balastowym wprowadzony na rynek w 1990 roku był jednym z pierwszych zaawansowanych modeli jacketów, wyposażonych w kieszenie balastowe mogące pomieścić maksymalnie 13 kg balastu. System szybkiego wyciągania balastu poprzez pociągnięcie za specjalne uchwyty dawało bezpieczeństwo w sytuacji awaryjnej i wygodę, dzięki rezygnacji z tradycyjnego pasa balastowego
	Transpac II firmy Diver Rite wprowadzony w 1996 roku był pierwszym jacketem uniwersalnym. Zaprojektowany dla nurków technicznych, którzy poprzez wymianę lub dodanie niektórych elementów mogli go dostosować do każdego typu nurkowania technicznego i rekreacyjnego

Systemy balastowe

Nawet bez skafandra większość ludzi jest dodatnio pływalna. Mając nawet mały stosunek ilości tkanki tłuszczowej do mięśniowej, zakładając skafander, nie zatoniesz. W nurkowaniu rekreacyjnym będziesz potrzebował balastu na większości lub wszystkich nurkowaniach. To oznacza, że będziesz lub już jesteś użytkownikiem balastu zintegrowanego z jacketem, uprząży balastowej lub pasa.

Materiały i konstrukcja.

Podstawowym materiałem balastowym jest ołów. Jest to gęsty, relatywnie tani i łatwy w obróbce metal, mający wszechstronne zastosowanie w nurkowaniu. Jak zauważysz, producenci używają ołowiu do produkcji przeróżnych systemów balastowych, w zależności od potrzeb konkretnych grup nurków.



Materiały używane w systemach balastowych różnią się od siebie, choć większość producentów oferuje kieszenie wykonane z tych samych, twardych i wytrzymałych tworzyw, z których produkuje się jackety. Systemy zintegrowane utrzymywane są najczęściej na rzepach, które umożliwiają ich łatwy montaż i szybkie wyjęcie w sytuacji alarmowej.

W historii produkowano wiele typów pasów balastowych, choć standardowe i najbardziej popularne są nylonowe pasy o szerokości 5 cm. Na rynku istnieją również nowoczesne pasy palastowe z przytroczonymi do niego, wytrzymałymi kieszeniami oraz neoprenowe, elastyczne pasy. Sprzączki w pasach balastowych są wykonane z metalu lub plastiku.

Kroje i style pasów balastowych

Zintegrowane systemy balastowe bardzo się od siebie różnią w zależności od modeli jacketów, poniższe rozważania dotyczyć będą wyłącznie pasów balastowych. Występują one w trzech podstawowych typach: standardowym, na ołów śrutowy i kieszeniowe.

Pasy standardowe. Najpopularniejsze pasy są prostymi, szerokimi na 5 cm nylonowymi pasami zakończonymi sprzączką z systemem szybkoodpinającym się. Na taki pas zakłada się pojedyncze obciążniki, które mogą być przytrzymywane za pomocą plastikowych lub metalowych ograniczników. Podstawowymi zaletami takich pasów jest ich prostota i niska cena. Wadą jest czasochłonność przy przygotowywaniu i zmianie ilości obciążników; wielu nurków uważa też pasy za mało wygodny system.

Pasy na ołów śrutowy. Ten typ pasa jest wyposażony w specjalne schowki, do których wkłada się woreczki z ołowiem śrutowym. Ten system pozwala na wygodne ułożenie obciążenia wokół ciała, dzięki czemu pływa się bardziej komfortowo. Największą wadą rozwiązania jest czasochłonność przy dopasowywaniu ilości potrzebnego obciążenia oraz fakt, że musisz posiadać i wozić ze sobą własny balast, ponieważ większość operatorów nurkowych na świecie nie używa ołowiu śrutowego.



Pasy z kieszeniami na balast. Niektóre pasy są wyposażone w serię kieszeni, do których wkłada się obciążniki. Zaletą takiego systemu jest szybkość przygotowywania i zmiany ilości obciążenia, niezależnie od rodzaju używanych obciążników. Pierwsze modele wykonywane były z neoprenu, które, choć komfortowe, nie były dostatecznie wytrzymałe. Obecne wersje pasa produkowane są z wytrzymałego tworzywa sztucznego.

Rodzaje obciążników. Ołów występuje w wielu rodzajach i kształtach. Najczęściej są to klocki ze szczelinami, pomiędzy którymi przeplata się pas. Ciężarki mają różną masę, pozwalając na jak najlepsze dopasowanie ich ilości do potrzeb nurka. Większość wytrzymałych zintegrowanych systemów jest dostosowana do klasycznych klocków z ołowiu. Obciążniki biodrowe są dużymi blokami, zaokrąglonymi anatomicznie tak, by układały się dookoła bioder. Są bardziej komfortowe niż kwadratowe klocki o tej samej masie. Tylko kilka modeli zintegrowanych systemów balastowych akceptuje długie obciążniki biodrowe, dlatego ten typ klocków noszony jest prawie wyłącznie na pasach. Okrągłe obciążniki, tzw. „red bulle” mają kształt walców z jednym otworem, przez który przeciąga się pas. W tym systemie należy mieć ograniczniki, które zakłada się pomiędzy obciążniki, aby trzymały się w odpowiednim miejscu. Ograniczniki są małymi, plastikowymi lub metalowymi płytkami z dwoma otworami przez które przeciąga się pas. Obciążniki cylindryczne są na ogół bardzo komfortowe i można go używać w większości systemów zintegrowanych z jacketem. Obciążniki śrutowe są małymi woreczkami wypełnionymi ołowianym śrutem w wielu wariantach wagowych do wyboru. Są bardzo miękkie i wygodne w noszeniu i zmniejszają ryzyko zranienia, np. gdy obciążnik spadnie na stopę. Możesz używać ołowiu śrutowego do pasów z kieszeniami lub do systemu zintegrowanego.

Cechy systemów balastowych

Szybko rozpinający się mechanizm. Każdy system balastowy używany w nurkowaniu musi mieć szybko rozpinający się mechanizm, który w sytuacji awaryjnej pozwala szybko pozbyć się części lub całego balastu używając jednej ręki (zauważ, że nie zawsze będziesz chciał zrzucić cały balast, ale o tym później). Pasy balastowe wyposażone są w szybko rozpinające się klamry. Niektóre z nich mają wyróżniające się elementy (w innym kolorze, kształcie) i zawsze zakładasz pas tak, aby swobodny koniec (bez klamry) trzymać w prawej ręce. Robi się tak ponieważ gdy w sytuacji awaryjnej nurk będzie próbował rozpiąć innemu pas, intuicyjnie będzie używał prawej ręki do wykonania tej czynności. Systemy zintegrowane w jacketach i uprząże balastowe mają wyraźnie oznaczone zapięcia, za które ciągniesz zwalniając balast. Niektóre systemy wyrzucają cały balast, ale bardziej powszechne jest rozwiązanie, które ma dwa mechanizmy; każdy z nich zwalnia połowę posiadanego łożowiu. Te systemy mogą wyrzucać tylko obciążniki a w innych pozbywasz się obciążnika wraz z kieszenią balastową.

Przed rozpoczęciem nurkowania, zapoznaj swojego partnera ze swoim systemem balastowym, aby wiedział, jak go zwolnić w sytuacji awaryjnej.

W nurkowaniu technicznym zwykle nie używasz systemu balastowego a szybko rozpinający się mechanizm jest ostatnim, jakiego potrzebujesz. Przypadkowe rozpięcie pasa balastowego podczas nurkowania rekreacyjnego jest zwykle niedogodnością (jeśli nie jesteś przeciążony), ale dla nurka technicznego może skończyć się śmiercią, jeśli jesteś w jaskini, wraku albo na przystanku dekompresyjnym. Aby zapobiec niechcącemu rozpięciu balastu, nurkowie techniczni, jeśli go zabierają ze sobą, instalują podwójne klamry; każda z nich musi być rozpięta osobno aby zrzucić balast. Niektórzy zakładają na balast pas kroczny od uprząży, zabezpieczając go w ten sposób przed spadnięciem do wody.

Zrównoważenie rozciągnięcia pasa na głębokości. Tak jak twój skafander neoprenowy, który scieżnia się podczas zanurzania, pas balastowy, który był ciasny na powierzchni, pod wpływem wody rozciąga się. Aby to zrekompensować, niektóre pasy mają wszyty elastyczny kawałek materiału lub specjalną sprężynę przy klamrze, umożliwiającą łatwe docięnięcie pasa pod wodą.

Pokrycie z winylu. Zwykle, “gołe” klocki łożwiane są proste i tanie, ale coraz większą popularność zdobywają obciążniki pokryte winylem. Oprócz tego, że wyglądają ładniej, nie niszczą łodzi czy basenu, gdy upadną i ogólnie są bardziej komfortowe w używaniu. Eliminują również lub znacznie zmniejszają ryzyko zatrucia łożwem poprzez noszenie go gołymi rękami (jeśli musisz nosić łożów, włóż rękawice i unikaj kontaktu klocków z nosem, ustami i oczami dopóki nie umyjesz rąk).

Używanie systemu balastowego

Prawidłowa ilość obciążników. Jest temat wiele teorii, tłumaczących w jaki sposób oszacować ilość potrzebnego ołowiu. Tylko jedna jest prawidłowa i polega na tym, że wchodzisz do wody w pełnym ekwipunku. Jeśli jesteś prawidłowo wyważony, to mając pusty jacket (i suchy skafander, jeśli taki masz na sobie) i prawie pustą bultę, powinieneś przy zatrzymanym wdechu unosić się na wodzie w pozycji pionowej, mając poziom wody na poziomie oczu. Przy wydechu powinieneś się pomału zanurzyć i powinieneś móc bez problemu zawisnąć w toni na 5 metrach mając około 35 atm w butli (bez napełniania jacketu).

Gdy dowiesz się, ile ołowiu potrzebujesz, zapisz to w książeczce nurkowej wraz z informacją o: rodzaju skafandra, rodzaju i wielkości butli rodzaju wody (słodka lub słona). Zmieniając którykolwiek z tych elementów zmienia się ilość potrzebnego obciążenia, ale mając dane porównawcze, możesz łatwiej oszacować obciążenie w nowych warunkach.



Obciążenie, pływalność, optywowy kształt

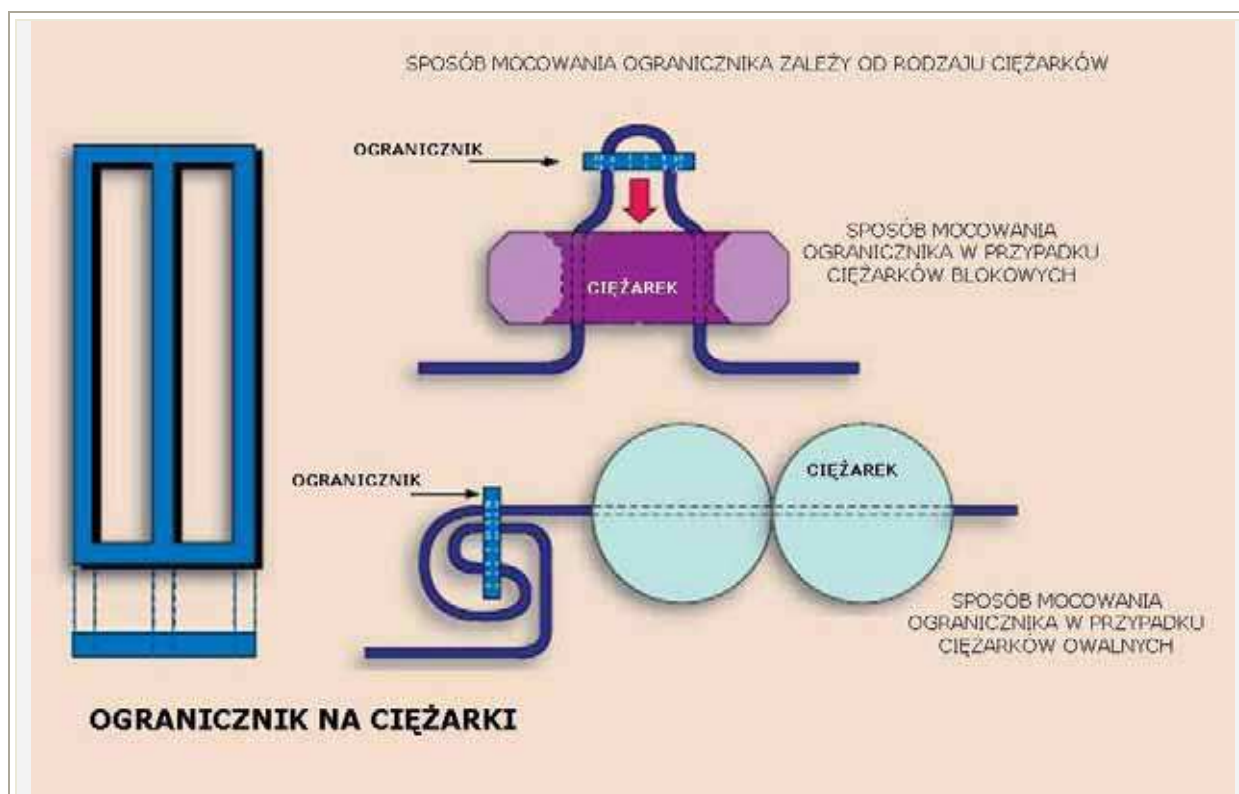
Obciążenie, pływalność i optywowy kształt to trzy elementy dobrego nurkowania. Jeśli jeden z tych elementów jest nieprawidłowy, wszystkie szwankują. Najważniejszy jest właściwy dobór ilości obciążenia. Jeśli jesteś niedociążony, płyniesz używając płetw do kontroli pływalności. Nie jesteś optywowy, ponieważ nie masz poziomej pozycji pod wodą. Taka sytuacja nie tylko powoduje nieefektywne płynięcie; powoduje też problem, który powstaje w miarę zużywania się powietrza z butli, która staje się coraz lżejsza.

Jeśli jesteś przeciążony, nie masz optywowej pozycji, ponieważ musisz mocno pompować jacket do zrównoważenia przeciążenia. Twój środek ciężkości jest przesunięty i pływasz z płetwami na dole a ramionami na górze. Poza brakiem efektywności, masz większą szansę niszczyć podwodne życie kopiąc dno płetwami.

Prawidłowo wyważony, masz tylko tyle powietrza w jackecie, ile potrzeba do skompensowania ściśniętego skafandra pod wodą. Płyniesz poziomo, co zmniejsza opór wody i oszczędza energię nurka. Gdy jesteś niedociążony lub przeciążony, nie możesz utrzymać poziomej pozycji, woda stawia większy opór, a nurek traci dużo energii na każdy ruch



Rozłożenie obciążenia. Gdy już wiesz ile obciążenia potrzebujesz musisz również rozstrzygnąć jak i gdzie go umieścić. Najczęściej chcesz rozłożyć ciężarki po bokach ciała w równej ilości. W systemach zintegrowanych z jacketem i w uprzączach balastowych oraz pasach balastowych z kieszeniami, rozkładasz go równomiernie. Możesz umieścić najcięższe klocki z przodu, aby skompensować ciężar butli. Te same zasady stosuje się przy pasach balastowych, ale wymaga to nieco więcej wysiłku. Rozocznij od zamontowania klamry do pasa. Klamrę zamontuj w odległości ok. 23-30 cm od końca pasa. Następnie połóż pas na ziemi tak, aby klamra była po lewej stronie i nałóż wszystkie potrzebne klocki, starając się je układać symetrycznie.



Pierwszy klocek powinien być oddalony od klamry o około 8-10 cm. Ułóż klocki blisko siebie, ale wystarczająco daleko, żeby pas mógł się wygiąć dookoła bioder. Pośrodku pasa pozostaw przerwę, nad którą będzie bulta. Możesz założyć ograniczniki na każdy obciążnik lub, jeśli wolisz, po obu stronach przerwy na bultę lub przy ostatnim obciążniku. Wypróbuj pas zakładając go na skafander. Swobodny koniec powinien mieć długość 15-20 cm po zapięciu go przez klamrę. Jeśli jest zbyt długi, przytnij go na gorąco specjalnym narzędziem lub przytop po obcięciu, aby nie pruć się.

Systemy wielobalastowe. Nurkowanie w najzimniejszych wodach wymaga suchych skafandrów i grubych ocieplaczy. To skutkuje dużą, nawet 23 kg dodatnią pływalnością, którą należy skompensować balastem. Tak dużo obciążników na jednym pasie jest zawsze niekomfortowe a w sytuacji awaryjnej, gdy zrzucasz balast, jest niebezpieczne. Gdy musisz wziąć ze sobą więcej niż 14-18 kg ołowiu, powinieneś rozważyć zastosowanie więcej niż jednego systemu balastowego. Może to być kombinacja pasa balastowego i systemu zintegrowanego z jacketem lub uprząży balastowej i systemu zintegrowanego. Jak już wspomniano w niniejszym rozdziale, niektóre systemy zintegrowane pozwalają na pozbycie się połowy balastu. Rozkładając ołów możesz zaplanować, której części pozbędziesz się w sytuacji awaryjnej, niedopuszczając do zbyt szybkiego wynurzenia się. System wielobalastowy jest też znacznie bardziej komfortowy w przypadku dużej ilości ołowiu.

Obciążenie w nurkowaniu technicznym. Mimo, że określenie prawidłowej ilości obciążenia dla nurków technicznych jest stosunkowo proste, wielu nurków pływa niedociążonych, nie zdając sobie z tego sprawy. Prawidłowo dociążony nurek techniczny powinien być zdolny do utrzymania się na przystanku dekompresyjnym na 5 metrach z prawie pustym zestawem dwubutlowym nie mając dodatkowych butli ze sobą. Takie dociążenie przygotowuje nurka do sytuacji, gdy wykonuje przystanek dekompresyjny na resztkach powietrza w butli, bez dodatkowego zabezpieczenia w postaci stage'a.

W praktyce, nurek jest prawie zawsze pływa z ujemną pływalnością podczas nurkowań technicznych. Dodatkowe butle zwiększają obciążenie, dodatkowo gaz sam w sobie waży więcej niż 9 kg, więc typowo nurek ma 14 kg negatywnej pływalności dodatkowo rozpoczynając nurkowanie. Dlatego nurkowie techniczni zabierają ze sobą co najmniej dwa źródła kontroli pływalności - nie mogą po prostu wyeliminować swojego balastu, jak to robią nurkowie rekreacyjni. Ponieważ są tak mocno negatywnie pływalni na początku nurkowania, niektórzy techniczni myślą, że mają już ze sobą całe obciążenie jakie potrzebują. Zwykle to się sprawdza aż do sytuacji, gdy są na przystanku bezdekompresyjnym z prawie pustymi butlami i orientują się, że wzięli za mało ołowiu.

Butle

Butle z gazem pod wysokim ciśnieniem stanowią centralny element wszystkich rodzajów zestawów do nurkowania - o obiegu otwartym, rebreatherów o obiegu półotwartym SCR lub rebreatherów o obiegu

zamkniętym CCR. Bez możliwości utrzymywania dużych objętości gazu skompresowanego w stosunkowo niewielkich pojemnikach, nurkowanie niezależne od wsparcia z powierzchni byłoby niemożliwe. W zestawach do nurkowania o obiegu otwartym, butla (także zwana cylindrem) zawiera dostatecznie dużo gazu by umożliwić nurkowanie przez około godzinę, zależnie od głębokości, prędkości oddychania i rozmiaru butli. Butle mają nieskomplikowaną koncepcję budowy, aczkolwiek zaskakujące złożone detale. Butla to mówiąc ogólnie, bardzo mocny pojemnik z zaworem, którym można regulować przepływ gazu. Centrum nurkowe napelnia butle do właściwej wartości ciśnienia, co umożliwia oddychanie gazem, który wypływa z butli w kontrolowany sposób przez automat oddechowy (więcej w rozdziale automaty oddechowe). Więcej informacji związanych z butlami nurkowymi można znaleźć w odniesieniu do charakterystyki materiałowej, serwisowania, zasad bezpieczeństwa i rodzajów w zależności od materiałów konstrukcyjnych i rozmiarów

Materiały

Kupione lub wypożyczone butle są wykonane ze stali lub aluminium (precyzyjnie stopu aluminium) Przez wiele lat prowadzono eksperymenty z prototypami butli wykonywanymi ze stali nierdzewnej, tytanu, włókien szklanych i innych materiałów, aczkolwiek takich butli się praktycznie nie używa w nurkowaniu rekreacyjnym ani technicznym.



Stal. Pierwsze butle do nurkowania były wykonane ze stali chromo-molibdenowej. Ten materiał jest nadal popularny wśród wielu dzisiejszych nurków. Na niektórych rynkach jedyne dostępne butle są wykonane ze stali. Butle stalowe są „twarde” i dzięki temu odporne na zewnętrzne uszkodzenia; cechuje je ujemna pływalność nawet gdy są puste. Korzyścią, która z tego wynika jest mniejsza ilość balastu potrzebnego do zanurzenia. Butle o największych objętościach są wykonywane ze stali, co w połączeniu z ich charakterystyką pływalności powoduje, że nurkowie techniczni chętnie wybierają stalowe butle do zestawów dwubutlowych - twin. Największym mankamentem butli stalowych jest ich podatność na rdzewienie (reakcja utleniania żelaza, która tworzy tlenki żelaza) bez właściwej konserwacji. **Aluminium** jest bardziej miękkim metalem niż stal, co powoduje większą podatność na uszkodzenia powodowane uderzeniem lub nieprawidłowym transportem. Dodatkowo, ponieważ aluminium nie jest tak wytrzymałe jak stal, ścianki butli aluminiowych muszą być grubsze. To powoduje że na powierzchni butle aluminiowe są większe i cięższe niż stalowe, aczkolwiek są bardziej pływalne pod wodą. Aluminium nie toleruje przepiętowania (przekroczenia dopuszczalnego ciśnienia) praktycznie tak samo jak stal. Dlaczego więc butle aluminiowe dominują na wielu rynkach nurkowania rekreacyjnego? Aluminium koroduje (rdzewieje) podobnie łatwo jak stal, ale utlenione

aluminium przylega ściśle do metalu tworząc barierę zabezpieczającą przed dalszą korozją. To powoduje, że butle aluminiowe lepiej znoszą kontakt ze słoną wodą. Co ciekawe, nurkowie techniczni preferują zwykle butle stalowe umieszczane na plecach, ale wielu z nich wybiera aluminiowe na butle typu stage (do dekompresji) ponieważ te są lżejsze i łatwiejsze do operowania pod wodą.

Uwagi dotyczące używania sprzętu do nitroxu i tlenu

Współużytkowanie sprzętu nurkowego i wzbogaconego powietrza (Nitrox, EANx - mieszanina azotu i tlenu zawierająca więcej tlenu niż powietrze) w nurkowaniu rekreacyjnym, lub wzbogaconego powietrza i także czystego tlenu w nurkowaniu technicznym wymaga omówienia szczególnych kwestii. Kwestie te dotyczą zachowania substancji, które stają się łatwiej palne w kontakcie z wyższymi stężeniami tlenu. To znaczy że materiały takie jak pianka neoprenowa, smary silikonowe, czy zanieczyszczenia takie jak drobiny brudu, mogą stanowić teoretycznie zagrożenie w kontakcie z wzbogaconym powietrzem, nawet gdy w kontakcie z powietrzem zachowują się normalnie. Pojawia się pytanie jakie stężenie ponad 21% (stężenie tlenu w powietrzu) należy uważać za dopuszczalny próg zanim pojawi się faktyczne ryzyko. Przez ponad trzy lata społeczność nurkowa prowadziła debatę w wyniku której uznano, że w odniesieniu do sprzętu nurkowego (nie tylko do sprzętu używanego do mieszania lub przechowywania nitroxu) jeśli żaden element tego sprzętu nie będzie mieć kontaktu z mieszaninami gazowymi o stężeniu ponad 40% tlenu, to użycie standardowego sprzętu dostosowanego do kontaktu z powietrzem jest wystarczające. Jeśli natomiast sprzęt będzie miał jakikolwiek kontakt z ponad 40% stężeniami tlenu to musi on spełniać standardy czystości tlenowej. To oznacza, że sprzęt musi być wykonany z materiałów odpornych na kontakt z tlenem, wyczyszczony do wymagań tlenowych, a użyte smary także są dopuszczone do kontaktu z tlenem. Niewielka ilość ekspertów zalecała nawet większą ostrożność, uważając że już od 22-25% tlenu należy stosować czystość tlenową. Dodatkowo lokalne prawodawstwo, może wymagać czystości tlenowej dla sprzętu mającego kontaktować się z tlenem o stężeniach już 22-25%. Butle, które mają być stosowane do nitroxu muszą spełniać wymogi czystości tlenowej nawet jeśli nie będą zawierały stężeń ponad 40% tlenu. Jedną z metod otrzymywania wzbogaconego powietrza jest częściowe napełnianie butli czystym tlenem i dopełnianie powietrzem do uzyskania właściwej proporcji tlenu i azotu. W takim wypadku butla będzie wystawiona na działanie 100% tlenu w czasie mieszania, a to znaczy że musi spełniać wymagania czystości tlenowej. Butle do nitroxu i tlenu muszą być także odpowiednio oznaczone, dla identyfikacji co zawierają.

Butle do wzbogaconego powietrza mają być oznaczone zielonym pasem o szerokości 15cm z żółtymi obrzeżami o szerokości 2,5cm. Zielona część ma zawierać żółte lub białe litery „Enriched Air,” „Enriched Air Nitrox,” lub „Nitrox”

Żółte butle mają być oznaczone tylko zieloną częścią zawierającą żółte lub białe litery „Enriched Air,” „Enriched Air Nitrox,” lub „Nitrox”

Opisy na butlach z EANx mają zawierać: stężenie tlenu, datę napełnienia, nazwisko blendera, nazwisko nurka i maksymalną głębokość na której mieszanka może być używana.

Butle do nitroxu wymagają informacji o specjalnej inspekcji wizualnej informujące, że butla była serwisowana specjalnie pod kątem użycia z wzbogaconym powietrzem, oraz że spełnia albo że nie spełnia wymagań czystości tlenowej

Butle do czystego tlenu powinny być białe lub zielone z napisem „Oxygen” lub „Tlen”

Ponieważ nurkowanie na wzbogaconym powietrzu wymaga specjalnych uwarunkowań nie odnoszących się do nurkowania z powietrzem, stosuje się procedury:

Tylko przeszkoleni nurkowie posiadający certyfikat nitroksowy mogą nurkować z wzbogaconym powietrzem (wyjątkiem jest nurkowanie pod nadzorem instruktora specjalizacji nitroksowej) Nurkowanie z nitroksem wymaga specjalnych procedur, gdyż zawiera ryzyka nieistniejące w nurkowaniu z użyciem powietrza

Producenci sprzętu mają różne zalecenia, używania ich sprzętu z wzbogaconym powietrzem. Należy stosować się do tych zaleceń

Nitroksem można napełniać tylko butle odpowiednio oznaczone i serwisowane. Nigdy nie należy napełniać tlenem butli przeznaczonych do powietrza, lub tych które nie spełniają wymagań czystości tlenowej, gdyż grozi to wybuchem lub pożarem

Powietrze ze standardowego kompresora nie może być używane do napełniania butli czystych tlenowo, gdyż powoduje niemożność ich dalszego użycia z czystym tlenem do czasu ponownego serwisowania dla celów czystości tlenowej

Użycie automatu oddechowego czystego tlenowo ze standardową butlą powoduje niemożność dalszego użycia z czystym tlenem do czasu ponownego serwisowania dla celów czystości tlenowej (skonsultuj się z producentem)

W nurkowaniu technicznym, należy używać automatów czystych tlenowo do czystego tlenu i mieszanek o zawartości powyżej 40% tlenu

Style i rozmiary

Wybór obecnie dostępnych butli nurkowych jest tak duży, że znalezienie odpowiedniej do planowanych nurkowań i wielkości nurka nie powinno być problemem. Zwykle jednak dwa lub trzy rozmiary dominują na lokalnym rynku. W czasie wakacji nurkowych, zwykle wypożycza się butle i wybiera spośród dostępnych. W

Ameryce Północnej używa się oznaczeń odnoszących się do objętości gazu rozprężonego na powierzchni z butli pracującej pod ciśnieniem roboczym. Najpopularniejsze rozmiary to 80 i 72 stopy sześciennie. W krajach stosujących system metryczny używa się raczej objętości cieczy, którą można zmieścić w pustej butli. Odpowiednikami amerykańskich 80 i 72 są 12 i 11 litrów. Mnożąc objętość butli przez ciśnienie robocze, po uwzględnieniu ciśnienia otoczenia, można otrzymać dostępną objętość gazu. Jak można się spodziewać, nurkowanie techniczne ma większe oczekiwania co do pojemności. Większość nurków technicznych używa dużych butli, nawet 18 litrowych lub większych, stalowych, łączonych w zestawy „twin”. Na butle dekompresyjne (stage) używa się najczęściej cylindrów 7, 11 lub 12 litrowych aluminiowych. Nieduży nurkowie techniczni mogą preferować mniejsze butle, w zależności od dostępności w lokalnych warunkach.

Konwersja miary butli nurkowych imperialna i metryczna

Możesz łatwo przeliczyć objętość butli i objętość gazu który można użyć na powierzchni, pomimo różnic w oznaczeniach butli w różnych krajach. Aby określić maksymalną objętość butli i ilość powietrza, która sprężona wywoła podane ciśnienie, trzeba znać po pierwsze objętość wewnętrzną butli (zwaną także objętością wodną, jako że jest to objętość cieczy którą można zmieścić w pustej butli) Mnożąc objętość wewnętrzną przez ciśnienie robocze otrzymujemy objętość gazu którą butla może pomieścić (zwaną także objętością wolnego gazu) Taką informację można znaleźć wytłoczoną na szyjce butli. Np butla może być opisana jako „12 litre, 232bar” lub „10 litre, 200bar” Kraje które używają systemu imperialnego, opisują objętość wolnego gazu którą można otrzymać wypuszczając gaz z pełnej butli na powierzchni w jednostce Cu. Ft. - stopy sześciennie. Np „50 CuFt” 71.2 CuFt” itp Nowe butle mają tą informację wytłoczoną, podczas gdy starsze nie. Na niektórych butlach informacja nie jest oczywista. Np „71.2 CuFt” butla posiada takie oznakowanie gdy będzie przepelniona o 10% co jest akceptowalną praktyką o ile przy wartości znajduje się znacznik „+” przy wartości ciśnienia lub daty testu hydrostatycznego. Butle systemu imperialnego nie posiadają oznaczonej objętości wodnej, aczkolwiek można ją obliczyć dzieląc objętość wolnego gazu w stopach sześciennych przez ciśnienie robocze (oznaczone na stopie lub szuży butli w atmosferach) Aby porównać objętość można użyć przelicznika 1CuFt (stopa sześcienna) = 28.3 litra

Inne cechy

Butle nurkowe mają różne inne cechy takie jak np. zabezpieczenie powierzchni i rodzaj zaworu.

Zabezpieczenie powierzchni.

Butle nurkowe, zarówno stalowe jak i aluminiowe z różnych powodów wymagają pokrycia. Niezabezpieczone butle stalowe, szybko korodują w kontakcie z wodą morską i słodką a nawet z wilgocią zawartą w powietrzu. Aby temu zapobiec, większość butli poddaje się galwanizacji - procesowi w którym nowa butla jest zanurzana w kąpeli roztopionego cynku, który pokrywa cienką warstwą stal tworząc barierę odporną na korozję. Świeżo galwanizowane butle mają błyszczący metaliczny kolor podobnie jak metalowe kubły na śmieci. Z czasem kolor ciemnieje i staje się stalowo-szary. Możliwe jest także zabezpieczanie powierzchni natryskując zimny pył cynkowy na stal. Świeżo pokryte butle wyglądają tak samo jak pokryte metodą galwaniczną, ale zabezpieczenie natryskowe jest mniej trwałe. Dla lepszego wyglądu butle mogą być malowane lub pokrywane plastikiem. To nie uszkadza butli, ale jest ważne by odróżnić malowanie powłoki cynkowej od stosowanej dawniej techniki prostego malowania stali bez wcześniejszego cynkowania. Woda może przenikać przez powłokę przez zadrapania, nacięcia lub przekłucia i zostawać uwięziona pod powłoką. To może prowadzić do szybkiej, niewidocznej korozji, która jest potencjalnie niebezpieczna. Najlepiej usunąć powłokę z takiej butli, wyczyścić z rdzy i poddać ją cynkowaniu. Z podobnych powodów, butle które mają jakikolwiek rodzaj farby lub pokrycia wewnątrz powinny zostać oczyszczone. Pokrywanie wnętrza butli było powszechne w latach 1950 - 1974. Takie butle nie mogą być poddawane skutecznej inspekcji wizualnej ponieważ powłoka może zakrywać rozległą korozję wewnętrzną. Wewnętrzne powierzchnie oczyszcza się z powłok przez piaskowanie lub toczenie z materiałem ściernym wewnątrz.

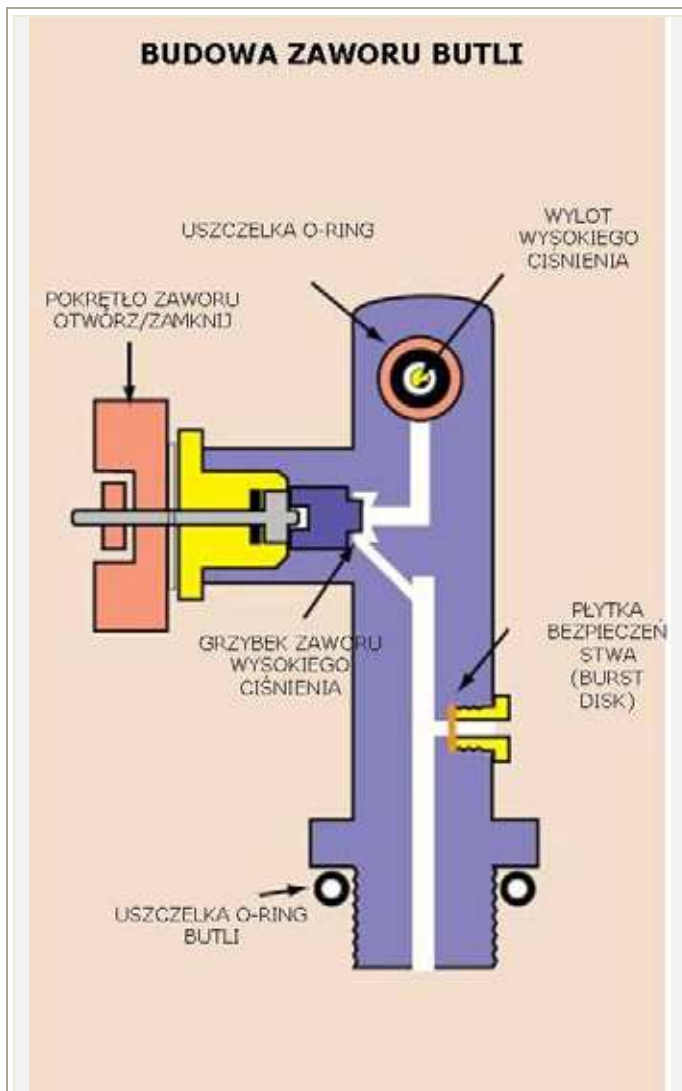
Butle aluminiowe nie wymagają zabezpieczania powierzchni. Niezabezpieczone aluminium szybko pokrywa się cienką warstwą tlenku. Jak wcześniej wspomniano, jest to skuteczne zabezpieczenie przed dalszą korozją. Niezależnie od tego faktu, wiele butli aluminiowych jest malowane lub pokrywane żywicami epoksydowymi z powodów estetycznych. Malowanie lub pokrywanie może być wielokrotnie powtarzanym zabiegiem, jednak jest ważne aby w czasie procesu nie rozgrzewać butli. W temperaturze 82C zachodzi fizyczna przemiana struktury molekularnej stopu aluminium, która osłabia wytrzymałość butli. Butla, którą poddano takiemu rozgrzaniu nie może być więcej używana gdyż zagraża rozerwaniu w czasie napełniania.

Stopy (podstawy) butli.

Dolna część stalowych butli jest półkolistą, i butle nie mogą stać pionowo. Butle aluminiowe mają płaskie podstawy, aczkolwiek mogą uszkadzać powierzchnie na których stoją lub być uszkadzane przez te

powierzchnie. Z tych powodów butle są zwykle wyposażane w plastikowe lub gumowe „stopy” zwane także „butami”. Dobre stopy, pozwalają na łatwe osuszanie i nie zatrzymują wody pomiędzy stopą a butlą tak aby nie powodować korozji albo narastania warstwy soli. Niektóre stare modele stóp nie spełniają tego warunku i warto je wymienić. Wiele nowych modeli stóp na butle ma wielokątną krawędź zabezpieczającą przez przetaczaniem się butli w czasie transportu.

Pojedyncze zawory INT (strzemiączko) i DIN.



Kupując butlę nurkową zwykle otrzymujemy komplet zawierający chromowany pojedynczy zawór. Te zawory są wkręcane bezpośrednio do szyjki butli uszczelnione dużym o-ringiem. Zawór wewnątrz butli jest przedłużony cienką rurką, zabezpieczającą przed dostaniem się wilgoci lub zanieczyszczeń do zaworu lub jego zablokowania w przypadku płynięcia głową w dół. Zewnętrzna część zaworu składa się z pokrętła zaworu otwierającego, a w przypadku dawnych zaworów typu „J” także mechanizmu rezerwy. Istnieją dwa standardy zaworów - INTERNATIONAL (strzemiączko) i DIN. W systemie INT, strzemiączko automatu oddechowego zakłada się wokół zaworu butli. W systemie DIN, automat oddechowy posiada o-ring i jest wkręcany w gwint zaworu. System DIN posiada pięciogwintowy gwint dla ciśnień do 200barów / 3000psi i siedmiogwintowy dla wyższych ciśnień operacyjnych. Dawniej używano się systemu DIN lub INT w zależności w jakiej lokalizacji się nurkowało. Dzisiaj oba systemy są powszechnie stosowane na całym świecie. System INT ma więcej użytkowników wśród nurków rekreacyjnych, a DIN wśród technicznych. System DIN jest także popularny wśród nurków rekreacyjnych w Europie. Dwa różne standardy nie były wygodne i obecnie można łatwo używać automatu DIN na zaworze INT stosując przejściówkę, a do zaworu DIN można wkręcić odpowiedni element (zwany popularnie „pestką”) do którego pasują automaty INT.

Manifolds do zestawów dwubutlowych.

Rozważając nurkowania techniczne, albo też planując bardzo długie nurkowania, czy zużywając dużo powietrza będziesz potrzebować zestawu

dwubutlowego - twin. Zestaw składa się z dwóch identycznych butli, zestawu obejm, do połączenia i utrzymania odpowiedniego dystansu między butlami, dwóch zaworów z manifoldem. Manifold musi być zgodny pod względem ciśnienia roboczego aby pasował do butli. Podobnie jak inne elementy sprzętu nurkowego, manifoldy ewoluowały. Początkowo były to systemy ze strzemiączkiem INT, do których montowano pojedynczy automat, ale takich modeli już się nie używa. Obecnie panuje system manifoldów DIN, podwójnie rozłączanych który jest standardem w nurkowaniu jaskiniowym i innych formach nurkowań technicznych. Taki system pozwala na zamontowanie dwóch niezależnych automatów DIN do twina. W przypadku awarii możliwe jest odcięcie jednego z automatów, mając wciąż dostęp do całości gazu w twinie. Centralny zawór separatora pozwala rozdzielić twina na dwie części. Ten sposób zabezpiecza połowę gazu w krytycznym przypadku awarii manifoldu powodującej wyciek. Zauważ, że montaż twina nie jest tak łatwy jak mogłoby się wydawać. Wymaga doświadczenia i umiejętności aby poprawnie ustawić butle i uniknąć uszkodzenia manifoldu przy skręcaniu, tak więc najlepiej zlecić montaż profesjonalście w lokalnym centrum albo resorcie PADI.

Zawory dla dwóch automatów do pojedynczej butli.

Niektóre formy nurkowań jaskiniowych i technicznych odbywają się w płytkich wodach i wystarcza użycie pojedynczej butli. Dla tych nurkowań można używać zaworów H lub Y (nazywanych ze względu na ich kształt) do których podłącza się dwa niezależne automaty. Podobnie jak w manifoldzie do twina, możliwe

jest odcięcie jednego z automatów w przypadku awarii i dostęp do całości gazu przez drugi z automatów. .

Płytki bezpieczeństwa („burst disk”)

Wszystkie butle mają określone maksymalne dopuszczalne ciśnienie, do którego nie powinny być napełniane w czasie użytkowania. Aby zapewnić że ciśnienie w butli nie przekroczy znacząco ciśnienia maksymalnego, większość zaworów (ale nie wszystkie) wyposażone są w zabezpieczenie płytkowe. Takie zabezpieczenie jest wymagane w USA i części Europy. Płytki „Burst disc” jest zrobiona z cienkiej blachy miedzianej i umieszczona w obudowie zaworu. Płytki jest tak dobrana aby po osiągnięciu ok 140% ciśnienia roboczego w butli, blaszka ulegała rozerwaniu i umożliwiała wypływ gazu z butli. Płytki zabezpiecza przed uszkodzeniami jakie mogłyby powstać w wyniku przypadkowego przepełnienia, a także co częstsze przypadkowego przegrzania. Tak jak omówiono w rozdziale czwartym, rozgrzewanie butli z gazem pod ciśnieniem powoduje wzrost jego ciśnienia. Tak więc, w butli napełnionej do ciśnienia roboczego w temperaturze pokojowej, ciśnienie wzrośnie np w gorącym bagażniku samochodu lub jeszcze bardziej w kontakcie z ogniem. Płytki bezpieczeństwa ulegnie rozerwaniu zanim ciśnienie w butli wzrośnie do wartości powodującej eksplozję butli. Cechą płytek bezpieczeństwa jest konieczność ich okresowej zmiany. Za każdym razem napełniając butlę i opróżniając ją powoduje się minimalne rozciągnięcie płytki, stopniowo osłabiając ją. Ostatecznie stara płytka może ulec rozerwaniu nawet poniżej ciśnienia roboczego. Szczęśliwie jest to bardziej niedogodność niż niebezpieczeństwo. Dawniej rozerwane płytki powodowały gwałtowny odrzut i kręcenie się butli, ale dzisiejsze płytki bezpieczeństwa zapewniają po rozerwaniu wypływ gazu w kilku kierunkach tak by wzajemnie znosić efekt odrzutu.

Uszczelki O-ring

Tak jak wspomniano, automat uszczelnia się do butli za pośrednictwem okrągłej uszczelki, w kształcie litery „O” zwanej O-ring. Pomimo, że jest ona bardzo mała nie jest możliwe nurkowanie bez niej, gdyż powoduje że ciśnienie gazu tworzy na niej ścisłe soldne uszczelnienie. Z czasem o-ringi zużywają się i łatwo je zgubić. Dobrą praktyką jest posiadanie zapasowych o-ringów - strata nurkowania z powodu braku o-ringów jest naprawdę irytująca, zwłaszcza że zestaw kosztuje mniej niż kilka filiżanek kawy. Ponieważ o-ringi różnią się nieco rozmiarem i grubością, poproś profesjonalistę w swoim centrum lub resorcie PADI by dobrał odpowiedni ich rodzaj. Jeśli planujesz podróż, jest dobrym pomysłem posiadanie zapasowych o-ringów w różnych rozmiarach do wypożyczanych butli.

Użytkowanie i serwis butli nurkowych

Codzienna troska o butle nurkową sprowadza się do oplukania, wysuszenia i przechowywania po użyciu. Dodatkowo należy ją także zabezpieczyć przed uszkodzeniem, zanieczyszczeniem wewnątrz przed wilgocią, a także regularnie serwisować i testować.

Właściwy transport.

Delikatne obchodzenie się z butlami zabezpieczy je przed kosmetycznymi uszkodzeniami a także przed uszkodzeniem innych rzeczy przez butlę. Co ważniejsze, poważniejsze uszkodzenia mogą być zarówno niebezpieczne jak i kosztowne. Uszkodzenia zewnętrzne, takie jak upadek mogą osłabić strukturę butli, tak że nie będzie ona mogła bezpiecznie przechowywać sprężonego gazu. Upadek pełnej butli na zawór może spowodować wyrwanie zaworu i w efekcie powstanie niekontrolowanego pocisku raketowego, albo co bardziej prawdopodobne wygiąć elementy zaworu wykonane z miękkiego metalu powodując że nie będzie on działał i trzeba będzie kupić nowy. Każda butla która doświadczyła poważnego uderzenia, nie powinna być użytkowana do czasu sprawdzenia jej przez specjalistę. Butle aluminiowe, które są wykonane z bardziej miękkiego materiału, są bardziej wrażliwe na uszkodzenia spowodowane uderzeniem. Aby zapobiegać uderzeniom, należy obchodzić się z nimi delikatnie. Oczywiście nie wolno nimi rzucać, a także poświęcić trochę czasu na zabezpieczenie w czasie transportu w samochodzie czy na łodzi, tak by wzajemnie nie przetaczały się i nie uderzały jedna o drugą. Należy także zwrócić uwagę by stojące butle nie zostały przewrócone, lepiej zostawić je położone. Kładąc skręcony zestaw do nurkowania warto położyć go na boku i zwrócić uwagę aby butla nie zmiażdżyła puszek automatów, przyrządów pomiarowych, czy jacketu.

Zabezpieczenie przed wilgocią

Tlen zawarty w powietrzu, czysty tlen, czy jakakolwiek mieszanina zawierająca tlen reaguje szybciej z otoczeniem (utlenia materiały) gdy jest pod ciśnieniem. Wnętrze cylindrów nurkowych są więc idealnym miejscem dla powstawania korozji. Wilgoć przyspiesza ten proces, zarówno w stalowych jak i aluminiowych butlach. Wilgoć zawierająca cząstki soli działa jeszcze gorzej. Połączenie wilgoci i tlenu pod ciśnieniem może powodować uszkodzenia z powodu utlenienia w ciągu godzin, podczas gdy w niesprężonej butli takie same efekty zajęłyby tygodnie. Osłabienie ścianek jest głównym problemem w butlach stalowych. Jak

pamiętasz, produkty utlenienia aluminium zabezpieczają go przed dalszą korozją, jednak nie jest to tylko korzystne zjawisko. Korozja ścianek ma wciąż miejsce, a większa ilość tlenu może odpadać, zatykając zawór i automaty. Nie możemy uniknąć ciśnienia w butlach ani tlenu, ale możemy utrzymywać wnętrza butli wolne od wilgoci. Pierwszy krok jest dokonywany przez operatorów nurkowania, którzy napełniają butle właściwie przefiltrowanym i osuszonym powietrzem bez wilgoci. W czasie napełniania, kropelki wody znajdujące się na końcówce przyłącza kompresora lub dyszy zaworu, mogą przedostawać się do butli. Jest odpowiedzialnością zarówno Twoją jak i napełniającego, żeby upewnić się że po zdjęciu automatu po nurkowaniu nie pozostały krople wody w zaworze. Jeśli widać jakieś, ochyl zawór butli i wydmuchaj. Ostatecznym zabezpieczeniem jest niedopuszczanie do całkowitego opróżnienia butli. Zawsze pozostawiaj co najmniej 20barów / 300psi aby przypadkowe uchylenie zaworu nie umożliwiło wtargnięcia powietrza zawierającego wilgoć do środka butli. Jeśli nie planujesz używać butli przez dłuższy czas, przechowuj butle z takim właśnie ciśnieniem a nie pełną, aby zmniejszyć ciśnienie tlenu wewnątrz i prędkość utleniania. Przechowuj butle w pozycji pionowej, tak by resztki wilgoci gromadziły się w dolnej części cylindra, gdzie ścianki są najgrubsze i gdzie najłatwiej dostrzec jakieś uszkodzenia.

Odczytywanie „hieroglifów” na butlach

Dla wielu nurków, znaki umieszczone na butlach są tajemniczym kodem, jednak zwykle możliwym do zrozumienia w części dotyczącej wymaganych przeglądów i testów ciśnieniowych. Jednak te oznaczenia nie są aż tak skomplikowane. Butle produkowane w USA mają oznaczenia takie jak na rysunku. Butle produkowane w innych częściach świata mogą się nieznacznie różnić:

- **Dopuszczenie do użytkowania przez władze** - pierwszy zestaw liter, zwykle DOT lub DOT/CTC Te litery oznaczają Departament Transportu i Kanadyjską Komisję d/s Transportu. Starsze butle mogą mieć oznaczenie ICC - Międzyszanowa Komisja Handlowa. Władze Departamentu Transportu regulują zasady produkcji, handlu i użytkowania butli nurkowych w USA, wywodzące się z odpowiedzialności tego departamentu za nadzór nad transportem gazów w butlach pod ciśnieniem na drogach stanowych przez firmy przewozowe. Istnieje wiele obszarów w których sprzedaż i użytkowanie butli nurkowych nie podlega jurysdykcji DOT. Niezależnie od tego wymagania DOT przyjęto za standardową praktykę przy sprzedaży butli nurkowych w USA.
- **Rodzaj metalu** - następna część znaków w pierwszej linii mówi o rodzaju metalu użytego do produkcji butli. Np 3A oznacza stal węglową. Tak oznaczało się pierwsze butle nurkowe. Jest łatwe do wyobrażenia że takie butle miały większą podatność na korozję niż chromomolibden czy aluminium. 3AA oznacza stal chromomolibdenową. Takie oznaczenie można często spotkać na dzisiejszych butlach. Butle aluminiowe są oznaczane jako SP6498, E6498 lub 3AL. Pierwsze dwa to numery zezwoleń opisujących wymagania produkcji cylindrów nurkowych. 3AL jest stałym oznaczeniem dla butli wykonanych ze stopu aluminium, zgodnie z wymaganiami DOT. Wszystkie butle nurkowe wykonane lub pozytywnie przetestowane hydrostatycznie w USA po 1 lipca 1982 mają takie oznaczenie.
- **Ciśnienie Robocze** - trzeci zestaw znaków w pierwszej linii oznacza maksymalne ciśnienie w funtach na cal kwadratowy (psi) do którego butla może być napełniona dla normalnego użytkowania lub transportu. Butla nie powinna być napełniana powyżej tego ciśnienia. Jedynym wyjątkiem do tej zasady jest użytkowanie butli stalowych z oznaczeniem “+” zaraz za datą ostatniego testu hydrostatycznego. Te mogą być napełniane do 10% powyżej podanego ciśnienia. Takie oznaczenie jest popularne na nowych butlach, lecz rzadko jest dodawane po kolejnych testach hydrostatycznych. Większość butli aluminiowych może być napełnianych do ciśnienia 205barów / 3000psi. Niektóre można napełniać do 225 bar / 3300psi a jeszcze inne nawet do 270bar / 4000psi. Typowe ciśnienia na butlach stalowych wynoszą zwykle od 120 bar / 1800 psi do 238 bar / 3500 psi, a nawet wyższe. Najbardziej popularne butle stalowa w USA są atestowane do 150 bar / 2250 psi i 165 bar / 2475psi z +10% tolerancją ciśnienia. Warto zauważyć że tylko z tym 10% dodatkiem ciśnienia butle spełniają podawaną objętość wolnego gazu.
- **Numer seryjny** - większość butli nurkowych posiada unikalny numer, który może także zawierać informacje takie jak rozmiar i numer partii. To są zwykle pierwsze informacje pojawiające się w drugiej linii.
- **Informacje producenta** - Te zwykle pojawiają się za numerem seryjnym. Ponieważ butle nurkowe nie są zwykle wykonywane przez firmy nurkowe a raczej przez wielkie firmy zajmujące się wykonywaniem butli ciśnieniowych o wszelkich zasotosowaniach, które sprzedają butle firmom nurkowym, nazwa producenta może być obco brzmiąca jak np Luxfer, Kidde, PST itp. Najnowsze butle posiadają oznaczenie producenta w formie zakodowanego numeru.
- **Data testu hydrostatycznego** - zwykle pojawia się na końcu lub jako jedyna informacja w najniższym wierszu. Kolejne daty testów hydrostatycznych są wytłaczane na butlach w dowolnym miejscu na szyjce. Data testu hydrostatycznego zawiera cyfry reprezentujące miesiąc i rok w którym butla była testowana. Te cyfry są rozdzielane inicjałami testera lub specjalnym symbolem zarejestrowanym przez testera w uprawniającym organie władz



Kontrola wizualna.

Większość środowiska nurkowego wymaga corocznej inspekcji wizualnej w butlach. Renomowani operatorzy nurkowi nie napętnią butli nie posiadającej aktualnej naklejki świadczącej o bieżącym przeglądzie. Inspekcja wizualna, jest kontrolą wnętrza butli po kątem oznak uszkodzenia lub korozji. Technik przeprowadzający przegląd zdejmując stopę, taśmę na butli i wszystko co mogłoby ukryć uszkodzenia. Używając specjalnego oświetlenia, lusterek i innych narzędzi, inspekcja prowadzona jest wewnątrz w poszukiwaniu korozji, widocznych nadpęknięć w okolicach szyjki butli i innych znaków ostrzegawczych. Bliższe przyjrzenie się zaworowi może również odkryć problemy. Zakładając brak wyraźnej korozji i uszkodzeń, sprawdzane jest płynne działanie zaworu, jego nasmarowanie zabezpieczające przed reakcją galwaniczną pomiędzy różnymi metalami butli i zaworu. Po ponownym zmontowaniu butli z zaworem i napętnieniu (częściowym lub całkowitym w zależności od potrzeb) butla jest oznakowywana naklejką. Naklejka zawiera nazwę firmy wykonującej przegląd, miesiąc i rok przeglądu. Naklejkę umieszcza się zwykle blisko podstawy. Umieszczenie może być różne. Jeśli w wyniku przeglądu znaleziono korozję dalsze postępowanie zależy od rodzaju i skali problemu. Przemycanie wodą destylowaną i suszenie gorącym powietrzem usuwa mniejsze zanieczyszczenia z wnętrza butli aluminiowych. Małe obszary korozji w butlach stalowych zwykle pozostawia się na miejscu, gdyż ich usuwanie osłabia butle bardziej niż sama korozja. Jeśli butla jest intensywnie skorodowana, albo posiada zużycie wykruszające (korozja która spowodowała jamy lub wklęsłe wyżłobienia) wymaga piaskowania lub bębnowania. Bębnowanie wymaga umieszczenia materiału ściernego wewnątrz butli, którą umieszcza się na rolkach i toczy aż do wyczyszczenia wnętrza. Piaskowanie polega na kierowaniu strumienia materiału ściernego w strumieniu sprężonego powietrza do wewnątrz butli i usuwaniu rdzy. Te techniki usuwają część ścianki butli, więc po ich prowadzeniu wymagane jest testowanie ciśnieniowe przed użyciem, podobnie jak każdej butli która ucierpiała w wyniku uderzenia lub upadku.

Testy ciśnieniowe (hydrostatyczne)

Oprócz corocznej kontroli wizualnej, butle wymagają okresowego testu ciśnieniowego. Częstość testowania wynosi pięć lat w USA, i waha się w zależności od lokalnego prawodawstwa w granicach od 3 do 7 lat. Ta procedura jest zwana testem hydrostatycznym, ponieważ jest przeprowadzana w wodzie. W czasie testu napętnia się butlę wodą i umieszcza w wypełnionym wodą płaszczu. Następnie butla jest sprężana do wartości 2/3 większej od ciśnienia roboczego lub ciśnienia testowania wytłoczonym na szujce butli. To powoduje że butla nieznacznie rozszerza się i wypiera część wody z płaszczu. Wyparta woda zbiera się w rurce zbiorczej i tester wie o jaką objętość butla rozszerzyła się. Kolejnym krokiem jest wypuszczenie ciśnienia z butli, co pozwala powrócić butli do pierwotnej objętości. Wysokie ciśnienie powoduje nieodwracalne rozszerzenia, które są akceptowalne tylko gdy są nieznaczne. Tester znakuje butle datą testu i znacznikiem identyfikującym testera, suszy i napętnia. Gdy trwałe rozszerzenie jest zbyt duże, świadczy to o nadmiernym zużyciu materiału i butla nie może być dalej bezpiecznie użytkowana. Wówczas nie otrzymuje ona znacznika daty testu lecz jakiś rodzaj oznaczenia dyskwalifikującego do dalszego użytkowania. (np. wywiercany jest otwór w ściance lub uszkodzany gwint zaworu tak by napętnienie było niemożliwe) W większości krajów wymagane są specjalne uprawnienia by przeprowadzać testy hydrostatyczne.

Elastyczność jest najważniejszą cechą materiału z którego wykonuje się butle

Dlaczego napełnianie butli powyżej ciśnienia roboczego jest złym pomysłem? Skoro test hydrostatyczny wykonuje się pod ciśnieniem 166% ciśnienia roboczego to może wydawać się że istnieje margines, który można wykorzystać by mieć trochę dodatkowego gazu na nurkowaniu. Gdy rozumiesz pojęcie elastyczności metali, nie będziesz miał takiej pokusy. Wszystkie substancje mają pewien stopień elastyczności, który na potrzeby tego rozważania możemy zdefiniować jako zdolność do znoszenia wyginania i powrotu do pierwotnego kształtu. Na przykład, wyobraź sobie że duży metalowy wieszak na ubrania, taki jak używa się w szafach. Jeśli ciągnąc, ugniesz dolną część o centymetr, a następnie puszczasz - wieszak powróci natychmiast jak struna do swojego pierwotnego kształtu - to jest elastyczność. W granicach limitu elastyczności, można coś naciągać i pozwalać by powróciło do pierwotnego kształtu. Możesz wyginać wieszak na ubranie wielokrotnie a metal pozostanie niezmieniony. Jednak elastyczność ma swoje ograniczenia. Jeśli przekroczysz siłę i zrobisz odkształcenie powyżej tego limitu, struktura substancji zostanie trwale zmieniona. Nawet gdy zwolnisz siłę, substancja nie powróci do pierwotnego kształtu. Powróci częściowo lub nawet pozostanie na stałe w rozciągniętym kształcie. Wyobraź sobie że wygiąłeś wieszak np o 20cm, gdy zwolnisz siłę on się nie wyprostuje jak struna i nie powróci do pierwotnego kształtu. Powróci częściowo, ale zostanie na stałe wygięty. Przekroczono zostały granice elastyczności, a metal zmieniony i osłabiony. Wyobraź sobie że wyginałeś metalowy wieszak kilkukrotnie w takim stopniu że metal został zgięty o kąt 90 stopni, a następnie wygięty z powrotem. Jeśli teraz zaczniesz ugiąć go jak na początku naszego rozważania - nieznacznie ale wielokrotnie okaże się że nie będzie on w stanie tego znieść i drut w końcu pęknie. To ten sam wieszak i ta sama siła która wcześniej znosił bez szkody, jedyna różnica polega na tym że raz przekroczono granice jego elastyczności. Odnieśmy ten przykład do butli nurkowych. Za każdym razem gdy są napełniane nieznacznie się rozszerzają, za każdym razem gdy gaz jest wypuszczany, wracają do pierwotnego kształtu. Dopóki zostajesz w granicach ciśnienia do którego zostały zaprojektowane, odkształcasz je w granicach elastyczności. Zakładając że nie mają innych uszkodzeń, możesz je napełniać i opróżniać setki razy, bez widocznej różnicy dla wytrzymałości metalu. Jeśli jednak pozwolisz komuś przepełnić butlę, i przekroczyć granice elastyczności, butla ulegnie w pewnym stopniu osłabieniu. Nawet pojedyncze przepełnienie może znacząco skrócić życie butli (szczególnie aluminium, które jest mniej elastyczne od stali). Z tego również powodu nie należy wykonywać testów hydrostatycznych znacząco częściej niż jest to wymagane. Test hydrostatyczny jest jedynym sposobem weryfikacji elastyczności metalu, ale napewno nie działa korzystnie na butle. Pamiętaj, że wielokrotne, znaczące i powtarzane przepełnianie może powodować że butla stanie się niebezpieczna w przedziale czasu między testami ciśnieniowymi

Proces produkcji butli nurkowych

Aż trudno sobie wyobrazić, że pod wysokim ciśnieniem metale stają się płynne podobnie jak ciecz. To jest klucz do technologii produkcji butli nurkowych, podobnie jak wielu innych produktów z metalu które muszą być bardzo odporne i wytrzymałe i dlatego nie mogą być wykonywane techniką spawania albo inną którą wytwarza słabe miejsce.

Butla nurkowa na początku procesu jest blokiem metalu - stopem metalu, który otrzymuje cylindryczny kształt w silnych prasach. Używając potężnej siły, prasy ściskają blok metalu tak aby pozbyć się wewnętrznej części - dokładnie rozciągają w kształt cylindra otwartego z jednej strony. Inna prasa ściska górną część cylindra, tak by uformować szyjkę i zamknąć cylinder a następnie wytłoczyć gwint do wkręcenia zaworu. Aby umożliwić takie kształtowanie niektórych materiałów, producenci używają miękkich stopów a po ukształtowaniu przeprowadzają proces utwardzania i hartowania by otrzymać produkt znacznie bardziej wytrzymały do docelowego użycia. To jest powszechnie stosowany sposób wytwarzania cylindrów aluminiowych i dlatego butle aluminiowe po włożeniu do ognia nie nadają się do dalszego użytkowania. Powtórne silne rozgrzanie modyfikuje strukturę metalu znacząco ją osłabiając

Kiedy należy przeprowadzać test ciśnieniowy niezależnie od terminu przeglądu.

Oprócz okresowego przeprowadzania inspekcji wizualnej i testów hydrostatycznych zgodnie z terminami określonymi prawem i lokalnymi standardami nurkowymi istnieją sytuacje w których należy przeprowadzić test niezależnie od terminu kolejnego testu, np:

- Wydaje Ci się że słyszysz luźno przesuwający się materiał wewnątrz butli
- Znalazłeś czerwony lub zielonkawy materiał na wewnętrznym filtrze automatu oddechowego
- Butla była poddana temperaturze ponad 82C (cylinder aluminiowy zwykle ulega widocznemu uszkodzeniu w tej temperaturze, stalowy może przetrwać natomiast wymaga testu hydrostatycznego)
- Butla była napełniona lub ciśnienie wzrosło znacząco powyżej ciśnienia roboczego (ponad 10%)
- Butla była nieużywana przez co najmniej dwa lata
- Butla upadła z wysokości lub została silnie uderzona
- Widzisz cokolwiek co może świadczyć o osłabieniu ścianek, wybrzuszenie lub coś co cię niepokoi.

Butle nurkowe są bardzo bezpieczne, a wypadki z udziałem butli są bardzo, bardzo rzadkie. Aczkolwiek gdy do takich dochodzi, zwykle są tragiczne w skutkach. Dlatego złota zasada jest inspekcja i testowanie przed wymaganym terminem. Jeśli są jakieś wątpliwości - oddaj butle do testowania.

Automaty oddechowe

Twoja butla nurkowa nie jest zbyt użyteczna bez kontroli przepływu gazu, w taki sposób byś otrzymywał dokładnie tyle gazu ile potrzebujesz aby wziąć wdech. Fizjologiczny system wymiany gazowej człowieka toleruje zaledwie różnice na poziomie 0,14 atm pomiędzy ciśnieniem wdychanego gazu a ciśnieniem otaczającym płuca. To właśnie dlatego nie można oddychać wprost z długiego np 3m węża znajdując się pod wodą. Ciśnienie wywierane na klatkę piersiową na 3m wytwarza różnicę ok 0,3 atm. Aby wziąć wdech, potrzebujesz gazu dostarczonego pod ciśnieniem zbliżonym do ciśnienie otoczenia. To właśnie jest zadaniem automatu oddechowego w obiegu otwartym. Automaty nurkowe zwane są także regulatorami lub zaworami na żądanie ponieważ dostarczają powietrza tylko na żądanie gdy bierzesz wdech. Są one podstawą zestawu nurkowego łącząc inne elementy w jedną całość. Łączą butle nurkową z kamizelką (KRW), manometrem, oktopusem i drugim stopniem, z którego oddychasz. Typowe automaty mają cztery lub więcej węży wychodzących z pierwszego stopnia automatu, który jest podłączony bezpośrednio do butli nurkowej.

Materiały

Producenci używają wielu materiałów do konstrukcji automatów. Do dzisiaj najpopularniejszym materiałem używanym do produkcji korpusów pierwszych stopni jest mosiądz aczkolwiek używa się także utwardzonego aluminium, a niektóre automaty z wyższych półek mają korpusy tytanowe. Wewnętrzne elementy są wykonywane ze stali nierdzewnej, teflonu, silikonu, gumy neoprenowej, witonu (r) lub innych materiałów. Do lat osiemdziesiątych najbardziej popularnym materiałem do konstrukcji drugich stopni był mosiądz. Nowsze automaty są wykonywane z plastików udarowych odpornych na korozję a jednocześnie lekkich i wytrzymałych. Wewnętrzne elementy są wykonywane z mosiądzu, stali nierdzewnej, teflonu, silikonu, gumy neoprenowej, witonu (r) lub innych materiałów. Elementy z gumy lub podobnych tworzyw mają zastosowanie w ustnikach, kierownicach wydechu i zaworach.

Style

Inaczej niż w wielu innych rodzajach sprzętu nurkowego, jest jeden styl automatu używanego przez dzisiejszych nurków rekreacyjnych. To jest dwustopniowy, jednowężowy model. Wcześniejsze konstrukcje były jednostopniowe, dwuwężowe. Określenie jednostopniowy oznacza, że taki automat redukuje ciśnienie z ciśnienia w butli do ciśnienia otoczenia jako jedną redukcję. Tak więc taki automat musiał mieć zawór pozwalający na redukcję zmieniającego się ciśnienia w butli. Używając tych wczesnych konstrukcji automatów nurek musiał pracować ciężiej by wziąć wdech, a energia potrzebna do wzięcia oddechu zmieniała się w zależności od ciśnienia w butli. Ponieważ nie było wówczas manometrów w zestawach nurkowych, ta zmiana pozwalała na względną ocenę jak wiele powietrza pozostało w butli. Kolejnym etapem ewolucji automatów był dwustopniowy, dwuwężowy automat, który redukowało ciśnienie w dwóch kolejnych etapach. W ten sposób pierwszy stopień redukowało ciśnienie z butli do ciśnienia pośredniego, większego od ciśnienia otoczenia. Drugi stopień redukowało dalej to pośrednie ciśnienie do ciśnienia otoczenia, którym oddychano. Wprowadzenie dwustopniowego automatu zwiększyło wydajność, gdyż pozwoliło na zastosowanie większych gniazd, a dzięki temu na uzyskanie większych przepływów. Ponieważ drugie stopnie pracują w tym systemie w bardziej stałym zakresie ciśnień, wydajność oddechowa takiego automatu pozostaje bardziej stała w czasie nurkowania. Dwuwężowe automaty były popularne w latach 60-tych. W tych modelach obydwa stopnie automatu mieściły się w obudowie za głową nurka. To dawało następujące korzyści:

- lekkie ustniki (jednakże dwuwężowe ustniki mogły być na tyle pływalne, żeby podlegać niekomfortowo sile wyciągania z ust nurka w górę)

- doskonała odporność na zamarzanie w zimnych wodach
- brak bąbli przy twarzy nurka

Te automaty miały także mankamenty takie jak:

- zawory były umieszczone zwykle dostatecznie wysoko powyżej poziomu klatki piersiowej aby

niepotrzebnie zwiększać opory oddechowe, co powodowało że ciężko się z nich oddychało

- Węże stanowiły idealne miejsce dla rozwoju bakterii

- Usunięcie wody z ustnika wymagało bardzo mocnego wydmuchiwanie, a wyjęcie ustnika z ust było uciążliwe

Pierwsze jednowężowe automaty pojawiły się w roku



1961. W automacie jednowężowym drugi stopień jest dokładnie na tej samej głębokości jak płuca nurka (bo jest w jego ustach), więc powietrze jest dostarczane pod ciśnieniem precyzyjnie dostosowanym do warunków otoczenia. Jednowężowe automaty zawsze będą miały większą wydajność niż dwuwężowe z dwóch powodów: są pozbawione węża wydechowego, który był wrażliwy na zalanie wodą i posiadają przyciskodawczy - dwie cechy, które znacząco ułatwiły oczyszczanie automatu z wody. Dwuwężowe automaty zatrzymywały wilgoć w węzach wydechowych, co wymuszało ich uciążliwe czyszczenie i osuszanie po zakończeniu nurkowania. Jednowężowe automaty nie mają takiego problemu. Ponadto wydech do dwuwężowego automatu powodował wzrost ciśnienia na manometrze, w alternatywnym źródle powietrza i inflatorze niskiego ciśnienia. Dwuwężowe automaty nie nadążały za innowacjami, z którymi jednowężowe radziły sobie bez trudu. W efekcie w latach 70-tych automaty dwuwężowe stały się rzadko spotykane, a w 80-tych wyszły z użycia.

Cechy

Pomimo, że używamy prawie wyłącznie jednowężowych automatów w ten sam sposób, istnieje zasakująco duża ilość cech, które należy brać pod uwagę przy doborze automatu.

Rodzaje pierwszych stopni

Podstawowe różnice dotyczące pierwszych stopni: tłokowe lub membranowe, odciążone lub nieodciążone, kształt, ilość portów, sucha komora lub jej brak i rodzaj przyłącza.

Tłokowe i membranowe.

Ciśnienie w pierwszym stopniu porusza mechanizmy dwóch rodzajów: tłok lub membranę. W automatach tłokowych, ciśnienie otoczenia wywierane przez wodę, oddziałuje na tłok, który jest głównym, ruchomym elementem w tym modelu. W systemach membranowych, ciśnienie oddziałuje na elastyczną membranę. Popychacz znajdujący się w środku membrany, przenosi ruch do mechanizmu zaworu. Systemy tłokowe i membranowe, posiadają inne zalety i wady, których większość ma nikłe znaczenie dla użytkownika. Dalsze rozważania na ten temat są omówione w oddzielnym akapicie.

Odciążone i nieodciążone.

Zarówno systemy tłokowe jak i membranowe mogą mieć albo odciążone albo nieodciążone zawory. Różnica dotyczy zachowania się mechanizmu przy zmianach ciśnienia w butli. W zaworze nieodciążonym, ciśnienie z butli naciska na zawór i pomaga mu otworzyć się. W miarę zużycia powietrza, ciśnienie spada, i zmniejsza się siła wspomagająca otwarcie zaworu. To powoduje niewielkie różnice w wydajności automatu. Zawory odciążone są skonstruowane w taki sposób, że wysokie ciśnienie z butli dostaje się do obydwu stron zaworu. To powoduje zniesienie, lub inaczej zbalansowanie ciśnień i dzięki temu wydajność automatu pozostaje taka sama przez cały czas nurkowania niezależnie od ciśnienia w butli. Większość dziesiętnych automatów posiada odciążone pierwsze stopnie, aczkolwiek istnieją niektóre podstawowe modele, które nie posiadają tej cechy. Nieodciążone modele, nie mają tak dobrej wydajności jednak mogą bardzo dobrze się sprawdzać w płytkich nurkowaniach rekreacyjnych albo być pomysłem na tani zakup zapasowego automatu.

Produkcja automatów

Z powodu różnorodności, dokładne opisanie szczegółów budowy nawet jednego automatu zajęłoby całą książkę. Istnieją jednak pewne cechy wspólne powszechnie stosowane w produkcji automatów.

Podzlecenie elementów produkcji

Rzadko producent automatów wykonuje wszystkie komponenty w jednej fabryce. Podobnie jak przy produkcji samochodów, część podzespołów jest wykonywana przez inne fabryki specjalizujące się w takich procesach jak odlewanie metali, wykonywanie form i wtrysk tworzyw sztucznych. Niektórzy producenci zlecają na zewnątrz wykonawstwo tylko szczególnie skomplikowanych podzespołów.

Projektowanie

Producenci zwykle projektują wygląd automatu w swoich fabrykach, oraz prowadzą testowanie, a także badania i rozwój. Nie jest niczym niezwykłym fakt, że czas od koncepcji do rozpoczęcia sprzedaży detalicznej trwa nawet kilka lat. Podobnie jak z pozostałymi elementami sprzętu nurkowego, nie jest wystarczające aby wymyślić automat, który po prostu lepiej działa. Projekt musi być opłacalny do realizacji, sprzęt łatwy do naprawy i sprawdzić się w codziennym użytkowaniu. Upewnienie się że projekt spełni takie kryteria wymaga złożonego testowania. Z tego powodu, wielu producentów sprzętu używa zaawansowanych komór hiperbarycznych, czułych przepływomierzy i skomplikowanych urządzeń mechanicznych, które w krótkim czasie poddają prototypy siłom, których oczekuje się w czasie wieloletniego użytkowania. Takie urządzenia używa się także do tzw testów zniszczeniowych, które dają projektantom konkretną odpowiedź na pytanie jak długo, dany element wytrzyma użytkowanie w normalnych warunkach. W rezultacie, niektóre projekty nigdy nie trafiają na rynek. Inne zostają poddane radykalnym zmianom.

Odlewanie i obróbka mosiądzu

Większość automatów jest w większości wykonana z mosiądzu. Ten stop metali jest idealny do wykonywania automatów ponieważ nie koroduje tak szybko jak stal czy aluminium, ale wytrzymuje dobrze wysokie ciśnienia. Specjaliści mogą łatwo topić, odlewać i poddawać obróbce maszynowej mosiądz znacznie łatwiej niż stal, gdyż mosiądz nie jest tak twardy. Dodatkowo wióry i odpady mosiądzu po obróbce można ponownie topić i używać co obniża koszty produkcji. To nie jest możliwe z wieloma metalami. Np wióry tytanowe są tak trudne do ponownego przetopu, że nie jest to ekonomicznie opłacalne. Jest to jeden z powodów dlaczego automaty tytanowe są tak drogie, cena musi pokryć także koszt nieodzyskiwalnych odpadów. Firmy, które produkują swoje automaty we własnych fabrykach, zwykle kupują mosiądz w odlewniach w formie wstępnie wytłoczonych lub odlanych elementów, których kształt odpowiada w przybliżeniu produktowi finalnemu. Następnie takie surowe bryły są poddawane obróbce skrawaniem do ostatecznej postaci i jeśli to niezbędne łączone z innymi mosiężnymi elementami w procesie zbliżonym do spawania lub twardego lutowania. Produkt finalny jest poddawany chromowaniu w celu dodatkowej ochrony przed korozją.

Formy wtryskowe

Nowoczesne automaty, a zwłaszcza ich drugie stopnie są powszechnie wykonywane z plastiku i innych syntetycznych materiałów. Taka technologia oferuje oszczędność wagi produktu i kosztów wytworzenia. Inną korzyścią jest możliwość formowania kształtów które są niepraktyczne do wykonania z mosiądzu lub innych metali. Producenci używają form wtryskowych do wytwarzania elementów plastikowych. W tym procesie, producenci zajmują się najpierw wykonaniem formy dla elementów. Forma jest umieszczana we wtryskarce - urządzeniu, które wtłacza roztopiony plastik do formy. Po ostygnięciu, forma jest otwierana ręcznie lub automatycznie, a element finalnie obrabiany do oczekiwanego kształtu.

Montaż i testowanie

Większość producentów montuje i testuje swoje produkty samodzielnie. To jest proces zbliżony do serwisowania automatu, ale w większym zakresie. Technicy montują pierwsze i drugie stopnie z elementów wykonanych we własnych fabrykach i od dostawców zewnętrznych. Kompletne automaty przechodzą testowanie, zanim zostaną zapakowane i wysłane do hurtowników. Większość producentów testuje automaty pod kątem spełnienia Normy Europejskiej CE, która wymaga testowania każdej sztuki przy użyciu maszyny oddechowej i potwierdzenia zgodności ze specyfikacją podawaną przez producenta

Kształt i porty.

W doborze automatu należy brać pod uwagę możliwość podłączenia węży wszystkich elementów i poprowadzenia ich w opływowym sposób, blisko ciała nurka. Większość najlepszych automatów posiada co najmniej cztery porty niskiego ciśnienia, które dostarczają ciśnienia pośredniego (do drugich stopni, oktopusa, inflatorów) oraz jeden lub dwa porty wysokiego ciśnienia, które dostarczają ciśnienia z butli bez redukcji (używane do manometrów). Niektóre tańsze modele mogą mieć mniej portów (jest to ważne np przy planowanym podłączaniu suchego skafandra, którego wąż także potrzebuje portu do podłączenia) albo porty prowadzą w innych kierunkach niż chcesz podłączyć węże. Porty niskiego i wysokiego ciśnienia mają różne średnice gwintów, aby zapobiec przypadkowemu podłączeniu w niewłaściwy sposób (do lat 70-tych

nie było różnic) Amerykańscy i Azjatyccy producenci używają takiego samego standardu średnic, a część europejskich innego. Oprócz umiejscowienia portów niektóre automaty mają obrotową głowicę, która pozwala na lepsze i łatwiejsze ułożenie węży w oczekiwany sposób, aczkolwiek jeśli automat posiada odpowiednią ilość portów ukierunkowanych odpowiednio do oczekiwań to głowica obrotowa nie jest potrzebna.

Powrót automatu dwuwężowego

Pomimo że dwuwężowy automat praktycznie zniknął z początkiem lat 80-tych, część nurków wciąż go używała. Podwodni fotografowie woleli, by bąble powietrza z automatu pozostawały w tyle za ich głowami, co mniej straszy podwodne stworzenia a bąble nie osiadają na obiektywach i podglądzie sprzętu fotograficznego. Nurkowie podlodowi byli zadowoleni z faktu odporności automatów dwuwężowych na zamarzanie. Dla innych widok automatu dwuwężowego był nostalgiczny i to decydowało o użytkowaniu go. W roku 2005 firma Aqualung zaskoczyła środowisko nurkowe ponownie wprowadzając na rynek automat dwuwężowy o nazwie Mistral, nawiązującej do klasycznego modelu Mistral z lat 50-tych. Nowy Mistral miał nowoczesną konstrukcję, dwa stopnie redukujące ciśnienie, umożliwiał podłączenie manometru i węża niskiego ciśnienia do inflatora. Węże były wykonane z nowoczesnej gumy silikonowej, która była znacznie bardziej odporna niż używane w przeszłości węże neoprenowe. Jak inne nowoczesne automaty Mistral 2005 miał znacznie lepsze parametry niż jakiekolwiek automaty z lat 50-tych i 60-tych, a producent informował, iż zgodnie z prawami fizyki taka konstrukcja nie może mieć tak dobrej wydajności jak automaty jednowężowe. Jednak jeśli nurek oczekiwał korzyści automatu dwuwężowego lub po prostu chciał mieć automat o wyglądzie z przeszłości, nowy Mistral miał z pewnością wystarczająco dobre parametry i prawdopodobnie inni producenci także będą projektować wersje "retro" używając nowoczesnych rozwiązań w dwuwężowych automatach

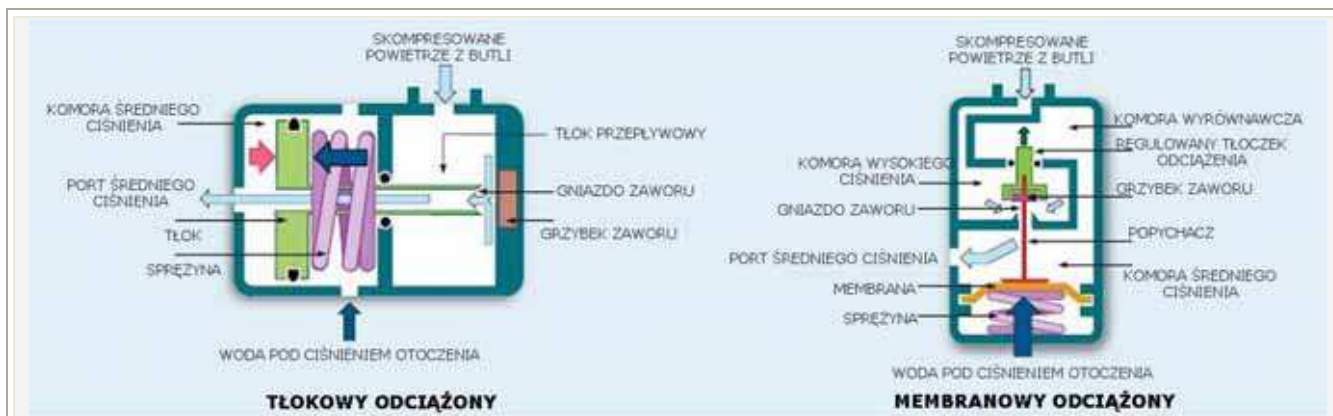
Sucha komora.

Niektóre pierwsze stopnie posiadają tzw suchą komorę. To oznacza, że ciśnienie wody nie oddziałuje bezpośrednio na tłok, czy membranę. Zamiast tego, oddziałuje na silikon lub mieszninę alkoholową, która zamyka dostęp do wnętrza automatu, będącą reagującą na ciśnienie barierą, przekazującą ciśnienie pośrednio na tłok lub membranę. Niektóre modele używają także gazu z butli, który przenosi ciśnienie otoczenia w podobny sposób. Z zastosowania suchej komory wynikają dwie podstawowe korzyści. Pierwsza to zabezpieczenie przez solą, osadami i innymi zanieczyszczeniami które mogą dostawać się do pierwszego stopnia i w ten sposób zabezpieczają przed korozją lub osadzaniem się zanieczyszczeń. Po drugie, sucha komora pomaga w izolacji mechanizmu zaworu, przed zamarzaniem w niskich temperaturach, co oczywiście jest istotne w zimnych wodach, które mogą powodować niewłaściwe działanie automatu z powodu zamarzania. W czasie nurkowania w bardzo zimnych wodach (np pod lodem) należy używać automatów z suchą komorą. Jedynym minusem suchej komory są prawdopodobnie nieco wyższe koszty serwisowania.

System podłączenia.

Tak jak powiedziano w części o zaworach butli, automaty podłącza się do butli w systemie DIN lub przez strzemiączko INT. Obydwa systemy są używane w środowisku nurkowym, przy czym strzemiączko dominuje w ilości zastosowań rekreacyjnych. System DIN jest bardzo popularny w Europie, a także jest typowo stosowany przez nurków technicznych do zestawów dwubutlowych TWIN. Istnieją dwa rodzaje podłączeń DIN, pięciozwojowe gwinty obsługujące ciśnienia do 200bar i siedmiozwojowe używane dla wyższych ciśnień roboczych. Można kupić większość automatów w wersji DIN lub INT, a kryterium wyboru jest zwykle obszar gdzie planujesz nurkowania. Tak jak wspomniano wcześniej istnieją na rynku adaptery. Jeśli używasz na codzień systemu DIN można łatwo zaadaptować go do podłączenia ze strzemiączkiem. Większość zaworów DIN także nadaje się do podłączenia automatu INT z użyciem przejściówki. Jeśli planujesz używać obydwu systemów butli, rozsądnym rozwiązaniem jest zakup automatu DIN i przejściówki DIN/INT. Kilku producentów nie oferuje w ogóle rozwiązań ze strzemiączkiem, zamiast tego sprzedają wyłącznie automaty DIN i oferują przejściówki.

Różnice pomiędzy pierwszymi stopniami tłokowymi i membranowymi



Pomimo, że pierwsze stopnie tłokowe i membranowe różnią się zasadniczo budową, to z praktycznego punktu widzenia zasada działania jest raczej ciekawostką, niż kryterium wyboru przy zakupie. Istnieją plusy i minusy każdej konstrukcji, ale obydwa rodzaje znajdują się w czołówce listy najlepszych automatów. Pierwsze stopnie tłokowe mają mniej ruchomych części niż membranowe, co powoduje że mogą być szybciej i łatwiej serwisowane. Z kolei pierwsze stopnie membranowe mają oddzielone wewnętrzne części od kontaktu z wodą, co zmniejsza korozję i gromadzenie się zanieczyszczeń. Aby to uzyskać w wariancie tłokowym stosuje się rozwiązanie tzw „suchej komory pierwszego stopnia”. Rozwiązania tłokowe dają się łatwo projektować z elementami obrotowymi. Popularne modele oferują pięć portów niskiego ciśnienia podczas gdy większość rozwiązań membranowych ma jedynie cztery takie porty. Nurkowie posiadający odpowiednią wiedzę i umiejętności mogą z łatwością wyregulować pierwszy stopień membranowy przy użyciu prostych narzędzi, a większość systemów tłokowych musi być rozebrana na części aby je odpowiednio wyregulować.

Rodzaje drugich stopni

Różnice budowy drugich stopni sprowadzają się do konfiguracji, zaworów typu "downstream", czyli współbieżnych (otwierają się zgodnie z kierunkiem przepływu gazu) lub z zaworem pilotującym, odcciążonych lub nieodciążonych, o regulowanym przepływie lub bez regulacji oraz ze wspomaganie efektu Venturiego.

Konfiguracja.

Najczęściej spotykamy drugie stopnie membranowe, z przyciskiem dodawczym z przodu puszkii drugiego stopnia. Zawór wydechowy znajduje się na dole, w tylnej części puszkii z kierownicami wydechu wyprowadzającymi bąble na którąś stronę twarzy. Przeważająca większość automatów ma właśnie taką konstrukcję niezależnie od innych cech. Nieliczne automaty łączą membranę z zaworem wydechowym. Te modele mają membranę i przycisk dodawczy albo z boku albo na dole z tyłu puszkii. Korzyścią modeli z boczną membraną jest to że nie ma znaczenia czy oddychamy z automatu w normalnej pozycji czy "do góry nogami". W sytuacji dzielenia powietrza, nie ma znaczenia w jakiej pozycji biorca trzyma automat w ustach. Niektóre automaty z boczną membraną wydają dźwięki, które mogą drażnić.



Zawór współbieżny i pilotujący--

Drugie stopnie mają dwa podstawowe typy zaworów. Współbieżny jest bardziej popularny. W tym rozwiązaniu membrana porusza w przeciwnym kierunku ciągle połączone z jednodrożnym zaworem. To powoduje otwarcie zaworu dostarczając gaz. Ponieważ zawór otwiera się zgodnie z kierunkiem przepływu gazu nazywa się go współbieżny. Zawory współbieżne mają kilka plusów. Pierwszym jest fakt że są mechanicznie prostymi konstrukcjami, co powoduje ich wysoką niezawodność. Po drugie przepływ powietrza naciska na zawór co powoduje że precyzyjne ustawienie jest łatwe jako że zawór jest delikatnie niedomknięty. To powoduje łatwość oddychania. Po trzecie, w przypadku uszkodzenia zaworu, prawie zawsze uszkodzony pozostaje w otwartej pozycji. To oznacza, że gdy powietrze przepływa ciągle przez zawór (bąblujący automat), można wciąż oddychać z automatu i bezpiecznie się wynurzyć. Ta cecha jest nazywa fail-safe (odporny na uszkodzenia) Drugie stopnie które mają membranę umieszczoną z boku lub z dołu są wykle wyposażone w zawory pilotujące. Mały zawór pilotujący jest otwierany za pośrednictwem dźwigni poruszanej membraną w czasie wdechu. Ten mały zawór uwalnia ciśnienie powietrza, które z kolei otwiera główny zawór. Korzyścią takiej konstrukcji jest większy przepływ przy mniejszym wysiłku. Minusami są złożona budowa i koszt. Zwykle kosztują one więcej i mogą być bardziej skomplikowane do naprawy. Niektórzy użytkownicy narzekają na zjawisko dziejące się na płytkiej wodzie zwane migotaniem lub drżeniem. To jest powodowane niewielkim opóźnieniem pomiędzy czasem gdy zawór otwiera się zawór pilotujący a następnie zawór główny. Nowe modele zaworów pilotujących mają mniejszą skłonność do takich zachowań. Zawory pilotujące mają skłonność do łatwego wzbudzenia się i większość jest wyposażona w dźwignię powierzchnia / nurkowanie. Ustawienie położenia "powierzchnia" zwiększa nacisk na membranę i zmniejsza podatność na wzbudzenie gdy automat nie jest trzymany w ustach.

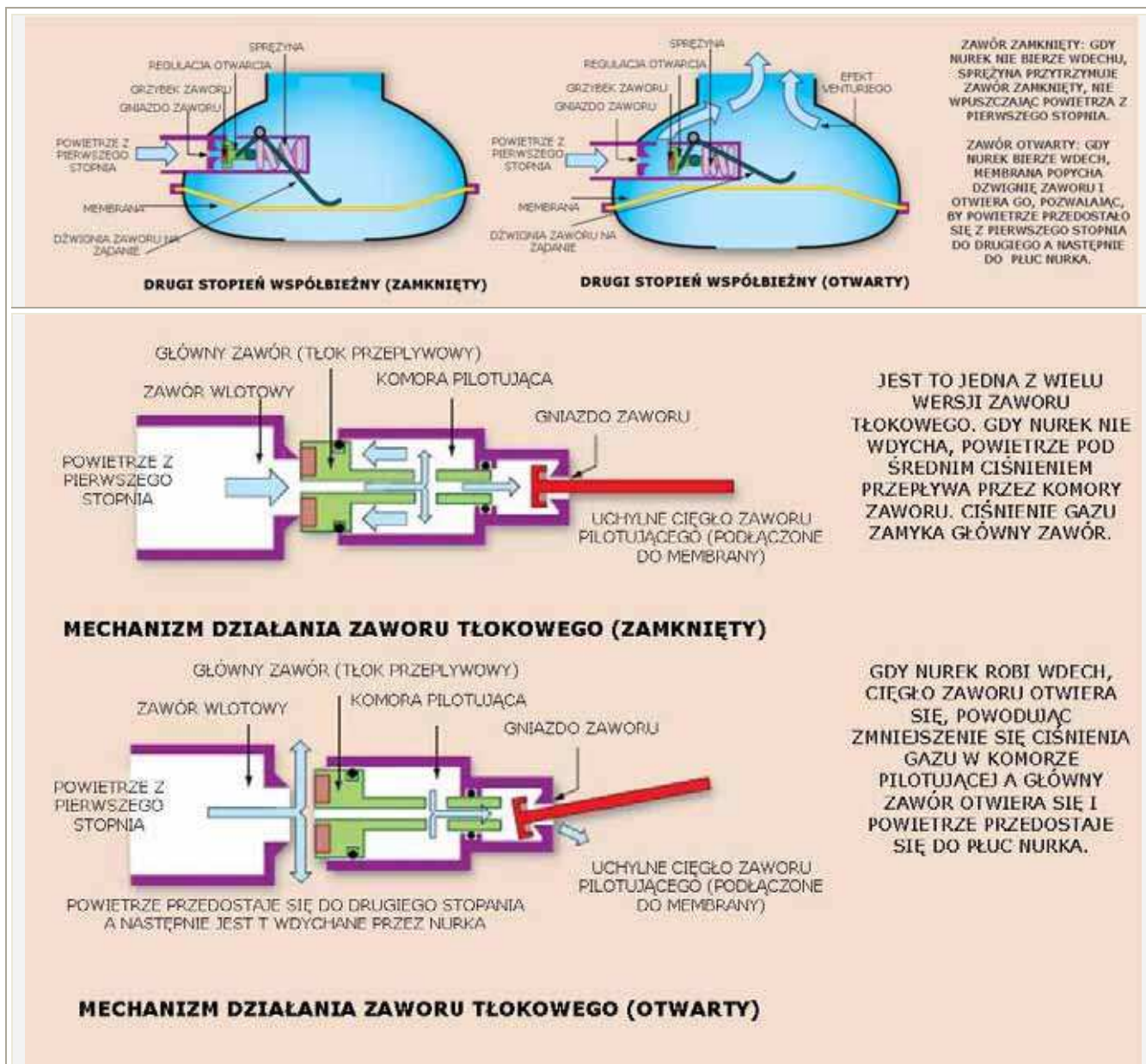
Odciążone i nieodciążone -

Podobnie do pierwszych stopnie, także drugie stopnie mogą być zbalansowane lub nieodciążone. To jest stosunkowo nowa opcja w drugich stopniach; do końca lat 90-tych praktycznie wszystkie drugie stopnie były produkowane jako nieodciążone. Generalnie, balansowanie drugiego stopnia nie daje korzyści łatwiejszego oddychania (nieznacznie tak) Tak dzieje się ponieważ zawór współbieżny ciśnienie powietrza, niemal całkowicie znosi siłę wymaganą do otwarcia "zaworu na żądanie" Jednakże zawory odciążone pozwalają na użycie lżejszych materiałów, zwiększają czas użytkowania i pozwalają na dokładniejsze ustawienie wydajności. Ponieważ dodanie opcji balansowania zaworu do drugiego stopnia nie powoduje znaczącego skomplikowania konstrukcji, kosztu wytworzenia ani serwisowania, coraz więcej drugich stopni jest produkowanych obecnie w wersji odciążonej.

Regulowanie i nieregulowane -

Wszystkie drugie stopnie posiadają wewnętrzną regulację, którą technicy ustawiają w czasie montażu i serwisowania. Automaty z wyższych półek mają wyprowadzoną tą regulację na zewnątrz umożliwiając użytkownikowi dostosowanie. Regulacja polega na zmianie nacisku na zawór powodując oddychanie łatwiejszym lub trudniejszym. W niektórych modelach można ustawiać regulację w skrajnych położeniach od bąblowania do prawie całkowitego zamknięcia przepływu. Regulowane drugie stopnie oferują dwie korzyści. Po pierwsze można czasowo zmniejszyć przepływ prawie do zera aby uniknąć bąblowania np płynąc pod silny prąd, który naciska na membranę. Ponieważ najlepsze automaty są bardzo wrażliwe, być może właściwe jest ustawienie oktopusa w małej wrażliwości na otwarcie, z możliwym dostosowaniem gdy będzie on używany. Nurkowie techniczni, którzy przełączają się pomiędzy wieloma automatami w czasie nurkowania, także mogą chcieć zmieniać czułość otwarcia zaworu w zależności czy automat jest aktualnie używany, czy nie. Inną korzyścią regulacji jest fakt, że automaty wraz ze zużyciem pomiędzy kolejnym serwisowaniem zmniejszają swoją wydajność, w modelu regulowanym można niwelować te zmiany. Dostosowywanie automatu tak by ciężiej podawał powietrze nie powoduje oszczędności w zużyciu powietrza. To może być wręcz niebezpieczne powodując nie tylko podawanie niedostatecznej ilości powietrza, ale wręcz zatrzymanie pracy. Im więcej wysiłku wkłada się w branie wdechu, tym większe zapotrzebowanie na tlen ma nasz organizm, co powoduje zwiększenie zużycia powietrza. Aby zużywać jak najmniej powietrza, właściwe jest ustawienie automatu na jak najłatwiejsze oddychanie, minimalnie poniżej granicy bąblowania.

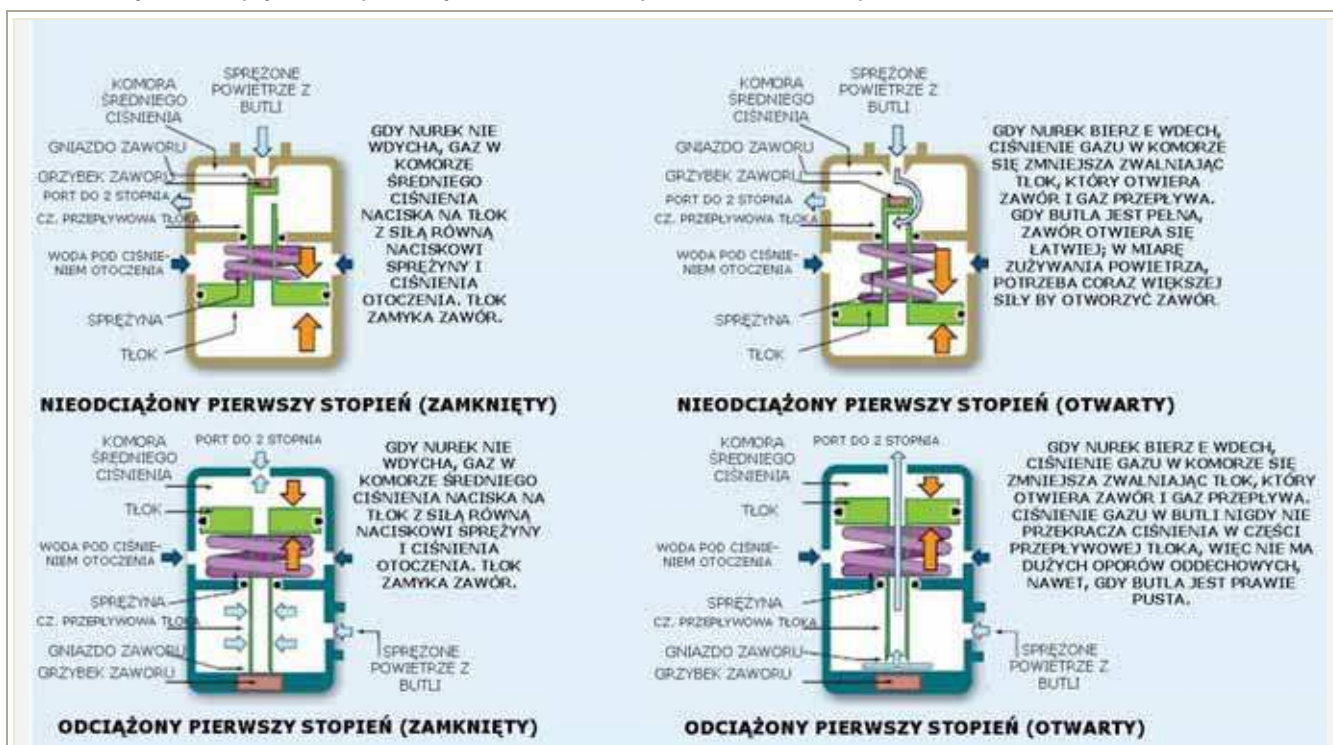




Dysza Venturi'ego -

Innym sposobem zmniejszenia oporów oddechowych w automatach ze współbieżnym zaworem jest użycie dyszy (lub zwężki) zgodnie z prawem Venturi'ego, które mówi, że przepływający płyn (ciecz lub gaz) wywołuje zmianę ciśnienia. Używając wspomaganie z dyszą Venturi'ego przepływ gazu powoduje zmniejszenie ciśnienia i redukuje siłę konieczną do otwarcia zaworu na żądanie. Aby uruchomić wspomaganie Venturi'ego, wylot powietrza z drugiego stopnia jest skierowany w dół w kierunku ustnika. Takie umiejscowienie ułatwia wspomaganie do tego stopnia, że automatu ze wspomaganie mają tendencję do wzbudzenia się gdy nie są umieszczone w ustach. Aby temu zapobiegać, większość automatów tej konstrukcji posiada ustawienie nurkowanie / powierzchnia. W ustawieniu powierzchniowym następuje zmniejszenie przepływu, co zmniejsza wpływ efektu Venturi'ego utrudniając przepływ gazu w czasie gdy nie nurkujemy. Zauważ różnice jak działa ustawienie nurkowanie / powierzchnia w automatach z zaworem pilotującym.

Różnice pomiędzy pierwszym stopniem odciążonym a nieodciążonym.



Wybór właściwego automatu

Jeśli opisywane cechy i różnice budowy wydają się być zbyt skomplikowane aby wybrać właściwy model, zastanów się nad wynikającymi z tych różnic konsekwencjami dla nurka i podejmij decyzję na takiej podstawie.

- **Bezpieczeństwo.** Bezpieczeństwo jest bardzo ważne, aczkolwiek kupując nowoczesny automat od znanego producenta, otrzymujesz produkt o rozsądnej i sprawdzonej konstrukcji. Nie jest konieczne sprawdzanie, które automaty działają a które nie :-)
- **Inwestycje w najlepsze modele.** Jeśli ktoś wyraża opinię, że najlepsze automaty nie są przeznaczone dla początkujących lub nurkujących okazjonalnie, to nie jest prawda. Podobnie byłoby mówić, że nie ten kto choruje okazjonalnie nie potrzebuje najlepszych lekarstw. Każdy nurek skorzysta z lepszej wydajności i wytrzymałości najlepszych modeli. Jeśli cena jest ważna w podejmowaniu wyboru, dobrze jest kupić po prostu najdroższy model na jaki nas stać. Praktycznie zawsze kupowanie droższych modeli okazuje się w efekcie tańsze w czasie długiego okresu użytkowania.
- **Łatwość oddychania i serwisowania.** Wybieraj automat z którego łatwo się oddycha, i który wiesz, że może być serwisowany. Jest bardzo wiele dobrych marek, ale niektóre z nich mogą być niemożliwe do serwisowania tam gdzie mieszkasz i wymagać czasem kosztownych wysyłek.
- **Zasięgnij porady w centrum nurkowym lub resorcie PADI.** Prawdopodobnie będziesz miał do dyspozycji wiele topowych modeli o niskich oporach oddechowych i łatwych do serwisowania nieopodal. Jeśli nie jesteś pewien, poradź się profesjonalisty w najbliższym centrum nurkowym PADI. Może będziesz preferował złączkę DIN lub INT w zależności od planowanych miejsc nurkowania? Niektóre modele z zaworem pilotującym są znane ze swojej wrażliwości na zanieczyszczenie piaskiem, więc być może właściwe będzie ich unikanie jeśli planujesz dużo nurkować z plaży? Jeśli planujesz nurkowania w zimnych wodach tak jak to jest w północnej Europie, to sucha komora pierwszego stopnia może być kluczową cechą przy wyborze.

Konserwacja i serwis automatu

Automat i jego akcesoria wymaga więcej troski niż inne elementy sprzętu nurkowego.

Konserwacja.

Najważniejszym elementem konserwacji automatu jest jego mycie w słodkiej wodzie jak najszybciej po użyciu. Niestosowanie się do tego zalecenia powoduje szybsze zmniejszenie wydajności niż jakiegokolwiek inny powód. Jeśli to możliwe, umyj automat gdy jest wciąż zamontowany na butli, a powietrze odkręcone. To zmniejsza ryzyko przypadkowego dostania się wody do pierwszego stopnia. Jeśli nie jest to możliwe, zaleca się zakręcenie kapturka zabezpieczającego pierwszy stopień i oplukiwanie w pozycji z drugimi stopniami

poniżej pierwszego. Nie wolno naciskać przycisku dodawczego, który otwiera zawór i może być przyczyną przedostania się wody do pierwszego stopnia. Należy używać niezbyt silnego strumienia wody lub mycia w naczyniu z wodą. Unikanie silnego strukienia wody zapobiega przedostawaniu się zanieczyszczeń w miejsca które są na nie wrażliwe. Czasami nie jest możliwe umycie autmatu przez wiele godzin, możliwe jest wówczas stosowanie płynu usuwającego sól w sprayu (np Salt-X) spryskując powierzchnię oraz wnętrze drugich stopni, a następnie spłukując słodką wodą w sprayu. Dobrze jest zapakować automaty szczelnie, tak aby nie wysychały do czasu właściwego mycia. Po myciu należy pozwolić automatom wyschnąć w suchym chłodnym miejscu bez bezpośredniego działania słońca. Należy unikać zaginania węży. Usztywniacze na węzłach pomagają w tym. Nie należy smarować, rozkręcać ani serwisować automatów bez posiadania odpowiednich kwalifikacji.

Serwisowanie.

Automat wymaga profesjonalnego serwisu zgodnie ze specyfikacją producenta. Zwykle przeprowadza się to raz do roku, choć nowe automaty zbudowane z nowych materiałów mogą mieć dłuższe czasy pomiędzy wymaganymi przeglądami serwisowymi. Automat należy serwisować gdy:

- Zgodnie ze specyfikacją producenta (zwykle raz do roku lub co dwa lata)
- Co sześć miesięcy intensywnego użytkowania
- Jeśli zaobserwowano uszkodzenia lub nadmierne zużycie
- Jeśli zaobserwowano wyraźne zwiększenie oporów oddechowych lub jakiegokolwiek powód który podejrzewasz, że może skutkować problemami dla automatu.

Biorąc pod uwagę, iż automat jest podstawowym elementem podtrzymującym Twoje życie pod wodą, staraj się zawsze być po bezpiecznej stronie gdy chodzi o konserwację i serwis. Pomimo, że problemy mogą być wywołane wieloma przyczynami, najlepszym sposobem ich unikania jest kompletny serwis, który trwa i kosztuje nieznacznie więcej niż częściowe wymiany zużytych elementów.

Serwis składa się z kilku kroków. Po pierwsze, technik rozmontowuje wszystkie elementy, i czyści je w kąpeli kwasowej lub w specjalnym detergencie w myjce ultradźwiękowej. Wyczyszczone elementy, poddawane są inspekcji wizualnej, a zużyte elementy wymieniane. Skręcony ponownie automat poddawany jest regulacji zgodnie z parametrami producenta.

Czystość tlenowa.

Jak już wspominaliśmy wcześniej, używanie nitroxu lub czystego tlenu może powodować określone wymagania w stosunku do sprzętu. Pomimo, że środowisko nurkowe zgodnie dopuszcza użytkowanie zwykłych automatów „powietrznych” do użycia z nitroxem o stężeniu nie większym niż 40% tlenu, niektórzy producenci wymagają by ich automaty były czyszczone tlenowo przed kontaktem z jakąkolwiek mieszanką zawierającą 22 lub więcej procent tlenu. Jeśli jesteś nurkiem technicznym i będziesz używał mieszanej zawierającej więcej niż 40% tlenu konieczny będzie serwis czystości tlenowej. Nie wszystkie automaty mogą zostać zakwalifikowane do serwisu czystości tlenowej. Wśród tych, które mogą praca dotyczy zasadniczo czyszczenia pierwszego stopnia. Technik rozbiera automat na części i oczyszcza je w taki sposób aby spełnić wymagania czystości tlenowej. To oznacza przeprowadzenie prostych testów na obecność różnych zanieczyszczeń mogących reagować z tlenem. Kolejnym etapem jest wymiana wszystkich elementów na kompatybilne tlenowo, najczęściej jest to wymiana typowych neoprenowych uszczelek o-ring na uszczelki wykonane z materiałów Viton™ lub butyl-n. Na koniec smarowanie odbywa się specjalnym smarem kompatybilnym tlenowo zamiast standardowego smaru silikonowego. Niezależnie od tego jak często używasz autmatu, serwis tlenowy powinien być dokonywany nie rzadziej niż raz w roku. Wiele nowoczesnych automatów jest sprzedawane jako czyste tlenowo, ale one także wymagają corocznego serwisu tlenowego.

Aletrnatywne źródła powietrza

W teorii nurek rekreacyjny nigdy nie powinien doświadczyć sytuacji “braku powietrza”. Czasami nurek wyczerpuje prawie cały l. W czasie kursu OWD uczysz się kilku procedur postępowania w takich sytuacjach. Jedną z nich jest użycie alternatywnego źródła powietrza, czyli tzw oktopusa. Alternatywnym urządzeniem innym niż podstawowy drugi stopień automatu, które pozwala na oddychanie normalnie. Istnieją cztery różne sposoby awaryjnego użycia oktopusa, dwie wymagają dzielenia powietrza między partnerami, także ma swoje podejście do użycia alternatywnego źródła powietrza.

Drugie stopnie alternatywnych źródeł powietrza

Najbardziej popularnym i powszechnie akceptowanym alternatywnym źródłem powietrza jest dodatkowy drugi stopień automatu zwany



„oktopusem” Dodatkowy drugi stopień jest zwykle umieszczony na nieznacznie dłuższym węźle niż podstawowy z którego nurek oddycha i jest zwykle umieszczony w widocznym miejscu w trójkącie pomiędzy brodą a biodrami. Mocowanie umożliwia łatwe odłączenie w razie potrzeby użycia. Wielu producentów oznacza alternatywne źródła powietrza jaskrawym kolorem puszek tak by ułatwić lokalizację. Dodatkowe źródło powietrza służy dzieleniu się nim z innym nurkiem. Przełączanie się na własne alternatywne źródło powietrza podłączone do tej samej pustej butli nie ma sensu. Dawca (donor) podaje zapasowe źródło powietrza potrzebującemu nurkowi bez powietrza, który oczyszcza puszkę oktopusa i rozpoczyna normalne oddychanie w czasie wynurzenia kończącego bezpiecznie nurkowanie.

Zapaszowe źródło powietrza na inflatorze

Zapaszowy automat zintegrowany z inflatorem może także być używany do współdzielenia powietrza. Jednak wąż inflatora jest na tyle krótki, że dawca przełącza się na oddychanie ze swojego zintegrowanego inflatora, oddając nurkowi bez powietrza swój podstawowy automat. Niektórzy nurkowie używają swojego podstawowego automatu na długich węzłach co daje więcej możliwości dzielenia się powietrzem.

Butle Pony

Z technicznego punktu widzenia butla pony nie jest elementem twojego zestawu nurkowego, lecz oddzielnym miniaturowym systemem oddechowym przyczepionym do butli nurka. Butla pony jest małą butlą z własnym automatem. Dzielenie się powietrzem z butli pony jest takie samo jak z innego drugiego stopnia z tą różnicą, że możliwe jest autoratownictwo przy użyciu butli pony. W ten sposób butla pony jest całkowicie niezależnym źródłem powietrza, szczególnie polecanych nurkom rekreacyjnym, którzy schodzą poniżej 18m ponieważ to nie jest tylko forma podziału powietrza ale dodatkowe źródło powietrza. Butle pony zawierają wystarczająco dużo gazu, aby zapewnić bezpieczne wynurzenie i wykonanie przystanku bezpieczeństwa na 5 metrach. Mankamentem butli pony jest fakt posiadania i obsługiwanie kolejnego elementu wyposażenia.



Zły pomysł

Pomimo że nie jest już tak powszechnym jak kiedyś wyposażanie jacketu w niezależną butlę do napełniania, teoretycznie jest możliwe oddychanie z jacketu w sytuacji awaryjnej. Problem polega na tym, że wysysanie powietrza w czasie wynurzenia z urządzenia odpowiedzialnego za pływalność nie jest łatwą umiejętnością. Dodatkowo warunki panujące wewnątrz pęcherza jacketu są znakomitym miejscem dla rozwoju bakterii. Dlatego nie bierzcie pod uwagę że jacket mógłby być alternatywnym źródłem powietrza, miejcie zawsze właściwe alternatywne źródło jako część swojego zestawu nurkowego

Kompaktowe butle wynurzeniowe

Miniaturowe butle ze zintegrowanym automatem podobnie jak butle pony są całkowicie niezależnym źródłem powietrza możliwym do autoratownictwa. Ich przewagą jest to że są mniejsze i lżejsze od wersji pony. Będąc bardzo małymi zawierają niewiele gazu, zwykle tylko tyle by móc się wynurzyć bezpiecznie, zakładając że wynurzenie rozpoczęło natychmiast i być może pominięto przystanek bezpieczeństwa. Z takiego powodu, nurkowie używający kompaktowych butli nie rezygnują z posiadania oktopusów co daje możliwość ratownictwa zarówno przy użyciu współdzielenia powietrza z partnerem jak także dodatkowo autoratownictwa z butlą wynurzeniową.

Nurkowanie techniczne a alternatywne źródła powietrza

Podejście nurków technicznych do sytuacji „brak powietrza” jest odmienne niż nurków rekreacyjnych głównie dlatego, że zwykle nie mogą oni wynurzyć się bezpośrednio do powierzchni nawet w sytuacji awaryjnej. To oznacza, że w nurkowaniu technicznym konieczne jest rozwiązanie problemów z brakiem gazu na głębokości, przede wszystkim w formie autoratownictwa. Zdublowane zawory, manifold i separator, dwa automaty stanowią standard właśnie po to, aby zapewnić znaczną rezerwę gazu, a także dwa niezależne systemy dostępu do tego gazu. W przypadku awarii automatu zamyka się zawór doprowadzający gaz do tego automatu (który będzie bąblował) przełącza się oddychanie na drugi automat oraz rozpoczyna procedurę wynurzenia z dekompresją zgodną z czasem skróconego (przerwanego) nurkowania. Oprócz tego nurkowie techniczni konfigurują swój zestaw tak by móc dzielić gaz w zespole. Podstawowy automat jest umieszczony na długim, dwumetrowym węży, który wychodzi z prawego pierwszego stopnia - najpierw w dół wzdłuż butli od ramieniem, a następnie w poprzek klatki piersiowej i robiąc pętlę dookoła szyi dochodzi do ust nurka. Taki układ pozwala na uporządkowanie bardzo długiego węża, i jego łatwe odwiniecie w sytuacji awaryjnej. Jeśli członek zespołu potrzebuje gazu, Ty podajesz mu swój automat z ust i przełączasz się na automat zapasowy, na zwykłej długości węża, który jest zawieszony poniżej Twojej brody na gumie.



Manometr

Ostatnim elementem Twojego zestawu nurkowego jest manometr. Pokazuje on ile powietrza pozostało w butli w czasie nurkowania i jest w ten sposób niezastąpionym elementem zestawu nurkowego. Większość manometrów jest podłączona do portu wysokiego ciśnienia automatu węży. Manometr może być prostym urządzeniem analogowym lub elementem elektronicznego komputera nurkowego. Istnieją manometry bezprzewodowe, łączące się z transponderem umiejscowionym w porcie wysokiego ciśnienia automatu. Transponder wysyła informację o ciśnieniu do odbiornika w komputerze umieszczonym na nadgarstku. Komputer wyświetla ciśnienie, oraz może również obliczać na jak długo wystarczy powietrza przy bierzącej głębokości oraz prędkości oddychania. Więcej o manometrach dowiesz się w kolejnej sekcji Encyklopedii. Niektóre konsole zawierają między innymi manometr. Dla odmiany nurkowie techniczni używają prawie wyłącznie analogowych manometrów i nie używają konsoli.



Instrumenty pomiarowe

Człowiek używa wielu technologicznych adaptacji aby móc przebywać pod wodą. Sprzęt nurkowy umożliwia płucom oddychanie, płetwy dostosowują nasze nogi, a instrumenty pomiarowe - zmysły. Człowiek nie posiada wielu zmysłów, dlatego potrzebuje urządzeń aby mieć informacje niezbędne do przeżycia, których nie potrafi pozyskać bez udziału techniki takich jak: głębokość, czas nurkowania, ciśnienie powietrza w butli, kierunek płynięcia itp. Urządzenia dostarczają także innych użytecznych danych nie tylko niezbędnych do przeżycia takich jak np temperatura wody

Głębokość i czas.

Musisz znać maksymalną głębokość swojego nurkowania i czas spędzony pod wodą aby uniknąć choroby dekompresyjnej. Potrzebujesz znać także obecną głębokość aby pozostać w granicach zaplanowanych limitów głębokości i czasu. Jako nurek rekreacyjny planujesz tak limity czasu i głębokości, aby móc wynurzyć się do powierzchni w każdej chwili. Jako nurek techniczny, pozostajesz w limitach planowanej dekompresji, co oznacza, że przeprowadzisz serię zaplanowanych przystanków, kolejno na coraz mniejszych głębokościach przez obliczony czas. Podstawowymi elementami pomiarowymi dla tych celów są głębokościomierz i zegarek nurkowy. Używając tabel nurkowych można określić jak długo możesz nurkować opierając się na maksymalnej głębokości nurkowania. Częściej używa się komputerów nurkowych, które

śledzą głębokość i czas i przeliczają te informacje w oparciu o model dekompresji. Użycie komputera daje zazwyczaj dłuższe czasy nurkowania ponieważ komputer oblicza nasycenie na głębokości na której aktualnie przebywasz, a nie na maksymalnej głębokości nurkowania jak to ma miejsce gdy używa się tabel. W nurkowaniu technicznym używa się specjalnych tabel do planowania nurkowań dekompresyjnych. Możliwe jest jednak użycie technicznych komputerów do określenia głębokości przystanków i ich czasów w zakresie zaplanowanego nurkowania.

Ciśnienie w butli.

Jak mówiliśmy wcześniej, manometr określa jakie ciśnienie pozostało w butli. Taka informacja nie tylko pomaga zakończyć nurkowanie z minimalną rezerwą ok 35 atm na powierzchni, ale także pomaga modyfikować plan nurkowania w zależności od zużycia powietrza. Np opierając się na zużyciu powietrza, możesz zdecydować o wcześniejszym powrocie do punktu starowego zamiast długiego płynięcia po powierzchni. W nurkowaniu technicznym używa się manometrów do bardziej złożonego zarządzania gazami, które typowo obejmuje wiele butli. Nurkowania planuje się w w oparciu o margines bezpieczeństwa, który pozostawia co najmniej 1/3 niezużytego gazu na koniec nurkowania, w przypadkach innych niż awaryjne.



Kierunek.

W zależności od uwarunkowań, znajomość kierunków świata pod wodą może być ważna dla życia lub jak to ma miejsce w nurkowaniu rekreacyjnym raczej użyteczna. Podwodny kompas dostarcza takich informacji.

Temperatura.

To jest typowa informacja “którą lubimy znać”. Obserwując i zapisując zmiany temperatury, podobnie jak użytą ochronę przed chłodem i komfort nurkowania, możesz planować nurkowania jako bardziej komfortowe termicznie w przyszłości. Jeśli zauważysz, że czujesz zimno przy danej temperaturze, możesz planować użycie grubszego skafandra nurkując w takiej temperaturze.

Pozostałe.

Dzięki nowoczesnym komputerom, masz do dyspozycji znacznie więcej informacji - profile ostatnich nurkowań, maksymalny czas i głębokość poprzednich nurkowań, czas przerw powierzchniowych, czas niezbędny do odsycenia przed lotem samolotem i wiele innych. Wiele komputerów nurkowych posiada opcję podłączenia do komputera PC lub laptopa i transferu danych.

Budowa ciśnieniomierzy

Pomimo, że różne urządzenia dają różne informacje, wiele z nich funkcjonuje podobnie. Np zarówno ciśnieniomierz jak i głębokościomierz odczytują ciśnienie - odpowiednio w butli i ciśnienie otoczenia. Zarówno wersje mechaniczne jak i elektroniczne mają zbliżoną koncepcję budowy

Rurka Bourdona jest najczęściej używanym mechanizmem do pomiaru ciśnienia. Jest to zasklepiona, wygięta rurka, wykonana zwykle z miedzi, która prostuje się gdy ciśnienie wewnątrz rurki jest większe od ciśnienia otoczenia. Koniec rurki łączy się z zębatkami i dźwigniami, które poruszają centrycznie osadzoną igłę wskazującą ciśnienie na tarczy. Zmieniające się ciśnienie powoduje ruch wskazówki zgodnie lub przeciwnie do kierunku ruchu zegara. W taki sposób działa mechaniczny, analogowy ciśnieniomierz lub manometr. Inną odmianą spiralnie zwiniętej rurki Bourdona jest rurka zwinięta w spiralę, której zasada działania jest taka sama: wskazówka łączy się z końcem rurki i wymaga tylko niewielkiego ruchu spirali aby ustawić się w pozycji wskazania wartości ciśnienia. Spiralne konstrukcje są powszechnie stosowane w mechanicznych głębokościomierzach, ale rzadko w manometrach. Jednym z problemów konstrukcji opartych na koncepcji rurki Bourdona jest zabezpieczenie mechanizmu przed korozją i odkładaniem się osadów. Takiego problemu nie ma w podwodnych ciśnieniomierzach, w których rurka wypełniona jest powietrzem, a cały mechanizm jest zabezpieczony w wodoodpornej obudowie wypełnionej powietrzem lub olejem. Mechaniczne głębokościomierze to inna sprawa. Wczesne konstrukcje, które pozwalały aby woda

wpływała do wnętrza rurki były awaryjne, gdy rurka zatykała się krystalizującą solą lub wysychającymi osadami. Można było temu zaradzić umieszczając spiralną rurkę i otaczającą ją mechanizmy w wypełnionej olejem obudowie. W takim rozwiązaniu, zewnętrzne ciśnienie było przenoszane przez olej, który powodował wyginanie rurki bardziej dokładnie i ściśle. To eliminowało problem zanieczyszczeń. Obecnie mechanizm ciśnieniomierzy pozostał popularny zwłaszcza wśród nurków technicznych, a mechaniczne głębokościomierze prawie całkowicie zniknęły. W ich miejsce pojawiły się głębokościomierze elektroniczne, zwykle zintegrowane z funkcjami pomiaru czasu, a najczęściej jako część komputera nurkowego. Element, który umożliwia pomiar ciśnienia to najczęściej półprzewodnikowy przetwornik elektroniczny zwany piezorezystorem. Typowy przetwornik ciśnienia zbudowany jest z ceramicznej membrany z napyłonymi jonowo ścieżkami rezystancyjnymi, których opór maleje wprost proporcjonalnie do wzrostu ciśnienia uginającego membranę. Mierząc spadek napięcia, obwód zawierający taki element może przeliczać wartości elektryczne na wskazania ciśnienia, zarówno głębokość jak ciśnienie w butli pokazywać w wyskalowanych wartościach. Odkrycie takiego przetwornika było kluczowym etapem powstania komputera nurkowego.

Style instrumentów pomiarowych

Pośród instrumentów pomiarowych jest wiele dostępnych różnic. Instrumenty nurkowe mogą być cyfrowe lub analogowe, umieszczane na nadgarstku lub w konsoli, zintegrowane lub o oddzielnych funkcjach.

Analogowe i cyfrowe.

Wszystkie urządzenia mechaniczne mają analogowy odczyt, podczas gdy urządzenia cyfrowe mogą być odczytywane z wyświetlacza cyfrowego (pokazującego cyfry) lub analogowego. Znajdziesz tylko dwa powszechnie używane urządzenia analogowe w nurkowaniu - manometr i kompas. Wszystkie pozostałe są elektroniczne pomimo, że niektóre urządzenia elektroniczne mogą pokazywać wskazania analogowo. Elektroniczne manometry, głębokościomierze, i czasomierze (zwykle zintegrowane w komputerze



nurkowym) dostarczają informacji z dużą dokładnością w formie cyfrowej. Niektóre z nich posiadają wyświetlacze analogowe, jako że ludzki mózg przetwarza informacje szybciej obserwując względne położenie wskazań. Dobrym przykładem jest wskaźnik słupkowy który podnosi się w miarę zbliżania do limitu bezdekompresyjnego na komputerze. Podobnie komputery z wbudowanym elektronicznym kompasem, pokazują raczej tarczę analogowego kompasu niż wskazanie w postaci kursu w stopniach. Układy scalone i procesory umożliwiają łatwe przeliczanie wartości i uzupełnianie ich o dodatkowe informacje. Np, analogowy manometr pokazuje ciśnienie pozostałe w butli, a urządzenie

elektroniczne może z łatwością uzupełnić te dane o informacje na jak długo wystarczy jeszcze powietrza przy tej samej głębokości i prędkości oddychania i jak to się ma do czasu pozostałego do limitu bezdekompresyjnego.

Na nadgarstek czy do konsoli?

Kiedyś nurkowie nosili instrumenty pomiarowe za wyjątkiem manometru na nadgarstkach. Użycie coraz większej ilości instrumentów, zaczęło stanowić problem. Nurkowie stosowali różne rozwiązania, zaczynając od umieszczania kilku elementów na jednym pasku, montowali urządzenia na płytce plastikowej, którą ubierali na przedramię itd. Żadne z tych rozwiązań nie było pozbawione minusów, więc wielu nurków ucieszyło się z wprowadzenia konsoli w latach 70-tych. Te konsle łączyły kilka urządzeń wraz z manometrem, pozostawiając nadgarstki wolne. Tak rozpoczął się proces łączenia instrumentów pomiarowych razem. Obecnie, jest inaczej. Konsle pozostały popularne, ale pojawił się trend przeciw

konsolom z kilku powodów. Po pierwsze, wraz z rozwojem elektroniki komputery nurkowe wykonują coraz więcej funkcji stając się jednocześnie coraz mniejsze. To powoduje ponowny zwrot w kierunku mocowania na nadgarstku, gdy nie trzeba już nosić monstrualnych rozmiarów oprzyrządowania. Obecnie bezprzewodowe transmiery ciśnienia mogą przenosić wartości na nadgarstkowy komputer, który ma znacznie większe możliwości niż 30cm długości konsola z połowy lat 90-tych. Jednym z powodów odchodzenia od konsol jest fakt, że nurkowie już ich nie potrzebują. Innym powodem odchodzenia od konsol, jest trend opływowego kształtu nurka. Niezaprzeczalnym mankamentem konsoli jest to że sterczy ona znacznie bardziej niż pojedynczy manometr nawet gdy jest właściwie przyczepiona i zabezpieczona. To powoduje potencjalne zagrożenie dla środowiska jeśli nieostrożny nurek pozwoli jej wlec się po dnie, a dla nurków technicznych stanowi zagrożenie zaplątania co powoduje że nurkowie techniczni nie używają w ogóle konsoli. Konsole pozostaną, ale z wyjątkiem najtańszych rozwiązań będą coraz mniejsze porównując do wcześniejszych generacji. (ale nie tak małe jak pojedynczy manometr) Lepsze łączą zintegrowany z manometrem komputer i kompas w małym opakowaniu.

Integrować czy separować przyrządy?

Wraz z rozwojem elektroniki w nurkowaniu pojawił się trend integrowania przyrządów w pojedynczy komputer. Jak już wspominaliśmy, stało się możliwe dostarczanie większej ilości informacji i jednocześnie zmniejszanie urządzenia. To także eliminowało konieczność zakładania wielu przyrządów na każde nurkowanie. Zintegrowane przyrządy dobrze się sprawdzają w nurkowaniu rekreacyjnym, ale stanowią poważną wadę dla nurków technicznych i dla części rekreacyjnych także, którzy porównują zintegrowane urządzenia do „noszenia wszystkich jajek w jednym koszyku”. Jeśli komputer jest jednocześnie głębokościomierzem, czasomierzem i ciśnieniomierzem to w przypadku awarii tracisz wszelkie informacje. Nurkowie techniczni i niektórzy rekreacyjni preferują rozdzielanie urządzeń, tak aby usterka jednego nie powodowała utraty wszelkich informacji. W czasie gdy powstaje niniejsza encyklopedia żaden nowoczesny, wielogazowy komputer używany przez nurków technicznych nie posiada zintegrowanego manometru. W dodatku nurkowie techniczni zawsze używają co najmniej dwóch niezależnych sposobów aby określić głębokość, czas i obliczenia przystanków dekompresyjnych.

Różnice w instrumentach pomiarowych

Mamy generalny pogląd na podstawowe urządzenia pomiarowe w nurkowaniu i ich zasadę działania, Robaczmy jakie są różnice.

Manometry

Najbardziej popularnym modelem podwodnego manometru jest model analogowy z rurką Bourdona. Europejskie manometry są zwykle skalowane do 300 barów. Manometry stosowane w USA zwykle pracują w zakresie do 3500-4000 psi. W zakresie 35-70 barów czyli 500-1000 psi tarcze są oznaczone kolorem, zwykle czerwonym aby ostrzegać o kończącym się powietrzu. Pomimo dostępności technologii elektronicznej praktycznie nie spotyka się modeli cyfrowych w innych rozwiązaniach niż zintegrowanych z komputerami węzowymi i bezwęzowymi. Większość manometrów posiada zabezpieczenie zbliżone do płytki bezpieczeństwa „burst disc” montowanej w zaworach butli. Jeśli rurka Bourdona jest nieszczelna, to zabezpieczenie ulega rozerwaniu i uwolnieniu ciśnienia, tak aby obudowa manometru nie uległa rozerwaniu. Niezależnie od tego, odwracanie szkiełka manometru od oczu jest zawsze zalecaną procedurą w czasie otwierania zaworu butli na wypadek gdyby zabezpieczenie nie działało poprawnie. (jest także dobrym pomysłem odwracanie zabezpieczenia od innych ludzi) Manometry umieszczone na wężu (elektroniczne i mechaniczne) dołączone są do węża wysokiego ciśnienia obrotową szybkozłączką. Bez regularnego serwisu to połączenie będzie miało niewielkie nieszczelności. Pomijając fakt że bąblowanie denerwuje nurka, nie stanowi to zwykle poważnego zagrożenia, ale wskazuje że złączka na wężu wymaga pilnie profesjonalnego serwisu. Można uniknąć tego problemu wymieniając o-ring szybkozłączki jednocześnie z serwisowaniem automatu. Pomimo, że mechaniczne manometry z rurką Bourdona są trwałe i wytrzymują wiele lat użytkowania, oczywiście ciągłe zginanie i prostowanie powoduje zużycie. Można powiedzieć, że jest czas na wymianę manometru gdy wskazuje on znacząco wyższe ciśnienie po otwarciu zaworu niż ciśnienie do którego spodziewamy się że napełniono butlę.

Głębokościomierze

Jeszcze nie dawno temu można było wybierać z szerokiej gamy rozwiązań głębokościomierzy. Wszystko zmieniło się wraz z wynalezieniem komputera nurkowego. Przeważająca większość nurków używa dzisiaj elektronicznych głębokościomierzy będących elementem komputera nurkowego albo elektronicznego urządzenia (digital) zliczającego czas i głębokość nurkowania. Inne, nieelektroniczne głębokościomierze są wciąż używane do tanich zestawów i montowane w konsolach.

Kapilary --

Głębokościomierze kapilarne są zbudowane w oparciu o przezroczystą, plastikową rurkę małej średnicy zwiniętą dookoła okrągłej tarczy. Rurka jest zamknięta z jednej strony a otwarta z drugiej. W czasie zanurzenia, woda wypełnia rurkę sprężając zawarty w niej gaz zgodnie z prawem Boylea-Mariotta (więcej o tym prawie w rozdziale 4) Tarcza jest wykalibrowana w jednostkach głębokości, które zgadzają się ze stopniem kompresji gazu, tak więc głębokość odczytuje się na podstawie miejsca do którego sięga woda, co oznacza określoną głębokość na skali. Pomimo niskiego kosztu wykonania i teoretycznej niezawodności właściwie skalibrowanych głębokościomierzy kapilarnych, mają one jednak pewne mankamenty, które powodują że nie są to popularne podstawowe głębokościomierze. Urządzenie może być niedokładne, o ile nie będzie utrzymywane w czystości, z powodu nagromadzenia się piasku lub innych cząstek. Są one także trudne do odczytu na głębokościach poniżej 10m jako że skala jednostek głębokości zacieśnia się głębiej. Z drugiej strony kapilary nie mają ruchomych części i są bardzo dokładne w płytkiej wodzie, co powoduje że są to doskonałe głębokościomierze zapasowe.

*Olejowe --*

Jak czytałeś wcześniej wypełnione olejem mechaniczne głębokościomierze ze spiralną rurką, która prostuje się pod wpływem ciśnienia są najbardziej ekonomicznymi (w rozumieniu cena - jakość) mechanicznymi głębokościomierzami.

Głębokościomierze membranowe – Głębokościomierze membranowe nie są tak popularne jak olejowe. Są generalnie droższe i bardziej precyzyjne. Elastyczna membrana łączy się ze wskazówką przez system dźwigni i zębatek.

Elektroniczne --

Obecnie trudno jest znaleźć elektroniczny głębokościomierz, który nie posiada innych dodatkowych funkcji. Pomijając te które znajdują się w komputerach nurkowych najczęściej spotyka się hybrydę głębokościomierz - czasomierz, która aktywuje rozpoczęcie pomiaru czasu w momencie zanurzenia i dostarcza informacji o czasie i głębokości nurkowania. Większość zapisuje także maksymalną głębokość i czas nurkowania do wykorzystania na powierzchni po nurkowaniu.

Cechy głębokościomierzy

Zarówno mechaniczne (oprócz kapilarnych) jak i elektroniczne głębokościomierze mają pewne wspólne cechy. Większość posiada wskazanie maksymalnej głębokości osiągniętej w czasie nurkowania (w głębokościomierzach mechanicznych to jest dodatkowa wskazówka poruszana wskazówką głębokości, która utrzymuje wartość maksymalną do czasu wyzerowania) Głębokościomierze „zakładają” że rozpoczynasz nurkowanie na poziomie morza. Możesz jednak przeskalować

głębokościomierz gdy nurkujesz na wysokości. Mechaniczne głębokościomierze mają zwykle regulację, za pomocą której możesz wyzerować położenie wskazówki, podczas gdy głębokościomierze elektroniczne mają zwykle funkcję autokalibracji. Komputery nurkowe posiadają często specjalną funkcję włączaną na wysokości.

It's worth noting that some mechanical depth gauges -- especially some of the older ones -- are damaged by low pressure if you take them to altitude

Dokładność --

Producenci testują swoje głębokościomierze i ich dokładność. Cyfrowe głębokościomierze mają zwykle tolerancje na poziomie +/- 15 cm wskazywanej głębokości. To oznacza, że pomimo iż nie powinieneś ślepo wierzyć wskazaniom urządzeń, właściwie pracujący głębokościomierz lub komputer naprawdę rzadko wskazuje nieprawdziwą głębokość. To jest istotna różnica w stosunku do głębokościomierzy mechanicznych / analogowych. Dokładność wskazania może się wahać około 1% wartości skali w zakresie pierwszej połowy głębokości i ok 2% w drugiej połowie. Innymi słowy, nowy głębokościomierz o zakresie 50m działa poprawnie jeśli wskazuje 26m na głębokościach rzeczywistych 25-27m. Większa dokładność powodowałaby horrendalne ceny tych urządzeń. Z czasem fizyczne zużycie zmniejsza dokładność wskazań, tak więc należy sprawdzać okresowo ich wskazania (to jest dobra rada także dla głębokościomierzy elektronicznych i komputerów) Najłatwiej dokonać sprawdzenia porównując wskazania z innymi nurkami od czasu do czasu. Nie powinieneś obserwować żadnych istotnych różnic (różnica metra czy nawet dwóch jest zasadniczo

akceptowalna) Jeśli porównujesz wskazania i uważasz że są one zbyt rozbieżne, należy oddać urządzenie do specjalizowanego serwisu. Większość serwisów nurkowych posiada mini komorę do testów ciśnieniowych, które mogą także zweryfikować poprawność wskazań.

Czasomierze podwodne.

Czas zatoczył koło w historii podwodnych czasomierzy. W latach 60 tych i 70 tych nurek nosił zegarek nurkowy - klasyczne mechaniczne urządzenie z obrotową tarczą, która ułatwiała kontrolę czasu upływającego pod wodą minut. W końcu lat 70tych pojawiły się pierwsze mierniki czasu spędzonego pod wodą. Pierwsze były mechanicznymi, aktywowanymi przez ciśnienie stoperami. Elektroniczne czasomierze weszły na rynek w latach 80tych i były to zasadniczo stopery elektroniczne. Wiele spośród nich miało także pamięć i zapisywało czas przerwy powierzchniowej. W tym samym czasie weszły na rynek pierwsze nowoczesne komputery nurkowe, które także śledziły czas denny i przerwę powierzchniową. Do końca lat 80tych większość nurków używała albo zintegrowanych elektronicznych czasomierzy z głębokościomierzem albo komputerów nurkowych. Dzisiaj twój podwodny czasomierz jest zwykle komputerem, aczkolwiek początkujący i kursanci czasem używają nadal czasomierzy i głębokościomierzy. Wiele nurków, zwłaszcza technicznych woli mieć rozdzielone funkcje pomiaru czasu dla łatwego odniesienia i jako urządzenie zapasowe. Ten wybierany dziś dodatkowo instrument ewoluował z czasem z klasycznego zegarka nurkowego w kierunku niedrogo wodoodpornego zegarka elektronicznego.



Zegarki nurkowe

Pomimo że już nie używa się tak powszechnie zegarków nurkowych, nie zniknęły one z rynku. Jest to tradycyjny artefakt identyfikujący Cię jako nurka gdy jesteś na powierzchni. Wiele nurków używa zegarka jako swoisty rodzaj biżuterii, mody czy prestiżowego elementu identyfikacji ze społecznością nurkową. Niektóre są naprawdę z wysokiej półki (bez wątpienia część nurków nie nurkuje ze swoimi nurkowymi zegarkami obawiając się ich zgubienia □) i mówiąc z praktycznego punktu widzenia nie zmieniła się ich użyteczność ani siermiężny styl wykonania. To powoduje że klasyczny zegarek nurkowy jest idealnym wyborem dla osób aktywnych sportowo nad wodą niezależnie czy zegarek będzie zabierany czy zostanie w torbie nurkowej w czasie nurkowania. Pośród nurków używających dziś zegarków można spotkać elektroniczne modele sportowe wyposażone w głębokosciomierz. Takie zegarki są funkcjonalne, wytrzymałe i tanie. Wśród nich można także znaleźć modele oznaczone jako odporne na 200 metrów podobnie jak wśród zegarków mechanicznych. Ewolucja zegarków odbyła jeszcze jeden krok - pojawienie się na rynku komputerów, które jednocześnie spełniają funkcję zegarków. To jest nowa generacja w pełni funkcjonalnych komputerów o kształcie i rozmiarze dużego zegarka ze zmieniającymi ekranami na wyświetlaczu. W czasie nienurkowania, taki komputer nie pozostaje na półce lecz na nadgarstku ustawiony w funkcji „czas dnia” Te nowe komputery mają takie same funkcje jak elektroniczne zegarki. Prawdopodobnie historia zatoczyła kolejne koło i komputer nurkowy na nadgarstku staje się nowym gadżetem, identyfikującym nas jako nurków.

Elektroniczne głębokościomierze z czasomierzem

Te głębokościomierze, tak jak omawiano wcześniej, typowo mierzą także czas denny czas przerwy powierzchniowej a także posiadają pamięć ilości nurkowań, oraz czasu i głębokości ostatniego nurkowania. Występują w formie nadgarstkowej i do konsoli.

Podwodne kompasy.

Do czasu przełomu tysiąclecia podwodne kompasy były osttaniami przyrządami dostępnymi wyłącznie w tradycyjnej mechanicznej, czyli analogowej formie. Niewiele elektronicznych kompasów równie szybko pojawiało się jak i zniknęło z rynku i nie znajdowały one akceptacji. To się obecnie zmieniło. Niektóre komputery nurkowe mają funkcję elektronicznego kompasu na swoich wyświetlaczach. Pomimo tego konwencjonalny, mechaniczny kompas pozostał najczęstszym wyborem. Podwodny kompas jest wypełniony płynem aby wytrzymywać ciśnienie. Ma igłę lub znacznik wskazujący północ, centralną lub kierunkową

linię, która wskazuje kierunek poruszania, obrotową tarczę tzw. bezel lub inny sposób zmieniania znaczników kursu, które przekręcane mogą pokrywać się znacznikiem z kierunkiem jaki wskazuje igła i pokazywać w ten sposób kurs płynięcia. points.

Termometry.

Pomimo że temperatura nie jest niezbędną informacją, warto jest znać temperaturę wody. Termometry jako oddzielne instrumenty nurkowe, praktycznie już nie występują. Zwykle są zintegrowane z komuterami nurkowymi lub elektronicznymi głębokościomierzami. Niektóre manometry posiadają mały analogowy termometr na tarczy.

Komputery nurkowe.



Od połowy lat osiemdziesiątych komputery nurkowe zrewolucjonizowały technikę nurkowania. Zanim komputery stały się dostępne, czas nurkowania bezdekompresyjnego planowało się w oparciu o maksymalną głębokość osiąganą w czasie nurkowania. Podobnie w nurkowaniu technicznym określało się harmonogram przystanków dekompresyjnych na podstawie maksymalnej głębokości. Komputer nurkowy zmienił planowanie w znaczący sposób, umożliwiając przewidywanie czasu bezdekompresyjnego / wymagań dekompresji na podstawie wykonanego profilu nurkowania a nie maksymalnej głębokości. Jeśli spędzałeś znaczącą ilość czasu powyżej głębokości maksymalnej (co jest powszechne) rezultatem był znacząco dłuższy czas limitu bezdekompresyjnego lub (w nurkowaniu technicznym) wymagana krótsza dekompresja.

Podstawowym sposobem monitorowania Twojego statusu dekompresyjnego jest pomiar głębokości w określonych interwałach czasowych nurkowania (np co 30 sekund od zanurzenia). Mikroprocesor komputera używa tych wartości podstawiając je do matematycznego modelu dekompresyjnego, który szacuje ile azotu (lub innego gazu inertnego) zostało pochłonięte przez tkanki w ciele nurka. Uaktualniając ciągle te dane komputer wyświetla, ile pozostało czasu bezdekompresyjnego opierając się na aktualnej głębokości. Jeśli wartość limitu zostanie przekroczona, komputer pokazuje głębokości na których musisz wykonać przystanki i ich czasy przed osiągnięciem powierzchni. Dodatkowo komputery, które posiadają funkcję odczytu ciśnienia z butli, mogą obliczyć czas do powierzchni bazując na bieżącym zużyciu powietrza, przeliczając zużycie na podstawie głębokości. Większość komputerów pokaże, która z tych wartości jest krótsza: limit czasu bezdekompresyjnego, czy czas na który wystarczy nurkowi powietrza. Obecnie różnice funkcjonowania komputerów sprowadzają się do zastosowanego modelu dekompresyjnego (algorytmu) Te modele odzwierciedlają różne podejścia do problemu dekompresji i mogą różnić się we wskazaniach limitu bezdekompresyjnego, maksymalnego czasu nurkowań powtórzeniowych oraz wartości zwiększonego czasu po wynurzeniu na mniejszą głębokość. Z praktycznego punktu widzenia to oznacza niewielkie, ale możliwe do zaobserwowania różnice na różnych komputerach partnerów nurkowych. O modelach dekompresyjnych dowiesz się więcej w rozdziale piątym.



Style

Jak czytałeś wcześniej można wybierać komputery montowane w konsoli lub na nadgarstku. Obydwa style mogą zawierać lub nie w sobie manometr. Nawet omawiane wcześniej komputery wyglądające jak zegarki mogą mieć funkcje bezprzewodowych manometrów.

Komputery nitroxowe --

Wraz z rozwojem komputerów, pojawiają się coraz to nowe ich funkcje dodatkowe. Większość nowych komputerów może być programowana do użycia z różnymi mieszankami wzbogaconego powietrza, czyli nitroxu. Te komputery obliczają dłuższe czasu bezdekompresyjnego lub krótszą dekompresję (nurkowanie techniczne) które uzyskujesz dzięki stosowaniu nitroxu. Obliczają także ekspozycję tlenową (nowy parametr ograniczający nurkowanie o który nie trzeba się martwić nurkując rekreacyjnie na powietrzu). Oszczędność finansowa przy zakupie komputera obsługującego tylko powietrze w stosunku do komputera nitroxowego jest tak niewielka że większość nurków wybiera komputer nitroxowy nawet jeśli nie posiadają jeszcze uprawnień nurka nitroxowego PADI.

Komputery nurków technicznych --

Wymagania związane z obliczaniem dekompresji nurków technicznych są znacznie bardziej złożone niż obliczanie limitu bezdekompresyjnego. W nurkowaniu technicznym, komputer nie tylko pracuje w innym zakresie głębokości, nie tylko musi obliczać przystanki ale także mieć możliwość przełączania różnych gazów w czasie jednego nurkowania, obliczając parametry związane także z helem a nie tylko azotem i tlenem. Komputery techniczne można zaprogramować do użycia z kilkoma mieszankami oddechowymi. Niektóre modele komputerów umożliwiają programowanie ośmiu lub więcej mieszanek, akceptując mieszanki z helem, tlenowo-azotowe a także 100 procentowy tlen. Przełączając gazy w czasie nurkowania, naciskasz guzik, a Twój komputer dostosowuje obliczenia dekompresji do mieszanki. Niewiele tych komputerów umożliwia podłączenie bezprzewodowych transponderów, jako że niewielu nurków technicznych akceptuje takie rozwiązania. Innym rozwiązaniem niektórych modeli komputerów jest ustawienie obiegu zamkniętego CCR. W modelu obiegu otwartego, oddychając z danej butli, proporcja gazów nie zmienia się. Rebreatherzy o obiegu zamkniętym, mogą zmieniać proporcje gazów, bazując na utrzymaniu zadanego ciśnienia parcjalnego tlenu (PO₂) na danej głębokości co powoduje konieczność obliczania dekompresji w inny sposób. Ustawiając model CCR, każemy komputerowi obliczać dekompresję dostosowując inne czynniki do ustawionego na rebreatherze PO₂.

Podłączenie do komputera --

Dodatkowym ułatwieniem jest możliwość podłączenia większości komputerów nurkowych do komputera PC i transmisja danych. To oczywiście wymaga specjalnego połączenia (zwykle do USB) oraz odpowiedniego oprogramowania. Zrzut danych jest sposobem na zapis danych podobnie jak w logbooku i zwykle dostarcza wielu szczegółowych informacji o nurkowaniu. Na przykład używając większości programów możesz uzyskać graficzne przedstawienie profilu nurkowania w regularnych odstępach czasu co może być pomocne w odtworzeniu co zostało wykonane.

Rebreatherzy o obiegu zamkniętym i półotwartym



Jedną z największych szans rozwoju sportowego nurkowania po roku 2000 był gwałtowny wzrost zainteresowania rebreatherami o obiegu zamkniętym (CCR) i półotwartym (SCR). Pomimo, że ilość użytkowników rebreatherów w czasie pisania Encyklopedii nie jest duża, to jednak stale wzrasta, zwłaszcza w nurkowaniu technicznym. Wraz z rozwojem elektroniki, ergonomii itp można oczekiwać ich wpływu na rozwój rebreatherów co spowoduje, że będą one używane w nurkowaniu coraz częściej.

Zalety systemów SCR i CCR

Nie znając się na tych systemach, możesz dziwić się dlaczego ktokolwiek chce ich używać. Pomimo że mają one bardziej

skomplikowaną budowę i wymagają bardziej złożonego szkolenia (porównując do obiegu otwartych) aby bezpiecznie nurkować, rebreatherzy oferują dwie zasadnicze korzyści w porównaniu do obiegu otwartych.

Bardziej efektywne użycie gazu

Ponieważ systemy CCR i SCR odzyskują wydychany gaz, nie jest konieczne używanie dużych butli. SCR daje w przybliżeniu trzykrotnie dłuższy czas oddychania w porównaniu do tej samej objętości butli obiegu otwartego. Z użyciem CCR wyposażonego w dwie butle rozmiaru dużych pony możesz nurkować 4-6 godzin. W nurkowaniu rekreacyjnym daje to korzyść wynikającą z tego że nie musisz zabierać wielu butli lub

kompresora by wykonać wiele nurkowań. Możliwe jest, aby wybrać się na tygodniowe, nurkowe wakacje zabierając 4-6 małych butli i wiaderko absorbentu. Z niektórymi zestawami, zachowując respekt dla czasu nurkowania, masz zapas gazu porównywalny z czterema, czy pięcioma twinsetami na raz! W nurkowaniu technicznym, oszczędność gazu to coś więcej niż tylko wygoda. Z obiegiem otwartym zużywasz tym więcej powietrza im głębiej nurkujesz, z obiegiem zamkniętym zużycie gazu jest zależne prawie wyłącznie od metabolizmu Twojego organizmu i wykonywanego wysiłku. Zużywasz tyle samo gazu na głębokości 100m co na 10m. Jeśli weźmiesz pod uwagę, że napełnienie trimixem (tlen, hel i azot) jest kosztowne to korzyść używania rebreathera jest oczywista. CCR pozwala nurkowi technicznemu wykonać nurkowanie na taką samą głębokość jak na obiegu otwartym z tą samą mieszanką, ale pozostać dłużej na głębokości. Wiele nurkowań wykonanych przez rekordzistów nurkowań technicznych nie byłoby możliwe na obiegu otwartym ponieważ ilość butli niezbędna do tych nurkowań byłaby niemożliwa do opanowania.

Bez bąbelków

Nie każdy kto używa rebreathera chce wykonywać długie głębokie nurkowania. Wielu, zwłaszcza podwodni fotografowie chcą cichych nurkowań. CCR-y są bardzo ciche ponieważ prawie nie wydostają się z nich bąble (to także powód dla czego używają ich jednostki specjalne w czasie podwodnych akcji) SCR wypuszcza bąbelki, ale w znacznie mniejszej ilości i zdecydowanie ciszej niż ma to miejsce w obiegu otwartym. Ciche nurkowanie umożliwia podpłynięcie bliżej do ryb i innych podwodnych organizmów gdyż nie są one płoszone przez hałas bąbli. Rebreathery są także chętniej używane ze względu na brak hałasu jeśli nurkowie używają elektronicznych systemów komunikacji głosowej

Nurkowanie na SCR'ACH i CCR'ACH

Wyszkolony, doświadczony nurek obiegow otwartych staje się w wielu aspektach początkującym gdy ubiera rebreather. Tak jest ponieważ wiele podstawowych zasad, umiejętności i zachowań nie ma zastosowania przy obiegach zamkniętych.

Kontrola pływalności

Powszechnie używamy kontroli oddechu do dostosowania niewielkich zmian pływalności w obiegach otwartych - bierzemy nieco większy wdech aby stać się bardziej pływalnym lub robimy dłuższy wydech by się nieco zanurzyć. Większość nurków odruchowo dostosowuje oddychanie do oczekiwanych zmian głębokości. Pierwszą różnicą, którą zauważysz w czasie nurkowania z rebreatherem jest to że nie jest tu możliwe zmienianie pływalności oddechem. Tak dzieje się ponieważ, w czasie wydechu powietrze z płuc przechodzi do rebreathera nie zmieniając sumarycznej objętości układu rebreather-płuca. Ponieważ nie ma zmiany objętości nie ma zmiany pływalności. To oznacza, że prawidłowe wyważenie i użycie jacketu są znacznie bardziej istotne dla pływalności, oraz że musisz pozbyć się nawyku zmian oddychania w celu zmiany pływalności.

Zużycie gazu

Rebreathery działają najefektywniej gdy pozostaje się na stałej głębokości. Zmiana ciśnienia otoczenia powoduje konieczność dodania lub uwolnienia części gazu z worka oddechowego (zwanego także przeciw-płucem) co powoduje bezużyteczne z punktu widzenia metabolizmu zużycie gazu. Niektórzy nurkowie wydychają często gaz nosem lub oczyszczają maskę co nie ma znaczenia w obiegach otwartych ale w systemach CCR i SCR jest marnotrawieniem gazu. Jeśli używasz rebreathera, musisz zmienić ten nawyk i mieć dopasowaną, nieprzeciekającą maskę

Awaria

Z punktu widzenia szkolenia i użytkowania, największym wyzwaniem w porównaniu do obiegow otwartych jest postępowanie przy awarii sprzętu. W obiegu otwartym, o awarii sprzętu wiesz natychmiast i nie możesz jej zignorować. Albo natychmiast nie masz czym oddychać, albo wzbudzony automat jest otoczony chmurą jednoznacznie wyglądających bąbli. Rebreathery mogą być uszkodzone w taki sposób, że awarię można rozpoznać wyłącznie śledząc urządzenia pomiarowe. Jeśli tego nie zrobisz, może się okazać że będziesz kontynuować nurkowanie do momentu utraty przytomności bez jakiegokolwiek ostrzeżenia. Oczywiście w takich okolicznościach staje się istotne aby wytrenować nawyki, które zwracają uwagę na możliwe do wystąpienia problemy. Elektroniczne systemy ostrzegawcze pomagają, ale nie można na nich bezwzględnie polegać. Zauważ, że taka różnica w stosunku do systemów otwartych ma jednakże pewne plusy. W obiegu otwartym uszkodzenie jest oczywiste ale reakcja musi być szybka. Z rebreatherami masz czas, o ile zauważyłeś szybko usterkę, co najmniej kilka minut zanim sytuacja stanie się krytyczna. W większości przypadków możesz kontynuować oddychanie z zestawu przez kilka minut, a w tym czasie zdecydować jakie podjąć dalsze działania.

Limity bezdekompresyjne i dekompresja

W obiegu otwartym tak długo jak oddychasz z danej butli, proporcja zawartych w niej gazów pozostaje niezmienna. W układach SCR i CCR proporcja gazów zmienia się w czasie nurkowania, co zmienia sposób w jaki kalkulujesz limit bezdekompresyjny lub dekompresję. CCR zmienia proporcje mieszanych gazów tak aby utrzymać stałą nastawę wartości ciśnienia parcjalnego tlenu PO₂ zwana także „set point”. Parametry dekompresji określa się w takim wypadku na podstawie specjalnych tabel opartych na wartościach set pointów albo przy użyciu komputera nurkowego posiadającego opcję CCR, czyli takiego w którym ustawiamy set-point PO₂ zgodny z nastawą CCR-a. W układach SCR mieszanka, którą oddychasz będzie mieć zmienne ciśnienie parcjalne tlenu, tak więc limit bezdekompresyjny obliczany jest w klasyczny sposób na podstawie największego możliwego do osiągnięcia stężenia azotu, a ekspozycja tlenowa na podstawie największego możliwego do osiągnięcia stężenia tlenu. Innym elementem planowania nurkowań technicznych z CCR jest czas dekompresji versus zużycie gazu. Ponieważ układy CCR zużywają gaz bardziej w oparciu o metabolizm niż głębokość, możliwe jest takie nurkowanie w którym otrzymuje się wiele godzin dekompresji. Z tego powodu w treningu CCR zaleca się co najmniej 100 godzin doświadczenia w limitach rekreacyjnych przed rozpoczęciem nurkowań technicznych.

Przygotowanie (składanie) zestawu i konserwacja

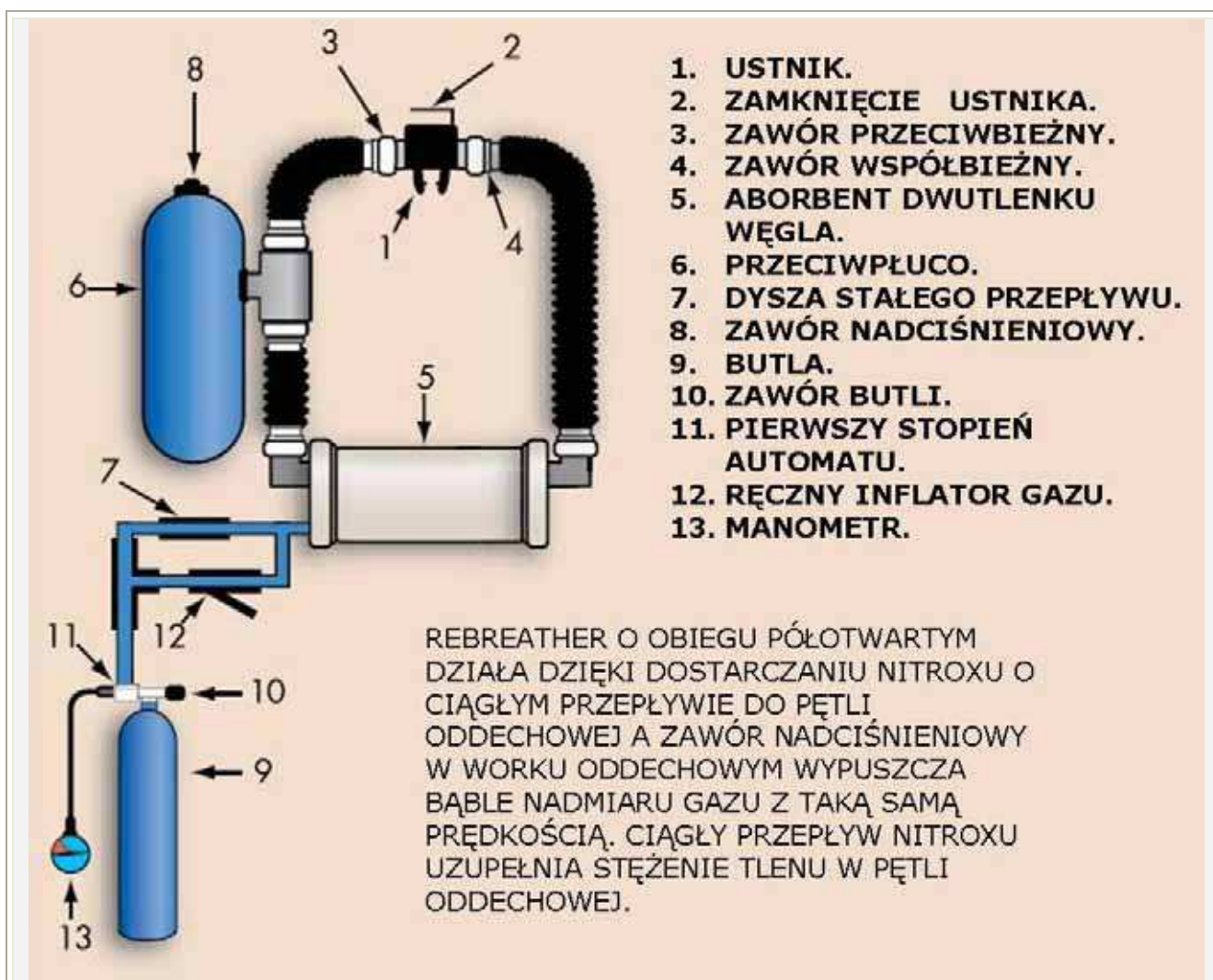
Kolejną znaczącą różnicą pomiędzy obiegami zamkniętymi i otwartymi jest przygotowanie i konserwacja. Używając rebreathera trzeba złożyć elementy zestawu, zasypać wkład pochłaniacza dwutlenku węgla (scrubber), wykonać test szczelności, oraz wiele innych czynności przed serią nurkowań. Po zakończeniu dnia nurkowego trzeba rozmontować zestaw, zdezynfekować węże i worki oddechowe aby nie stały się źródłem infekcji dróg oddechowych. Ten czynnik „zawracania sobie głowy” prawdopodobnie spowoduje iż obiegi otwarte zostaną popularne przez lata niezależnie od rozwoju technologii, aczkolwiek wiele korzyści wynikających z użycia obiegów zamkniętych równoważy kłopotliwe prace przed i po nurkowaniach.

Podstawy działania i konstrukcji

Pomimo istnienia kilku odmian w budowie, elementarna koncepcja budowy i działania różnych modeli SCR i CCR jest takie same. Wszystkie posiadają worki oddechowe, tzw przeciwłuca, które są prostym workiem który rozszerza się gdy wydychasz do niego powietrze, a kurczy gdy wdychasz. Zawory jednodrożne umożliwiają przepływ gazu tylko w jednym kierunku, tak aby wydychane powietrze przechodziło przez pochłaniacz, który usuwa dwutlenek węgla. Wszystkie posiadają źródło albo źródła gazu który zasila przepływ oczyszczonego z CO₂ gazu (albo petlę oddechową, jako że jest to przepływ o obiegu), aby uzupełnić zużyty uprzednio tlen i wypłenić przeciwłuca do potrzebnej objętości. Poniżej opisano podstawowe różnice pomiędzy obiegami SCR i CCR.

Budowa rebreathera o obiegu półotwartym SCR

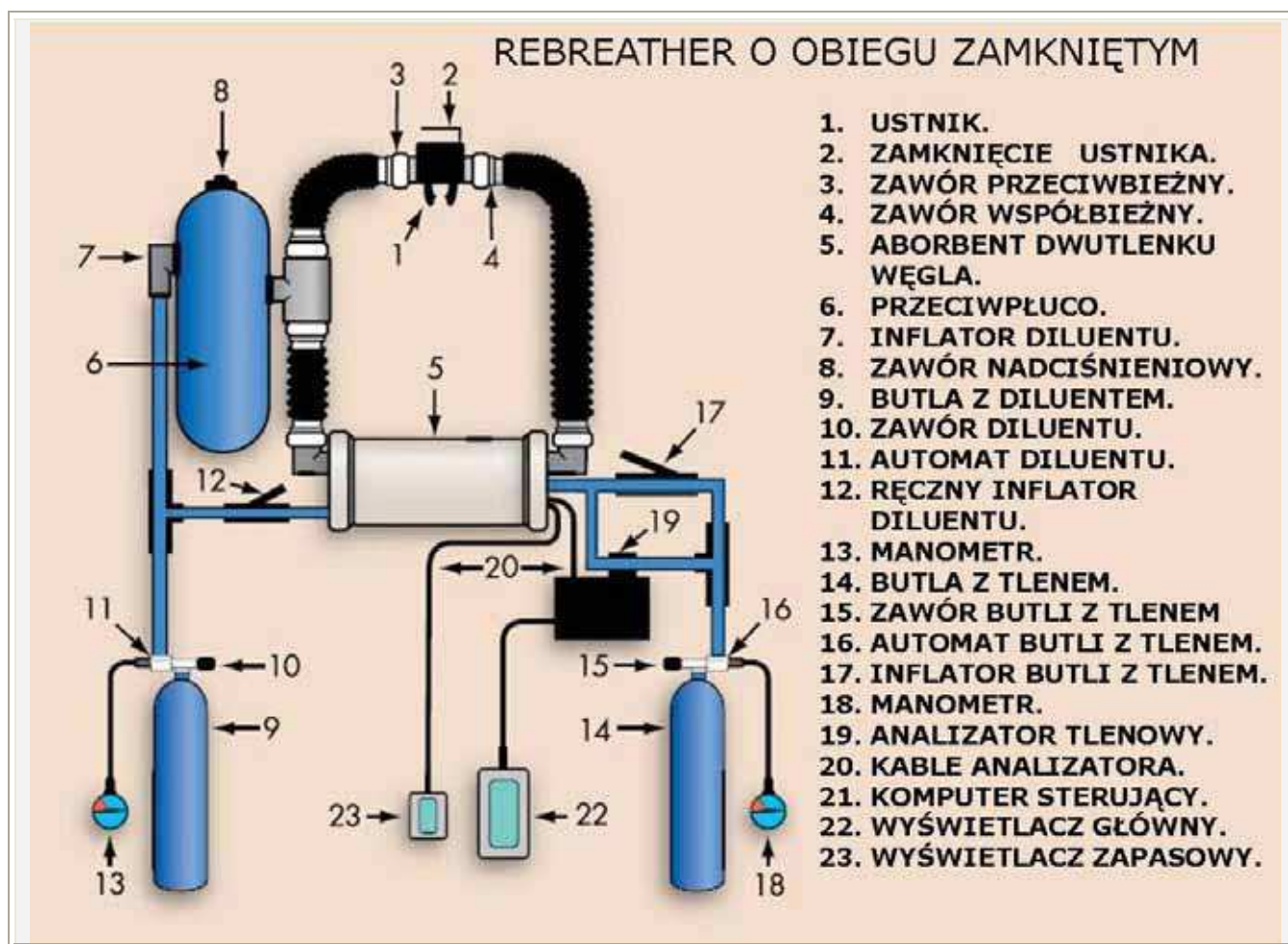
SCR działa dzięki dostarczaniu nitroxu o ciągłym przepływie do petli oddechowej, a zawór nadciśnieniowy w worku oddechowym wypuszcza bąble nadmiaru gazu z taką samą prędkością. Ciągły przepływ nitroxu uzupełnia stężenie tlenu w petli oddechowej. Podstawową zaletą systemu SCR jest prostota budowy. Masz do czynienia z pojedynczym gazem wprowadzanym do urządzenia, aczkolwiek uzyskana mieszanka może różnić się składem w zależności od metabolizmu i prędkości oddychania. Dobierając odpowiedni nitrox i ustawiając (przed nurkowaniem) żądany przepływ możesz kontrolować oczekiwaną proporcję tlen / azot opartą na tablicach i wzorach. Czujnik tlenu w petli oddechowej pozwala kontrolować czy pozostajesz w oczekiwanym przedziale stężeń. Podstawowymi mankamentem SCR'a jest to, że nie jest tak cichy jak CCR, oraz że nie wydłuża aż tak czasu oddychania. Jest to jednak dobry wybór dla nurków, którzy szukają łatwego sposobu na użycie technologii obiegów zamkniętych w nurkowaniu rekreacyjnym. Możesz nauczyć się nurkować na SCR-ach w czasie kursu specjalistycznego PADI - Rebreather o obiegu półotwartym.



Budowa rebreathera o obiegu zamkniętym CCR

Pomijając tradycyjny rebreather przeznaczony do oddychania czystym tlenem (który nie ma zastosowania w nurkowaniu) rebreathery o obiegu zamkniętym mają dwie butle z gazami. Jedna zawiera czysty tlen, a druga gaz denno albo rozrzedzający, tzw. diluent - zwykle powietrze albo trimix dla głębokich nurkowań technicznych. Opierając się na odczytach z elektronicznych czujników tlenu (zwykle trzech, w celu potrójnego zabezpieczenia funkcjonowania) elektronika CCR-a otwiera zawór solenoidowy i wtryskuje tlen (w miejsce zużytego przez nurka) do pętli oddechowej tak aby utrzymywać zadany nastaw (set point) ciśnienia parcjalnego tlenu, który zaprogramowałeś przed nurkowaniem. W czasie zanurzenia dodajesz diluent, aby utrzymać potrzebną objętość gazu w worku wdechowym i aby zmniejszyć wzrastające ciśnienie parcjalne tlenu. Zapasowe czujniki pozwalają kontrolować odczyty wartości związanych z tlenem, a użycie manualnych inflatorów umożliwia pracę w trybie „ręcznym” dodawania gazów w razie awarii elektroniki.

Podstawową zaletą użycia systemów CCR jest zwiększenie efektywności zużycia gazów w celu wydłużenia nurkowania, zdolność optymalizacji dekompresji (nurkowanie techniczne) przez zwiększenie stężenia tlenu oraz cicha praca z powodu braku bąbli. Podstawowym mankamentem jest cena oraz skomplikowane użytkowanie i montaż.



Wyzwania dla obiegów zamkniętych

Producenci SCR-ów i CCR-ów chcieliby, oczywiście zwiększenia ich popularności. Przyznając rację temu, że w pewnych okolicznościach zalety obiegów zamkniętych są tak duże, że trudno o lepsze, minie sporo lat, zanim wyprą obiegi otwarte, które są dla nurków rekreacyjnych są dobre ze względu na niskie koszty, obsługę, szkolenia i logistykę. Poniżej wyszczególniono wyzwania jakie stoją przed rozwojem systemów SCR i CCR

Brak standardów

W obiegach otwartych, model na którym uczyłeś się nurkować nie miał znaczenia. Mogłeś nurkować na wszystkich innych rodzajach sprzętu, ewentualnie z minimalnymi dostosowaniami różnic działania. Obiegi zamknięte wiele tracą nie mając standardów rozmieszczenia elementów obsługi i kontroli urządzenia. Przykładem może być inflator (przycisk dodawczy) tlenu który umieszczany jest w niektórych modelach po prawej stronie, a w innych po lewej. To oznacza, że nie tylko trzeba odbyć przeszkolenie użytkownika konkretnego modelu, ale także zmienić swoje odruchowe zachowania, które stają się nawykami nurkowymi. Jest to znaczące z punktu widzenia szkolenia.

Obsługa i serwis

Dla większości osób dorywczo zajmujących się nurkowaniem, obsługa i serwis SCR i CCR jest wystarczającym powodem aby zrezygnować z użytkowania obiegów zamkniętych. Producenci mogliby zrobić te zestawy bardziej przyjazne dla użytkownika poprzez wprowadzenie gotowych wkładów z absorbentem, albo zaprojektowanie systemu tak by można prowadzić dezynfekcję pętli oddechowej bez konieczności całkowitego rozkręcania zestawu za każdym razem. Inną opcją byłaby możliwość zlecania tych prac operatorom nurkowym przez samych nurków.

Infrastruktura

Brak wsparcia sprzedaży siecią serwisową jest problemem typu co powinno być wcześniej - jajko czy kura. Obecnie, w większości miejsc nurkowych na świecie nie można oczekiwać dostępności absorbentu CO₂ czy nawet 100% tlenu do napełnienia zestawu CCR. Bardziej powszechne użycie obiegów zamkniętych, byłoby z

pewnością zachętą do sprzedaży materiałów obsługowych do systemów SCR i CCR przez centra nurkowe.

Cena.

W czasie gdy pisano niniejsze opracowanie, systemy CCR wymagały znacząco większej inwestycji w sprzęt i szkolenie niż obiegi otwarte. Pomimo, niższych kosztów użytkowania CCR przez nurków technicznych, potrzeba czasu by inwestycja w CCR zwróciła się. W większości nurkowań bezdekompresyjnych praktycznie nie istnieją korzyści finansowe nawet w długim okresie użytkowania i raczej to inne cechy rebreatherów decydują o ich wyborze przez nurków rekreacyjnych.

Akcesoria nurkowe

Oprócz głównych elementów ekwipunku nurkowego, jest wiele innych potrzebnych lub pożądanых w nurkowaniu.

Noże i narzędzia tnące

Z powodu niewielkiego ryzyka zaplątania pod wodą należy mieć ze sobą jakiś rodzaj narzędzia tnącego (z wyjątkiem lokalizacji gdzie jest to prawnie zakazane). Najczęstszym wyborem jest nóż nurkowy, z krawędzią tnącą. Z praktycznego punktu widzenia, nóż jest użyteczny do wielu zastosowań także do mierzenia i podważania

Noże nurkowe

Dostępna jest szeroka gama stylów, rozmiarów i materiałów. Można wybierać od zbliżonych wyglądem i rozmiarem do dużych noży myśliwskich po zbliżone wyglądem do sztyletów które są dostatecznie małe aby zamontować je na przedramieniu lub pasku jacketu. Noże nurkowe różnią się rodzajem użytego metalu, rączką i pochwą. Noże ze stali nierdzewnej są wykonywane ze stopu nr 440 lub podobnego. Jakość stali powoduje rozsądny kompromis pomiędzy odpornością na korozję i wytrzymałością na zginanie. Zgodnie z regułą, że im bardziej elastyczna stal tym bardziej podatna na rdzewienie należy dokonać odpowiedniego kompromisu. Stal nierdzewna będzie rdzewiała jeśli nóż

nie będzie myty i czyszczony po nurkowaniu w słonej wodzie. Z tego powodu, niektórzy producenci oferują noże tytanowe lub stalowe pokrywane tytanem. Pomimo wyższej ceny, noże tytanowe mogą długo wyglądać jak nowe nawet po wielu latach nurkowania z nimi w słonej wodzie. Wybierając nóż tytanowy, należy zwracać uwagę na rączkę, która powinna dawać pewny chwyt zabezpieczający przez ześlizgnięciem ręki na ostrze nawet przy silnym nacisku. Użyteczną cechą jest dodatkowa, ząbkowana krawędź (nóż - piłka). Inna użyteczna cecha to podziałka centymetrowa na ostrzu, która pozwala także mierzyć a nie tylko ciąć. Zwykle nóż kupuje się z pochwą, która ma dwa paski umożliwiające zapięcie noża do nogi, ramienia lub jacketu. Pochwy mają klamerki umożliwiające dociągnięcie pasków w miarę kompresji pianki neoprenowej pod wodą. Gumowy pierścień lub inny mechanizm szybko zwalniający nóż zabezpiecza go przed wypadnięciem z pochwy. To ważne, aby nóż był trzymany w każdej pozycji, a jednocześnie łatwy do wyjęcia w potrzebie.

Narzędzia nurkowe

Narzędzia nurkowe to zwykle noże z kolcem lub końcówką w kształcie śrubokręta. Są zbliżone do noży i można je określić jako ich inny rodzaj.



Haki tnące i sekatory

Ostatnio pojawiły się nowe narzędzia tnące w nurkowaniu. Hak tnący ma kształt litery „U” z umieszczoną wewnątrz cienką bardzo ostrą blaszką, specjalnie zaprojektowany do cięcia cienkich linek i żyłek. Kształt haka minimalizuje ryzyko przypadkowego skaleczenia lub przecięcia sprzętu. Pierwotnie haki używane przez nurków jaskiniowych zyskały popularność wśród nurków wrakowych (zarówno rekreacyjnych jak i technicznych) ponieważ możliwe jest szybkie cięcie nimi przy użyciu jednej ręki. Ponieważ są one ograniczone do cięcia cienkich linek, należy mieć ze sobą dodatkowo nóż nurkowy lub inne narzędzie do cięcia grubszych linek.

Innym popularnym narzędziem są sekatory nurkowe podobne do ogrodniczych. Te wytrzymałe nożyczki tną szybko cienkie i średniej grubości linki, co powoduje że są chętnie wybierane do rozwiązywania problemu zaplątania w sieci. To powoduje że są popularne wśród nurków wrakowych. Inną korzyścią jest to że są wygodniejsze w użyciu w grubych rękawicach nurka.

Umiejscowienie.

Nie ma znaczenia gdzie umieszczasz swoje narzędzie tnące ale dobrą zasadą jest takie umiejscowienie by móc je dosięgnąć obydwoma rękami. Nurkowie techniczni mają zawsze co najmniej dwa narzędzia tnące umieszczone tak by co najmniej jedno z nich było dostępne dla obu rąk. Należy umieszczać większe noże po wewnętrznej stronie nogi aby mieć łatwy dostęp i zapobiegać podatności na zaplątanie. Mniejsze noże można umieszczać na udzie, ramieniu, pasie balastowym, pasie biodrowym lub ramieniowym jacketu. Jakis czas temu popularne było umieszczanie noży na odwrocie konsoli, ale konsle są coraz mniej popularne. Typową lokalizacją haków są nadgarstki, węże inflatorów i pasy uprząży skrzydeł, a sekatorów na pasie z dostępem dla obydwu rąk.



Podróż.

Wydaje się oczywiste że ochrona lotniska nie pozwoli na podróż z nożem nurkowym w bagażu podręcznym. Innym względem, który należy brać pod uwagę jest uwarunkowania prawem maksymalna wielkość posiadanego noża, traktowanego jako broń. Lepiej to sprawdzić zwłaszcza chcąc podróżować z wielkim nożem w komadoskim stylu. Być może sekator jest w takich wypadkach lepszą opcją.



Tablice i planery nurkowania

Wraz z rozwojem komputerów nurkowych, niektórzy nurkowie mają błędne wyobrażenie że tabele nurkowe stały się zbędne. To nie jest prawdą i pewno nie będzie do czasu, gdy komutery nurkowe staną się praktycznie bezawaryjne, albo posiadanie dwóch komputerów będzie standardową praktyką. Jeśli komputer zepsuje się na wakacjach, tabele i planery pozwolą Ci dalej nurkować. Pomagają one także w planowaniu nurkowań. RDP jest najpopularniejszą tabelą w nurkowaniu rekreacyjnym. Możesz używać Tabeli, Koła albo wersji elektronicznej eRDP dla celów planowania i zdublowania komputera na wypadek jego awarii. Wielu nurków ma ze sobą tabele lub koło w

czasie nurkowania pod wodą. Nurkowie nitroxowi używają tabel nitroxowych i tabel zastępczych głębokości powietrznych DSAT.

Log booki

Certyfikaty nurkowe są tylko dokumentami potwierdzającymi stopień wyszkolenia i spełnienie standardów szkoleniowych. Nie mówią o tym, czego dokonałeś i czego się nauczyłeś. To jeden z powodów dla których

używa się logbooków. Inne powody to:

- Logbooki są pamiętnikiem do których miło się wraca i dzieli wrażeniami z doświadczeń nurkowych
- Można w nich zapisać szczegóły danego nurkowania, które inaczej zostaną zapomniane. Może to być użyteczne źródło informacji o warunkach środowiskowych, rodzaju użytego sprzętu, czy opsu jak nurkowano w poprzedniej sytuacji.
- Logbooki są wymagane do udowodnienia doświadczenia nurkowego na wielu poziomach szkolenia rekreacyjnego, technicznego i profesjonalnego.
- Coraz większa ilość operatorów nurkowych wymaga okazania zarówno certyfikatu jak też logbooka przed nurkowaniem

Minimalną ilością informacji, którą powinien zawierać logbook jest data, lokalizacja, głębokość, czas i poświadczenie przez partnera, divemastera lub instruktora. Większość logbooków zawiera dodatkowe miejsce na opisy warunków środowiska, rodzaju nurkowania, użytego sprzętu, komentarzy, obserwacji itp. W uzupełnieniu do różnych rodzajów logbooków, niektóre firmy oferują logbooki komputerowe, z których wiele jest częścią oprogramowania do transferu danych z komputera nurkowego. Niektóre z tych programów automatycznie dodają numer nurkowania, całkowity czas denny a nawet liczą grupę ciśnieniową po każdym nurkowaniu i przerwie powierzchniowej. Jeśli chcesz logować swoje nurkowania przy użyciu komputera, będziesz musiał mieć wydruki zbiorcze gdybyś potrzebował okazać swoje doświadczenie



Tabliczki

Tak długo jak jesteście biegli ze swoim partnerem w sygnalizacji podwodnej, możecie się komunikować. Podwodne tabliczki pozwalają na komunikację w złożonych sytuacjach, tworząc z nich ważne narzędzie zwłaszcza przy poszukiwaniach i w nurkowaniu technicznym. Większość tabliczek jest nieco mniejsza od tablic nurkowych RDP, które są dostępne w wielu rozmiarach, w tym także montowane na nadgarstku oraz z kompasem. Aby dać więcej miejsca do pisania na niewielkiej powierzchni można używać wielu „stronicowej” tabliczki. Niezależnie od typu tabliczki potrzebny jest ołówek z mocowaniem uniemożliwiającym by odpynął.



Torby na sprzęt

Dostępne są torby - od małych i lekkich siatkowych modeli używanych do sprzętu snorkelingowego (ABC) po wielkie, mocne plecaki lub torby transportowe, które mogą pomieścić cały sprzęt którego możesz potrzebować nurkując w zimnej wodzie oprócz butli i balastu. Takie wielkie podzielone na przedziały torby z kieszeniami zaspokoją potrzeby większości nurków, także w podróży i na zatłoczonej łodzi, dając oszczędność miejsca i minimalizując ryzyko utraty lub uszkodzenia sprzętu. Jednym z bardziej popularnych kształtów jest torba „plecakopodobna” z pasami ramieniowymi ułatwiając transport dużej ilości ciężkiego sprzętu na plecach. Pasy

można zapiąć zamkami aby nie zwisały po odprawie na lotnisku. Większość takich toreb ma oddzielne dopasowane wielkością kieszenie na pletwy, maski, czy automaty, niejednokrotnie wyłożone materiałem ochronnym zabezpieczającym delikatny sprzęt, jak np maski. Niemniej popularne jest wyposażanie toreb nurkowych, także tych plecakopodobnych w kółka aby dać możliwość ciągnięcia ich w podróży - jest to miła cecha zwłaszcza na długich płaskich powierzchniach portów lotniczych. Ważnym punktem przy wyborze torby jest model przeznaczony dla nurków. Pomimo że być może znajdziesz inne „nienurkowe” modele wyglądające odpowiednio, należy do rzadkości by miały one odpowiednią wytrzymałość i solidne niekorodujące zamki tak by sprostać wymogom transportu sprzętu nurkowego. Pożądana torba nurkowa jest inwestycją, ale ochrania ona znacznie większą inwestycję jaką jest sprzęt i twoje nurkowe wakacje.

Flagi i bojki

Na większości nurkowisk nie będziesz jedyny w wodzie. Twoja flaga nurkowa, powiewająca na łodzi lub ciągnięta na pływaku po powierzchni będzie ostrzegała inne łodzie o nurkach pod wodą. W wielu miejscach prawo wymaga wywieszania flagi nurkowej na czas nurkowania. W zależności od miejsca i warunków nurkowania właściwą flagą może być albo czerwona prostokątna z białymi pasami łączącymi narożniki w formie krzyża, albo biało-niebieska dzielona pionowo z wyciętym trójkątem z jednej strony. Czasami można wywieszać obydwie flagi. Podczas nurkowania flaga nurkowa jest wywieszana na maszcie lub innej najbardziej widocznej części łodzi. Jeśli rozpoczynasz nurkowanie z brzegu lub w znacznej odległości od łodzi wywieszasz flagę na pływającej bojce. Mogą one być albo mniejszymi modelami, zaprojektowanymi by wspomagać oznaczenie pozycji nurków, albo większymi jednostkami (zwykle przypominającymi dentkę samochodową pokrytą tkaniną), które mogą także pełnić funkcję przechowywania zapasowego balastu lub innych elementów, których nie zabieramy pod wodę. Linka do holowania najczęściej jest nawinięta na kołowrotek lub szpulkę. Jeśli nie przemieszczasz się możesz zakotwiczyć pływak w danej lokalizacji. Lokalne prawo może określać jak daleko od flagi wolno odpływać nurkom i jak blisko łodzie, skutery wodne i narciarze mogą pod pływać do flagi. Jeśli nie ma takich regulacji prawnym dobrym zaleceniem jest pozostawać i wynurzać się nie dalej niż 15 metrów od flagi, a z kolei łodzie powinny trzymać się dla bezpieczeństwa nurków co najmniej 30-60 metrów z dala od flag.

Sygnalizacja i bezpieczeństwo



W niebezpieczeństwie chcesz zwrócić uwagę ludzi na łodzi lub na brzegu. Możesz używać do tego celu wielu narzędzi sygnalizacyjnych. Weź pod uwagę, że sygnalizator dźwiękowy i wizualny jest standardowym wyposażeniem zestawu nurkowego. Urządzenia elektroniczne mogą być dobre w określonych warunkach.

Sygnalizatory dźwiękowe

Sygnalizatory dźwiękowe są ważne ponieważ zwracają uwagę, także w warunkach kiedy możesz być niewidoczny lub kiedy możesz mieć problem by użyć głosu do określenia że wzywasz pomocy.

Gwizdki.

Podstawowym, dostępnym sygnalizatorem jest gwizdek. Bardzo dobrze jest go umieścić na węźu inflatora lub innym miejscu gdzie będzie łatwo dostępny bez konieczności przeszukiwania kieszeni. Nawet jeśli posiadasz inne urządzenie dźwiękowe, dobrze jest mieć także gwizdek, ponieważ można używać go dając sygnał głośniejszy, dłuższy i częstszy niż krzycząc lub gwizdząc na palcach.

Gwizdki na sprężone powietrze.

Można także używać sygnalizatorów dźwiękowych, wspomaganych niskim ciśnieniem z butli. One działają znacząco głośniej, niż standardowe gwizdki, co może być użyteczne przy większych odległościach od brzegu lub łodzi. Ponieważ jednak wymagają posiadania powietrza w butli, jest dobrym pomysłem posiadanie normalnego gwizdka na wypadek braku powietrza.

Sygnalizatory wizualne

Sygnalizatory wizualne mogą spowodować różnice pomiędzy byciem niewidocznym na powierzchni lub łatwym do zauważenia. Sygnalizatory dźwiękowe mogą zwrócić uwagę, ale to niewiele pomaga jeśli załoga łodzi nie widzi gdzie jesteś. Sygnalizatory wizualne są szczególnie ważne jeśli kończysz nurkowanie za łodzią w prądzie i możesz zostać zniesiony zanim ktoś podbierze Cię z wody. Należy rozważyć posiadanie nadmuchiwanej bojki (SMB) - standardowego wyposażenia, które zawsze należy mieć w swoim zestawie, a którego znaczenie nasila się w czasie nurkowań w prądzie lub innych warunkach, które tego wymagają.

Nadmuchiwane bojki.

Są to długie rury lub balony w jaskrawych kolorach, które można nadmuchać ustnie lub ze sprzętu nurkowego. Takie oznaczenie nurka jest łatwiejsze do zauważenia i kontroli położenia w czasie dopływania przez łódź. Niektóre jackety posiadają zintegrowane wersje, które można obsługiwać mając nadal wolne ręce. Większość jest zrolowana w specjalnej kieszonce, ułatwiając przechowywanie do czasu gdy będzie potrzebna. Do wielu bojek można świecić latarką do wewnątrz dla lepszej widoczności o zmierzchu lub w nocy

Lusterka.

Lusterka sygnalizacyjne są dobre na dużych dystansach, ale wymagają skierowania na poszukującego. Mogą być one pomocne dla łodzi lub samolotu aby Cię odnaleźć. Nurkując w silnych prądach, jest dobrze mieć ze sobą lusterko niezależnie od bojki.

Barwniki chemiczne.

Barwienie wody pomaga zlokalizować poszukiwanego z morza lub z powietrza. Jaskrawy, zwykle żółto-zielony nietoksyczny barwnik otacza poszukiwanego. Ponieważ barwnik rozprzestrzenia się i zanika, nie używa się go do czasu gdy jednostka poszukiwawcza jest w zasięgu wzroku poszukiwanego. Można mieć kilka zasobników z barwnikiem.

Błyskacze.

Na nurkowania nocne lub jeśli istnieje ryzyko dryfowania w nocy, dobrze jest mieć błyskające awaryjne światło. Światło błyskacza może być widziane z wielu kilometrów pogodną nocą.

Flary.

Flary są dobrze widoczne w dzień i w nocy. Trzeba je zabezpieczyć w wodoszczelnym pojemniku lub używać wodoodpornych flar z systemem mokrego zapalnika. Istnieje pewne ryzyko poparzenia się odpalając flarę, tak więc należy obchodzić się z nimi ostrożnie. Można mieć kilka flar jako że jedna spala się w ciągu kilku minut.

Urządzenia elektroniczne

Sygnalizatory elektroniczne są nowością na rynku nurkowym. Pomimo, iż są relatywnie drogie i potrzebują podwodnego opakowania, aby zabezpieczyć je pod wodą, są najbardziej efektywnymi sposobami uzyskania pomocy

EPIRB, czyli radioboja.

Radioboje EPIRB (Emergency Position Indicating Radio Beacon) zostały zaprojektowane na potrzeby bezpieczeństwa na łodziach, ale obecnie zostały zminiaturyzowane na tyle, że jest możliwe zabieranie ich na nurkowanie w podwodnej obudowie do czasu gdy będą potrzebne na powierzchni. Zasadniczo radioboja jest połączeniem systemu GPS (Global Position System) i radia nadającego na alarmowej częstotliwości morskiej 406MHz. Po włączeniu, nadaje ona automatycznie sygnał alarmowy SOS wraz z podaniem pozycji. Jednostki straży wybrzeża nasłuchują w sposób ciągły awaryjnej częstotliwości morskiej 406MHz i wysyłają oddział ratunkowy po odebraniu sygnału z radioboji

Telefony komórkowe i GPS.

W niektórych rejonach wybrzeża gdzie silne prądy często znoszą nurków, powszechną praktyką jest zabieranie telefonu komórkowego i GPS zabezpieczonych obudowami uodparniającymi urządzenia na zachłapania na powierzchni, umieszczonych w obudowach podwodnych na czas nurkowania. Jeśli nurkowie wynurzą się daleko w dół prądu od łodzi, namuchują oni bojkę i uruchamiają GPS. Znając swoją dokładną pozycję mogą zatelefonować do załogi łodzi i podać swoje koordynaty

Tlen i apteczka

Zestaw tlenowy i zawartość apteczki różnią się od prostych zestawów na użytek własny po złożone, które divemater lub instruktor chce mieć dostępne nadzorując grupę nurków. Zestawy tlenowe pozwalają na podawanie tlenu medycznego do leczenia urazów ciśnieniowych i podtopień. W zestawach preferuje się systemy podawania tlenu na żądanie oraz o ciągłym przepływie. Więcej na ten temat dowiesz się w czasie kursu PADI Rescue.



Zaczepy, karabinki i klipsy

Proste, tanie i zbyt często pomijane akcesoria, których potrzebuje każdy nurek. Bez nich sprzęt zwisa i jest ciągnięty po podłożu, zwiększa to zużycie energii, niszczy życie podwodne i w wielu wypadkach wywołuje zagrożenie. Istnieje wiele rodzajów zaczepów, klipsów, zwijanych linek, gumek, smyczy, retraktorów i innych sposobów zabezpieczenia węży i akcesoriów nurka. W najbliższym centrum nurkowym PADI znajdziesz najprawdopodobniej duży wybór zaczepów

Klipsy i karabińczyki.

To są podstawowe, wielofunkcyjne elementy do przyczepiania akcesoriów. Możesz zabezpieczać przy ich użyciu latarki, tabliczki i instrumenty pomiarowe. Przyczepiasz klips do wybranego elementu, a następnie przypinasz go do siebie. W nurkowaniu technicznym wszystkie połączenia robi się w formie zrywalnej, tak by w przypadku zaplątania można było zerwać lub odciąć połączenie. W ten sposób zawsze można rozłączyć akcesoria od nurka. Wielu nurków używa do połączeń nylonowych linek, które są trwałe i mocne, a jednocześnie łatwe do przecięcia.

Retraktory.

Niektórzy nurkowie lubią ten rodzaj połączeń, które zapewnia trzymanie akcesoriów czy wskaźnikó blisko ciała, a jednocześnie możliwe jest ich odsunięcie bez rozłączania cokolwiek.

Smycze.

Smycze są powszechnie używane do zabezpieczenia akcesoriów trzymany w ręce. Pozwalają na wypuszczenie ich z ręki bez ryzyka zgubienia ich. Jeśli dodatkowo planujesz przyczepić smycz do jacketu, dodaj do smyczy klips lub karabińczyk. Niektórzy producenci wyposażają swoje smycze w różne dodatkowe zaczepy.

Przywieszka do mocowania oktopusa.

Nigdy nie pozwalaj by oktopus ciągnął się za Tobą w toni. To nie tylko utrudnia lokalizację w sytuacji awaryjnej, ale może uszkadzać podwodne życie lub oktopus poddając go wypełnianiu piaskiem, lub uszkadzając mechanicznie. Można wybierać spośród różnych typów przywieszek, ważne by dobrze trzymały automat i pozwalały go odczepić jednym szarpnięciem w potrzebie.



Specjalistyczny ekwipunek nurka

Oświetlenie

Jeśli planujesz nurkowania nocne, jaskiniowe lub wrakowe będziesz potrzebował oświetlenia. Może się ono okazać użyteczne także do zaglądania w szczeliny i inne ciemne zakamarki. Przed omówieniem świateł,

zwróćmy uwagę na niektóre szczególnie ważne ich cechy. Większość aktywności, które wymagają użycia podwodnego światła, wymaga specjalistycznego treningu, lub czyni go pożądanym. Pierwsza kategoria to ta gdzie będziemy przebywać w przestrzeniach zamkniętych - nurkowaniu w pieczarach, jaskiniach i na wrakach. Wymaga to specjalnego szkolenia i sprzętu, niezależnie od posiadania oświetlenia, bez czego nadmiernie zwiększa się niebezpieczeństwo. Historia nurkowania w przestrzeniach zamkniętych bez specjalistycznego przeszkolenia ma bardzo złą historię, podczas gdy nie ma to miejsca z nurkami właściwie przeszkolonymi.

Pomimo że specjalistyczny trening nie jest wymagany do nurkowań nocnych, jest to napewno dobry pomysł. Kurs nurkowania nocnego PADI pomaga nabrać umiejętności nurkowania po zmroku pod okiem profesjonalisty. Prawdopodobnie taka droga do nocnego świata pod wodą będzie przyjemniejsza i mniej stresująca. Podstawową rzeczą którą musisz wiedzieć o oświetleniu, pomijając zagłębienie w ciemne szczeliny za dnia, to fakt że będziesz potrzebował więcej niż jednego źródła światła. Nurkując w nocy lub w pieczarach, potrzebujesz co najmniej dwóch - podstawowego silnego źródła światła i zapasowego małego backupu. Każdy nurek techniczny eksplorujący jaskinie i wnętrza wraków używa co najmniej trzech źródeł światła, podstawowego silnego i dwóch zapasowych. Powód jest oczywiście taki, że nie mając oświetlenia łatwo zgubić się w ciemności. Pomimo, że źródła światła cechuje wysoka bezawaryjność, to jednak zawodzą od czasu do czasu więc jest rozsądne aby mieć zapasowe źródło światła (wymagane w nurkowaniu technicznym) Pomimo, że być może potrafisz poradzić sobie bez światła w czasie nurkowania nocnego, nie ulega wątpliwości że łatwiej jest się wynurzyć i znaleźć drogę do wyjścia mając, niż nie mając światła. Niezależnie od podstawowego źródła światła, możesz chcieć zabrać małe pozycyjne (marker) światło chemiczne lub elektryczne (zwykle LED), które przyczepisz do butli, lub fajki. Markery pomagają rozpoznawać się wzajemnie pod wodą, a także na powierzchni po zakończeniu nurkowania. Niektóre mają kolorowe światło lub błyskają w określonym rytmie, różnicując nurków w grupie.

Akumulatorowe lub bateryjne



Podstawowe i zapasowe światła używane przez nurków rekreacyjnych są dostępne w wersjach na baterie i umożliwiających wielokrotne ładowanie. Większe modele, dające więcej światła używane jako podstawowe źródła światła nurków technicznych są zawsze akumulacyjne. Podstawową zaletą źródeł bateryjnych jest niższa cena jako że nie zawierają akumulatorów ani ładowarki. Podstawową zaletą akumulatorowych jest niski koszt użytkowania, jako że nie musisz kupować do nich baterii, co w dłuższym okresie użytkowania jest opłacalną inwestycją. Zarówno w nurkowaniu technicznym jak i rekreacyjnym dominują akumulatory wodorkowo-niklowe NiMH. Wydajność takich ogniw okazała się na tyle dobra, że wypadły one z rynku ogniwa niklowo-kadmowe Ni-Cd oraz kwasowe akumulatory żelowe. Ogniwa wodorkowo-niklowe utrzymują stałe napięcie, zamiast jego stopniowego zanikania jak ma to miejsce w bateriach alkalicznych, a także mogą przechowywać więcej energii. Tak więc zestaw akumulatorów NiMH jest w stanie zasilać latarkę dłużej od zestawu baterii alkalicznych. W dużych

światach do nurkowań technicznych zastosowanie akumulatorów wodorkowych pozwala zmniejszyć ich wielkość w stosunku do żelowych o ponad dwa razy. Minusem ogniw NiMH jest fakt, że są one dostosowane do ciągłego lub częstego użytkowania. Jeśli zalejesz latarkę w czasie nurkowania, być może ona sama przetrwa katastrofę, ale drogie akumulatory z pewnością nie. Akumulatory mają cechę zwaną „upływnością” - nieużywane, samoczynnie tracą zmagazynowaną energię, podczas gdy baterie alkaliczne mogą utrzymywać ładunek latami. Planując częste nurkowania w ciemności, wydaje się rozsądne wybrać akumulatory NiMH do podstawowego źródła światła i zwykle baterie do latarki zapasowej. Jeśli zamierzasz rzadko nurkować nocą, najlepszym rozwiązaniem będzie podstawowa latarka także z bateriami.

Podstawowe źródło światła

Główne światła to zwykle duże modele dające mocny, szerokokątny snop światła. Używane w nurkowaniu rekreacyjnym mają zwykle duże uchwyty i nie mieszczą się w kieszeni jacketu. Większość z nich jest wyposażona w palniki halogenowe lub xenonowe albo w systemy diodowe LED. Latarki nurków technicznych mają znacząco więcej mocy niż te używane w nurkowaniu rekreacyjnym. Mają małe światło umieszczone na dłoni, połączone kablem z akumulatorem umieszczanym na pasie. Pomimo, że lampy halogenowe były

standardem, latarki HIDowe zastępują je coraz częściej. Powodem jest efektywność świecenia, 10 Watowa żarówka HID dostarcza tyle samo światła co 50W halogen.

Światła zapasowe

Światła zapasowe używane jako backup są zwykle niewiele większe od średnicy baterii. Mniejsze średnice pozwalają na użytkowanie ich jako zwykłych latarek. Te zawierają zwykle baterie R20, R14 lub paluszki AA. Wprowadzenie na rynek światła diodowego o wysokiej intensywności pozwala na posiadanie silnego backupu małych rozmiarów. Nurkowie rekreacyjni przyczepiają światła zapasowe do jacketów lub umieszczają je w kieszeniach. Nurkowie techniczni przyczepiają światła do D-ringów uprząży ramieniowych na którejś stronie i unieruchamiają przy użyciu gumowej linki.

Konserwacja świateł

Jak każdy element sprzętu nurkowego, światła wymagają dbałości, jeśli mają służyć długo i działać dobrze. Właściwa konserwacja zaczyna się zaraz po wyjściu z wody i polega na oplukaniu w słodkiej wodzie, możliwe najszybciej po opuszczeniu wody morskiej lub chlorowanej. Najlepiej by płukanie nastąpiło zanim światło wyschnie, co zawsze pozostawia cienką warstwę soli lub związków chemicznych na obudowie. Po wyłączeniu należy niezwłocznie oplukać okolice wyłączników i o-ringów przez około minutę pod bieżącą wodą. Środki do usuwania soli mogą być pomocne w usuwaniu osadów. Natępnie należy światła wysuszyć, otworzyć i wyjąć baterie zgodnie z instrukcją producenta. Sprawdzić styki, i wyczyścić jeśli potrzeba, gumką biurową (najłatwiej taką na ołówku) Jeśli używasz akumulatorów, należy podłączyć je do ładowania. Kolejno sprawdzić o-ringi, szukając ubytków, nacięć itp. Nie należy używać niczego ostrego do wyjmowania o-ringów gdyż można je łatwo uszkodzić. Należy wymienić uszkodzone o-ringi, wyczyścić rowki i je same tkaniną nie pozostawiającą włóków. Sprawdzić rowek i o-ring czy nie pozostały na nich włókna lub zabrudzenia mogące skutkować przeciekaniem. O-ringi należy smarować używając małej ilości smaru silikonowego dobrze rozprowadzonego po całej uszczelce. Nie należy używać za dużo smaru - właściwie nasmarowana uszczelka lśni i jest mokra, ale nie widać na niej grudek ani widocznej warstwy smaru. Nadmiar smaru nie pomaga w szczelności, lecz zwiększa podatność na zalanie przez łatwość z jaką przyczepiają się do niej zabrudzenia i kurz. Następnie należy zmontować latarkę i przechowywać w suchym, chłodnym miejscu bez bezpośredniego działania promieni słonecznych. Jeśli nie będziesz używał światła przez dłuższy czas, należy zdjąć o-ringi i wyjąć baterie, umieszczając je w oddzielnych woreczkach foliowych



Zalanie latarki

Pomimo, że nie zdarza się to często, możliwe jest całkowite lub częściowe zalanie latarki z powodu niewłaściwej konserwacji, lub podwinięcia oringu w czasie skręcania. Przy pierwszych oznakach zalania, wyłącz natychmiast swoją latarkę i przejdź na zapasową. Na powierzchni skieruj latarkę od siebie i zabezpiecz oczy (np ubierz maskę nurkową) w czasie otwierania. Zalane baterie wydzielają gaz, który może spowodować wytryśnięcie skażonej chemikaliami wody w czasie otwierania. Nie dotykaj tego co wyleje się z zalanej latarki. Wymień baterie (niektóre akumulatory stosowane w nurkowaniu technicznym mogą przetrwać zalanie - sprawdź w instrukcji obsługi) i wypłucz latarkę dokładnie słodką wodą, wysusz wewnątrz i na zewnątrz suszarką do włosów bez ogrzewania powietrza. Zwykle należy oddać latarkę do serwisu przed ponownym użyciem po zalaniu.

Podwodny sprzęt Foto - Video

Podwodne aparaty fotograficzne i kamery video uczestniczą w wyścigu zmian jakie niesie za sobą gwałtownie rozwijająca się technologia cyfrowych obrazów. To co pozostaje stałe, to konieczność oświetlania obrazów w celu uzyskania dobrych kolorów. Poza tym, zmiany zachodzą tak gwałtownie, że trudno jest omówić je w skrócie. Zanim zainwestujesz w jakikolwiek sprzęt, który zamierzasz użytkować pod wodą, skonsultuj się ze specjalistą i sprawdź strony internetowe traktujące o podwodnej fotografii. Ponieważ zmiany dotyczą elementów, w kolejnych modelach, należy kupować razem aparat, obudowę i oświetlenie. Inną ważną kwestią, jest fakt że do wielu aparatów i kamer nie ma obudów podwodnych.

Systemy do fotografii podwodnej

Cyfrowa fotografia zrewolucjonizowała fotografię, także pod wodą, tworząc ją bardziej uniwersalną i w wielu aspektach łatwiejszą zarówno dla nowicjuszy jak i profesjonalistów. Fotografia cyfrowa zniósła jedno z głównych ograniczeń, jakim było 36 zdjęć i brak możliwości zmiany filmu przed zakończeniem nurkowania. Nowoczesne karty pamięci pozwalają zrobić setki zdjęć w wysokiej rozdzielczości, oraz dają możliwość oglądania rezultatów natychmiast, pod wodą. Systemy cyfrowe ułatwiły także uzyskiwanie dobrych kolorów. Pomimo, że zaawansowani fotografowie z pewnością nie zrezygnują oświetlania fotografowanych obiektów, można uzyskać nie najgorsze kolory polegając wyłącznie na automatycznym balansie bieli, w który wyposażona jest większość cyfrowych aparatów. Funkcja balansu bieli kompensuje absorpcję kolorów pod wodą, dając niezłe zdjęcia nawet bez lampy błyskowej. W zależności od jakości która Cię zadowala i doświadczenia, możesz zainwestować w kompaktowy, mały aparat z automatycznymi funkcjami albo w lustrzankę SLR z wymiennymi obiektywami jakich używają profesjonaliści. Jest także wiele modeli pośrednich. Najlepsze efekty uzyskuje się z użyciem podwodnej lampy błyskowej, niezależnie od balansowania bieli. Najlepszą opcją jest dedykowana lampa z systemem kontroli TTL (pomiar światła przez obiektyw). Wiele producentów oferuje podwodne lampy błyskowe TTL współpracujące z wybranymi modelami aparatów w obudowach podwodnych.



Podwodne Video

Cyfrowe video jest podstawą podwodnych filmów od końca lat 90-tych. Obrazy z obecnie produkowanych kamer amatorskich zwykle przewyższają jakością to co można było uzyskać z kamer profesjonalnych na początku lat 90tych. Co więcej, te kamery są na tyle małe, że można z łatwością umieszczać je w stosunkowo niewielkich obudowach podwodnych. Dzisiaj większość filmów podwodnych jest tworzona techniką cyfrową. Tak jak przy aparatach fotograficznych, jest ważne aby wybierać kamerę wraz z obudową. Do niektórych modeli nie ma obudów, a technologia zmienia się na tyle szybko i trudno jest kupić obudowę do modelu kameary która wyszła z produkcji. Video, tak jak fotografia potrzebuje doświetlania sztucznym światłem.



Do czasu wprowadzenia lamp HID (szerzej omawiane w dziale oświetlenia) możliwości doświetlania video były znacznie ograniczone. Wymagana ilość energii do oświetlenia wyczerpywała się szybko nawet z wielkich akumulatorów o dużej pojemności. Dysponując oświetleniem HID można mieć system oświetlenia, który dostarczy odpowiedniej jasności w rozsądnym czasie bez konieczności zabierania wielkich, nieporęcznych zestawów. Korzystając z użyteczności balansu bieli, wielu videografów nie używa światła w płytkich przejrzystych wodach.

Konserwacja podwodnych zestawów Foto- Video

Aparaty nie lubią wody, dlatego dobre przygotowanie przed- i konserwacja po- nurkowaniu są konieczne aby uniknąć kosztownych wypadków. Wszystkie kamery, aparaty i oświetlenie mają specyficzne wymagania określone w instrukcjach obsługi, aczkolwiek podstawy są wspólne:

Przed nurkowaniem:

17. Sprawdź i wyczyść wszystkie o-ringi i powierzchnie styku. Używaj miękkich, nie pozostawiających włókien materiałów do czyszczenia o-ringów i bawełnianych szmatek do czyszczenia rowków na nie. Jeśli to konieczne wymień naderwane lub jakkolwiek inaczej uszkodzone o-ringi. Zawsze należy mieć zapasowe o-ring na taki wypadek i wymieniać je przy każdej wątpliwości.
18. Po wyczyszczeniu o-ringów i rowków na nie, należy smarować używając małej ilości smaru silikonowego dobrze rozprowadzonego po całej uszczelce. Nie należy używać za dużo smaru - właściwie nasmarowana uszczelka lśni i jest mokra, ale nie widać na niej grudek ani widocznej warstwy smaru. Należy sprawdzić czy do smaru nie przykleił się kurz, ani jakiegokolwiek zanieczyszczenia. Nie należy naciągać o-ringów, gdyż prowadzi to do ich uszkodzenia.
19. Inspekcja i czyszczenie o-ringów powinno być praktyką przed rozpoczęciem każdego dnia podwodnej fotografii. Być może czyszczenie nie jest konieczne, jeśli obudowa została otwarta dla wymiany baterii lub zgrania zdjęć, ale sprawdzenie o-ringów jest konieczne zawsze przed zamknięciem obudowy. Mając jakiegokolwiek wątpliwości należy wyczyścić o-ringi

Po nurkowaniu:

20. Całkowicie zanurz zmontowany zestaw w słodkiej wodzie i poruszaj nim przez co najmniej minutę. To pomaga spłukać sól z trudniej dostępnych miejsc. Jeśli nie ma możliwości mycia przez zanurzenie, można opłukiwać pod przepływającą wodą (wąż lub kran) ale zanurzanie jest znacznie lepsze. Jeśli nie możesz umyć sprzętu natychmiast po nurkowaniu w słodkiej wodzie należy pozostawić go mokrego w słonej wodzie, w chłodnym zacienionym miejscu do czasu kiedy można go umyć. Nie należy dopuścić aby słona woda wyschnęła na sprzęcie.
21. Następnie należy sprzęt zanurzyć w słodkiej wodzie na co najmniej pół godziny i potem wysuszyć uważając by nie zadrapać soczewek i powierzchni optycznych.
22. Rozmontować zestaw, zgrać zdjęcia, naładować akumulatory i wyczyścić o-ringi. Jeśli nie planujesz nurkować przez dłuższy czas, pozostaw zestaw rozmontowany a o-ringi wyjmij i umieść w woreczku foliowym.

Bojki

Bojki służą do oznaczania pozycji czegoś. Są użytecznym narzędziem, które można używać w różny sposób do różnych celów. Mogą być pomocne w poszukiwaniach lub nawet awaryjnego oznaczenia zaginionego nurka. Awaryjne, czy nie - boje mogą być wykorzystywane do oznaczenia terenu poszukiwań. Ekipa poszukiwawcza może ciągnąć boję po powierzchni aby koordynator widział postęp poszukiwań. W innym sposób używa się bojki w czasie nurkowań z łodzi. Łódź może szukać określonego miejsca przy użyciu sonaru - małej rafy, wraku lub innego obiektu do zanurkowania na nim. Gdy łódź zobaczy obiekt na sonarze, wyrzuca bojkę z rozwijającą się liną aby oznaczyć położenie. W czasie nurkowania, bojki są używane do oznaczenia miejsca znaleziska gdy nie posiadamy sprzętu do wydobywania go. Bojki pozwalają uniknąć ponownego poszukiwania gdy wrócisz z właściwym sprzętem do wydobywania. Ponieważ są to stosunkowo tanie i użyteczne, wielofunkcyjne narzędzia i środki bezpieczeństwa zarazem, prawdopodobnie będziesz chciał mieć ze sobą jedną lub dwie bojki



Bojek używa się do zaznaczenia własnej pozycji pod wodą lub zaznaczenia miejsca, do którego się chce wrócić.

Wykrywacze metalu

W czasie kursu PADI poszukiwanie i wydobywanie, nauczysz się jak szukać zagubionych przedmiotów pod wodą z wykorzystaniem prostych figur nawigacyjnych. Aczkolwiek, o ile szukany obiekt jest metalowy, a zwłaszcza gdy pozostawał pod wodą dłuższy czas, nawartwiony piasek i osady dobrze go ukrywają. Do znajdowania takich przedmiotów można używać specjalnych podwodnych detektorów metali. Wybór zaczyna się od małych ręcznych modeli zabieranych pod wodę do ogromnych holowanych przez statki magnetometrów. Tych pierwszych używa się do poszukiwania małych przedmiotów jak np. pęk kluczy albo monet; ostatnie nadają się do poszukiwania całych wraków. Rodzaj najczęściej używany przez nurków rekreacyjnych to płytka elektromagnetyczna umieszczona na długim uchwycie. Płytkę emituje pole magnetyczne. Metalowe elementy zakłócają kształt pola magnetycznego, co jest rejestrowane przez detektor, który w takim wypadku emituje sygnał akustyczny lub wychyla igłę wskaźnika. Inne rodzaje wysyłają pulsujący sygnał i porównują charakterystyki drgań fali wraz z ruchami detektora aby odnaleźć metal.



Aby znaleźć metalowe przedmioty pod wodą, możesz użyć specjalnego podwodnego wykrywacza metalu. Urządzenia te znacznie różnią się od siebie: od małych, które możesz zabrać ze sobą na nurkowanie, po duże, obsługiwane wyłącznie z łodzi.

Worki wypornościowe

Worki wypornościowe używane są do dwóch podstawowych zastosowań: do podnoszenia i wydobywania ciężkich obiektów, oraz w nurkowaniu technicznym jako narzędzie wspomagające wykonanie przystanku dekompresyjnego. Jeśli znajdziesz pod wodą coś co chcesz wydobyć, to jeśli nie możesz tego podnieść bez dopompowywania jacketu, należy użyć worka wypornościowego. Worki wypornościowe mają kształt balona na gorące powietrze, i są wykonane z bardzo wytrzymałej tkaniny nieprzepuszczającej powietrza. Przywiązujesz obiekt do balona i napełniasz go z dodatkowego źródła powietrza lub specjalnego narzędzia do napełniania. Lepsze worki mają zawór, którym możesz spuszczać rozszerzające się powietrze i kontrolować prędkość wynurzenia po drodze do powierzchni. Worek wypornościowy jest częścią standardowego wyposażenia nurka technicznego. Używasz go w zaplanowanej lub awaryjnej dekompresji (w zależności od tego gdzie nurkujesz) wystrzelonego na powierzchnię jak bojkę i połączonego z linką kołowrotka. Worek zapewnia stabilny punkt podparcia, dla zespołu nurkowego umożliwiając mu łatwiejszą kontrolę głębokości przy wymaganach przystankach dekompresyjnych, poprzez zawieszenie na linie od worka. Jaskrawy kolor worka ułatwia łodzi obserwację położenia nurków, którzy dryfują w toni w czasie dekompresji. Nurkowie techniczni często zabierają worki wypornościowe aby zdublować nadmuchiwaną bojkę. Wysyłanie określonych z nich może oznaczać że zespół potrzebuje pomocy i wysłania nurka wspomagającego z powierzchni.



Worki wypornościowe stały się standardowym elementem wyposażenia nurków technicznych w wodach otwartych. Używane są jako bojki sygnalizacyjne przystanek dekompresyjny; wystrzeliwane spod wody na linie umieszczonej na kołowrotku.

Kołowrotki

Jedynym sensownym sposobem zabrania liny pod wodę jest używanie kołowrotka lub szpulki. Kołowrotki nurkowe mają wiele zastosowań. Można ich używać do poszukiwania, to ciągnięcia bojki powierzchniowej z flagą lub do pomiarów odległości. W nurkowaniu technicznym jest to standardowy element wyposażenia w wodzie otwartej przy używaniu worków wypornościowych a w jaskiniach i przestrzeniach zamkniętych jest krytycznie ważny, wskazując drogę powrotną do wyjścia.

Systemy lokalizacji

Elektroniczne systemy lokalizacji podwodnej są dostępne od lat. Składają się one z transmittera emitującego sygnał (radionadajnika) który umieszcza się na obiekcie lub w lokalizacji do której należy wrócić i odbiornika. Ten sposób dobrze sprawdza się w odnajdywaniu drogi powrotnej lub punktu wyjścia, aczkolwiek z powodu wysokiego kosztu i nieporęcznego użytkowania te urządzenia nie odgrywają znaczącej roli w nurkowaniu sportowym. Od roku 2001 pojawiają się nowe systemy elektronicznej nawigacji. Pozwalają one określić pozycję względem łodzi, niektóre pozwalają także łodzi określić pozycję nurków pod wodą. Pomimo, że urządzenia te są raczej kosztownym rozwiązaniem, będą stały się bardziej popularne wraz z obniżaniem ceny. Prognozuje się że w przyszłości zestaw transmittera/ odbiornika na nadgarstku nurka będzie standardową praktyką na łodziach safari nurkowych.

Analizatory gazów i przepływomierze

Wraz ze wzrostem popularności nurkowania na wzbogaconym powietrzu, analizatory tlenu stały się podstawowym wyposażeniem wielu nurków. Używane są do potwierdzenia składu procentowego tlenu w buli z nitroxem. Ponieważ prędkość z jaką gaz przepływa przez czujnik ma wpływ na wskazania, zwykle kupujesz także przepływomierz lub ogranicznik przepływu aby zapewnić dokładność pomiaru. Niektóre modele dołączają się bezpośrednio do zaworu butli, a inne do węża inflatora automatu oddechowego. W nurkowaniu technicznym analizatory tlenu i helu są coraz częstsze wraz z rozwojem nurkowania na trimixie. Pomimo, że możliwe jest odpowiednie określenie składu procentowego trimixu analizując tylko sam tlen, te nowe analizatory znacznie ułatwiły analizę i przygotowywanie (blending) trimixu.



Przed nurkowaniem z nitroxem używasz analizatora tlenu, aby sprawdzić jego zawartość w mieszance. Analizator helu (powyżej) służy nurkow oddychającym trimixem.



Systemy komunikacji

Pomimo że komunikacja głosowa nie przyjęła się szerzej ani w nurkowaniu rekreacyjnym ani w technicznym, jest ona powszechnie stosowana w nurkowaniach naukowych, wojskowych, prac podwodnych itp. Jeśli komunikacja głosowa jest potrzebna pod wodą, niezbędne jest używanie maski pełnotwarzowej lub prostszych wersji „maski na usta”. Różne modele pracują na różnych zakresach częstotliwości, dopuszczalnych głębokości, rodzajów zasilania i innych cech. Istnieją proste modele, w których trzeba nacisnąć przycisk, by mówić podobnie jak w krótkofalówce, albo elektronicznie przełączane mówię/ słucham - aktywowane głosem. Najlepsze zestawy posiadają regulację głośności, redukcję szumów, aktywację głosową i inne parametry, które można regulować w czasie nurkowania. Wprowadzone także w związku z zapotrzebowaniem wojskowym np. do zabezpieczenia przed bojówkami terrorystów, systemy głosowe rozwijają się i stają coraz bardziej skomplikowanymi układami elektronicznymi oferując coraz łatwiejszą obsługę i coraz niższą cenę. Pomimo, że prawdopodobnie nie będzie to nigdy wyposażeniem „zwykłego nurka” (niektórzy cenią sobie w nurkowaniu właśnie brak możliwości rozmowy głosowej), prawdopodobnie będą częściej używane wraz z rozwojem ich użyteczności i niezawodności.

Skutery podwodne (DPV)

Skuter podwodny, z ang. Diver propulsion vehicle (DPV) pozwala na przeptnięcie większych odległości pod wodą bez używania płetw. Ponieważ oszczędzają energię nurka, zużywa on również mniej powietrza. Dla niektórych niepełnosprawnych nurków dają możliwość efektywnego poruszania się jako alternatywy dla używania rąk podczas nurkowania. DPV składa się zwykle z obudowy, zawierającej akumulatory, nosa z rączkami i osłoniętej śruby napędowej. Predkość pracy śruby może być stała lub zmienna, a śruba zatrzymuje się automatycznie po zwolnieniu wyłącznika gdy puszczasz rączki skutera. To zabezpiecza przed ucieczką skutera, który przypadkowo został wypuszczony z rąk. Istnieją dwa wyraźnie różne rodzaje skuterów: małe kompaktowe modele, które mogą pracować 1-2 godziny bez ładowania, i duże masywne, które wytrzymują 3 lub więcej godzin ciąglej pracy. Początkowo skutery były projektowane przede wszystkim dla nurków rekreacyjnych. Niektóre bardzo małe modele nie dają wiele siły napędowej, ale są lekkie, łatwe do niesienia jedną ręką, inne cięższe poruszają nurka szybciej niż jest on w stanie sam płynąć. Duże modele są projektowane przede wszystkim dla nurków technicznych. Nadają się one zwykle do operowania na większych głębokościach i stanowią ważny element głębokich eksploracji jaskiń. Pomimo że użytkowanie skutera nie jest trudne, należy brać pod uwagę kilka aspektów by bezpiecznie z nim nurkować. Składa się na to nie przekraczanie prędkości wynurzania, a także takie planowanie nurkowań by móc wrócić do punktu końca nurkowania w razie awarii urządzenia.



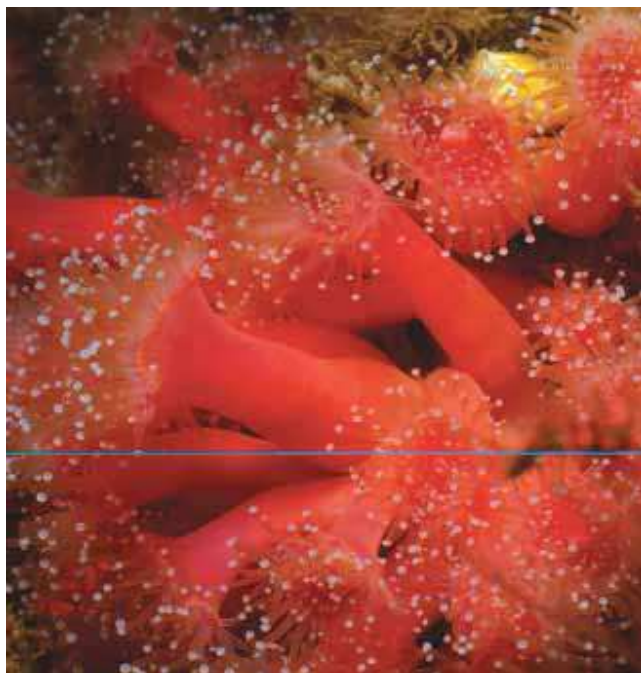
Są dwa podstawowe rodzaje skuterów podwodnych. Duże, techniczne modele (po lewej na zdjęciu), mają dłuższą żywotność ale są duże i ciężkie. Modele rekreacyjne (poniżej) są lekkie, ale odpowiednie do krótszych nurkowań.



ROZDZIAŁ IV

Nurkowanie w świecie materialnym

FIZYKA I CHEMIA NURKOWANIA



SPIS TREŚCI

Nurkowanie w świecie materialnym	1
Wstęp	3
Podstawy chemii i fizyki dla pływających	4
Materia	4
Energia	10
CUDOWNĄ CZĄSTECZKĄ - WODA	10
Budowa polarna wody	11
Napięcie powierzchniowe	11
Rozpuszczalność	12
Woda a ciepło	13
Woda a światło	17
Woda i dźwięk	23
Pływalność i „nieważki” świat	25
Prawo Archimedesesa	25
Względna gęstość	26
Zastosowania praktyczne	28
Pod ciśnieniem	29
Ciśnienie jako siła	29
Ciśnienie a ciała stałe i ciecze	32
Ciśnienie a zachowanie gazów	32
Gazy, które powinienś znać	49
Azot	49
Tlen	50
Dwutlenek węgla	51
Tlenek węgla	51
Hel	52
Wodór	53
NEON	53
Argon	54

Wstęp

Niewiele wrażeń można porównać z tymi związanymi z eksploracją podwodnego świata. Dlaczego? Przynajmniej częściowo dlatego, że jesteś zaadaptowany do życia na lądzie, i jesteś przyzwyczajony do otaczających cię zjawisk typowych dla środowiska lądowego. Jako duży organizm lądowy nie jesteś w stanie latać bez pomocy maszyn - a generalnie upadki są bolesne. Przy temperaturze 24°C jest ci wystarczająco ciepło, byś chodził przez cały dzień w krótkich spodniach i T-shircie. Jesteś w stanie określić kierunek, z którego dochodzi dźwięk, a dojrzałe, czerwone jabłko jest tak samo czerwone bez względu na to, czy znajduje się trzy, czy trzydzieści metrów od ciebie.

Jednak podczas nurkowania wkraczasz w środowisko, w którym obowiązują zupełnie inne zasady. Pomimo twoich rozmiarów, możesz „latać” w trzech wymiarach bez obawy upadku. W temperaturze 24°C bez chroniącego przed utratą ciepła skafandra szybko zmarzniesz. Masz wrażenie, że większość dźwięków dochodzi dokładnie znad twojej głowy, bez względu na to, gdzie naprawdę znajduje się ich źródło. Kolory otaczających cię przedmiotów zależą od głębokości i ich odległości od ciebie. Poza tym, istnieją inne czynniki fizyczne, niewykrywalne dla twoich zmysłów, które znacząco wpływają na twoje bezpieczeństwo.

Chociaż wiele zjawisk zachodzących w podwodnym świecie może wydawać się zaskakujących, pod wodą obowiązują te same prawa co w całym wszechświecie (przynajmniej o tyle, o ile nam wiadomo!). W związku z tym, zrozumienie właściwości wody i jej wpływu na nas wymaga jedynie znajomości niektórych podstawowych zagadnień chemii i fizyki.

Niestety, hasła „chemia” i „fizyka” często wywołują uczucie graniczące z paniką u osób nie będących w szkole orłami z matematyki i nauk ścisłych. Jeśli więc przychodzi ci na myśl naukowcy w białych fartkach, mamroczący w niezrozumiałym żargonie o kosmicznie skomplikowanych wzorach matematycznych, zapomnij o tym stereotypie! Naprawdę nie potrzebujesz doktoratu z nauk ścisłych, aby zrozumieć fizyczne własności podwodnego świata.

Chemia to nauka o składzie, strukturze i właściwościach materii. Chemia nurkowania zajmuje się zatem składem, strukturą i właściwościami substancji, które oddziałują na nas pod wodą - przede wszystkim wody i gazów oddechowych. Fizyka jest nauką o zachowaniu materii i energii. Jeżeli pomyślisz, że dziedziny fizyki i chemii w dużym stopniu pokrywają się, będziesz mieć rację. Chemia i fizyka nurkowania łącznie opisują, jak wpływa na nas materia i energia pod wodą. Każda osoba obdarzona zdrowym rozsądkiem, będąca w stanie wciskać przyciski kalkulatora, jest w stanie pojąć prawa fizyczne i procesy chemiczne rządzące światem, w tym światem podwodnym.

Aby zbudować podstawy dla zrozumienia fizyki nurkowania, ten rozdział zaczyna się od spojrzenia na materię i energię. Rozpoczynając od opisu podstawowej jednostki materii - atomu, przechodzimy do omówienia stanów materii i połączeń między atomami. Dowiesz się, w jaki sposób energia napędza wszystkie procesy fizyczne, i dlaczego kiedyś, w bardzo odległej przyszłości, energia we wszechświecie ulegnie wyczerpaniu.

Stąd przejdziemy do zagadnień bliższych tobie - nurkowi. Dowiesz się, że woda jest niezwykle substancją ze względu na jej wyjątkową budowę molekularną, i że różni się ona od innych cieczy na wiele istotnych sposobów. Bez wody życie na Ziemi byłoby niemożliwe. Zobaczysz też, w jaki sposób ciepło, światło i dźwięk rozchodzą się w wodzie, i jak ich zachowanie wpływa na ciebie podczas nurkowania. Dowiesz się, dlaczego pod wodą możesz słyszeć dźwięki dochodzące z dużej odległości, znacznie większej niż w powietrzu, ale wzrok twój sięga tylko na ograniczoną odległość nawet w najczystszej wodzie.

Następnie zajmiemy się zagadnieniem pływalności - opiszemy, co to właściwie jest i dlaczego jesteś bardziej płwający w wodzie słonej niż w wodzie słodkiej. Zobaczysz, że siła wyporu działa przeciwnie do siły grawitacji, a mimo tego pod wodą nie jesteś prawdziwie nieważki.

W następnej kolejności zajmiemy się ciśnieniem. Dowiesz się, dlaczego i w jaki sposób w czasie nurkowania woda wywiera na ciebie ciśnienie, dlaczego cię nie zgniata, i jakie są inne skutki tego zjawiska. Poznasz wpływ ciśnienia na gazy, takie jak stały związek pomiędzy ciśnieniem, objętością i temperaturą.

Wreszcie opiszemy własności fizyczne różnych gazów mogących oddziaływać na ciebie jako płetwonurka. Od nich zależy reakcja twojego organizmu na te gazy, a ich zrozumienie przekłada się bezpośrednio na zrozumienie procesów fizjologicznych mających miejsce w trakcie nurkowania.

Liczymy, że dzięki temu rozdziałowi Encyklopedii Nurkowania Rekreacyjnego chemia i fizyka wydadzą się bardziej jasne, zrozumiałe oraz przydatne dla zrozumienia procesów rządzących nurkowaniem - i po

prostu interesujące. Mamy nadzieję, że uznasz, że opisane prawidła i reguły są rzeczywiście proste i logiczne oraz zobaczysz, że odkrywają one zupełnie nową płaszczyznę rozumienia podwodnego świata.

Podstawy chemii i fizyki dla pletwonurków

Dwa spośród najważniejszych pojęć w fizyce i chemii to **materia** i **energia**. Twierdzenie to jest prawdziwe zarówno dla kosmologa badającego pierwsze momenty istnienia wszechświata, jak i dla pletwonurka obliczającego zmianę objętości gazów przy trzykrotnym wzroście ciśnienia.

Materia

Materia to substancja budująca wszechświat. Za wyjątkiem reakcji jądrowych w trakcie których materia jest zamieniana na energię, materia nie może być tworzona ani niszczone. Jest jednak możliwa zmiana rodzaju materii. Różne typy materii mogą się łączyć albo rozpadać, tworząc nowe typy o odmiennych właściwościach. Jednak, całkowita ilość materii w trakcie tych przemian się nie zmienia - nie może być ona tworzona bądź niszczone.

Rodzaje materii.

Cała materia wszechświata może zbudowana jest z elementów - pierwiastków. Zgodnie z definicją¹, pierwiastek to substancja, która nie może być rozłożona na prostsze substancje w reakcji chemicznej. Pierwiastek jest najbardziej podstawową, lecz wciąż zachowującą swoje właściwości formą materii.

Zastosowanie w nurkowaniu: Zrozumienie różnic pomiędzy typami materii jest konieczne dla zrozumienia jej zachowania w trakcie nurkowania - np. dlaczego hel nie reaguje z innymi substancjami, co czyni go odpowiednim gazem dla głębokich nurkowań technicznych.

Dla przykładu, przyjrzyjmy się wodzie. Nie jest ona pierwiastkiem, gdyż można ją rozbić na prostsze składniki - wodór i tlen. Wodór i tlen nie mogą być jednak rozbite na jeszcze prostsze substancje w trakcie reakcji chemicznych - są one pierwiastkami. Wszystkie substancje, tworzące otaczające nas obiekty, a także nasze ciała, składają się z pierwiastków w różnych zestawieniach i proporcjach.

Do dnia dzisiejszego, naukowcy opisali i nazwali sto kilkanaście pierwiastków; z tej liczby około 90 występuje naturalnie w przyrodzie, zaś pozostałe zostały sztucznie wytworzone w laboratoriach jądrowych. Synteza nowych pierwiastków przeprowadzana jest w akceleratorach, w których naukowcy wywołują łączenie jąder naturalnie występujących pierwiastków lub ich rozpad. Gdy to się stanie, utworzone substancje nie mogą zostać rozbite na prostsze substancje w wyniku reakcji chemicznych (choć niekiedy są tak nietrwałe, że w krótkim czasie samoczynnie rozpadają się na prostsze elementy - przyp. tłum.) - i mają nowe, odmienne właściwości. Zgodnie z definicją, są nowymi pierwiastkami. Reakcje jądrowe mogą prowadzić do zamiany materii w energię. Z pewnością spotkałeś się ze słynnym równaniem Alberta Einsteina:

$$E = mc^2$$

W równaniu tym, E oznacza energię, m - masę (materii) a c^2 - prędkość światła podniesioną do kwadratu. Jako że kwadrat prędkości światła jest naprawdę dużą wielkością, równanie Einsteina demonstruje, jak niewielka ilość materii może zostać przetworzona na ogromną ilość energii. To właśnie jest podstawą energetyki jądrowej - czy w elektrowniach dostarczających prąd elektryczny do domów, czy w łodziach podwodnych, czy w Słońcu, które umożliwia istnienie życia na Ziemi.

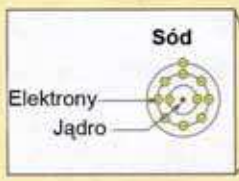
Podstawową porcją pierwiastka jest atom. Atom (nazwa pochodzi od greckiego słowa atomos - niepodzielny) jest najmniejszą porcją pierwiastka, która wciąż wykazuje jego specyficzne właściwości. Atomy są tak małe, że potrzeba by wielu milionów atomów ułożonych jeden obok drugiego, aby łączna długość takiego szeregu osiągnęła grubość tej strony.

¹ Według współczesnej definicji, pierwiastek jest to taka substancja, która składa się wyłącznie z atomów posiadających jednakową liczbę protonów w jądrze. O protonach napiszemy za chwilę (przyp. tłum.)

Umysł geniusza

W jaki sposób Albert Einstein doszedł do równania $E = mc^2$? Generalnie, od młodości Einstein zastanawiał się nad problemami, których istniejące teorie nie były w stanie objaśnić: „Co zobaczyłbyś, gdybyś podróżując z prędkością światła, spojrzął za siebie?”, „Gdybyś podróżując z prędkością światła spojrzął w lusterko, czy cokolwiek byś zobaczył?”. Przez wiele lat poszukiwał odpowiedzi na te i podobne pytania, i w 1905 roku, opierając się na pracach matematyka Jamesa C. Maxwella, zaproponował swoje słynne równanie. Następnie przez wiele lat matematycznie udawdniał swoją hipotezę

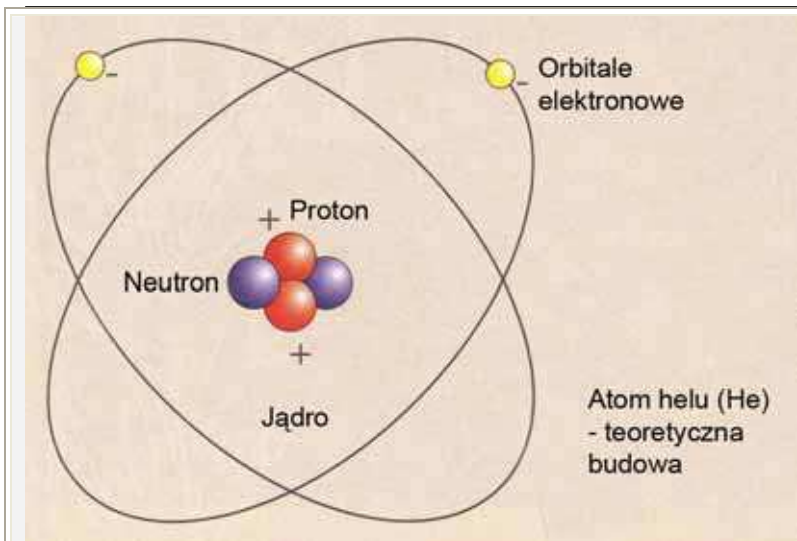
Atomy z kolei są utworzone z jeszcze mniejszych elementów, tzw. cząstek elementarnych, do których należą obdarzone ujemnym ładunkiem elektrony, obdarzone ładunkiem dodatnim protony, i pozbawione ładunku neutrony. Naładowane cząstki - elektrony i protony - wzajemnie się przyciągają, co zapewnia trwałość całemu układowi. A ponieważ ilość elektronów i protonów w atomie jest taka sama (za wyjątkiem atomów zjonizowanych, o których będziemy mówić wkrótce), całkowity ładunek atomu jest neutralny (brak ładunku). Neutrony i protony mają w przybliżeniu te same rozmiary, i utrzymywane razem przez siły jądrowe znajdują się w jądrze, umiejscowionym w centrum atomu. Protony nadają jądru ładunek dodatni; wokół jądra, po orbitalach, krążą ujemnie naładowane i znacznie mniejsze elektrony, tworzące chmurę elektronową. Średnica chmury elektronowej jest jakieś sto tysięcy razy większa od średnicy jądra; jeżeli wyobrazimy sobie, że jądro atomu wodoru ma wielkość pomarańczy, w tej samej skali średnica całego atomu wyniosłaby około 6 kilometrów.



WODÓR związki organiczne WĘGIEL związki organiczne AZOT białka i kwasy nukleinowe TLEN związki org ŻELAZO transport elektronów WAPN kości, mięśnie itp. FOSFOR: kwasy nukleinowe																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110								
Fr	Ra	Ac	Unq	Unp	Unh	Uns	Uno	Une	Unn								
58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cfr Es Fm Md No Lr																	
■ Pierwiastki stanowiące łącznie 99% masy organizmów żywych ■ Pierwiastki stanowiące łącznie ok 1% masy organizmów żywych																	

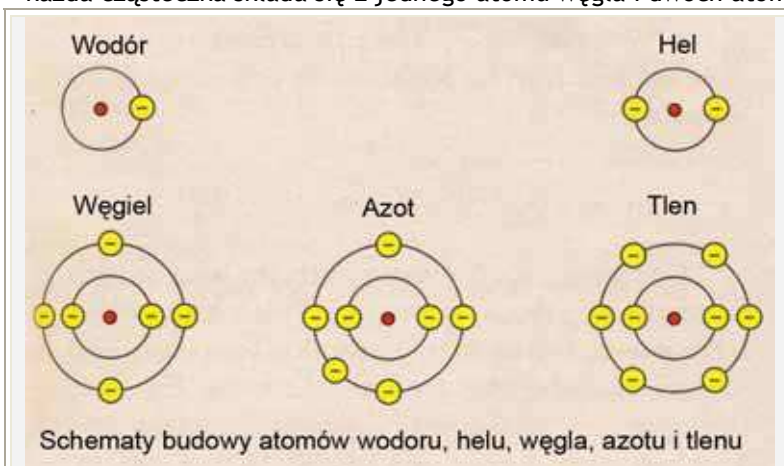
Układ Okresowy Pierwiastków zestawia najważniejsze cechy znanych pierwiastków - czyli substancji, które nie mogą być rozbite na prostsze w wyniku reakcji chemicznych. Tabela podaje symbol chemiczny każdego z pierwiastków, jego liczbę atomową (liczbę protonów w jądrze) i masę atomową (masę wszystkich cząstek elementarnych wchodzących w skład atomu).

Elektrony poruszają się po przewidywalnych orbitach, określanych jako powłoki elektronowe. Każda powłoka może pomieścić określoną liczbę elektronów. Wkrótce do tego przejdziemy - przy opisie sposobu, w jaki atomy mogą łączyć się, tworząc bardziej złożone formy materii.



Chociaż jądro jest tak małe w stosunku do całego atomu, stanowi 99,9% całej jego masy. Wynika to z faktu, że protony i neutrony są mniej-więcej 2000 razy cięższe od elektronów. Całkowita masa wszystkich wchodzących w skład atomu cząstek elementarnych to masa atomowa. Oprócz masy, pierwiastki różnią się przede wszystkim liczbą protonów w jądrze, czyli liczbą atomową. Różne atomy tego pierwiastka, przy tej samej liczbie protonów, mogą mieć różną liczbę neutronów (czyli różną masę atomową). Takie odmiany tego samego pierwiastka określane są jako izotopy.

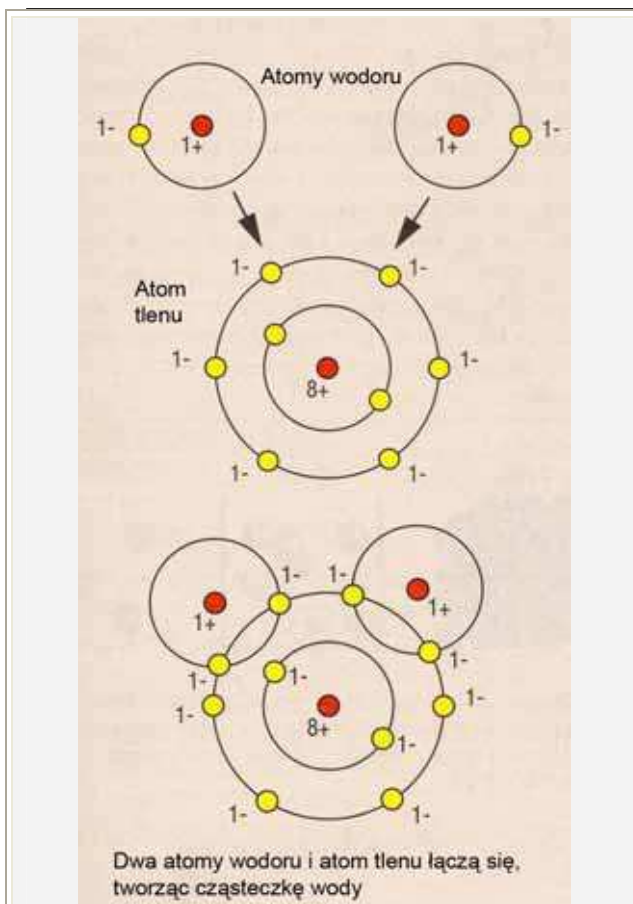
Na różne sposoby atomy łączą się między sobą, tworząc cząsteczki. Cząsteczki złożone z więcej niż jednego pierwiastka to związki chemiczne. Cząsteczka stanowi najmniejszą porcję związku chemicznego, która posiada wszystkie właściwości tego związku. Przykładem może być dwutlenek węgla, CO_2 , którego każda cząsteczka składa się z jednego atomu węgla i dwóch atomów tlenu.



Także atomy jednego pierwiastka mogą się łączyć i tworzyć cząsteczki - czyli występować jako pierwiastki w formie cząsteczkowej. Przykładem może być azot, który w powietrzu występuje w formie azotu cząsteczkowego (N_2), którego każdą cząsteczkę tworzą dwa atomy azotu. Związki chemiczne zazwyczaj mają właściwości całkowicie różne od właściwości tworzących je pierwiastków. Znakomitym tego przykładem jest woda, H_2O . W formie cząsteczkowej, oba pierwiastki wchodzące w skład wody, wodor i

tlenu, w temperaturze pokojowej są stosunkowo reaktywnymi gazami (czyli łatwo reagują z innymi substancjami). Woda, produkt reakcji między wodorem i tlenem, w temperaturze pokojowej jest względnie niereaktywną cieczą - substancją o zupełnie odmiennych cechach niż wyjściowe składniki. Podobnie, właściwości pierwiastków w formie cząsteczkowej, np. cząsteczkowego azotu (N_2), mogą istotnie się różnić od właściwości pierwiastków w formie atomowej (N) - o ile w formie atomowej w ogóle występują.

W cząsteczkach, atomy są połączone ze sobą poprzez wiązania chemiczne. Proces tworzenia wiązania chemicznego to reakcja chemiczna. Tylko pierwiastki o odpowiedniej strukturze atomowej, a dokładniej - o odpowiedniej konfiguracji elektronów na powłokach elektronowych - mogą tworzyć wiązania chemiczne. Atom o konfiguracji elektronowej, która pozwala mu utworzyć wiązanie chemiczne, jest określany jako reaktywny.

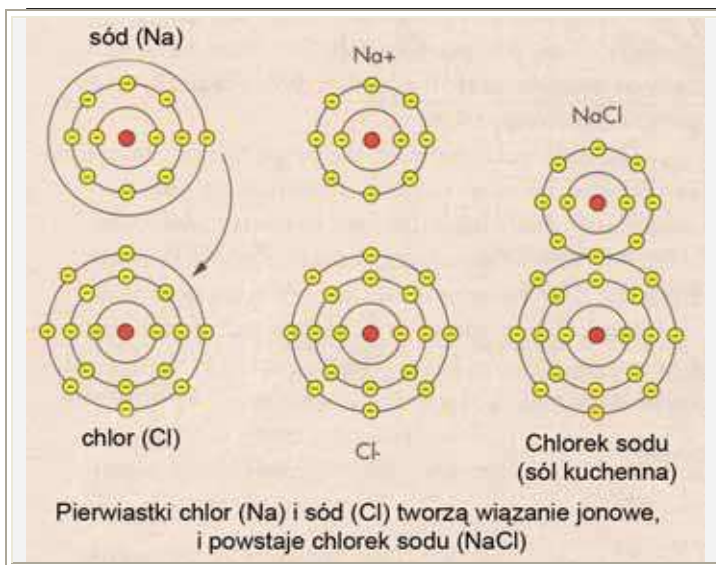


Reaktywność atomu zależy od ilości elektronów na jego najbardziej zewnętrznej powłoce - powłoce walencyjnej. Jeśli zewnętrzna powłoka jest pełna, czyli zawiera tyle elektronów ile może się na niej pomieścić, atom nie będzie łatwo tworzył wiązań z innymi - będzie niereaktywny. Przykładami takich bardzo stabilnych gazów są hel i neon. Jak dowiesz się wkrótce, nurkowie techniczni i komercyjni często używają helu jako gazu oddechowego, między innymi ze względu na jego niereaktywność. Atomy z mniejszą ilością elektronów na powłoce walencyjnej mogą stosunkowo łatwo tworzyć wiązania, lecz tylko z niektórymi pierwiastkami. Generalnie, tworzą wiązania z innymi atomami w taki sposób, aby wypełnić swoją powłokę walencyjną. Mogą to być wiązania jonowe lub wiązania kowalencyjne.

Wiązanie jonowe powstaje, gdy jeden atom przejmuje elektron (lub elektrony) od innego atomu (lub atomów), w taki sposób, by skompletować swoją powłokę walencyjną. W ten sposób, atom który utracił ujemnie naładowany elektron uzyskuje całkowity ładunek dodatni, zaś atom który przyjął dodatkowy elektron przybiera całkowity ładunek ujemny. Przeciwnie naładowane atomy przyciągają się wzajemnie.

Przykładem wiązania jonowego jest sól kuchenna, czyli chlorek sodu - NaCl. Atom sodu posiada tylko jeden ze swoich 11 elektronów na zewnętrznej powłoce, zaś atom chloru na powłoce walencyjnej posiada siedem elektronów, choć dla

skompletowania powłoki potrzebuje ośmiu. Dlatego atom chloru przejmuje samotny elektron z zewnętrznej powłoki atomu sodu, kompletując własną powłokę walencyjną; posiada teraz o jeden elektron więcej niż wynosi liczba protonów, i jego całkowity ładunek jest ujemny. Atom sodu, oddawszy jeden elektron z zewnętrznej powłoki i odłoniwszy wypełnioną drugą powłokę, która teraz staje się zewnętrzną - posiada o jeden proton więcej niż wynosi liczba elektronów, i jego całkowity ładunek jest dodatni. Dwa przeciwnie naładowane jony przyciągają się wzajemnie, tworząc wiązanie jonowe. Niektóre atomy tworząc związek ani nie oddają elektronów, ani ich nie przyjmują celem wypełnienia powłoki. Zamiast tego, dwa lub więcej atomów uwspólnia część elektronów, w ten sposób wypełniając swoje powłoki. Są to tak zwane wiązania kowalencyjne; najbardziej znanym przykładem związku w którym występują jest cząsteczka wody.



W wypadku wody, tlen i wodór, dwa wysoce reaktywne pierwiastki, łączą się tworząc stabilny związek chemiczny. Aby uzyskać komplet elektronów na powłoce walencyjnej, atom tlenu potrzebuje dodatkowo dwóch elektronów (posiada sześć, potrzebuje ośmiu). Każdy z atomów wodoru posiada natomiast tylko jeden elektron, a potrzebuje dwóch do skompletowania pierwszej powłoki. Poprzez uwspólnienie dwóch elektronów z atomu tlenu i po jednym elektronie z dwóch atomów wodoru, atom tlenu uzyskuje dwa elektrony potrzebne mu do skompletowania powłoki, a każdy z atomów wodoru uzyskuje brakujący jeden elektron. W związku z tym, w skład cząsteczki wody wchodzi tlen (O) i wodór (H) w niezmienniej proporcji - jeden atom tlenu na dwa atomy wodoru.

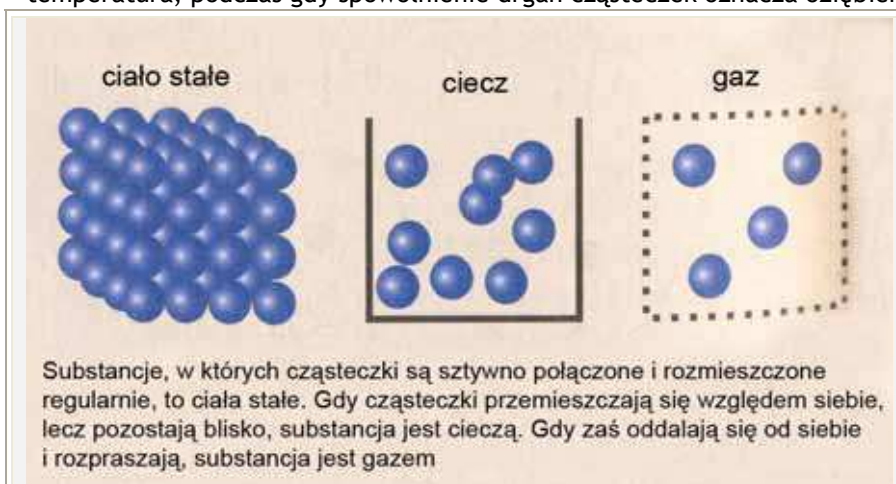
Zapisuje się to jako H₂O - jest to zapewne najbardziej rozpoznawalny wzór chemiczny na świecie. Taka budowa cząsteczkowa daje wodzie szereg wyjątkowych własności, o których dowiesz się niebawem.

Stany skupienia materii.

Pierwiastki i związki chemiczne mogą występować w jednym z trzech stanów skupienia: jako ciała stałe, ciecze i gazy. Na przykład, woda może występować jako ciecz, lecz również jako ciało stałe (lód) oraz gaz (para wodna). Stan skupienia zależy od tego, jak blisko siebie znajdują się cząsteczki danej substancji, i jak sztywne są połączenia między nimi.

Zastosowanie w nurkowaniu: Różne stany materii różnią się swoim zachowaniem pod ciśnieniem. Na przykład, gazy ulegają sprężeniu w stopniu proporcjonalnym do ciśnienia, zaś ciecze i ciała stałe są nieściśliwe (w warunkach spotykanych podczas nurkowania).

Generalnie, najważniejszym czynnikiem wpływającym na stan skupienia substancji jest temperatura, ponieważ właśnie ona wpływa na szybkość poruszania się, lub drgania, cząsteczek. Temperatura jest właśnie miarą tempa poruszania się cząsteczek danej substancji: im szybszy ruch cząsteczek, tym wyższa temperatura, podczas gdy spowolnienie drgań cząsteczek oznacza oziębienie substancji.



Gdy cząsteczki danej substancji znajdują się blisko siebie i są sztywno połączone w regularny sposób, taka substancja jest w stanie stałym. Gdy rośnie temperatura, cząsteczki zaczynają poruszać się coraz szybciej, wypadają ze swoich ustalonych pozycji i zaczynają się przemieszczać względem siebie, ale ciągle pozostają blisko. Ten stan skupienia określamy jako ciekły. Gdy temperatura dalej rośnie, cząsteczki

zaczynają się oddalać od siebie i rozpraszają, tworząc gaz. Dobrym przykładem są lód, woda i para, gdzie ciało stałe (lód) reprezentuje stan „najzimniejszy”, a gaz (para wodna) - „najcieplejszy” tej samej substancji.

Ciśnienie również jest jednym z czynników wpływających na stan skupienia, ale w większości sytuacji, z którymi mamy do czynienia na co dzień, nie jest ono bardzo istotne. Im wyższe ciśnienie, tym trudniej substancja przechodzi ze stanu ciekłego w gazowy, i tym wyższa temperatura jest potrzebna do przejścia

cieczy w gaz. Dobrym przykładem są butle z gazem propan-butan, który pod wysokim ciśnieniem wewnątrz butli jest cieczą, lecz wypływa z butli na zewnątrz jako gaz. Podobnie, temperatura wrzenia gotowanej wody zmienia się wraz z wysokością - im wyżej się znajdujemy, tym woda wrze w niższej temperaturze. Na wysokości 7600 metrów woda wrze w temperaturze 76°C , podczas gdy na poziomie morza temperatura wrzenia wynosi 100°C .

Przyciąganie grawitacyjne, masa i ciężar.

Materia oddziałuje na inną materię poprzez przyciąganie grawitacyjne. Siła przyciągania jest wprost proporcjonalna do masy ciała, i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości od niego. W większości sytuacji w życiu codziennym, pod uwagę bierzemy tylko przyciąganie ziemskie. Ty przyciągasz Ziemię w ten sam sposób, w jaki Ziemia przyciąga ciebie, siła przyciągania ziemskiego działająca na ciebie jest bez porównania większa od siły, z jaką twoje ciało przyciąga Ziemię. Gdy jednak weźmiemy pod uwagę Księżyc, dwukierunkowe działanie siły grawitacji staje się bardziej wyraźne. Siła przyciągania ziemskiego utrzymuje Księżyc na orbicie wokółziemskiej, ale siła przyciągania Księżyca wystarcza do podnoszenia wody w oceanach, co wywołuje pływy.

Masa jest jedną z cech materii; według fizycznej definicji, jest ona miarą bezwładności ciała, a potocznie jest to ilość materii i energii zgromadzonej w ciele. W praktyce, zazwyczaj określamy masę ciała poprzez jego ciężar, czyli przez określenie działającej na ciało siły grawitacji. Różnica jest istotna - przedmiot, którego ciężar na Ziemi wynosi 60 kg, na Księżycu będzie ważył 10 kg. Masa przedmiotu nie uległa zmianie, ale przez niższą wartość siły grawitacji na Księżycu, obniżył się jego ciężar.

Dopóki jednak nie rozpoczniemy nurkowania na innych planetach, jako pływaki będziemy mieli do czynienia jedynie z siłą przyciągania ziemskiego. Dlatego możemy używać określeń ciężar i masa zamiennie, przynajmniej do celów nurkowych, mimo iż z technicznego punktu widzenia są to różne pojęcia.

System metryczny a system imperialny

W Polsce i większości krajów świata stosuje się system metryczny (SI) używający metrów, kilogramów i stopni Celsjusza. Jednak w krajach anglosaskich, przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii, w użyciu jest system imperialny, stosujący stopy, funty i stopnie Fahrenheita. Pływaki zazwyczaj używają systemu miar powszechnie stosowanego w ich krajach, dlatego umiejętność przeliczania jednostek pomiędzy systemami może być bardzo użyteczna w wypadku nurkowania za granicą! Poniżej zestawiono niektóre z przeliczników między systemami:

Długość

1 cal (inch) = 2,54 centymetra
 1 stopa (foot, l. mn. feet) = 12 cali = 30,48 centymetra
 1 jard (yard) = 3 stopy = 91,44 centymetra
 1 mila (mile) = 1609 metrów
 1 centymetr = 0,3937 cala
 1 metr = 3,28 stopy
 1 kilometr = 0,62 mili

Masa

1 uncja (ounce) = 28,35 grama
 1 funt (pound) = 16 uncji = 453,6 grama
 1 tona amerykańska (ton) = 2000 funtów = 907,2 kilograma
 1 tona brytyjska (long ton) = 2240 funtów = 1016 kilogramów
 1 gram = 0,035 uncji
 1 kilogram = 2,2 funta
 1 tona metryczna = 2204,6 funta

Objętość

1 uncja płynna - UK (fluid ounce, fl oz) = 28,41 mililitra
 1 pint - UK = 20 fl oz = 568,2 mililitra
 1 quart - UK = 2 pints = 1,136 litra
 1 gallon - UK = 4 quarts = 160 fl oz = 4,546 litra
 1 uncja płynna - USA (fluid ounce, fl oz) = 29,57 mililitra
 1 gallon - USA = 128 fl oz = 3,784 litra
 1 stopa sześcienna (cubic foot) = 28,32 litra
 1 litr = 0,035 stopy sześciennnej = 0,264 gallon USA

= 0,219 gallon UK

Temperatura

Aby przeliczyć ze skali Fahrenheita na Celsjusza: $(^{\circ}\text{F} - 32) \times 0,555$

Aby przeliczyć ze skali Celsjusza na Fahrenheita: $(^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32$

Ciepło

1 kaloria = ilość ciepła potrzebna do ogrzania 1 grama wody o 1°C

1 BTU (British Thermal Unit - Brytyjska Jednostka Ciepła) = ilość ciepła potrzebna do ogrzania 1 funta wody o 1°F

1 BTU = 252 kalorie

Energia

Energia to zdolność do wykonania pracy, definiowanej jako iloczyn siły działającej na obiekt i odległości, na jaką nastąpiło przesunięcie obiektu. Pojęcia energii i pracy są zatem bardzo zbliżone. W systemie metrycznym, energia i praca mierzone są w dżulach (J) lub w ergach. Jeden erg to wartość pracy wykonanej przy podniesienia obiektu ważącego 1 gram o 1 centymetr. Dżul to mniej-więcej 107 ergów. W systemie imperialnym używa się jednostki stopo-funt (foot-pound).

Rodzaje energii.

Za wyjątkiem reakcji jądrowych, energia nie może być ani wytwarzana ani niszczona. Może ona jednak przyjmować różne formy: ciepła, światła, elektryczności, energii chemicznej bądź energii mechanicznej. Ciepło jest miarą tempa ruchu cząsteczek tworzących substancję. Im szybciej poruszają się cząsteczki, tym wyższa ich energia cieplna. Każda inna forma energii może zostać zamieniona w ciepło. Przy zamianie jednego rodzaju energii na inny, na przykład energii elektrycznej w energię świetlną, zawsze część energii jest rozpraszana w postaci ciepła.

1. Światło to energia w postaci promieniowania elektromagnetycznego. Jej najlepszym przykładem jest energia słoneczna. Przykładem przekształcenia tej formy energii jest jej zamiana na energię chemiczną w procesie fotosyntezy prowadzonym przez rośliny.
2. Energia elektryczna jest wynikiem oddziaływania pomiędzy ujemnie naładowanymi elektronami i obdarzonymi ładunkiem dodatnim protonami. Przykładem jej zastosowania jest bateria, gromadząca energię chemiczną, która po przekształceniu w energię elektryczną może być wykorzystywana w przedmiotach powszechnego użytku, na przykład w latarce.
3. Energia chemiczna to energia wiązań chemicznych i układów cząsteczek. Przykładowo, gaz ziemny po osiągnięciu temperatury krytycznej reaguje z tlenem w reakcji spalania, w trakcie rozrywania są wiązania w cząsteczkach metanu, formują się nowe o niższej energii chemicznej, a nadmiar energii wydzielany jest w postaci ciepła.
4. Energia mechaniczna przejawia się jako ruch lub zdolność do wykonania ruchu - jest wynikiem położenia lub stanu przedmiotu. Jeśli ciało, na przykład naciągnięta sprężyna, jest przytrzymywane w takiej pozycji, że po jego zwolnieniu może zostać wykonana praca, mówimy o energii potencjalnej. Gdy energia jest wynikiem samego ruchu, mówimy o energii kinetycznej. Przykładem obu rodzajów energii mechanicznej jest ciężarek zawieszony na sprężynie: gdy sprężyna jest nieruchomo naciągnięta, posiada energię potencjalną, zaś podczas ruchu, przy rozciąganiu i skracaniu - energię kinetyczną. Energia kinetyczna jest cyklicznie zamieniana na energię potencjalną.

CUDOWNA CZĄSTECZKA - WODA

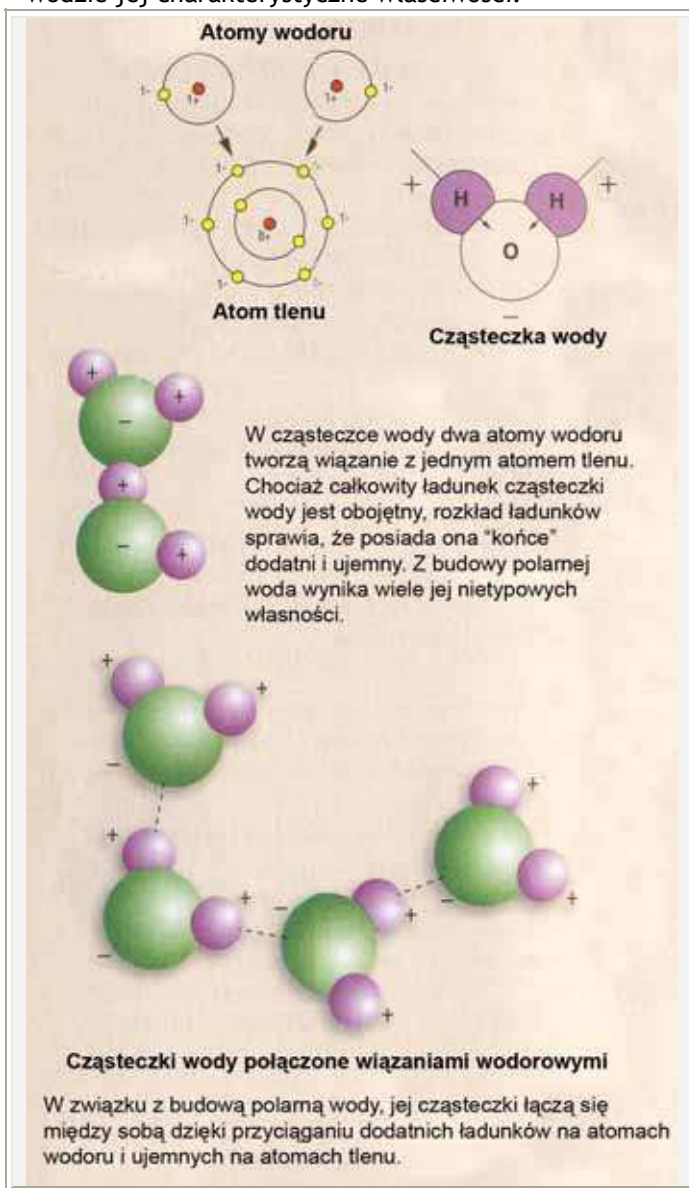
Jak możesz przypuszczać, jednym z ważniejszych obiektów badań chemii i fizyki nurkowania jest woda. Woda jest wyjątkową substancją, której nietypowe własności odróżniają ją od większości cieczy. Gdyby nie te własności wody, powierzchnia Ziemi byłaby lodowatym ciałem stałym, a życie nie mogłoby istnieć w znanej nam postaci.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Nietypowe właściwości wody mają duży wpływ na Ciebie w czasie nurkowania, zwłaszcza w odniesieniu do pochłaniania ciepła i konieczności ochrony przed jego utratą.

Budowa polarna wody

Jak dowiedziałeś się wcześniej, w cząsteczce wody dwa atomy wodoru tworzą wiązania z jednym atomem tlenu. Zgodnie z koncepcją odpychania par elektronowych powłoki walencyjnej (VSEPR), cząsteczka przybiera taki kształt, przy którym siły wzajemnego odpychania elektronów mają najmniejsze wartości (takie same ładunki odpychają się), a w wypadku cząsteczki wody jest to układ, w którym dwa atomy wodoru znajdują się po jednej stronie, a atom tlenu po drugiej - jak to pokazano na ilustracji. Chociaż cząsteczka wody posiada całkowity ładunek obojętny, jej kształt implikuje słaby ładunek ujemny na atomie tlenu, i słabe ładunki dodatnie na atomach wodoru. Posiadanie cząstkowych ładunków ujemnych i dodatnich w różnych częściach cząsteczki sprawia, że cząsteczka wody posiada budowę polarną.

Dzięki budowie polarnej, w wodzie tworzą się wiązania pomiędzy dodatnio naładowanymi atomami wodoru a ujemnie naładowanymi atomami tlenu należącymi do różnych cząsteczek wody. Nazywane są one wiązaniami wodorowymi lub wiązaniami polarnymi. Są one znacznie słabsze niż wiązania kowalencyjne albo jonowe, występujące w większości cząsteczek - a mimo to właśnie wiązania wodorowe nadają wodzie jej charakterystyczne właściwości.



Napięcie powierzchniowe

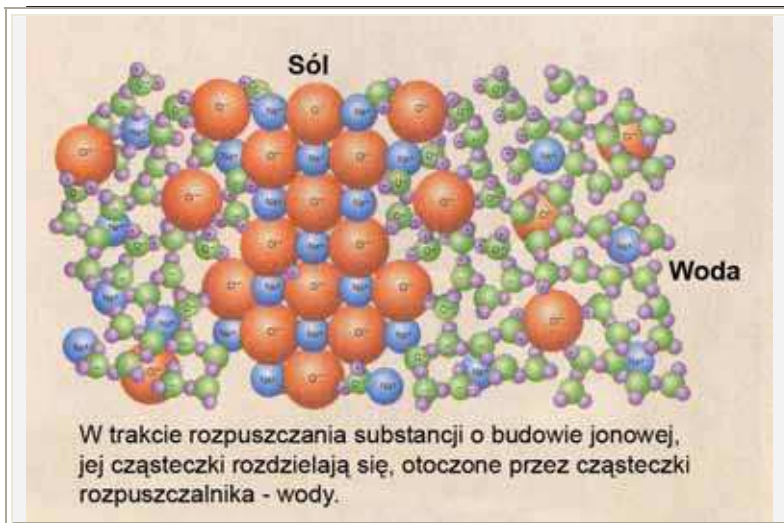
Jedną z ważniejszych cech wyróżniających wodę od innych cieczy jest występujące w niej **napięcie powierzchniowe**. Wiązania wodorowe pomiędzy cząsteczkami wody sprawiają, że powierzchnia wody jest stosunkowo spójna, i opiera się przebiciu czy rozdzielaniu. Napięcie powierzchniowe utrzymuje razem cząsteczki wody w kroplach, i jest wystarczająco mocne by pozwolić na utrzymywanie się na powierzchni wody igły czy żyletki - przedmiotów wykonanych z materiału znacznie gęstszego niż woda. Położona na powierzchni wody igła właściwie nie pływa (pojęciem pływalności zajmiemy się wkrótce), ale jest tak mała i lekka, że siła ciężkości ma mniejszą wartość od sił napięcia powierzchniowego.

Napięcie powierzchniowe pełni ważną rolę w środowisku wodnym, ponieważ zależy od niego wiele drobnych organizmów. Jednym z przykładów jest nartnik, owad, który dzięki napięciu powierzchniowemu może poruszać się po powierzchni wody w trakcie poszukiwania pożywienia lub ucieczki przed wrogami. Większe znaczenie ekologiczne ma **neuston** - drobne organizmy, które żyją na powierzchni oceanów lub wód słodkich. Wiele z nich nie pływa, lecz jest tak małych (często mikroskopijnych), że dzięki napięciu powierzchniowemu mogą pozostawać na powierzchni, w swojej niszy środowiskowej. Jednym z ważnych zagrożeń wynikających ze skażenia środowiska pewnymi substancjami jest osłabianie przez nie napięcia powierzchniowego, w efekcie czego na skażonych obszarach całe zespoły organizmów w ekosystemie mogą ulec zniszczeniu.

	Napięcie powierzchniowe jest wystarczająco mocne, by utrzymać igłę na powierzchni wody - mimo że igła wykonana jest z materiału wielokrotnie gęstszego niż woda. Igła właściwie nie „pływa”, ale unosi się na powierzchni dzięki temu, że siły napięcia powierzchniowego mają większą wartość niż siła grawitacji
	Dzięki napięciu powierzchniowemu, nartniki mogą chodzić po powierzchni wody. W oceanach ważną rolę ekologiczną pełni neuston - drobne organizmy planktonowe, które także dzięki napięciu powierzchniowemu mogą utrzymywać się na powierzchni

Rozpuszczalność

Wyjątkowość wody objawia się również tym, że rozpuszcza się w niej więcej związków niż w jakiegokolwiek innej powszechnie występującej cieczy. Wynika to także z polarności cząsteczek wody. Po umieszczeniu w wodzie substancji stałej o budowie jonowej, takiej jak sól kuchenna, cząsteczki wody zaczynają z nią oddziaływać, układając się zgodnie ze swoją polarnością. Jony obdarzone pozytywnym ładunkiem są otaczane przez cząsteczki wody zorientowane ku niej częścią o ujemnym ładunku (atom tlenu), a jony ujemne atakowane są przez cząsteczki wody obrócone ku nim częściami o ładunku dodatnim (atomy wodoru). W ten sposób związki o budowie jonowej podczas rozpuszczania są dosłownie rozrywane przez cząsteczki wody, a jony pozostają zawieszone w roztworze. Zdolność wody do rozpuszczania szerokiej gamy związków czyni ją niezbędną dla życia. Woda dostarcza rozpuszczone składniki odżywcze i niezbędne gazy do każdej żywej komórki, jednocześnie odprowadzając produkty przemiany materii. U prostych organizmów, procesy te zachodzą w wodzie stanowiącej ich środowisko życia. U organizmów złożonych (takich jak my) procesy te mają miejsce wewnątrz organizmu - woda pełniąc funkcje transportowe jest głównym składnikiem krwi. Także wewnątrz każdej żywej komórki woda jest niezbędna dla milionów procesów - od produkcji i użycia energii, aż po reprodukcję. Woda rozpuszcza bardzo wiele substancji - ale na szczęście nie wszystkie. Gdyby w wodzie rozpuszczało się wszystko, życie nie mogłoby istnieć, gdyż nie byłoby możliwości utworzenia struktur komórkowych: one także uległyby rozpuszczeniu!

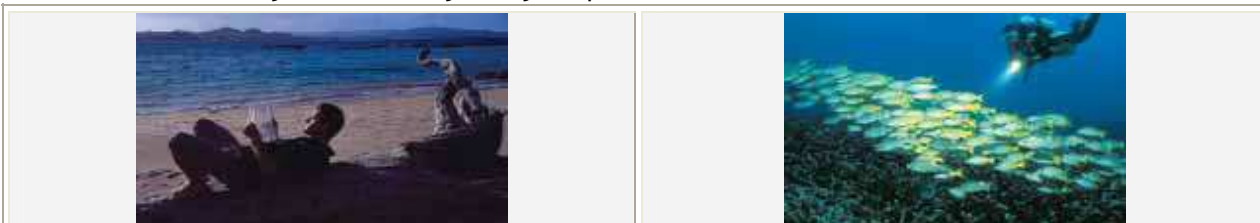


Związki o budowie niepolarniej nie rozpuszczają się łatwo w wodzie. Oleje i tłuszcze są niepolarne, i właśnie dlatego olej nie miesza się z wodą. Zmieszanie związków o budowie niepolarniej z wodą umożliwia mydła, których cząsteczki posiadają fragmenty o budowie zarówno polarnej, jak i niepolarniej. Gdy myjesz ręce bądź zmywasz naczynia, cząsteczki mydła wiążą się jednym końcem (niepolarnym) z tłustymi zabrudzeniami, a drugim końcem (polarnym) z wodą, tworząc ogniwo umożliwiające rozpuszczenie w wodzie tłuszczu.

Woda a ciepło

Pojemność cieplna.

Z budowy polarnej wody wynika jej specyfika pod względem przewodnictwa cieplnego. Przede wszystkim, woda ma jedną z najwyższych pojemności cieplnych spośród wszystkich znanych substancji (amoniak jest jednym z nielicznych wyjątków). **Pojemność cieplna** jest miarą ilości ciepła, jaka musi zostać doprowadzona lub odprowadzona do/od określonej ilości substancji, aby zmieniła ona temperaturę o pewną wartość. W porównaniu z wodą, na przykład, powietrze ma bardzo niską pojemność cieplną. Dlatego przy temperaturze 24°C czujesz się ciepło i komfortowo na łądzie, natomiast w wodzie o tej samej temperaturze szybko zaczynasz odczuwać chłód. Powietrze odprowadza ciepła od twojego ciała znacznie wolniej niż woda o tej samej temperaturze.



Na powierzchni przy temperaturze 24°C jest ci ciepło, lecz pod wodą szybko poczujesz chłód. Wynika to z większej pojemności cieplnej wody niż powietrza

Duża pojemność cieplna wody wynika z istnienia wiązań wodorowych pomiędzy jej cząsteczkami. Gdy ogrzewasz wodę, znaczna część dostarczanej energii jest zużywana na rozbijanie wiązań wodorowych, i tylko jej część jest wykorzystywana do zwiększenia energii kinetycznej (temperatury) cząsteczek wody. Podobnie, dzięki istnieniu wiązań wodorowych woda paruje wolniej niż inne często spotykane ciecze. Wynika to z wysokiej wartości **ciepła parowania**, związanej z tym, że dostarczana energia cieplna jest w znacznym stopniu wykorzystywana na rozbijanie wiązań wodorowych, konieczne zanim cząsteczki wody przejdą do stanu gazowego. Z tego samego powodu woda ma wysokie **ciepło topnienia**: zamarzająca woda wydziela duże ilości ciepła, natomiast topniejący lód musi pochłoniąć duże ilości energii cieplnej. Właściwości te także wynikają z polarnej budowy cząsteczek wody. Dzięki dużej pojemności cieplnej wody odgrywa ona istotną rolę w regulacji klimatu na kuli ziemskiej. Główne prądy oceaniczne transportują duże ilości ciepła z ciepłych rejonów blisko równika do chłodniejszych stref położonych bliżej biegunów. To zjawisko przyczynia się do obniżenia temperatur w strefie tropikalnej i podwyższenia temperatur na wyższych szerokościach geograficznych. Znakomitym przykładem są Bermudy, leżące daleko na północ od Zwrotnika Raka, dzięki omywającemu je ciepłemu Prądowi Zatokowemu charakteryzujące się klimatem bliskim tropikalnemu. Innym przykładem są wyspy

Galapagos na Oceanie Spokojnym niedaleko Ekwadoru. Zimna woda transportowana przez prądy głębinowe jest wynoszona do powierzchni w rejonie wysp, i absorbuje duże ilości ciepła z otoczenia. Dlatego wyspy odznaczają się chłodnym klimatem, mimo iż leżą na równiku.

Duże ciepło właściwe wody jest też przyczyną, dla której wahania temperatury w zbiornikach wodnych są zawsze mniejsze niż w podobnej objętości powietrza, i dlatego zmiany temperatury są znacznie wolniejsze w wodzie niż w powietrzu. Możesz to zauważyć nurkując w jednym miejscu w ciągu tygodnia - temperatura powietrza zapewne będzie regularnie rosnąć bądź opadać, podczas gdy temperatura wody zmieni się w tym czasie minimalnie.



Woda i lód.

Interakcje między wodą i ciepłem w jeszcze jeden sposób różnią się od tych występujących w „typowych” substancjach. Podczas stygnięcia większości cieczy, ich gęstość rośnie, aż do chwili osiągnięcia stanu stałego. Podczas przechodzenia ze stanu ciekłego w stały, cząsteczki zbliżają się do siebie, a ich ruchy ulegają spowolnieniu. Wraz ze spadkiem temperatury ciecz staje się coraz gęstsza, a po przejściu w stan stały gęstość jeszcze wzrasta. Dlatego tworzące się ciała stałe tonie, i osadza się na dnie zbiornika z cieczą - ciecz krzepnie od dna do góry.

Woda zachowuje się inaczej, co jest dobrą wiadomością dla nas wszystkich. Podczas schładzania, gęstość wody rośnie tak jak u innych cieczy - ale tylko do temperatury 4°C . Przy tej temperaturze woda powoli zaczyna krzepnąć - ale budowa polarna wody wymusza ułożenie cząsteczek w strukturę krystaliczną, przy której zajmują one więcej miejsca niż w stanie ciekłym. Oznacza to, że w przeciwieństwie do większości substancji, które są gęstsze w stanie stałym niż w stanie ciekłym, zestalona woda (lód) jest mniej gęsta od wody ciekłej, i pływa po niej.

Poza umożliwianiem nurkowania podlodowego, ta własność wody ma ogromny wpływ na klimat na świecie. Pływający po powierzchni lód izoluje i zatrzymuje ciepło w warstwach wody znajdujących się pod nim, co jeszcze spowalnia proces zamarzania w porównaniu z innymi cieczami. Gdyby lód tonął, duża część oceanów byłaby zamrożona, i prawdopodobnie większość wody na ziemi występowałaby w formie lodu.

Stratyfikacja.

Woda zachowuje się jak typowa ciecz aż do osiągnięcia punktu zamarzania - czyli do temperatury 4°C im jest chłodniejsza, tym ma większą gęstość. Woda tworzy warstwy o różnej gęstości, przy czym warstwy o większej gęstości znajdują się pod warstwami o mniejszej gęstości. Ten układ warstw różniących się gęstością określany jest jako **stratyfikacja**, albo uwarstwienie. W miarę zanurzania się, gdy przechodzisz przez warstwy wody o różnej gęstości, często doświadczasz gwałtownego spadku temperatury. Jak zapewne wiesz, strefa przejściowa pomiędzy warstwami wody o różnej temperaturze jest nazywana **termokliną**. W stabilnej, słabo mieszanej wodzie śródlądowych jezior lub kamieniołomów podczas zanurzania na głębokość 18 metrów możesz przechodzić przez dwie lub trzy warstwy o różnej temperaturze i gęstości.



Rozpuszczone sole powodują wzrost gęstości wody i stratyfikację - wydzielenie warstw wody o różnych gęstościach. Strefa przejściowa pomiędzy warstwami to haloklina - na tym zdjęciu rozmyty fragment powstał, gdy przepływający pływacz zaburzył haloklinę, mieszając wodę o różnych gęstościach

Substancje rozpuszczone, takie jak sól w wodzie morskiej, także wpływają na zwiększenie gęstości wody i mogą powodować stratyfikację. Jeśli w wodzie znajduje się wystarczająca ilość rozpuszczonych substancji, woda w warstwie cieplejszej może być gęstsza od wody chłodniejszej, i znajdować się pod nią. Dobrym przykładem jest układ warstw wody wypełniającej jaskinie na meksykańskim półwyspie Jukatan. W trakcie nurkowania na tych stanowiskach, często przechodzisz przez wyraźnie wyczuwalną granicę pomiędzy warstwami ciepłej wody słonej i zimnej wody słodkiej. Strefa przejściowa między warstwami wody słonej i słodkiej określana jest jako **haloklina**.

Przepływ ciepła.

Aby zrozumieć związek pomiędzy wodą i ciepłem, powinieneś zdać sobie sprawę z różnicy pomiędzy ciepłem i temperaturą. Chociaż często używamy tych terminów zamiennie, oznaczają one dwie różne rzeczy. Ciepło to całkowita energia kinetyczna cząsteczek w danym obiekcie. Natomiast temperatura jest miarą natężenia ruchów cząsteczek w obiekcie. Wyobraźmy sobie dwie porcje wody o tej samej temperaturze, jedną o dużej, a drugą o małej objętości. Chociaż temperatura obu porcji jest taka sama, w skład dużej porcji wchodzi znacznie więcej poruszających się cząsteczek, i w związku będzie ona miała wyższe ciepło.

Analogicznie, przy takiej samej temperaturze dwie różne substancje mogą posiadać różną ilość ciepła. Porównajmy wodę i powietrze: po postawieniu na rozgrzanej do 95°C płycie kuchenki elektrycznej „pustego”, czyli wypełnionego powietrzem czajnika, powietrze w nim szybko osiągnęłoby temperaturę płyty grzewczej. Znacznie dłużej trwałoby ogrzanie do 95°C zawartości czajnika wypełnionego wodą. Potrzeba więcej energii cieplnej dla ogrzewania wody niż takiej samej ilości powietrza. Przy takich samych objętościach wody i powietrza, aby podnieść temperaturę wody o określoną wartość należy dostarczyć 3200 razy więcej ciepła niż dla powietrza. Natomiast przy takich samych masach wody i powietrza, dla ogrzania wody o określoną wartość potrzeba czterokrotnie więcej ciepła.

Temperaturę i ciepło opisuje się przy użyciu różnych jednostek. Temperaturę mierzy się i podaje w stopniach Celsjusza lub w kelwinach (system metryczny) albo w stopniach Fahrenheita lub Rankine’a (system imperialny). W systemie metrycznym, ciepło określa się w dżulach lub w kaloriach (cal): jedna kaloria to ilość ciepła potrzebna do ogrzania jednego grama wody o jeden stopień Celsjusza. W systemie imperialnym, jednostką ciepła jest BTU (*British Thermal Unit* - Brytyjska Jednostka Ciepła).

Woda może pochłoniąć więcej ciepła niż powietrze nie tylko dzięki budowie polarnej, ale także dzięki różnicy gęstości. **Gęstość** jest miarą masy danej substancji w przeliczeniu na jednostkę objętości. Gdy porównamy masy jednakowych objętości różnych substancji, substancja gęstsza będzie cięższa. Na przykład, masa jednego litra wody słodkiej wynosi 1 kg, zaś masa tej samej objętości powietrza - 1,3 g, czyli 0,0013 kg. Łatwo wyliczyć, że woda jest ok. 770 razy gęstsza od powietrza ($0,0013 \text{ kg} \cdot 770 = 1,001 \text{ kg}$).

Ciepło przepływa z jednej substancji do innej trzema sposobami, dwa z których mają dla ciebie znaczenie w czasie pobytu pod wodą: 1) przewodzenie, 2) konwekcja, 3) promieniowanie.

Zero i zero bezwzględne

Na poziomie morza, według skali Celsjusza woda zamarza w temperaturze 0°C , i wrze w 100°C . Według starszej skali Fahrenheita, powszechnie stosowanej w krajach anglosaskich, wartości te (odpowiednio, 32°F i 212°F) te mogą wydawać się arbitralne - ale w rzeczywistości nie są. Choć historia ustalania skali Fahrenheita nie jest dokładnie znana, wydaje się, że Gabriel Fahrenheit wybrał 0 jako punkt zamarzania równoobjętościowej mieszaniny soli i śniegu, zaś na 96° ustalił temperaturę ludzkiego ciała. Przy tych założeniach, temperatura wrzenia wyniosłaby 212° .

Naukowcy używają dwóch innych systemów pomiaru temperatury - Kelvina i Rankine’a. Obie te skale mają ten sam punkt zerowy - zero bezwzględne, czyli temperaturę, przy której zatrzymują się ruchy cząsteczek. Nic nie może być zimniejsze niż 0 K (zwróć uwagę, że nie używa się znaku stopnia ($^{\circ}$) przy zapisie temperatury w kelwinach) bądź 0°R . Zero bezwzględne jest wartością o dużym znaczeniu w fizyce - względne właściwości substancji w różnych temperaturach muszą być porównywane do zera bezwzględnego. Zobaczysz to, gdy będziemy omawiać związki między objętością, ciśnieniem i temperaturą gazów.

Skala Kelvina jest podobna do skali Celsjusza, za wyjątkiem przesunięcia punktu zerowego do zera absolutnego. 0 K równe jest -273°C , czyli żeby przeliczyć wartości ze skali Celsjusza na skalę Kelvina, należy dodać 273, a aby przeliczyć temperaturę w K na $^{\circ}\text{C}$, trzeba odjąć 273.

Analogicznie, skala Rankine’a jest odpowiednikiem skali Fahrenheita, ale z wartością 0 w temperaturze zera bezwzględnego. 0°R jest równe -460°F

Przewodzenie

dotyczy przekazywania ciepła przez bezpośredni kontakt. Przykładem może być łyżeczka zanurzona w gorącej herbacie, której rączka jest chłodna przed jej umieszczeniem w filiżance, ale po chwili staje się zbyt gorąca by ją dotykać. Szybko poruszające się cząsteczki wody w herbacie przekazują część swojej energii cząsteczkom metalu w zanurzonej części łyżeczki. Następnie, rozgrzane - wzbudzone - cząsteczki z zanurzonej części łyżeczki przekazują część energii w górę, aż do chwili, gdy cała łyżeczka osiągnie mniej-więcej jednakową temperaturę. Substancje dobrze przewodzące ciepło w ten sposób określane są jako dobre przewodniki ciepła.

Chociaż powietrze przewodzi ciepło, i nieraz może nam się wydawać bardzo ciepłe lub zimne, w porównaniu z większością innych substancji jest dobrym **izolatorem** - substancją, która ogranicza przekazywanie ciepła przez przewodzenie. Z tego powodu suche skafandry zapewniają lepszą izolację termiczną niż mokre skafandry - ciało nurka otoczone jest izolującą warstwą powietrza zatrzymaną w ocieplaczu.

Z drugiej strony, woda jest znakomitym przewodnikiem ciepła, odprowadzającym je ponad dwudziestokrotnie szybciej od powietrza. Nie tylko ma większą pojemność cieplną od powietrza, ale także szybciej przewodzi ciepło. Dlatego podczas nurkowania potrzebujesz skafandra we wszystkich wodach, oprócz tych najcieplejszych.

Konwekcja

dotyczy przekazywania ciepła przez płyny. Określenie „**płyn**” dotyczy materii, która może przepływać - czyli cieczy i gazów, ale nie ciał stałych. Podczas ogrzewania płynu będącego w kontakcie z ciepłym obiektem obniża się jego gęstość, i ma on tendencję do unoszenia się ku górze. Odpywający, ogrzany płyn jest zastępowany przez napływający, chłodniejszy płyn. Powoduje to stały, ciągły przepływ płynu wokół zanurzonych obiektów cieplejszych od otoczenia, który skutkuje szybszym odprowadzaniem ciepła niż wynikałoby to z zachodzenia samego tylko zjawiska przewodzenia. Tak więc, podczas nurkowania w chłodnej wodzie bez izolującego skafandra, skóra nurka ogrzewa otaczającą warstewkę wody. Ogrzana woda unosi się do góry, i jest zastępowana przez napływającą, chłodną wodę, która szybko się ogrzewa - i tak cykl się zamyka. Dlatego w trakcie nurkowania stale krąży wokół ciebie zimna woda, nawet gdy pozostajesz w bezruchu, a woda jest spokojna.



Konwekcja to sposób przekazywania ciepła przez płyny. W trakcie nurkowania, woda ogrzana od skóry nurka staje się mniej gęsta, i unosi się - a na jej miejsce wpływa woda chłodniejsza. Dlatego nawet gdy pływacz pozostaje w całkowitym bezruchu w zupełnie spokojnym zbiorniku, woda krąży wokół jego ciała, odprowadzając ciepło

Promieniowanie

dotyczy przekazywania ciepła w postaci fal elektromagnetycznych. Ten właśnie rodzaj ciepła odbierasz jako ciepło „promieniujące” od słońca albo od ogniska. Przekazywanie ciepła przez promieniowanie ma niewielkie znaczenie podczas nurkowania - ale jednak występuje. Trzymając rękę o kilka centymetrów od niektórych podwodnych źródeł światła dużej mocy, możesz poczuć wypromieniowywane przez nie ciepło.

Woda a światło

Widzisz dzięki temu, że twoje oko zbiera fale świetlne odbite od przedmiotów, i przekształca ich energię na impulsy nerwowe przekazywane do mózgu, gdzie są interpretowane. Ponieważ zachowanie światła zmienia się podczas przechodzenia przez wodę, woda wpływa na to, jak daleko jesteś w stanie widzieć, ale też na ostrość widzenia, odbiór kolorów, i na postrzeganie odległości.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Zmieniając zachowanie światła, woda ma wpływ na twoje postrzeganie rzeczywistości. Pod wodą, przedmioty mogą się wydawać położone bliżej lub dalej niż w rzeczywistości, zmianie może też ulegać ich kolor. Jeżeli interesujesz się fotografią podwodną, zrozumienie interakcji między wodą a światłem pozwoli ci uzyskać kolorowe, ostre zdjęcia.

Mętność i dyfuzja.

Chociaż zaledwie około 20% światła z powierzchni dociera na głębokość 10 metrów, jest go wystarczająco dużo, aby na otwartym morzu umożliwić fotosyntezę nawet do głębokości 100 metrów. Z drugiej strony, duże ilości cząstek zawieszonych mogą całkowicie odciąć dopływ światła już na głębokości rzędu 3 m.

Względne stężenie zawieszonych cząstek określane jest jako **mętność wody**. Zawieszone cząstki mogą być organiczne, jak np. organizmy planktoniczne, albo nieorganiczne - jak wzburzone osady dennego (muł). Mętność może wynikać z naturalnych procesów, takich jak opad deszczu, albo być efektem niekorzystnych zaburzeń, jak na przykład skażenie środowiska. Bez względu na przyczynę, im wyższa mętność, tym mniej światła przenika przez wodę i tym gorsza jest widoczność. Gdy pytasz divemastera przed nurkowaniem „Jaka dziś widoczność?”, pośrednio pytasz właśnie o mętność wody.

Woda rozprasza i odbija światło, które to zjawisko określane jest jako **rozpraszanie**. Rozpraszanie zachodzi nawet w bardzo czystej wodzie, przyczyniając się do ograniczenia ilości przenikającego światła. Światło odbija się od zawieszonych w wodzie cząstek i przez nie jest rozpraszane, co powoduje jego bardziej równomierny rozkład. Dlatego cienie są pod wodą mniej wyraźne, a czasami brak ich całkowicie. Również właśnie na skutek rozpraszania przedmioty położone dalej od ciebie mogą się wydawać nieco rozmyte i niewyraźne; odbite od nich światło, podróżując przez wodę, zbacza lekko z linii prostej. Im większa mętność, tym silniejsze rozpraszanie.

Pochłanianie barw.

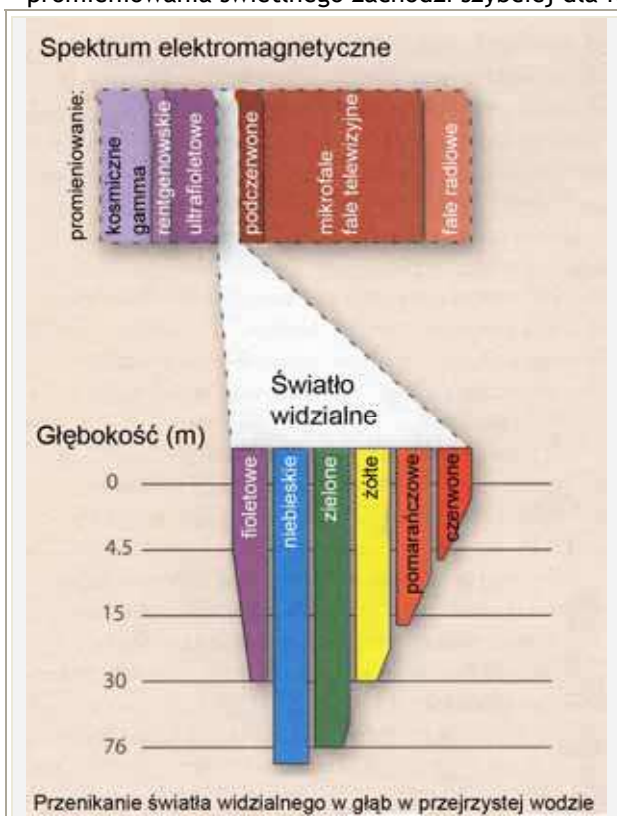
Aby zrozumieć zjawisko pochłaniania barw przez wodę, należy najpierw wyjaśnić naturę światła i to, jak twoje oko odbiera światło. Światło jest formą energii elektromagnetycznej, i dlatego podróżuje w postaci fal; długość fali światła jest zależna od jej energii. W zależności od długości fali elektromagnetycznych, mają one różne nazwy (np. promieniowanie X, fale radiowe, światło

widzialne...). Większość z nich jest niewidzialna, jak promieniowanie ultrafioletowe, podczerwone, promieniowanie X, mikrofałe, promieniowanie kosmiczne itp. Nasze oczy mogą odbierać jedynie wąski fragment całego spektrum - długości fal od ok. 400 nm (nanometrów) do ok. 760 nm. Różnice w obrębie tego zakresu postrzegamy jako kolory. Gdy światło białe, złożone z pełnego zakresu długości fal, trafia na dany przedmiot, fale o pewnych długościach są pochłaniane, a inne - odbijane. Kolor danego przedmiotu w naszych oczach zależy od stopnia pochłaniania przez niego fal świetlnych o różnych długościach. Jeżeli odbija fale o wszystkich długościach, jego kolor odbieramy jako biały. Jeżeli pochłania wszystkie długości fal, postrzegamy obiekt jako czarny.

Jak wspomniano, długości fal mają ścisły związek z ilością niesionej przez nie energii. Fale o długościach odpowiadających kolorom bliskim „czerwonego” krańca spektrum (długości bliskie 760 nm) mają niższą energię niż fale odpowiadające kolorom z „fioletowego” krańca spektrum (długości bliskie 400 nm).

Patrząc na pełne spektrum, włącznie z promieniowaniem niewidzialnym, promieniowanie podczerwone (IR) ma bardzo niską energię, a promieniowanie ultrafioletowe (UV) - wysoką energię.

Woda, nawet bardzo przejrzysta, absorbuje przechodzące przez nią fale świetlne, przekształcając niesioną przez nie energię w ciepło. Jednak fale o różnych długościach są pochłaniane w różnym stopniu, a dokładniej promieniowanie o niższej energii jest pochłaniane szybciej. W związku z tym, kolory bliższe „czerwonego” końca spektrum pochłaniane są szybciej niż kolory z „fioletowego” krańca spektrum - i dlatego czerwień jest pierwszym kolorem, który podczas zanurzania przestaje być widoczny. Na głębokościach większych niż 4 metry zazwyczaj nie widać już czerwonej barwy. Nie oznacza to oczywiście, że na głębokości 4 m kolor czerwony jest nagle „wygaszany”; po prostu, bardzo mało fal świetlnych odpowiadających tej barwie dociera na tę głębokość. Absorpcja promieniowania świetlnego jest ciągłym procesem - na głębokość 4 m dociera mniej fal świetlnych odpowiadających wszystkim barwom niż na 2 m, gdzie z kolei jest ich mniej niż na 1 m, i tak dalej. Ten ciągły proces absorpcji promieniowania świetlnego zachodzi szybciej dla fal o niższej energii.



W miarę zanurzania, najszybciej przestajemy widzieć kolor czerwony, następnie pomarańczowy, żółty i zielony. Ten zanik kolorów jest powodem, dla którego fotografowie podwodni używają aparatów z lampą błyskową nawet w bardzo dobrych warunkach świetlnych. Światło z lampy błyskowej zazwyczaj przebywa w wodzie krótki dystans, w dużym stopniu zachowując wyjściowy rozkład długości fal - i dzięki temu może przywrócić barwy utracone z powodu pochłaniania światła słonecznego przez wodę. Jest to niezbędne przy robieniu dobrej jakości zdjęć - mimo tego, że współczesne aparaty cyfrowe mogą w pewnym stopniu korygować utratę kolorów z głębokością (więcej informacji w dalszej części rozdziału).

Płetwonurkowie zazwyczaj wiążą pochłanianie barw przez wodę wraz z głębokością. Tymczasem w rzeczywistości jest ono funkcją całkowitej odległości przebytej przez światło w wodzie. Na przykład, gdy jesteś w bardzo przejrzystej wodzie na głębokości 2 metrów, czerwony przedmiot położony tuż obok ciebie będzie wydawał się czerwony. Jeśli jednak odpłyniesz 3 metry od niego, jego barwa będzie dla ciebie brązowa. Wynika to z faktu, że całkowity dystans przebyty przez światło w wodzie wynosi 5 metrów - 2 metry od powierzchni wody do obiektu, i 3 metry od obiektu do twojego oka - i po drodze większość fal świetlnych odpowiadających za

czerwoną barwę została zaabsorbowana przez wodę. Jest to jeden z powodów, dla których pod wodą większość fotografów i kamerzystów używa obiektywów szerokokątnych, które pozwalają im podpłynąć blisko fotografowanego obiektu i tym samym zmniejszyć dystans, jaki światło lampy błyskowej przebywa w wodzie.

Z zakresu światła widzialnego, czysta woda w największym stopniu przepuszcza promieniowanie o długości fali ok. 480 nm - które twoje oczy postrzegają jako światło niebieskie. Natomiast w mętnej wodzie, najmniej pochłaniane są fale odpowiadające za barwę żółto-zieloną. Zjawisko to tłumaczy, dlaczego przejrzysta, czysta woda ma kolor niebieski, a woda mętna ma barwę żółto-zieloną. Zjawisko pochłanianie kolorów wpływa na łatwość postrzegania przedmiotów poprzez działanie nie tylko na postrzeganie barw, ale także na ich kontrastowość. Zawsze łatwiej jest zauważyć obiekty wyróżniające się od otoczenia. Tymczasem, jak wykazały eksperymenty, parametry wody takie jak jej mętność, głębokość, zasolenie, wielkość zawieszonych cząstek i stopień zanieczyszczenia, wpływają na absorpcję światła, i tym samym na kontrasty. Wynika to z faktu, że wszystko co wpływa na widoczność kolorów, wpływa też na postrzegane kontrasty między nimi. Na przykład, na powierzchni czerwona naklejka będzie się mocno wyróżniać na ciemnozielonym tle butli, lecz na głębokości 30 metrów ich kolory mogą się wydać takie same. Będzie trudniej zauważyć naklejkę, gdyż nie będzie ona już kontrastować z tłem.

Kolory fluorescencyjne postrzegamy nieco inaczej, gdyż, po pierwsze, ich długości fal nie są częste pod wodą, a po drugie, promieniowanie fluorescencyjne nie jest po prostu odbijane, ale emitowane przez niektóre obiekty pod wpływem pobudzenia przez fale o krótszej długości (zjawisko fluorescencji). Z tego powodu, obiekty fluorescencyjne zachowują pod wodą swoje kolory, i wyróżniają się od innych obiektów na tej samej głębokości. Dlatego właśnie producenci sprzętu nurkowego często używają materiałów o właściwościach fluorescencyjnych - i tak samo czyni natura. Na przykład, ukwiały z rodzaju *Coryanthus* postrzegamy jako czerwone także na większych głębokościach, ponieważ ich tkanki zawierają naturalne substancje o właściwościach fluorescencyjnych.

Zboczmy teraz z fizyki nieco w stronę fizjologii, gdyż postrzeganie kolorów pod wodą wiąże się ze sposobem funkcjonowania twoich oczu. Przy słabym świetle, źrenice rozszerzają się, zwiększając ilość światła docierającego do wnętrza oka. Gdy są już całkowicie rozwarte, twoje oko dalej się adaptuje, przełączając między typami fotoreceptorów - światłoczułych komórek występujących w twojej siatkówce. Twoje oczy zazwyczaj używają fotoreceptorów czopków przy pełnym świetle, i bardziej czułych pręcików przy słabym świetle (nazwy czopków i pręcików pochodzą od ich kształtu).

Pręciki pozwalają na widzenie przy bardzo słabym świetle, ale nie mają zdolności odbierania kolorów, i słabszą zdolność wychwytywania szczegółów niż czopki. Dlatego przy słabym świetle podwodny świat może się wydawać jeszcze mniej kolorowy. Zmiany proporcji czopków i pręcików zaczynają być zauważalne po mniej-więcej 10 minutach od wejścia do ciemnego pomieszczenia, chociaż przy przejściu z pełnego światła do niemal całkowitej ciemności, pełna adaptacja może wymagać ponad pół godziny. Aby wspomóc te procesy adaptacji, zwłaszcza podczas nocnego nurkowania, niektórzy płetwonurkowie (szczególnie wojskowi) przed wejściem do wody noszą czerwone okulary lub przebywają w czerwonym świetle przez 10-20 minut od wejścia do wody.



To samo zdjęcie wykonane bez i z podwodną lampą błyskową. Lampa jest źródłem promieniowania o długościach fal nie docierających na tę głębokość - pochłoniętych przez wodę, zapewniając żywe kolory zdjęcia

Zarówno przy silnym, jak i przy słabym świetle zachodzą jeszcze inne procesy adaptacyjne. Twój system wzrokowy (oczy i mózg) dostosowują się do w taki sposób, że kolor światła wokół ciebie postrzegasz jako biały (w pewnych granicach!). Na przykład, często stosowane w domach żarówki emitują światło żółto-czerwone, ale o ile nie koncentrujesz się specjalnie na tym, postrzegasz białą ścianę oświetloną tym światłem jako biało, nie jako żółto-czerwoną.



W tkankach ukwiała *Corynactis* występuje naturalny barwnik fluorescencyjny, który nadaje mu intensywnie czerwony kolor, nawet na głębokości

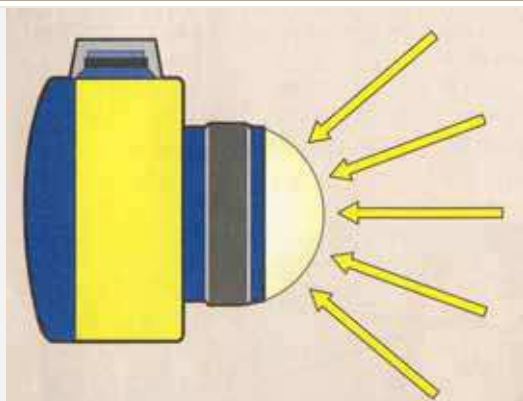
Pod wodą, te procesy w pewnym stopniu redukują efekt pochłaniania barw przez wodę. Dlatego podwodne zdjęcia zrobione bez lampy błyskowej wydają się znacznie bardziej niebieskie niż pamiętałeś - twój system wzrokowy skompensował utracone, pochłonięte przez wodę kolory, ale aparat nie. Jest to szczególnie wyraźne w aparatach analogowych, na film; współczesne aparaty cyfrowe używają często automatycznego balansu bieli, który częściowo kompensuje utratę kolorów - podobnie jak twój system wzrokowy.

Refrakcja.

Inną właściwością światła, która dotyczy cię pod wodą, jest **refrakcja**, czyli zmiana kierunku fali świetlnej przy przejściu przez granicę pomiędzy ośrodkami o różnych gęstościach, takimi jak na przykład powietrze i woda. Refrakcja występuje dzięki różnicy prędkości przemieszczania się światła w ośrodkach o różnej gęstości - co powoduje zmianę trasy, którą podróżuje światło. Jedyną sytuacją, w której nie następuje zmiana kierunku przemieszczania się fal świetlnych na granicy ośrodków, jest ta, w której światło przechodzi przez granicę pomiędzy ośrodkami dokładnie pod kątem prostym. Chociaż refrakcja w różnych substancjach zachodzi w różny sposób, dla pływaczów najbardziej istotne jest załamywanie fal świetlnych na granicy między powietrzem i wodą.



Refrakcja zachodzi, gdy światło zmienia kierunek biegnięcia podczas przejścia z wody do powietrza. W efekcie, pod wodą obiekty wydają się bliżej położone lub większe niż w rzeczywistości, w zależności od tego, jak twój mózg interpretuje obraz



Port kopułowy na obudowie aparatu anuluje wpływ zjawiska refrakcji, gdyż wszystkie promienie świetlne padają na port pod kątem 90° . Problemem jest to, że wszystkie przedmioty wydają się położone znacznie bliżej niż w rzeczywistości - zazwyczaj w odległości około metra, w zależności od rodzaju portu

	Przyczyną występowania zmarszczek świetlnych są fale, które rozpraszają bądź skupiają na dnie promienie słońca. Grzbiety fal działają jak soczewki skupiające, koncentrując promienie w jednym punkcie, natomiast doliny fal rozpraszają promienie
	Ołówek wydaje się złamany dzięki zjawisku refrakcji - zmiany kierunku rozchodzenia się światła przy przejściu między ośrodkami o różnych gęstościach, np. z wody do powietrza

Pod wodą, pletwonurków dotyczy przede wszystkim refrakcja podczas przechodzenia światła z wody do szkła twojej maski, a następnie do powietrza wewnątrz maski lub obudowy aparatu. Na skutek refrakcji, przedmioty znajdujące się pod wodą są powiększone, tak że wydają się znajdować bliżej niż w rzeczywistości w stosunku mniej-więcej 4:3 (odległość rzeczywista - odległość pozorna). Na przykład, ryba odległa o 4 m będzie sprawiać wrażenie, że znajduje się jedynie 3 metry od ciebie. Można zatem powiedzieć, że woda przybliża przedmioty o 25% w stosunku do odległości rzeczywistej, lub powiększa je o 33% w stosunku do rzeczywistego rozmiaru. Świeżo upieczeni pletwonurkowie, sięgający po jakiś przedmiot w wodzie, nieraz chybają - właśnie na skutek refrakcji. Z doświadczeniem, większość nurków nieświadomie przyzwyczaja się do tego zjawiska.

Powiększający efekt refrakcji może wpływać nie na postrzeganie pozornej odległości, ale pozornych rozmiarów. To, czy pod wodą postrzegasz obiekty jako znajdujące się bliżej, czy jako większe, zależy od tego, czy twój mózg interpretuje obraz jako będący rzeczywistych rozmiarów, lecz położony bliżej, albo jako większy, lecz znajdujący się w tej samej odległości. Wpływają na to parametry takie jak informacje na temat rzeczywistego dystansu, widoczność, twoja znajomość środowiska oraz rodzaj obiektu który obserwujesz.

Generalnie, aparat do zdjęć podwodnych odbiera obraz w ten sam sposób, jak ty w masce. Dlatego należy ustawiać ostrość na odległość pozorną, a nie na rzeczywistą odległość do fotografowanego obiektu (system autofokusa robi to automatycznie). Powiększenie wynikające z refrakcji zmniejsza kąt widzenia aparatu, powodując lekki efekt teleobiektywu. Dlatego większość podwodnych fotografów używa obiektywów o najkrótszej dostępnej ogniskowej - czyli najszerszym możliwym kącie - ale niekiedy stosuje się obudowy z portem kopułowym (*dome port*). Ma to związek bezpośrednio z refrakcją, a właściwie z przeciwdziałaniem jej.

Jak wspomnieliśmy, promień światła nie ulega refrakcji przy przejściu przez granicę pomiędzy substancjami o różnych gęstościach pod kątem prostym. Z portem kopułowym na obiektywie, do którego światło zawsze dochodzi pod kątem prostym, efekt refrakcji jest eliminowany i możliwe jest zachowanie szerokiego kąta widzenia - korzystne pod wodą. Niepożądanym efektem portów kopułowych jest ustawianie punktu ostrości sztucznie blisko, zazwyczaj w odległości około metra - jednak nie jest to duży problem, gdyż ostrość ustawiasz (lub ustawia ją aparat) w odległości postrzeganej.

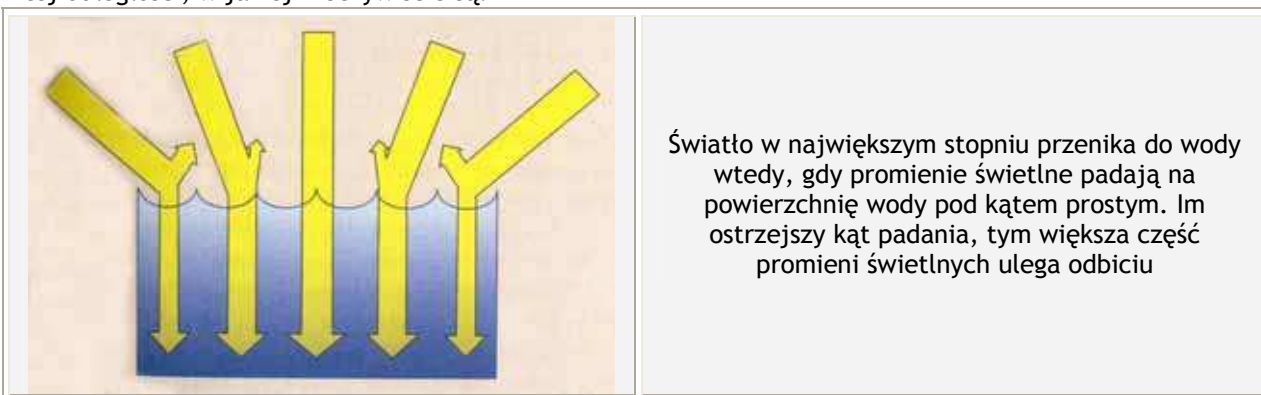
Innym efektem refrakcji są poruszające się szybko „zmarszczki” świetlne, dobrze widoczne na płaskim, piaszczystym dnie, których układ zmienia się wraz z układem fal na powierzchni. Różne części fali działają podobnie jak soczewki skupiające bądź rozpraszające; podczas gdy fale przechodzą nad dnem, grzbiety fal skupiają promienie świetlne, tworząc na dnie jasne, przemieszczające się obszary.

Efekt Tyndalla.

Chociaż dzięki zjawisku refrakcji przedmioty pod wodą generalnie wydają się położone bliżej niż w rzeczywistości, w mętnej wodzie mogą się wydawać położone dalej niż naprawdę. To zjawisko opisywane jest jako **efekt Tyndalla** (*visual reversal*). Wynika ono z procesów widzenia, a to, jak twój mózg interpretuje docierający do niego obraz, zależy od przezroczystości wody, kontrastów, i ilości światła. Ponieważ powietrze pochłania światło wolniej niż woda, w powietrzu światło musi przebyć bardzo duże odległości zanim pochłanianie kolorów i dyfuzja fal świetlnych znacząco wpłyną na odbierany przez nas obraz. Jedynie bardzo odległe obiekty wydają się rozmyte, o obniżonym kontraście. W związku z tym, podświadomie odbieramy, że jeśli obiekt jest rozmyty i mało kontrastowy, to musi znajdować się bardzo daleko.

Jednak w pewnych warunkach woda może powodować podobne efekty jak duża odległość na powierzchni - dyfuzję, pochłanianie barw i spadek kontrastu. Dlatego twój system wzrokowy zazwyczaj odbiera rozmyte, mało kontrastowe przedmioty o zubożonych kolorach jako położone bardzo daleko. Jednak ponieważ grubość warstwy wody potrzebna do wywołania tego efektu jest nieduża, obiekty postrzegane pod wodą jako bardzo odległe mogą w rzeczywistości znajdować się całkiem blisko. To jest właśnie wpływ efektu Tyndalla.

Dzięki zjawiskom refrakcji, dyfuzji i pochłaniania barw, oraz przez właściwości naszego układu wzrokowego, obiekt znajdujący się pod wodą może być odbierany albo jako znajdujący się bliżej, albo dalej niż w rzeczywistości. Generalnie, w im mniejszej odległości znajduje się przedmiot, tym większe prawdopodobieństwo że będzie sprawiał wrażenie położonego bliżej niż w rzeczywistości. Analogicznie, im dalej obiekt się znajduje, tym większa jest szansa, że wyda nam się położony w większej odległości niż w rzeczywistości. Jednak w miarę nurkowania, nasze umysły wprowadzają poprawki na oba te zjawiska - gdy nabierzesz doświadczenia pod wodą, zaczniesz postrzegać obiekty jako znajdujące się w tej odległości, w jakiej rzeczywiście są.



Odbicie.

Gdy światło pada na obiekt, może się od niego **odbić**. To, czy światło zostanie odbite, zależy przede wszystkim od koloru obiektu. Przedmioty czarne lub bardzo ciemne pochłaniają dużą część promieniowania świetlnego, odbijając niewiele. Przedmioty białe lub o jasnych barwach odbijają znaczną część padającego na nie światła. Natomiast obiekty o właściwościach refleksyjnych, takie jak lustro, pozornie będą miały tę samą barwę co padające na nie światło, gdyż odbijają niemal 100% padającego na nie promieniowania.

Niektóre substancje, jak na przykład woda, mogą odbijać lub przepuszczać światło, w zależności od kąta padania promieni świetlnych. Światło przenika do wody, ale wraz z malejącym kątem padania promieni na powierzchnię wody, proporcjonalnie coraz większa część światła ulega odbiciu, a mniejsza - pochłonięciu. Dlatego właśnie pod wodą najjaśniej jest między godziną 10 a 14, kiedy to słońce znajduje się w najwyższym punkcie nieba, jego światło pada na powierzchnię wody pod dużym kątem, i znaczna

jego część przenika do wody. Rano i po południu, gdy słońce znajduje się nisko, większa część promieni świetlnych ulega odbiciu, i proporcjonalnie mniej przenika do wody. Jeżeli robisz podwodne zdjęcia lub kręcisz filmy video, wiesz zapewne, że najlepsze warunki świetlne są właśnie pomiędzy godziną 10 a 14.

Woda i dźwięk

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Dźwięk rozchodzi się w wodzie szybciej niż w powietrzu, co utrudnia określenie kierunku z którego dochodzi. Dlatego zazwyczaj nie jesteś w stanie zlokalizować przepływającej w pobliżu łodzi na podstawie dźwięku jej silnika, mimo że samą łódź możesz usłyszeć z większej odległości niż na powierzchni.

Podobnie jak światło, dźwięk jest formą energii, przemieszczającą się w postaci fal. Jednak światło jest jedną z form energii elektromagnetycznej, podczas gdy dźwięk jest formą energii mechanicznej. Różnica ta jest istotna, gdyż energia elektromagnetyczna może istnieć w oderwaniu od materii i przemieszczać się zarówno w materii, jak i w próżni, dźwięk zaś i inne formy energii mechanicznej mogą istnieć i przemieszczać się tylko w materii.

Dźwięk powstaje, gdy jakieś zaburzenie spowoduje utworzenie fali lub zespołu fal w danym ośrodku. Fala bądź grupa fal może przemieszczać się pomiędzy ośrodkami - na przykład dźwięk mający źródło pod wodą może przemieścić się do dna łodzi, i następnie w powietrze. Gdy fale powodują vibrację wody lub powietrza w sąsiedztwie twojej błony bębenkowej, twoje ucho może zamienić część tej energii na impulsy nerwowe, które odbierasz jako dźwięk.



Sprężystość substancji określa, na ile skutecznie przewodzą one dźwięk. Porównaj wzbudzanie fali poprzez potrząsanie napiętej liny i gumowej taśmy: fala szybciej i dalej przemieści się w gumowej taśmie dzięki jej sprężystości

Dźwięk może przemieszczać się w każdym rodzaju materii. Generalnie, najszybciej przemieszcza się w gęstych ośrodkach, takich jak ciała stałe i ciecze - posiadających gęściej upakowane cząsteczki, między którymi fala może być efektywnie przekazywana. Jednak to nie gęstość, a **sprężystość** substancji jest cechą, która określa efektywność przewodzenia przez nie dźwięku. Porównaj wzbudzanie fali poprzez potrząsanie napiętej liny i gumowej taśmy: fala szybciej i dalej przemieści się w gumowej taśmie dzięki jej sprężystości. Ponieważ zazwyczaj gęste substancje mają większą sprężystość, często łączy się dobre przewodzenie dźwięku z dużą gęstością ośrodka. Chociaż do celów nurkowych to uproszczenie bywa przydatne, zasada ta nie jest uniwersalna ani technicznie poprawna. Na przykład, ołów i węgiel pomimo znacznej gęstości nie przewodzą dobrze dźwięku, właśnie ze względu na małą sprężystość. Podobnie, koc ma większą gęstość niż powietrze, lecz zawieszony w poprzek pokoju tłumi dźwięki zamiast je wzmacniać - większość tkanin ma małą sprężystość.

Prędkość dźwięku zależy od substancji, w której fale dźwiękowe się rozchodzą, na prędkość może też wpływać temperatura i ciśnienie. Dźwięk w ogóle nie może rozchodzić się w próżni (czyli wówczas, gdy brak materii). W suchym powietrzu, na poziomie morza i przy temperaturze 20°C, dźwięk przemieszcza się z prędkością około 343 metrów na sekundę. W słodkiej wodzie o temperaturze 25°C, prędkość dźwięku wynosi w przybliżeniu 1497 metrów na sekundę, a w wodzie morskiej o zasoleniu 35‰ i tej samej temperaturze mniej więcej 1550 m/s.²

² Wartości pochodzą ze strony http://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_sound (przyp. tłum.)



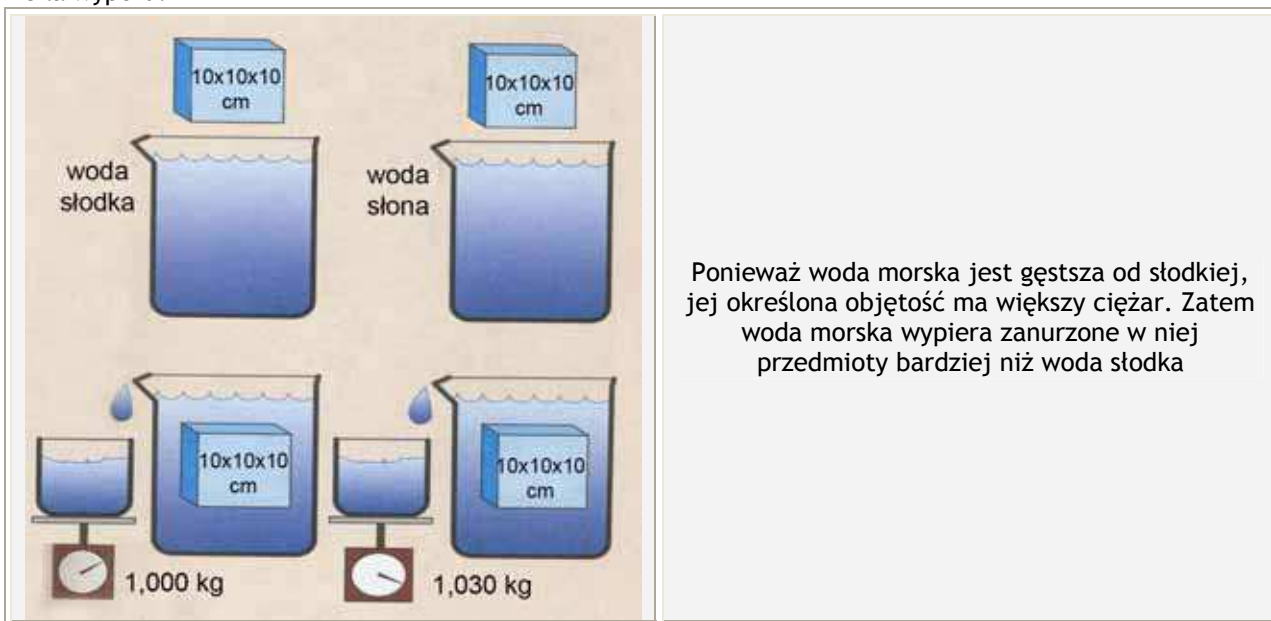
Chociaż dźwięk słabo przenika z powietrza do wody, nurkowie rebreatherowi mogą niekiedy “pogadać” – gdy mówią głośno, i znajdują się blisko siebie. Jest to możliwe dzięki bardzo cichej pracy rebreatherów, która umożliwia usłyszenie dźwięków o niewielkiej sile, które przenikają z wydychanego przez nurków powietrza do wody

Ta mniej-więcej czterokrotna różnica w prędkościach rozchodzenia się dźwięku w wodzie i w powietrzu powoduje, że zazwyczaj pod wodą masz problemy w rozpoznaniu kierunku, z którego dźwięk dochodzi. Twój mózg określa położenie źródła dźwięku w oparciu o drobne różnice w sile i czasie odebrania dźwięku przez każde z twoich uszu. Pod wodą, twój mózg nie jest w stanie wykryć różnic w sile dźwięku i czasie jego odbioru przez lewe i prawe ucho, i uznaje, że dochodzi on dokładnie z ponad głowy. Jednak w zależności od częstotliwości dźwięku, jego siły, odległości od jego źródła i niektórych innych zmiennych, można niekiedy stosunkowo dokładnie wskazać kierunek, z którego dźwięk dochodzi. Chociaż dźwięk może przechodzić z jednego ośrodka do innego, na przykład z powietrza do wody, znaczna część jego energii jest rozpraszana przy przechodzeniu przez granicę między ośrodkami o różnych gęstościach. Z tego właśnie powodu możesz nie usłyszeć głosu kolegi wołającego cię znad powierzchni, chociaż sam znajdujesz się na głębokości zaledwie kilkudziesięciu centymetrów. Przeszkody dla rozchodzenia się dźwięku mogą się pojawić w obrębie jednego ośrodka. Wspominaliśmy wcześniej o uwarstwieniu wody spowodowanym przez różnice temperatury lub zasolenia poszczególnych warstw; ta różnica gęstości może stanowić znaczną przeszkodę dla rozchodzącego się dźwięku. Obecność termokliny bądź halokliny może znacząco wpłynąć na słyszalność dźwięku pod wodą: możesz dobrze słyszeć odgłosy pochodzące ze stosunkowo odległego źródła znajdującego się w tej samej warstwie wody, lecz znacznie słabiej odbierać ten sam dźwięk, gdy źródło jest tuż pod lub nad tobą, ale w innej warstwie. To, w jakim stopniu uwarstwienie wody wpływa na rozchodzenie się dźwięku, zależy od różnic gęstości i od cech dźwięku. Efekt jest jednak na tyle silny, że wojskowe łodzie podwodne przebywają często w głębszych, gęstszych warstwach wody, gdyż utrudnia to ich wykrycie przez sonary. Właśnie ze względu na opory przy przechodzeniu dźwięku z powietrza do wody, nie możesz zazwyczaj rozmawiać z innymi osobami w trakcie nurkowania. Twoje struny głosowe wytwarzają dźwięk w powietrzu, i ciężko jest sprawić, by na tyle dużo energii dźwiękowej przeniknęło do wody, aby zagłuszyć hałas automatu i wydychanych bąbli – a zwiększenie siły głosu powoduje zwiększenie ilości bąbli! Elektroniczny sprzęt do komunikacji podwodnej pozwala przezwyciężyć ten problem, przetwarzając głos na sygnał elektroniczny, odbierany i ponownie przetwarzany na głos ludzki przez sprzęt partnera. Te urządzenia są jednak właściwie dwustronnymi radiami, a nie sposobem przenoszenia głosu ludzkiego przez wodę.

Jeżeli jednak nurkujesz na rebreatherze o obiegu zamkniętym, sytuacja wygląda inaczej. Twój głos wciąż w niewielkim tylko stopniu przechodzi z powietrza do wody, ale sam rebreather jest bardzo cichy. Nawet bez specjalnego sprzętu ty i twój partner możecie zazwyczaj rozmawiać, pod warunkiem, że mówicie wystarczająco głośno i pozostajecie blisko siebie.

Pływalność i „nieważki” świat

Chociaż wielu płetwonurków lubi rozwodzić się o pływaniu w stanie „nieważkości”, z fizycznego punktu widzenia zanurzony płetwonurek nie jest bynajmniej nieważki. Pod wodą grawitacja przyciąga ciało nurka z taką samą siłą jak na lądzie. Dlatego właśnie, pod wodą jesteś w stanie wskazać górę i dół - inaczej niż astronauta w stanie rzeczywistej nieważkości. Także jeśli nieruchomo zawisniesz w toni, twoje ciało przyjmie pozycję, w której środek ciężkości będzie znajdował się najniżej. Jednak chociaż z technicznego punktu widzenia nie jesteś nieważki, wrażenie podczas nurkowania jest podobne do odczuwanego w stanie rzeczywistej nieważkości, gdyż siłę ciężkości przeciwstawia się równoważąca ją siła wyporu.



ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Kontrola pływalności jest tym, co wyróżnia dobrego płetwonurka. Zrozumienie zasad rządzących pływalnością pozwala ci na przewidzenie, jak zmiany twojej wagi i objętości lub gęstości wody wpłyną na twoją pływalność.

Prawo Archimedesesa

Zapewne masz ogólne wyobrażenie o tym, czym jest pływalność, ale zajmiemy się tym terminem bardziej dokładnie. **Pływalność** jest to zdolność utrzymywania się ciała w toni wodnej (albo w innej cieczy lub gazie), wynikająca z przeciwstawnego działania dwóch sił, **siły ciężkości** i **siły wyporu**³. Siła wyporu jest siłą skierowaną ku górze, działającą na każdy obiekt zanurzony w **płynie** - cieczy albo gazie. Chociaż czytając ten tekst znajdujesz się przypuszczalnie na lądzie, siła wyporu wciąż działa na ciebie, ponieważ jesteś zanurzony w płynie - powietrzu. W tym wypadku, siła wyporu ma bardzo niedużą wartość, zanedbywalną w porównaniu z wartością działającą na ciebie siły ciężkości. Jednak wielki balon na ogrzane powietrze unosi się właśnie dzięki sile wyporu, tej samej która powoduje, że podnosisz się w toni po dodaniu powietrza do jacketu.

Siłę wyporu po raz pierwszy opisał Archimedes - grecki matematyk, i stąd pochodzi nazwa odpowiedniego prawa - prawo Archimedesesa. Zgodnie z współczesnym jego brzmieniem, *na ciało całkowicie lub częściowo zanurzone w płynie (cieczy lub gazie) działa pionowa, skierowana ku górze siła wyporu, której wartość jest równa ciężarowi wypartego płynu*.

Oznacza to, że wartość skierowanej ku górze siły wyporu zależy od ilości wypartego płynu i od masy tego płynu. Im gęstszy płyn, tym większa wartość siły wyporu przypadająca na określoną objętość tego płynu.

³ W języku angielskim, jeden termin (*buoyancy, buoyant*) określa pływalność i wypór. W języku polskim, pojęcia te są wyraźnie różne, i konieczne było ich rozdzielenie (przyp. tłum.)

W trakcie nurkowania, z oczywistych względów jesteśmy najbardziej zainteresowani wpływem gęstości wody na pływalność. Woda morska ze względu na rozpuszczoną sól jest gęstsza niż woda słodka: jeden litr wody słodkiej waży 1,000 kilograma, natomiast jeden litr wody morskiej waży około 1,030 kilograma (w zależności od stopnia jej zasolenia). Ta różnica pomiędzy wodą słodką i słoną może wydawać się niewielka, jednak to przez nią potrzebujesz więcej obciążenia podczas nurkowania w morzu niż podczas nurkowania w jeziorze, nawet jeśli używasz tego samego skafandra i reszty sprzętu.

Legenda Archimedesesa

Zgodnie z legendą, Archimedes wymyślił swe słynne prawo, gdy król Syrakuz nakazał mu zbadać, czy jego nowa korona jest wykonana z czystego złota. Archimedes nie mógł w żaden sposób uszkodzić korony. Gdy wszedł do wanny, zauważył, że poziom wody się podnosi - i to podsunęło mu myśl, by porównać ciężar i ilość wody wypartej przez koronę z czymś wykonanym z czystego złota. Chociaż jest to ładna historyjka, wątpi w nią większość historyków i inżynierów. Przede wszystkim, przy wielkości korony, różnica pomiędzy masą złota a masami innych metali byłaby zbyt mała, aby zmierzyć ją dostępnymi wówczas metodami. Dlatego najprawdopodobniej Legenda Archimedesesa jest tylko legendą

Względna gęstość⁴

Zdolność substancji stałych i płynów do unoszenia się na powierzchni wody (lub do tonięcia w niej), zależy od **gęstości obiektu względem wody**, czyli od stosunku gęstości obiektu i wody, w której jest zanurzony. Czysta woda słodka (o gęstości 1000 gramów na litr) jest standardem, i oczywiście jej gęstość względem wody wynosi 1. Przedmioty o gęstości poniżej 1000 gramów na litr, czyli gęstości względem wody poniżej 1, w wodzie słodkiej będą się unosić; w ich wypadku, skierowana ku górze siła wyporu będzie mieć większą wartość niż skierowana w dół siła ciężkości. Obiekty o gęstości większej od wody (ponad 1000 g na litr), czyli o gęstości względem wody słodkiej większej od 1, w wodzie słodkiej będą tonąć: siła wyporu będzie mieć mniejszą wartość od siły ciężkości. Obiekty o gęstości równej gęstości wody, czyli o gęstości względem wody równej 1,00, nie będą w czystej wodzie ani tonąć, ani pływać, i pozostaną zawieszone w toni - pod warunkiem, że nie będą działać na nie inne siły, nie będzie prądów itp. W tym wypadku, siły ciężkości i wyporu będą mieć tę samą wartość, i będą się wzajemnie równoważyć.

⁴ Oryginalny tytuł tego rozdziału brzmi *specific gravity*. Jest to wielkość fizyczna określająca stosunek gęstości obiektu do gęstości wody słodkiej, powszechnie używana w Ameryce Północnej, ale nie w Europie. Dlatego w przekładzie opisałem te same prawa fizyczne używając stosowanych w Polsce pojęć (przyp. tłum.)

To, czy masz pływalność dodatnią, ujemną czy neutralną, zależy od twojej gęstości (wraz z ekwipunkiem) względem otaczającej wody. Dodawanie i spuszczenie powietrza z jacketu zwiększa lub zmniejsza twoją całkowitą objętość, a zatem i twoją gęstość względem wody. Pozwala ci to kontrolować pływalność w trakcie nurkowania

W trakcie kursu na podstawowy stopień nurkowy, zapoznałeś się zapewne z określeniami **pływalność dodatnia, ujemna i neutralna (zerowa)**. Obiekt, który w wodzie się unosi, ma pływalność dodatnią; taki, który tonie, ma pływalność ujemną; zaś taki, który ani nie tonie, ani się nie unosi, ma pływalność neutralną, czyli zerową. W czasie nurkowania, próbujesz osiągnąć ten trzeci stan - pływalność zerową, która pozwala ci poruszać się w wodzie z największą skutecznością, bez tracenia energii podczas nurkowania na pokonywanie siły wyporu (lub grawitacji).

Pływalność twojego ciała zależy od proporcji, w jakich występują w nim różne tkanki, z których każda ma określoną gęstość. Na przykład, gęstość tkanki tłuszczowej względem wody wynosi 0,7-0,9; dla kości ta wartość wynosi około 1,9, a dla mięśni około 1,08. Każdy człowiek ma nieco inną budowę, i w zależności od czynników takich jak stosunek ilości tkanki tłuszczowej do tkanki mięśniowej, jego gęstość względem wody będzie różna. Większość z nas ma gęstość bliską gęstości wody, czyli pływalność bliską zerowej. Jednak osoby z większą ilością tkanki tłuszczowej często mają gęstość względem wody niższą niż 1 i unoszą się na powierzchni, zaś umięśnione osoby z niewielką ilością „tłuszczu” mogą mieć gęstość względem wody wyższą niż 1, i w związku z tym pływalność ujemną. Jednak sprzęt nurkowy, a zwłaszcza mokre lub suche skafandry, mimo niewielkiej masy wypierają znaczną ilość wody, zwiększając gęstość względną nurka i znacząco zwiększając pływalność. W skafandrze suchym lub w pełnym skafandrze mokrym, nawet osoba z bardzo niewielką ilością tkanki tłuszczowej będzie musiała wziąć dodatkowe obciążenie celem zrównoważenia dodatkowej siły wyporu działającej na skafander.



Gdy jesteś prawidłowo wyważony, to na wdechu, z pustym jacketem i prawie pustą butlą, będziesz się unosił zanurzony do poziomu oczu

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Ilość balastu, jakiej będziesz potrzebować w czasie nurkowania, zależy będzie od tego, czy nurkujesz w słodkowodnym zbiorniku, czy też w morzu. Nurkując w wodzie o innym zasoleniu niż poprzednio będziesz musiał dołożyć lub odjąć nieco ołowiu. Podobnie, będziesz musiał od nowa się wyważyć po zmianie skafandra. Dodatkowo, niektóre osoby potrzebują więcej balastu niż inne, nawet nurkujące w podobnym sprzęcie. Decydują o tym prawa fizyki - pływalność zależy od stosunku średniej gęstości ciała nurka do gęstości wody.

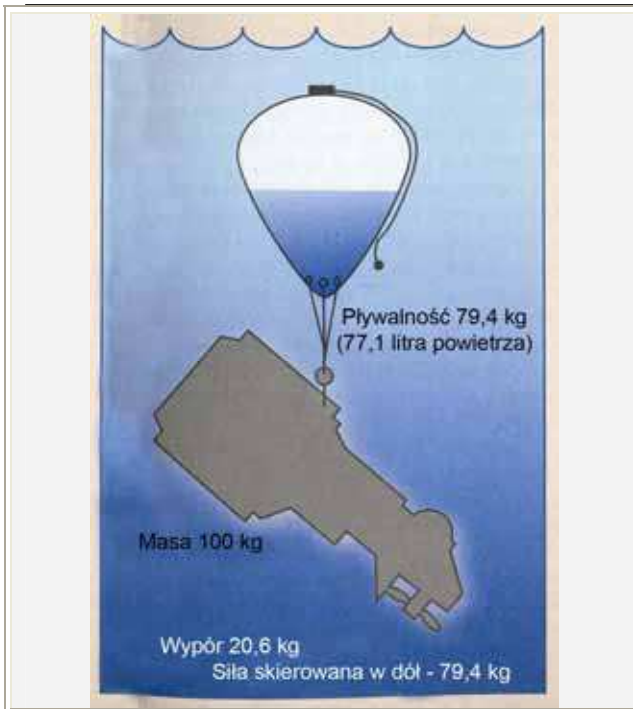
Zauważ, że dotąd pisaliśmy o nurkowaniu w wodzie słodkiej. Częściej jednak nurkujemy w wodzie morskiej, o większej gęstości niż woda słodka. Litry wody morskiej waży około 1030 gram, ma ona zatem względną gęstość wobec wody słodkiej równą 1,03. Oznacza to, że przedmiot o gęstości względem wody słodkiej równej 1,00, w wodzie morskiej będzie miał pływalność dodatnią, nie neutralną. Aby miał neutralną pływalność w wodzie morskiej, jego gęstość względem wody słodkiej musiałaby wynosić 1,03. Dodatkowo, zarówno w wodzie „słodkiej”, jak i w wodzie morskiej z różnych miejsc, zawartość soli, i co za tym idzie gęstość wody, mogą się istotnie różnić.

Dlatego w praktyce nurkowie nie próbują określić swojej gęstości względem wody i dopasować jej do stanowiska nurkowego. Jedynym skutecznym sposobem określenia potrzebnej ilości balastu w nowym środowisku lub w nowej konfiguracji sprzętowej jest sprawdzenie pływalności - wyważenie. Jak zapewne pamiętasz, w trakcie wyważania tak dostosowujesz ilość balastu, by z prawie pustą butlą (30 bar) i całkowicie pustym jacketem, na wydechu zanurzać się, a na wdechu unosić się na powierzchnię z głową wynurzoną do poziomu oczu. Jeżeli wyważasz się z pełną butlą, powinieneś dodać następnie około dwóch kilogramów ołowiu, tak by zrekompensować spadek masy związany ze zużyciem powietrza w trakcie nurkowania.

Zastosowania praktyczne

Zrozumienie zagadnienia pływalności pozwala ci rozwiązywać rzeczywiste problemy podczas nurkowania. Wyobraź sobie, że chcesz odzyskać duży, ciężki i kosztowny silnik zaburtowy, który pechowo spadł do morza. Jeżeli określisz kilka parametrów silnika, będziesz mógł łatwo wyliczyć, ile pływalności będziesz potrzebował do podniesienia silnika z dna na powierzchnię. W podręczniku użytkownika znalazłeś informację, że silnik na powierzchni waży 100 kg. Chcesz wiedzieć, jaką dodatkową siłę wyporu (oprócz siły wyporu już działającej na zatopione urządzenie) musisz przyłożyć, by zrównoważyć działającą na silnik siłę ciężkości.

Po pierwsze, musisz określić bieżącą pływalność, która jest równa masie wody wypartej przez zanurzony przedmiot. Wyobraźmy sobie, że nasz silnik wypiera 20 litrów wody, która waży 20,6 kg. Zatem skierowana w górę siła wyporu działająca na silnik ma wartość odpowiadającą 20,6 kg. Przeciwdziała jej działająca w dół siła ciężkości, o wartości odpowiadającej masie 100 kg. Aby unieść silnik z dna, musimy zbilansować przeciwstawne siły działające na nasz przedmiot. Zatem, aby silnik stał się neutralnie pływający, musi do niego zostać przyłożona działająca w górę siła, która zneutralizuje pozostałą pływalność ujemną o wartości $100 \text{ kg} - 20,6 \text{ kg} = 79,4 \text{ kg}$.



Jeśli znasz masę i objętość przedmiotu, możesz obliczyć, jaka dodatkowa siła wyporu jest potrzebna do podniesienia go

Generalnie, przy obliczeniach zaniedbujemy masę worka wypornościowego (*lift bag*), którego użyjemy do podnoszenia przedmiotów. Aby więc wyliczyć ilość wody, którą musimy przemieścić by całkowicie zrównoważyć siłę grawitacji, dzielimy pozostałą ujemną pływalność przez gęstość wody: $79,4 \text{ kg} \div 1,03 \text{ kg na liter} = 77,1 \text{ litra}$. Taką właśnie objętość wody musimy usunąć z worka wypornościowego. W praktyce, pletwonurek usunąłby tę objętość wody przez dodanie tej ilości powietrza do worka, i dodatkowo niewielkiej ilości potrzebnej do zrównoważenia ciężaru samego worka.

Być może zauważyłeś, że w powyższych obliczeniach zaniedbaliśmy masę powietrza. Teoretycznie, masa powietrza zwiększa wartość skierowanej w dół siły grawitacji. W praktyce jednak jest to wielkość tak mała, że śmiało można ją zaniedbać. Zazwyczaj w podobnych obliczeniach przeprowadzanych w celach nurkowych traktujemy wypełnione gazem przestrzenie tak, jakby były puste.

Pod ciśnieniem

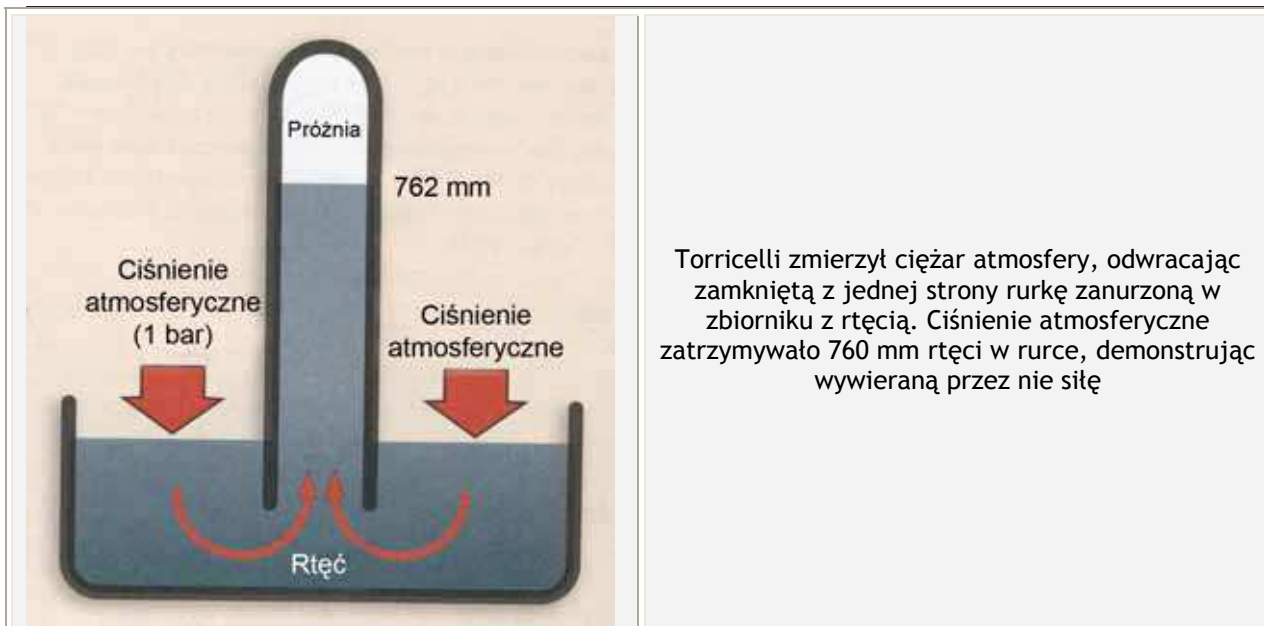
Ciśnienie jako siła

Większość ludzi zdaje sobie sprawę, że zanurzający się pletwonurek jest wystawiony na działanie zwiększonego ciśnienia. Także osoby nie nurkujące zazwyczaj miały do czynienia ze zwiększonym ciśnieniem pod wodą - gdy podczas nurkowania na zatrzymanym oddechu na basenie odczuwały ucisk w uszach na głębokości dwóch czy trzech metrów (choć mogły nie wiedzieć, jak wyrównać ciśnienie w uszach i pozbyć się dyskomfortu).

Ciśnienie to wielkość fizyczna opisująca siłę działającą na jednostkę powierzchni. Zgodnie z definicją fizyczną,

$$\text{ciśnienie} = \text{siła} \div \text{powierzchnia}$$

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Gazy ulegają sprężaniu i rozprężaniu pod wpływem zmian ciśnienia. Wpływ gazów używanych podczas nurkowania na twoje ciało także jest proporcjonalny do ciśnienia. Aby przewidzieć ten wpływ na podstawie praw gazowych, musisz umieć określić ciśnienie na danej głębokości.



Ciśnienie atmosferyczne.

Ciśnienie może być wywierane na wiele sposobów, na przykład przez nacisk twojej dłoni na powierzchnię stołu. W nurkowaniu, zazwyczaj jesteśmy zainteresowani ciśnieniem gazów którymi oddychamy, i ciśnieniem otaczającej nas wody.

Na powierzchni, działa na Ciebie ciśnienie wywierane przez atmosferę ziemską, wynikające z ciężaru powietrza. Galileusz, włoski badacz z epoki renesansu, pierwszy wykazał że powietrze ma ciężar, a Evangelista Toricelli, włoski matematyk, wynioskował, że jeśli atmosfera otacza wszystko i człowiek żyje na dnie tego „morza powietrza”, jego ciało nieustannie wystawione jest na ciśnienie zewnętrzne. W jego klasycznym eksperymencie, zanurzona w zbiorniku z rtęcią menzurka, przy próbie wyjęcia jej ze zbiornika, „zasysa” rtęć. Ciężar rtęci powoduje powstanie próżni w górnej części menzurki, przy czym maksymalna wysokość słupa rtęci w menzurce może wynieść około 760 mm, co odpowiada ciśnieniu 1,03 kilograma na centymetr kwadratowy. Toricelli uznał, że wielkość ta odpowiada ciśnieniu wyieranemu przez atmosferę, które „próbuję” wepchnąć rtęć do środka menzurki. W każdym razie, dawniej ciśnienie oznaczano właśnie w milimetrach słupa rtęci (mm Hg).

Ciśnienie wody.

W trakcie nurkowania działa na Ciebie ciśnienie wody, zwane też **ciśnieniem hydrostatycznym**. Jest ono spowodowane ciężarem wody naciskającej na Ciebie, w taki sam sposób, w jaki ciężar powietrza wywołuje ciśnienie atmosferyczne. Kilkadziesiąt lat po Torricellim, w podobnym eksperymencie francuski naukowiec Blaise Pascal wykazał, że ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza jest równe ciśnieniu wyieranemu przez słup wody morskiej o wysokości 10 metrów. Można to wyliczyć przy użyciu prostej matematyki.

Litr - czyli sześcian o wymiarach $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ - wody morskiej waży około 1,03 kg. Powierzchnia dolnej części sześcianu wynosi $10\text{ cm} \times 10\text{ cm} = 100\text{ cm}^2$. Aby wyliczyć ciśnienie dziesięciocentymetrowego słupa wody na jeden centymetr kwadratowy powierzchni dna, dzielimy 1,03 kg przez 100 cm^2 , otrzymując $0,0103\text{ kg/cm}^2$. Ciśnienie wywierane przez jednometrowy słup wody morskiej jest dziesięciokrotnie większe - wynosi $0,103\text{ kg/cm}^2$. Dzieląc wartość ciśnienia atmosferycznego przez tę wielkość, możemy wyliczyć ile metrów wody wywiera ciśnienie równe atmosferycznemu: $1,030\text{ kg/cm}^2 \div 0,103\text{ kg/cm}^2 = 10$. Zatem, 10 metrów słonej wody wywiera ciśnienie równe atmosferycznemu.

Terminologia dotycząca ciśnienia.

W zależności od twoich potrzeb, możesz mierzyć i zapisywać ciśnienie na wiele różnych sposobów, przy czym wielu z nich nie stosuje się w nurkowaniu. Wśród płetwonurków najczęściej słyszy się o barach, atmosferach i psi (system imperialny - funty na cal kwadratowy, *pounds per square inch*). Nieco rzadziej wyraża się ciśnienie w metrach lub stopach wody słodkiej albo słonej. Omówimy tutaj różne zwroty używane przy obliczaniu ciśnienia.

Najbardziej podstawową jednostką ciśnienia jest **atmosfera** lub **bar**, zapisywane w skrócie jako **atm** lub **bar**. Jedna atm/bar jest wartością ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza. Wprawdzie te dwie jednostki nie są dokładnie równoważne - jest pomiędzy nimi różnica ok. 1,3% - ale dla celów nurkowych możemy zignorować tę różnicę i przyjąć, że atm i bar są tym samym.

Ciśnienie absolutne (*absolute pressure*) to miara przyjmująca za zero ciśnienie w próżni. Jest to wartość całkowitego ciśnienia, którą zazwyczaj używasz do opisu wpływu ciśnienia na gazy nurkowe i na twoje ciało. Z kolei, **ciśnienie względne** (*gauge pressure*) przyjmuje za punkt zerowy wartość 1 atm/bar, jest więc różnicą pomiędzy ciśnieniem całkowitym a ciśnieniem atmosferycznym. Używasz tej wielkości przy określaniu przydatnego ciśnienia, ją właśnie wskazuje większość manometrów i głębokościomierzy. Aby uzmysłowić sobie różnicę, wyobraź sobie, że manometr założony na pustą butlę nurkową wskazuje 0. Gdy odkręcisz zawór, gaz nie przepływa - ciśnienie na zewnątrz i wewnątrz butli jest takie samo, a ciśnienie względne wynosi 0 atm/bar. Jednak w butli jest powietrze - bezwzględne ciśnienie w tej butli wynosi 1 atm lub 1 bar, tyle samo co na zewnątrz.

Aby podkreślić różnicę między ciśnieniem absolutnym i względnym, na manometrach wyskalowanych w systemie metrycznym są zazwyczaj dodane słowa *absolute* lub *gauge* - o ile nie wynika to z kontekstu. Z kolei, jednostki ciśnienia na manometrach wyskalowanych w systemie imperialnym często zakończone są na literę „a” (*absolute*) lub „g” (*gauge*): ciśnienie absolutne w atmosferach zapisuje się jako **ata**, a ciśnienie wyrażone w funtach na cal kwadratowy może być zapisane jako **psia** (*absolute*) lub **psig** (*gauge*).

W systemie metrycznym, ciśnienie w butlach zazwyczaj określane jest w barach. Z kolei, funty na cal kwadratowy - *pounds per square inch* (psi, psia, psig), to jednostki ciśnienia powszechnie stosowane w systemie imperialnym do określania ciśnienia w butlach. Płetwonurkowie rzadko stosują kilogramy na centymetr kwadratowy (kg/cm^2), choć ta jednostka często stosowana jest przez naukowców.

Zarówno w systemie metrycznym, jak i imperialnym, ciśnienie bywa wyrażane poprzez głębokość - metry słonej wody (*metres of seawater*, msw), metry słodkiej wody (*metres of freshwater*, mfw), stopy słonej wody (*feet of seawater*, fsw) lub stopy słodkiej wody (*feet of freshwater*, ffw). Ten sposób określania ciśnienia ma zastosowanie na przykład przy określaniu maksymalnego ciśnienia wytrzymywanego przez obudowy do aparatów i kamer podwodnych.

Odpowiedniki ciśnienia

1 bar = 0,987 atmosfery
 1 bar = 14,5 psi
 1 bar = 10 metrów słonej wody
 1 bar = 1,02 kg/cm^2
 1 atm = 1,013 bar
 1 atm = 14,7 psi
 1 atm = 33 stopy słonej wody
 1 atm = 34 stopy słodkiej wody
 1 atm = 1,03 kg/cm^2
 1 metr słonej wody = 0,100 bar
 1 metr słodkiej wody = 0,097 bar

Uwagi:

1 bar i 1 atmosfera to wartości na tyle zbliżone, że zazwyczaj - również w tej książce - traktowane są jako równoważne.

Powyższe wartości i przeliczniki podane są w przybliżeniu. Na przykład, 1 atm to dokładnie 33,8995 stopy słonej wody - jednak przedstawiona dokładność w zupełności wystarcza dla celów nurkowych.

Ciśnienie a ciała stałe i ciecze

Materia we wszystkich stanach skupienia jest potencjalnie ściśliwa. Na poziomie atomowym, nawet w bardzo gęstych substancjach takich jak ołów czy uran, jest znacznie więcej pustej przestrzeni niż wypełniających ją cząstek elementarnych. Może się to wydawać zadziwiające, zważywszy na to, jak gęsta i ciężka wydaje się ołowiana sztabka. Jednak w gwiazdach neutronowych materia, ściśnięta przez niewyobrażalną siłę grawitacji, staje się tak gęsta, że przyniesiona na Ziemię łyżeczka od herbaty materii z jądra takiej gwiazdy ważyłaby około miliarda ton! Daje to pewne wyobrażenie na temat stopnia, w jakim kompresowalna jest materia otaczająca nas na Ziemi.

Oczywiście, siły niezbędne do skompresowania materii w takim - ani nawet w znacznie mniejszym - stopniu nie istnieją na Ziemi. Zatem mimo iż materia jest ściśliwa, w zakresie ciśnień występujących w nurkowaniu można przyjąć, że ciecze i ciała stałe są praktycznie nieściśliwe. Ciecze, choć nieściśliwe, mogą jednak przewodzić i wywierać ciśnienie - jak już się dowiedziałeś. Natomiast gazy są w dużym stopniu ściśliwe.

Zgodnie z prawem Pascala, ciśnienie zewnętrzne wywierane na powierzchnię wody (lub innej cieczy) jest rozprawdane równo we wszystkich kierunkach. Na tej właśnie zasadzie działają wszystkie urządzenia hydrauliczne. Pompy przenoszą ciśnienie na ciecz hydrauliczną w tłoku podnośnika; przekazywane ciśnienie sprawia, że tłok się unosi, podnosząc dźwigany obiekt. Podnośniki hydrauliczne mogą stosować ogromne siły tylko dzięki przykładaniu potrzebnego ciśnienia.

Zdolność przenoszenia ciśnienia przez ciecze dotyczy ciebie na dwa najważniejsze sposoby. Po pierwsze, na danej głębokości oddziałuje na ciebie ciśnienie atmosferyczne, plus ciśnienie wywierane przez całą wodę ponad tobą. Zatem, w celu określenia ciśnienia absolutnego na danej głębokości, musisz najpierw wyliczyć ciśnienie hydrostatyczne, a następnie dodać wartość ciśnienia atmosferycznego. Na przykład, na głębokości 10 metrów ciśnienie absolutne wynosi 2 bary:

**1 bar ciśnienia hydrostatycznego + 1 bar ciśnienia atmosferycznego
= 2 bary ciśnienia absolutnego**

W miarę zanurzania, ciśnienie rośnie o 1 bar co 10 metrów w słonej wodzie, lub co 10,3 metra w wodzie słodkiej. Ponieważ woda jest nieściśliwa, ta wartość pozostaje stała bez względu na głębokość. Ponieważ ten związek między głębokością a ciśnieniem pozostaje niezmienny, łatwo możesz określić ciśnienie absolutne na dowolnej głębokości. Na przykład, ciśnienie na głębokości 30 metrów wynosi:

30 msw ÷ 10 msw = 3 bar

**3 bary ciśnienia hydrostatycznego + 1 bar ciśnienia atmosferycznego
= 4 bary ciśnienia absolutnego**

Gdy znasz już ciśnienie absolutne w barach, możesz przeliczyć je na kilogramy na centymetr kwadratowy, mnożąc ciśnienie w barach przez 1,03 aby otrzymać wartość w kg/cm². Tak więc, w słonej wodzie na głębokości 240 metrów ciśnienie absolutne wynosi 25 barów, czyli 25,75 kg/cm²:

$$(240 \text{ msw} \div 10 \text{ msw}) + 1 \text{ bar} = 25 \text{ bar}$$

$$25 \text{ bar} \times 1,03 = 25,75 \text{ kg/cm}^2$$

Ponieważ tkanki ciała składają się w większości z wody, a woda przewodzi ciśnienie, w trakcie nurkowania działające na nas zewnętrzne ciśnienie jest rozprawdane równomiernie i nie odczuwamy bezpośredniego nacisku wody. Dlatego nurkowie mogą wytrzymać duże ciśnienia panujące pod wodą. Odczuwasz wpływ ciśnienia jedynie w przestrzeniach powietrznych ciała - i dlatego w trakcie kursu na stopień podstawowy uczysz się wyrównywać ciśnienie pomiędzy nimi a środowiskiem zewnętrznym, co pozwala uniknąć dyskomfortu i urazów.

Ciśnienie a zachowanie gazów

Większość dotyczących nas pod wodą efektów ciśnienia ma związek z zachowaniem gazów. Gdy zmieniamy głębokość zanurzając się lub wynurzając, gaz w naszych przestrzeniach powietrznych i w naszym sprzęcie zmienia objętość, wpływając na naszą pływalność i fizjologię. Ciśnienie wpływa też na



Co może wydawać się ciekawe, gazy o cząsteczkach o różnej masie, lecz o tym samym cieple wywierają takie samo ciśnienie na ścianki. Cząsteczki o większej masie cząsteczkowej poruszają się wolniej, więc sumarycznie wywierają takie samo ciśnienie na ścianki jak gazy o mniejszej masie cząsteczkowej, poruszające się z większymi prędkościami. Temperatury są różne (jak pamiętasz, ciepło to nie to samo co temperatura). Na przykład, w lekkim gazie takim jak hel, po dostarczeniu pewnej ilości ciepła, cząsteczki przyspieszają w większym stopniu niż w cięższym tlenie. Mimo to, zmiana ciśnienia byłaby taka sama. Cięższy tlen, którego cząsteczki poruszają się znacznie wolniej, wywiera takie samo ciśnienie dzięki zwiększonej masie cząsteczkowej.

Różne gazy, w tej samej temperaturze i ciśnieniu zachowują tę wzajemną relację między prędkością i masą molekuly. Cząstki w lżejszych gazach poruszają się szybciej. Z kinetycznej teorii gazów wynika, że porcja gazu w określonej temperaturze ma energię kinetyczną taką jak ta sama ilość molekuł innego gazu w tej samej temperaturze (mowa o tzw "gazach idealnych", ale to przybliżenie jest prawidłowe przy ciśnieniu i temperaturze z jakimi mamy do czynienia podczas nurkowania).

Wyobraź sobie piłkę do tenisa i piłkę do koszykówki. Jeżeli rzucisz jedną i drugą z taką samą siłą, lżejsza piłeczka do tenisa porusza się będzie szybciej, zaś cięższa koszykowa - wolniej. Jednak obie piłki uderzą o ścianę z taką samą siłą, ponieważ obie piłki - lżejsza i szybciej poruszająca się tenisowa oraz ciężka, wolno lecąca koszykowa - będą mieć taką samą energię.

Poza temperaturą i ciśnieniem, zachowanie gazu jest zależne od jego objętości. Wyobraź sobie balon wypełniony gazem. Po ściśnięciu jego objętość maleje, i cząsteczki gazu zbliżają się do siebie. Częściej zderzają się ze sobą nawzajem i ze ściankami balonu, a tę zwiększoną częstość zderzeń postrzegamy jako zwiększone ciśnienie. Analogicznie, jeżeli rozciągamy ten balon (bez dodawania gazu), jego objętość przy rozprężaniu zwiększa się. Powoduje to, że średnie odległości między cząsteczkami zwiększają się, maleje częstość zderzeń, i przez to zmniejsza się ciśnienie.

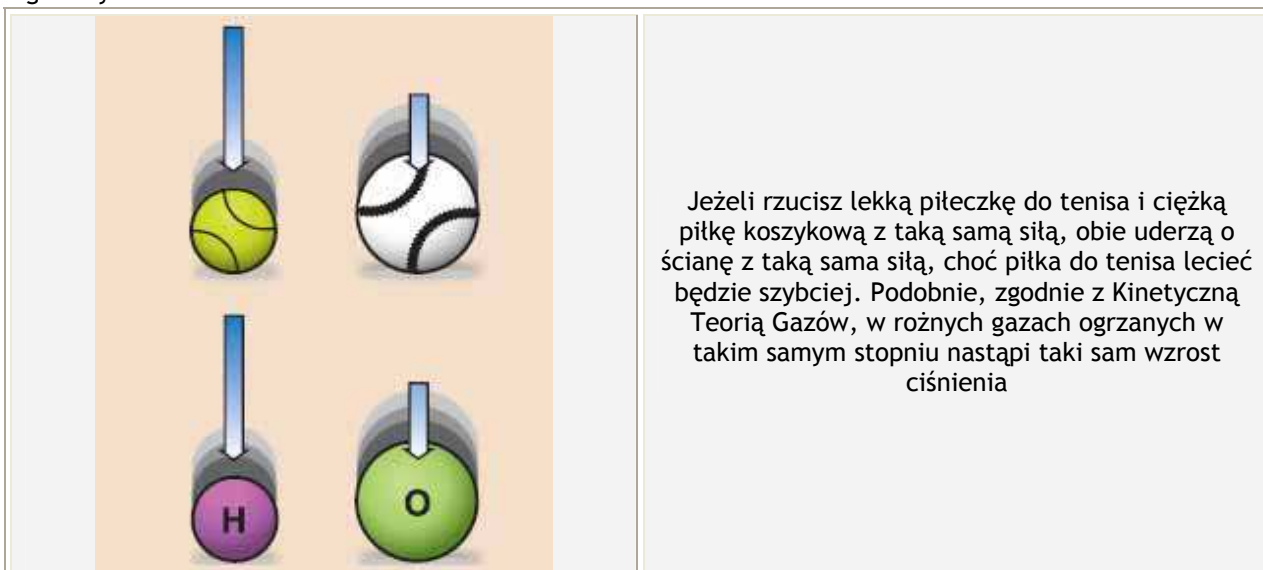
Zrozumienie zachowanie gazów i pojęcie ciśnienia jest możliwe dzięki kinetycznej teorii gazów. Zapewne pamiętasz, że energia kinetyczna to energia mechaniczna ruchu. Gazy zachowują się w określony sposób właśnie dzięki ruchowi swoich cząsteczek.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Prawa gazowe dotyczą w taki sam sposób praktycznie wszystkich gazów. Dzięki kinetycznej teoria gazów możesz zatem stosować te same wzory dla obliczania konsumpcji gazu podczas oddychania powietrzem i nitroksen, mimo że zawartość tlenu i azotu w tych gazach się różni.

[illegible]

Energia kinetyczna cząsteczki gazu zależy od jej prędkości - powiążanej z temperaturą, oraz od masy - zależnej od rodzaju substancji. Większe i szybciej poruszające się cząsteczki cięższych gazów wywierają większą siłę przy uderzeniu. Jak dowiedziałeś się wcześniej, temperatura jest miarą prędkości poruszania się cząsteczek; im wyższa temperatura, z tym większą prędkością poruszają się cząsteczki, częściej uderzając w obiekty - i

Ten związek pomiędzy prędkością a masą sprawia, że wszystkie gazy odpowiadają w ten sam sposób na zmiany temperatury, objętości i ciśnienia. Oznacza to, że bez względu na to, z jakim gazem masz do czynienia, zachowuje się on w ten sam sposób co inne gazy z punktu widzenia najważniejszych praw gazowych.



No dobrze, prawie. Zasada, według której wszystkie gazy mają takie same właściwości w odniesieniu do relacji między zmianą ciśnienia a zmianą temperatury, to prawo gazów idealnych. Stwierdza ono, że wszystkie gazy zachowują się zgodnie z tymi samymi, idealnymi prawami. Jednak w rzeczywistości tak nie jest - dzięki indywidualnym właściwościom cząsteczek różnych gazów, związanych np. z ich kształtem, zachowanie gazów nieco odbiega od modelu. Na przykład, niektóre gazy w większym stopniu ulegają sprężeniu przy wzroście ciśnienia niż wynikałoby to z prawa gazów idealnych. Z tego powodu fizycy często stosują prawo gazów rzeczywistych, uwzględniające indywidualne cechy różnych gazów. Prawo gazów rzeczywistych bardziej precyzyjnie opisuje zachowanie różnych gazów, ale jest nieporównanie bardziej złożone matematycznie. Na szczęście, w warunkach z którymi mamy do czynienia podczas nurkowania, prawo gazów idealnych wystarczająco dokładnie opisuje zachowanie gazów rzeczywistych. Różnice między gazami wynikające z ich indywidualnych właściwości nie mają większego zastosowania nawet w warunkach temperatury i ciśnienia jakich doświadczamy w trakcie nurkowań technicznych na głębokości przekraczające 100 metrów. Praktycznie, jedyną sytuacją związaną z nurkowaniem, w której różnice pomiędzy gazami rzeczywistymi a idealnym powodują mieralne różnice, jest sporządzanie mieszanek gazowych - nitroksu i trimiksu (to mieszanka tlenu, azotu i helu, stosowana w nurkowaniach technicznych). Mimo tego, większość osób sporządzających mieszanki i tak stosuje prawo gazów idealnych, przedkładając prostotę obliczeń nad usunięcie niewielkich rozbieżności w składzie mieszanki.

Liczba Avogadra.

W 1811 roku, włoski naukowiec i filozof Amadeo Avogadro stwierdził, że w określonej objętości gazu w stałych warunkach temperatury i ciśnienia zawsze znajduje się ta sama ilość cząsteczek gazu, niezależnie od rodzaju gazu. Wiele lat później fizycy obliczyli, że w temperaturze 0°C i przy ciśnieniu 1 bara, 22,4 litry gazu zawierają 602257 miliardów miliardów cząsteczek - czyli $6,023 \times 10^{23}$. Tę wielkość nazywamy liczbą Avogadra, a ilość cząsteczek dowolnej substancji równa liczbie Avogadra jest w chemii określana jako mol.

Zastosowanie liczby Avogadra doprowadziło do powstania Ogólnego Prawa Gazowego dla Gazów Idealnych, pojedynczego równania opisującego zachowanie dowolnego gazu przy zmieniającym się ciśnieniu, temperaturze i objętości:

$$pV = nRT$$

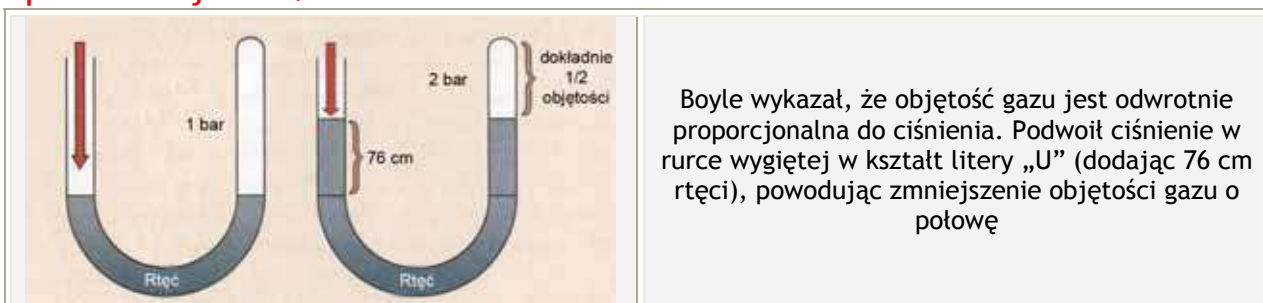
W powyższym równaniu, p to ciśnienie bezwzględne; V - objętość; n - liczba moli gazu; R - uniwersalna stała gazowa, czyli 8,314 J/K (dżul/kelvin), a T - temperatura bezwzględna.

To jedno prawo łączy w sobie dwa prawa opisane w dalszej części rozdziału, czyli prawa Boyle’a-Marriottte’a oraz prawa Charlesa. Spójrzmy na każde z nich z osobna, a następnie na zastosowania uproszczonego Ogólnego Prawa Gazowego w nurkowaniu.

Prawo Boyle’a - Mariotte’a⁵.

Sir Robert Boyle był XVII-wiecznym irlandzkim naukowcem, zainspirowanym pracami Torricellego. Podczas gdy Torricelli pierwszy określił ciśnienie atmosferyczne, Boyle próbował zbadać, w jaki sposób zmiany ciśnienia wpłyną na zmiany objętości gazów.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Z praktycznego punktu widzenia, prawo Boyle’a - Mariotte’a jest może najbardziej przydatnym do celów nurkowych ze wszystkich praw gazowych. Na przykład, możesz wykorzystać je do wyliczenia twojego tempa zużycia gazu na danej głębokości w oparciu o pomiary na innej głębokości, albo też wyliczenia, na ile czasu wystarczy ci gaz posiadany w butli. Tłumaczy też, dlaczego nie możesz wstrzymywać oddechu w trakcie nurkowania, i dlaczego podczas wynurzania powinieneś spuszczać powietrze z jacketu.



Boyle przeprowadził słynny eksperyment z jednostronnie zamkniętą rurką w kształcie litery U, częściowo wypełnioną rtęcią. Od strony otwartej wlał do rurki tyle rtęci, aby w obu ramionach litery była taka sama objętość powietrza. Ponieważ poziom rtęci w obu ramionach był taki sam, ciśnienie w zamkniętym końcu rurki musiało być równe ciśnieniu wywieranemu przez atmosferę w końcu otwartym, czyli wynosiło 1 bar. Następnie, dolewał do rurki rtęć aż do momentu zmniejszenia objętości gazu w zamkniętym końcu rurki o połowę. Stwierdził, że musiał dodać 760 mm słupa rtęci (jak pamiętasz, taka ilość wywiera ciśnienie jednej atmosfery). Zatem, żeby zmniejszyć objętość gazu o połowę, musiał wywrzeć ciśnienie dwukrotnie większe; również ciśnienie powietrza w zamkniętym końcu rurki uległo podwojeniu.

⁵ W krajach anglosaskich, prawo to zwane jest prawem Boyle’a. We Francji, prawem Mariotte’a - od nazwiska francuskiego badacza, który niezależnie od Boyle’a doszedł do tych samych wniosków. W Polsce zazwyczaj honoruje się obu odkrywców, nazywając je prawem Boyle’a-Mariotte’a (przyp. tłum.)

Głębokość	Ciśnienie	Objętość	
0m	1 bar	Pełna	
10 m	2 bar	1/2	
20 m	3 bar	1/3	
30 m	4 bar	1/4	
40 m	5 bar	1/5	

Zgodnie z prawem Boyle’a-Mariotte’a, objętość gazu zmniejsza się proporcjonalnie do wzrostu ciśnienia wody w miarę zanurzenia

W tym eksperymencie Boyle wykazał, że o ile temperatura pozostaje stała, to objętość gazu jest odwrotnie proporcjonalna do wywieranego ciśnienia absolutnego. Jest to właśnie prawo Boyle’a-Mariotte’a. Zgodnie z nim, jeżeli ciśnienie rośnie, objętość gazu musi proporcjonalnie się zmniejszyć, natomiast spadek ciśnienia powoduje proporcjonalny do niego wzrost objętości gazu.

Prawo Boyle’a-Mariotte’a bardzo ułatwia wyliczenie, w jaki sposób zmieni się objętość gazu podczas zanurzenia lub wynurzenia. Jak pamiętasz, każde 10 metrów słonej wody wywiera ciśnienie równe ciśnieniu atmosferycznemu (czyli 1 bar). Zgodnie z prawem Boyle’a, objętość gazu w elastycznym bądź otwartym pojemniku będzie się zmieniać w ścisłym związku z głębokością (czyli ciśnieniem). Zatem, objętość gazu zabranego z powierzchni na głębokość 10 metrów (gdzie ciśnienie całkowite wynosi 2 bary) ulegnie zmniejszeniu o połowę. Na głębokości 20 m (ciśnienie absolutne 3 bary), gaz zostanie sprężony do jednej trzeciej pierwotnej objętości, zaś na głębokości 30 m (ciśnienie absolutne 4 bary) do jednej czwartej - i tak dalej.

Możesz użyć prawa Boyle’a-Mariotte’a do obliczenia nowej objętości gazu po zabraniu pojemnika ze znaną objętością gazu na nową głębokość. Wyobraźmy sobie, że zabieramy elastyczny zbiornik zawierający 280 litrów powietrza z powierzchni (ciśnienie atmosferyczne 1 bar) na głębokość 30 metrów, gdzie całkowite ciśnienie

wynosi 4 bary (ciśnienie atmosferyczne 1 bar plus ciśnienie hydrostatyczne 3 bary). Stosunek ciśnień na głębokości początkowej i końcowej możemy przedstawić w postaci ułamka, w którym w liczniku (liczba na górze) znajduje się ciśnienie pierwotne, a w mianowniku (liczba na dole) ciśnienie końcowe. W naszym przykładzie jest to $\frac{1}{4}$. Teraz mnożymy objętość początkową przez otrzymany ułamek, otrzymując $280 \text{ litrów} \times \frac{1}{4} = 70 \text{ litrów}$.

Prawo Boyle’a można zapisać matematycznie w postaci wzoru:

$$P \times V = K$$

gdzie K jest wartością stałą, P - całkowitym ciśnieniem, a V - objętością.

Tym razem wyobraź sobie napętniony powietrzem balon, którego objętość na powierzchni wynosi 1 litr. Możemy to zapisać jako:

(P)		(V)		(K)
1 bar	×	1 litr	=	1

Jeżeli zanurzysz balon w wodzie morskiej na głębokość 20 metrów, gdzie ciśnienie wynosi 3 bary, ten zapis ulegnie przekształceniu:

$$3 \text{ bary} \times V = 1$$

Po prostym matematycznym przekształceniu wzoru, wyliczymy ciśnienie na nowej głębokości:

$$V = 1/3 \text{ litra}$$

Innymi słowy, na tej głębokości ciśnienie redukuje objętość do jednej trzeciej objętości początkowej. Gdy teraz zabierzesz ten sam balon na głębokość 40 metrów (ciśnienie całkowite 5 barów), objętość zmieni się następująco:

$$5 \text{ barów} \times V = 1$$

$$V = 1/5 \text{ litra}$$

Ponieważ w prawie Boyle’a-Mariotte’a znajduje się stała K - parametr, który dla konkretnego układu nie ulega zmianie - możemy przekształcić powyższy wzór w taki sposób, by był bardziej użyteczny przy

przeliczaniu objętości i ciśnień. Ciśnienie i objętość początkowe określimy jako P_1 i V_1 , zaś końcowe jako P_2 i V_2 . Zgodnie z wzorem:

$$P_1 \times V_1 = K$$

$$P_2 \times V_2 = K$$

Czyli:

$$P_1 \times V_1 = K = P_2 \times V_2$$

Albo, prościej:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

Teraz, znając objętość i ciśnienie na wyjściowej głębokości, możemy obliczyć objętość na dowolnej innej głębokości - również takiej, na której ciśnienie nie jest wielokrotnością ciśnienia atmosferycznego.

Wyobraźmy sobie teraz nurka próbującego wydobyć obiekt leżący na dnie morskim na głębokości 26 m. Nie posiada torby wypornościowej (*lift bag*), może jednak użyć dętki samochodowej. Wcześniej jednak musi określić, jaka objętość powietrza jest potrzebna do podniesienia przedmiotu, oraz upewnić się, że powietrze rozprężające się w dętce nie doprowadzi do jej rozerwania.

W oparciu o ciężar i pływalność przedmiotu, nurek stwierdził, że musi dodać 29 kilogramów siły skierowanej do góry aby oderwać przedmiot od dna. Aby wyliczyć, jak bardzo powietrze rozpręży się po wyjściu na powierzchnię, korzystamy z uprzedniego wzoru:

$$P_1 = 3,6 \text{ bara}$$

(głębokość wynosi 26 m; $26 \div 10 = 2,6$ bara ciśnienia hydrostatycznego + 1 bar ciśnienia atmosferycznego = 3,6 bara)

$$V_1 = 28,1 \text{ litra}$$

(woda morska ma gęstość 1,03 kg na litr; $29 \div 1,03 = 28,1$ litra)

$$P_2 = 1 \text{ bar}$$

(ciśnienie atmosferyczne)

V_2 to nieznana objętość, którą chcemy wyliczyć

Po podstawieniu do wzoru $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ znanych wartości, otrzymamy:

$$3,6 \text{ bara} \times 28,1 \text{ litra} = 1 \text{ bar} \times V_2$$

$$V_2 = 101,2 \text{ litra}$$

Teraz wiesz, że jeśli dętka jest w stanie pomieścić co najmniej 101,2 litra powietrza, nurek będzie mógł jej użyć do podniesienia z dna tego obiektu; w przeciwnym wypadku będzie to ryzykowne. Podobnie, z wzoru $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$ możesz korzystać z każdym razem, gdy znać będziesz trzy z czterech zmiennych, i nie ma znaczenia, jakich jednostek używasz (pamiętaj tylko, by w jednym wzorze nie używać jednostek różnych, np. jednocześnie funtów i kilogramów!).

Prawo Boyle’a-Mariotte’a stwierdza, że ciśnienie i objętość gazu są **odwrotnie proporcjonalne**.

Natomiast ciśnienie gazu i jego gęstość są **wprost proporcjonalne**. Jest to stosunkowo łatwe do zrozumienia intuicyjnego. Jeśli zmniejszysz objętość gazu, zwiększając ciśnienie, ta sama ilość cząsteczek musi się zmieścić w mniejszej objętości - zostają one zagęszczone. Zatem gęstość jest wprost proporcjonalna do ciśnienia bezwzględnego.

Przy ciśnieniu dwóch barów, gaz jest dwukrotnie gęstszy niż na powierzchni. Przy ciśnieniu trzech barów jest ono trzy razy gęstsze - i tak dalej. Dlatego właśnie im głębiej się znajdujesz, tym szybciej zużywasz gaz oddechowy. Oddychasz powietrzem pod takim samym ciśnieniem, jakie panuje na danej głębokości.

Jeśli wykonasz pełny wdech na głębokości 10 metrów, wdychasz dwukrotnie więcej cząsteczek powietrza co przy pełnym wdechu na powierzchni. Dlatego każdy wdech na tej głębokości wymaga użycia dwukrotnie większej ilości cząsteczek gazu z butli niż na powierzchni, w związku z czym zapas gazu wystarczy na czas o połowę krótszy.

Głębokość	Ciśnienie	Objętość	Gęstość		Głębokość	Ciśnienie	Objętość	Gęstość	
0m	1 bar	1	x 1		0m	1 bar	1	x 1	
10m	2 bar	1/2	x 2		10m	2 bar	1/2	x 2	
20m	3 bar	1/3	x 3		20m	3 bar	1/3	x 3	
30m	4 bar	1/4	x 4		30m	4 bar	1/4	x 4	
40m	5 bar	1/5	x 5		40m	5 bar	1/5	x 5	

Gęstość gazu jest wprost proporcjonalna do ciśnienia. Z lewej strony, gęstość wzrasta gdy ciśnienie ściska tę samą liczbę cząsteczek w coraz mniejszej objętości. Z prawej strony, objętość się nie zmienia - tak, jak objętość twoich płuc w trakcie zanurzania na coraz większą głębokość - ale gęstość również wzrasta. Dlatego im głębiej przebywasz, tym więcej gazu pobierasz z butli przy każdym wdechu

W miarę zanurzania, ten związek pomiędzy ciśnieniem a głębokością a ilością zużywanego gazu pozostaje stały - zgodnie z prawem Boyle'a-Mariotte'a. Zatem im głębiej się znajdujesz, tym szybciej zużywasz powietrze. Przy nurkowaniu na głębokość 20 metrów (ciśnienie - 3 bary), zapas powietrza wystarczy jedynie na jedną trzecią tego czasu, co na powierzchni; przy czterech atmosferach na jedną czwartą - i tak dalej. Jest to szczególnie ważne w nurkowaniu technicznym - butla z gazem, który na powierzchni wystarczyłby na dwie godziny, na głębokości 110 metrów będzie pusta już po dziesięciu minutach. Z tego powodu nurkowie techniczni zazwyczaj używają zestawów dwubutlowych o dużej objętości, i rośnie zainteresowanie rebreatherami o obiegu zamkniętym, recyklującymi wydychany gaz.

Chociaż określanie ciśnienia panującego na danej głębokości jest skutecznym sposobem na oszacowanie czasu, na jaki wystarczy ci gaz pod wodą, nie jest to sposób niezawodny. Wynika to z nierównomiernego tempa oddychania w trakcie nurkowania, które może ulec radykalnej zmianie pod wpływem czynników takich jak zimno, wyczerpanie, stres; dodatkowo, w trakcie nurkowania rzadko przebywasz przez cały czas na jednej głębokości.



Ponieważ na dużych głębokościach gaz oddechowy jest zużywany znacznie szybciej niż na płytkiej wodzie, podczas nurkowania na duże głębokości stosuje się dwubutlowe zestawy o dużej pojemności - tak, aby zagwarantować wystarczającą ilość gazu na cały czas nurkowania

Jest oczywiste, że prawo Boyle'a-Mariotte'a ma wiele zastosowań w nurkowaniu. Za każdym razem gdy nurkujesz, zabierasz ze sobą pod wodę napętlone gazem „zbiorniki” - butlę, jacket, maskę, zatoki i płuca. Także neopren twojego mokrego skafandra zawiera miliony drobnych pęcherzyków gazu, które

zmieniają objętość w miarę zanurzania i wynurzania. Dlatego w miarę zanurzania twój mokry skafander ma coraz mniejszą wyporność i zapewnia coraz słabszą izolację.

Prawo Charlesa.

Doświadczenia Boyle’a dotyczyły wzajemnych relacji objętości i ciśnienia, nie brały jednak pod uwagę trzeciego czynnika - temperatury. Wpływ temperatury na zachowanie gazów został po raz pierwszy zbadany przez francuskiego naukowca, Jacquesa Charlesa, którego prace zostały w większości opisane później przez jego kolegę, Josepha Gay-Lussaca.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Wyobraź sobie, że masz pełną butlę, ale planujesz nurkowanie w zimnej wodzie. Prawo Charlesa pozwala określić spadek ciśnienia w butli, gdy obniży się jej temperatura.

Charles stwierdził, że przy stałym ciśnieniu, wzrost temperatury powoduje zwiększenie objętości gazu w zbiorniku. Natomiast przy stałej objętości, wzrost temperatury powoduje wzrost ciśnienia. Innymi słowy, prawo Charlesa stwierdza, że zmiana ciśnienia lub objętości w danej objętości gazu jest wprost proporcjonalna do zmiany bezwzględnej temperatury. Przykładem tej własności jest ogólna zasada, że ciśnienie w pełnej butli wzrośnie o 0,6 bara na każdy stopień Celsjusza. Jest to tylko przybliżenie, niemniej dość dokładnie oddające rzeczywistość. Aby wykonać dokładne obliczenia, musimy zastosować prawo Charlesa. Jest najbardziej użyteczne, gdy połączymy je z prawem Boyle’a - Marriotte’a:

$$P \times V = K \times T$$

$$\frac{P \times V}{T} = K$$

W powyższym wzorze, P to ciśnienie bezwzględne, V to objętość, T - temperatura bezwzględna, a K to wielkość stała dla danego układu.

Podobnie jak w poprzednim rozdziale, ponieważ K jest wielkością stałą, we wzorze możemy porównać równania dla dwóch zestawów objętości, ciśnienia i temperatury

$$\frac{P_1 \times V_1}{T_1} = K = \frac{P_2 \times V_2}{T_2}$$

Równanie to bierze pod uwagę wszystkie możliwe czynniki - ciśnienie, objętość i temperaturę, i jest matematycznym sposobem zapisu Ogólnego Prawa Gazowego dla Gazów Idealnych. Poniżej znajduje się kilka przykładów użycia Ogólnego Prawa Gazowego w sytuacjach nurkowych.

Podczas napełniania, twoja 12-litrowa butla osiąga temperaturę 52°C podczas napełniania do 200 bar. Woda, w której zamierzasz nurkować, ma temperaturę 7°C, i chciałbyś wyliczyć ciśnienie w butli po wejściu do wody.

P_1 200 bar (ciśnienie względne) + 1 bar = 201 bar (ciśnienie absolutne)

V_1 ponieważ objętość butli jest niezmienna ($V_1 = V_2 = 12$ litrów), możemy usunąć objętość z obu stron równania

T_1 52°C + 273°C = 325 K (kelwinów)

T_2 7°C + 273°C = 280 K (kelwinów)

Ponieważ z równania usunęliśmy objętość, równanie uległo uproszczeniu:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Po podstawieniu wartości pod symbole, otrzymujemy:

$$\frac{201 \text{ bar}}{325 \text{ K}} = \frac{P_2}{280 \text{ K}}$$

a po przekształceniu

$$P_2 = \frac{201 \text{ bar} \times 280 \text{ K}}{325 \text{ K}}$$

$P_2 = 173$ bar (ciśnienie absolutne) - 1 bar = 172 bary (ciśnienie względne)

Nurek komercyjny, zaopatrywany w powietrze z powierzchni, ma do dyspozycji kompresor o wydajności 500 litrów na minutę. Temperatura na powierzchni wynosi 29 °C, zaś na głębokości 55 metrów, gdzie będzie pracował, temperatura wody wynosi 5 °C. Ile powietrza będzie w stanie dostarczyć na minutę na tą głębokość?

P_1 1 bar (ciśnienie absolutne)
 V_1 500 litrów
 T_1 302 K
 P_2 6,5 bara (ciśnienie absolutne)
 T_2 278 K
 V_2 szukana objętość

$$\frac{1 \text{ bar} \times 500 \text{ litrow}}{302 \text{ K}} = \frac{6,5 \text{ bara} \times V_2}{278 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{1 \text{ bar} \times 278 \text{ K} \times 500 \text{ litrow}}{302 \text{ K} \times 6,5 \text{ bara}}$$

$V_2 = 70,81$ litra na minutę

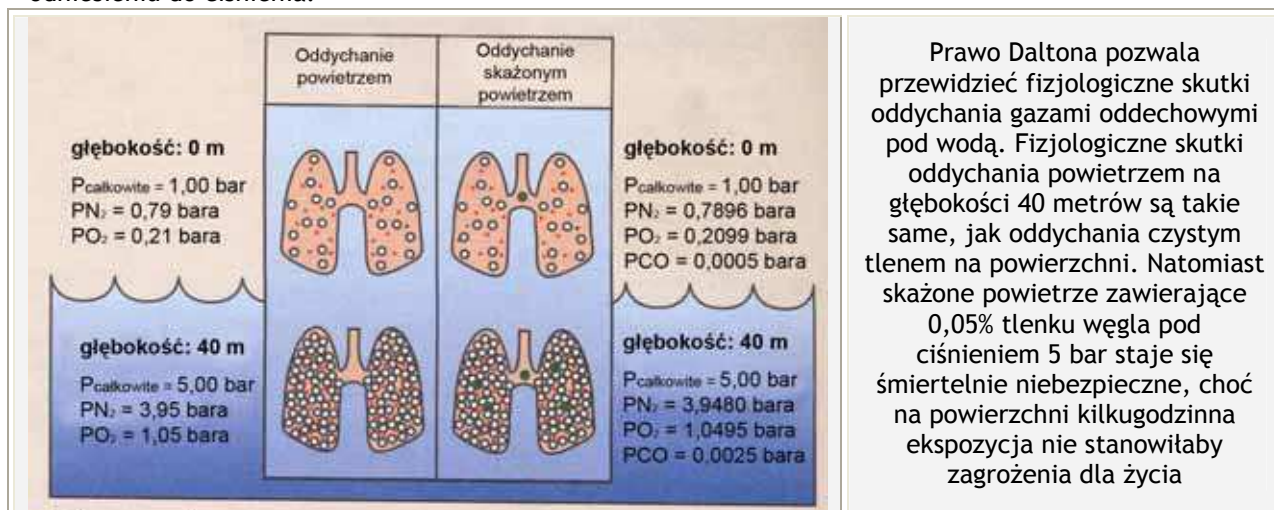
Taką wydajność będzie mieć na głębokości 55m powierzchniowy kompresor.

Prawo Daltona.

Prawo Boyle’a-Mariotte’a, Charlesa i oba razem w postaci Ogólnego Prawa Gazowego opisują zachowanie dowolnego gazu bądź mieszanki gazów - czyli zarówno czystego tlenu, powietrza, nitroksu, jak i trimiksu. Prawa te umożliwiają określenia ilości posiadanego gazu i zmian jego objętości, są zatem bardzo istotne dla nurków.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Stosujesz prawo Daltona dla określenia maksymalnej głębokości podczas nurkowania na wzbogaconym powietrzu. Razem z prawem Henry’ego, jest kluczowe dla układania modeli dekompresyjnych przez twój komputer nurkowy bądź tabele nurkowe.

Spójrzmy teraz na inne właściwości gazów, szczególnie odnoszące się do fizjologii. Gdy mówimy o oddychaniu mieszkanką gazową, poszczególne gazy wchodzące w jej skład zaczynają mieć znaczenie. Gdy gazy mieszają się, ich cząsteczki rozpraszane są równomiernie. Oznacza to, że chociaż mogą różnić się masą cząsteczkową i wielkością, to dzięki ich bezustannemu ruchowi będą wymieszane równomiernie. Jednak w obrębie tej jednorodnej mieszanki, każdy z gazów wykazuje swoje indywidualne zachowanie w odniesieniu do ciśnienia.



Pierwszą osobą, która zbadała to zjawisko był angielski naukowiec John Dalton - znany również jako ten, który pierwszy stwierdził, że materia złożona jest z atomów. Wyniki jego doświadczeń nad zachowaniem

gazów w mieszkankach opisuje prawo Daltona: całkowite ciśnienie mieszaniny gazów jest równe sumie ciśnień poszczególnych gazów wchodzących w skład tej mieszaniny - każdy gaz zachowuje się, jakby tylko on był obecny i zajmował całą przestrzeń.

W skrócie oznacza to, że każdy z gazów wchodzących w skład mieszaniny zachowuje się niezależnie od innych. Indywidualne ciśnienie wywierane przez każdy z gazów składowych jest proporcjonalne do ilości cząsteczek tego gazu w mieszaninie. To indywidualne ciśnienie wywierane przez każdy z gazów tworzących mieszaninę określane jest jako ciśnienie parcjale (partial pressure, oznaczane jako pp lub z literą P przed nazwą gazu - np. PO₂). Tak jak wskazuje nazwa, ciśnienie parcjale gazu w mieszaninie jest częścią całkowitego ciśnienia wywieranego przez mieszaninę. Zrozumienie pojęcia ciśnienia parcjale jest ważne, ponieważ, jak wkrótce się dowiesz, zarówno rozpuszczalność, jak i dyfuzja gazów w tkankach ciała są proporcjonalne do ciśnienia parcjale tego gazu.

Jako przykład, weźmy powietrze. Dla uproszczenia, zignorujemy gazy śladowe zakładając, że powietrze składa się z 21% tlenu i 79% azotu. Zatem, zgodnie z prawem Daltona, 21% całkowitego ciśnienia będzie wywierane przez cząsteczki tlenu, a 79% całkowitego ciśnienia będzie wywierane przez cząsteczki azotu w mieszaninie. Jeśli całkowite ciśnienie wynosi 1 bar (ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza), to ciśnienie parcjale tlenu wyniesie 0,21 bara, a ciśnienie parcjale azotu - 0,79 bara. Zamiast barów, można w analogiczny sposób użyć dowolnych innych jednostek, np. psi bądź kg/cm², jednak w zastosowaniach nurkowych ciśnienia parcjale zazwyczaj podaje się w barach.

Formuła T

Możesz używać prawa Daltona dla określenia ciśnienia parcjale danego gazu przy danym ciśnieniu absolutnym i zawartości gazu w mieszaninie; albo dla określenia zawartości gazu w mieszaninie znając ciśnienie parcjale i absolutne; albo też dla określenia ciśnienia parcjale gdy znasz frakcję gazu i ciśnienie absolutne. Jeżeli znasz dwie z wielkości występujących w równaniu, możesz wyliczyć trzecią. Aby ułatwić sobie zadanie, możesz skorzystać z Formuły T:

$$\frac{P_g}{F_g \mid P_{\text{całkowite}}}$$

W formule tej, P_g to ciśnienie parcjale gazu, F_g - frakcja gazu w mieszaninie (wyrażona jako ułamek dziesiętny, np 36% to 0,36), zaś P_{całkowite} to ciśnienie bezwzględne.

Aby skorzystać z Formuły T, zakryj wielkość której poszukujesz, i zrób to, na co wskazują dwie pozostałe. Na przykład, jeśli znasz F_g i P_{całkowite}, i chcesz wyliczyć P_g, zakrywasz je. F_g i P_{całkowite} znajdują się obok siebie, czyli te dwie wartości należy pomnożyć by otrzymać P_g. Jeśli natomiast znasz P_g i F_g, a chcesz wyliczyć P_{całkowite}, zakrywasz P_{całkowite}, pozostawiając P_g nad F_g. Zatem, aby wyliczyć P_{całkowite}, musisz podzielić P_g przez F_g.

Przykład:

Planujesz nurkowanie na głębokość 20 m, i nie chcesz by ciśnienie parcjale przekroczyło 1,2 bara. Jaka byłaby maksymalna zawartość tlenu w twojej mieszance?

Spośród wartości zestawionych w Formule T, znasz P_g (PO₂ = 1,2 bara) i P_{całkowite} (głębokość 20 metrów - czyli 3 bary), i chcesz wyliczyć F_g (zawartość tlenu w mieszance). Po zastąpieniu F_g w formule pozostaje P_g nad P_{całkowitym}. Dzielisz zatem P_g przez P_{całkowite}, otrzymując 1,2 ÷ 3 = 0,4, czyli 40%. To jest maksymalne stężenie tlenu w twojej mieszance.

Wyobraź sobie, że ciśnienie wzrasta dwukrotnie. Wzajemne proporcje tlenu i azotu nie uległy zmianie, zatem oba gazy wywierają ciśnienia parcjale stanowiące taką samą jak poprzednio część całkowitego ciśnienia. Gdy całkowite ciśnienie wynosi 2 bary, ciśnienie parcjale tlenu wyniesie 0,21 × 2 = 0,42 bara, a ciśnienie parcjale azotu 0,79 × 2 = 1,58 bara.

Matematycznie, prawo Daltona można zapisać jako:

$$P_{\text{całkowite}} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

We wzorze $P_{\text{całkowite}}$ to całkowite ciśnienie, zaś P_1 , P_2 itd. oznaczają ciśnienia parcjalne poszczególnych gazów.

Zgodnie z prawem Daltona, możemy łatwo wyliczyć ciśnienie parcjalne dowolnego ze składników mieszaniny gazowej o znanym ciśnieniu, mnożąc procentową zawartość tego gazu w mieszaninie przez całkowite ciśnienie bezwzględne.

$$P_1 = P_{\text{całkowite}} \times \% \text{zawartość gazu}$$

Spójrzmy na przykład typowy dla nurkowania technicznego: jakie będą ciśnienia parcjalne w trimiksie Tx16/33 (mieszaninie zawierającej 16% tlenu, 33% helu i 51% azotu) na głębokości 67 metrów?

$P_{\text{całkowite}} = 7,7 \text{ bara}$ ($67 \div 10 = 6,7 \text{ bara}$ ciśnienie hydrostatyczne + 1 bar ciśnienie atmosferyczne = 7,7 ciśnienie całkowite)

$$P_{O_2} (\text{tlen}) = 0,16 \times 7,7 \text{ bara} = 1,23 \text{ bara}$$

$$P_{N_2} (\text{azot}) = 0,51 \times 7,7 \text{ bara} = 3,93 \text{ bara}$$

$$P_{He} (\text{hel}) = 0,33 \times 7,7 \text{ bara} = 2,54 \text{ bara}$$

Zauważ, że jeśli zsumujemy wszystkie ciśnienia parcjalne, otrzymamy całkowite ciśnienie 7,7 bara. Jeśli to konieczne, ciśnienie parcjalne może zostać wyliczone w barach, i następnie przeliczone na inne wartości. Jaka zatem będzie wartość ciśnienia parcjального P_{N_2} z poprzedniego zadania w kg/cm^2 i w psia?

$$3,92 \text{ bara} \times 1,03 = 4,04 \text{ kg/cm}^2 \text{ ciśnienie bezwzględne}$$

$$3,92 \text{ bara} \times 14,7 = 57,6 \text{ psia}$$

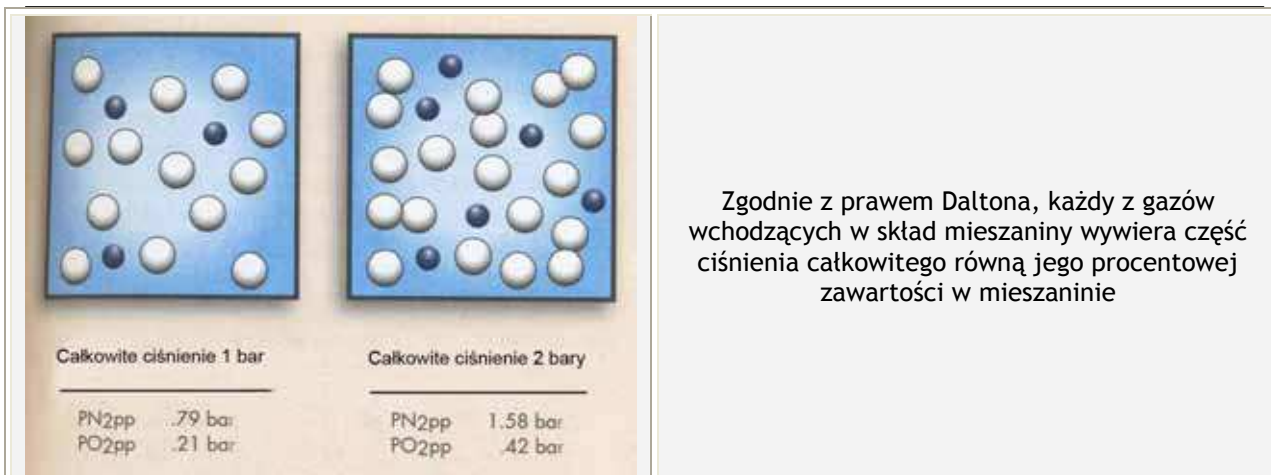
Inaczej niż w nurkowaniu, w medycynie często wyraża się ciśnienie parcjalne w milimetrach słupa rtęci (mmHg). Aby zamienić ciśnienie parcjalne w barach na mmHg, należy pomnożyć wartość przez 760. Dla powyższego przykładu:

$$3,92 \text{ bara} \times 760 = 2979 \text{ mmHg}$$

Zastanowimy się teraz, dlaczego ciśnienia parcjalne są dla nas istotne. Jak dowiedziałeś się podczas dyskusji na temat prawa Boyle’a-Marriott’a i oddychania na głębokości, pod wodą każda porcja powietrza zawiera więcej cząsteczek niż porcja o takiej samej objętości na powierzchni. Oznacza to, że chociaż procentowy skład mieszaniny gazów jest taki sam pod wodą i na powierzchni, to ilość cząsteczek gazów wzrasta wraz z głębokością i ciśnieniem. Na przykład, jeżeli twoja teoretyczna pojemność płuc na powierzchni wynosi 100×10^{21} cząsteczek gazu, to 79×10^{21} z nich to cząsteczki azotu, a 21×10^{21} – cząsteczki tlenu (przyjmując w uproszczeniu, że powietrze składa się z 79% azotu i 21% tlenu i nie biorąc pod uwagę gazów śladowych). Gdybyś natomiast oddychał na powierzchni czystym tlenem, w każdym wdechu pobierałbyś 100×10^{21} cząsteczek tlenu.

Ale wróćmy do powietrza: jeżeli ciśnienie wzrosłoby pięciokrotnie, tak jak podczas nurkowania na głębokość 40 metrów, potrzebowałbyś 500×10^{21} cząsteczek gazu aby uzyskać tę samą objętość płuc. Z tej nowej ilości, 395×10^{21} ($0,79 \times 500 \times 10^{21}$) byłoby cząsteczkami azotu, zaś 105×10^{21} ($0,21 \times 500 \times 10^{21}$) byłoby cząsteczkami tlenu. Jest to w przybliżeniu taka sama ilość jak ta, którą wdychasz oddychając czystym tlenem na powierzchni.

Zamiast liczyć cząsteczki, Dalton posłużył się ciśnieniami parcjalnymi. Na przykład, spójrzmy na ciśnienia parcjalne tlenu w powyższych przykładach. Na powierzchni, gdy oddychasz powietrzem, ciśnienie parcjalne tlenu wynosi 0,21 bara ($0,21 \times 1 \text{ bar}$), ale gdy oddychasz czystym tlenem, P_{O_2} wynosi 1 bar ($1,0 \times 1 \text{ bar}$). Na głębokości 40 metrów, ciśnienie parcjalne tlenu także w przybliżeniu wynosi 1 bar (całkowite ciśnienie na głębokości 40 metrów wynosi 5 barów, $0,21 \times 5 \text{ barów} = 1,05 \text{ bara}$). Dlatego fizjologiczny wpływ tlenu jest taki sam, bez względu na to czy oddychasz czystym tlenem na powierzchni, czy powietrzem na głębokości 40 metrów. Z fizjologicznego punktu widzenia, wpływ gazu na organizm zależy wyłącznie od jego ciśnienia parcjального. Różne gazy obecne w mieszaninie mogą mieć swoje odrębne efekty, ale nie wpływają one bezpośrednio na siebie.



Zjawisko to jest szczególnie ważne zarówno w nurkowaniu rekreacyjnym, jak i technicznym ze względu na fakt, że tlen staje się toksyczny w chwili, gdy jego ciśnienie parcjalne przekracza 1,4 bara. Chociaż nie przekroczysz tego limitu nurkując z powietrzem w granicach nurkowania rekreacyjnego, to w trakcie nurkowania z użyciem nitroksu (mieszanki tlenu z azotem, o zawartości tlenu wyższej niż w powietrzu) może się to zdarzyć. Mieszanki nitroksowe różnią się zawartością tlenu, i w związku z tym mają różną maksymalną głębokość operacyjną - czyli głębokość, na której ciśnienie parcjalne tlenu osiągnie wartość 1,4 bara. W nurkowaniu technicznym, nawet powietrze zawiera zbyt wiele tlenu w trakcie nurkowania poniżej 67 metrów. Dlatego nurkowie techniczni, schodzący na duże głębokości, używają gazów oddechowych zawierających hel - pozwalający na zmniejszenie ciśnienia parcjalnego tlenu, jak i ciśnienia parcjalnego wywołującego narkozę azotu. Nurkowie techniczni zwykle biorą ze sobą na nurkowanie jedną lub więcej mieszanek oddechową do użycia w trakcie dekompresji - każda z nich o określonej zawartości tlenu, i o wyznaczonej maksymalnej głębokości operacyjnej w oparciu o PO₂. Prawo Daltona może być również wykorzystane przy rozpatrywaniu zanieczyszczeń gazów oddechowych. Stosując prawo Daltona, możesz porównać efekt oddychania gazem o określonym stężeniu parcjalnym w mieszance używanej na określonej głębokości z efektem oddychania mieszaną zawierającą większą ilość tego gazu na powierzchni. Jest to tak zwany ekwiwalent powierzchniowy (surface equivalency). Na przykład, wyobraź sobie, że na skutek awarii sprężarki przy nieefektywnym systemie filtracji, butla nurkowa została nabitą gazem zawierającym 0,05% tlenku węgla (CO). Chociaż jest to wysoce niepożądane, kilkugodzinne oddychanie tlenkiem węgla o takim stężeniu na powierzchni - czyli pod ciśnieniem parcjalnym PCO = 0,0005 bara - nie będzie stanowić zagrożenia dla życia. Jednak na głębokości 40 metrów, przy ciśnieniu absolutnym równym 5 bar, sytuacja się zmienia. Teraz PCO wyniesie 0,0025 bara, i ilość molekuł CO wdychanych przez nurka jest taka, jakby na powierzchni oddychał mieszaną zawierającą 0,25% CO. Jest to śmiertelnie niebezpieczne. Dlatego ekwiwalentem powierzchniowym opisanej mieszanki podczas nurkowania na 40 m jest mieszanka oddechowa zawierająca 0,25% tlenku węgla. W składzie mieszanki w butli nic się oczywiście nie zmieniło, ale inne są fizjologiczne konsekwencje oddychania mieszaniną na skutek wzrostu ciśnienia parcjalnego gazu toksycznego.

Ciśnienie a nurkowanie na wysokości

Jak zapewne wiesz, obniżone ciśnienie atmosferyczne na wysokościach przekraczających 300 m n.p.m. wymaga odbycia osobnego szkolenia i wymusza nurkowanie z użyciem specjalnych zasad. Przy użyciu zwykłych tabel, konieczne jest stosowanie specjalnych poprawek. Prawa Boyle'a-Marriott'e'a, Charlesa i równanie stanu gazu doskonałego obowiązują tak samo, jak na poziomie morza - chociaż przy wykonywaniu obliczeń musisz wziąć pod uwagę obniżone ciśnienie atmosferyczne na wysokości. Ponieważ powietrze jest ściśliwe, zmiana ciśnienia przy zmianie wysokości o określoną wartość nie jest stała, jak to ma miejsce w wodzie. W wodzie morskiej, zmiana głębokości o 10 metrów zawsze powoduje zmianę ciśnienia o 1 atmosferę. Jednak powietrze jest ściskane przez powietrze powyżej, i im niżej, tym jest gęstsze - w związku z czym różnica ciśnień pomiędzy wysokościami 0 i 300 m n.p.m. jest większa niż między wysokościami 3000 i 3300 metrów. Możesz określić bezwzględne ciśnienie na danej wysokości w metrach słupa wody morskiej, stosując

następujący wzór:

ciśnienie = $10 \div 2,718(0,000125 \times \text{wysokość n.p.m.})$

Jednak dla celów nurkowych, wystarczającą jest zgrubna metoda obliczania ciśnienia, polegająca na odejmowaniu 0.035 atm na każde 300 metrów wysokości n.p.m., aż do wysokości 3000 m. Niektórzy odejmują 0.1 atm na każde 1000 m, co daje zbliżone wyniki. Żadne z tych dwóch przybliżeń nie jest precyzyjne, ale oba są wystarczająco dokładne dla celów nurkowych. Poniżej użyjemy pierwszej z metod.

Wyobraź sobie nurkowanie w górskim jeziorze położonym na wysokości 1800 metrów. Twój głębokościomierz został ustawiony na tę wysokość, i wskazuje głębokość 10 m (został skalibrowany na wodę morską, zatem w rzeczywistości znajdujesz się nieco głębiej niż 10 m. Nie ma to jednak znaczenia, gdyż interesuje nas ciśnienie, a nie sama głębokość). Jeżeli wypuścisz bojkę zawierającą 1 litr powietrza, jaką objętość będzie mieć to powietrze na powierzchni?

Ciśnienie na powierzchni, P2, wynosi 0,79 atm ($1800 \text{ m} \div 300 = 6$; $6 \times 0,035 = 0,21 \text{ atm}$; $1,00 \text{ atm} - 0,21 \text{ atm} = 0,79 \text{ atm}$).

Całkowite ciśnienie pod wodą, P1, wynosi 1,79 atm ($1,00 \text{ atm}$ ciśnienia hydrostatycznego + $0,79 \text{ atm}$ ciśnienia atmosferycznego = $1,79 \text{ atm}$).

Objętość powietrza pod wodą, V1, to 1 l.

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

$$V2 = P1 \times V1 \div P2$$

$$V2 = 1,79 \text{ atm} \times 1 \text{ l} \div 0,79 \text{ atm}$$

$$V2 = 2,26 \text{ l}$$

Na skutek obniżonego ciśnienia atmosferycznego na wysokości, wzrost objętości gazu podczas wynurzenia z głębokości 10 m do powierzchni jest większy niż na poziomie morza - zgodnie z prawem Boyle'a-Mariotte'a.

Nitroks a prawo Daltona

Jak zapewne wiesz, nitroks (EANx) to mieszanina azotu i tlenu o wyższej zawartości O2 niż w powietrzu - czyli o obniżonej zawartości azotu, co pozwala na wydłużenie czasów bezdekompresyjnych. Z tego powodu, nitroks staje się coraz popularniejszy wśród nurków rekreacyjnych. Używany jest też przez nurków technicznych dla przyspieszenia usuwania azotu i/lub helu z tkanek ciała, i tym samym dla skrócenia czasu dekompresji.

Nurkując rekreacyjnie z nitroksem, zazwyczaj stosujesz specjalne nitroksowe tabele bądź ustawiasz komputer nurkowy w tryb nitroksowy, tak aby nie przekroczyć limitów bezdekompresyjnych. Możesz także wyliczać Równoważną Głębokość Powietrzną (Equivalent Air Depth - EAD) dla danej głębokości rzeczywistej podczas nurkowania z nitroksem, która pozwoli ci używać standardowych tabel powietrznych. Formuła wyliczania EAD opiera się na Prawie Daltona:

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

Z matematycznego punktu widzenia, formuła ta wyznacza głębokość, na której PN2 podczas nurkowania na powietrzu byłaby taka sama, jak na danej głębokości w czasie nurkowania na nitroksie o odpowiedniej zawartości tlenu. Określenie $(1 - \% \text{tlenu})$ określa procentową zawartość azotu w nitroksie, zaś $(\text{głębokość} + 10)$ określa całkowite ciśnienie wyrażone w metrach słupa wody. Po pomnożeniu tych dwóch wartości otrzymujesz PN2 wyrażone w mswa. Po podzieleniu tej wartości przez 0,79, czyli frakcję azotu w powietrzu, uzyskujesz „głębokość” w mswa (uwaga - uwzględniając ciśnienie wywierane przez atmosferę!), na której ciśnienie parcjale azotu w powietrzu miałoby taką samą wartość. Po odjęciu 10 przeliczasz ciśnienie absolutne na ciśnienie hydrostatyczne - jest to wartość podawana przez głębokościomierz.

Także podczas obliczania maksymalnej głębokości na jaką możesz zejść oddychając daną mieszanką nitroksową stosujesz prawo Daltona: $PO2 = P\text{CAŁKOWITE} \times \%O2$, przy czym maksymalne PO2 to 1,4 bara. Wyobraź sobie, że nurkujesz z nitroksem EANx36 (36% tlenu):

$$1,4 \text{ bar} = P\text{CAŁKOWITE} \times 0,36$$

$$P\text{CAŁKOWITE} = 3,9 \text{ bar}$$

Po przeliczeniu barów na metry słupa wody otrzymujesz wartość 39 mswa, od której należy odjąć 10 by uzyskać głębokość wynoszącą 29 metrów. Jak widać, nurkując na nitroksie 36 jest możliwe przekroczenie maksymalnej dozwolonej głębokości, pomimo pozostawania w granicach limitów nurkowania rekreacyjnego (40 metrów)

Prawo Henry’ego.

Codziennie mamy do czynienia z roztworami różnych substancji - na przykład wtedy, gdy mieszamy cukier z kawą. Częsteczki substancji rozpuszczonej (w powyższym przykładzie, cukru) zostają równomiernie wymieszane i rozmieszczone wśród cząsteczek rozpuszczalnika (wody). Chociaż substancja rozpuszczona i rozpuszczalnik współwystępują, obie substancje wciąż wykazują cechy indywidualne.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Prawo Henry’ego stanowi teoretyczną podstawę modeli dekompresyjnych. Bez zrozumienia, w jaki sposób gazy rozpuszczają się w cieczach i jak opuszczają roztwór (lub tkanki pletwonurka), nie mielibyśmy tablic nurkowych ani komputerów pozwalających nam na zmniejszenie ryzyka choroby dekompresyjnej przez wyliczenie czasów bezdekompresyjnych i harmonogramów dekompresji.

Zapewne myślisz o roztworach jako o cieczach, w których są rozpuszczone ciała stałe (na przykład, cukier rozpuszczony w wodzie); jednak roztwory powstają również przez rozpuszczenie w cieczy gazu. Może najlepiej znanym przykładem takich roztworów są napoje gazowane: po otwarciu butelki lub puszki powierzchnia napoju burzy się i pieni, gdy rozpuszczony w napoju dwutlenek węgla uchodzi z roztworu. Przykład ten ukazuje, że gazy ulegają rozpuszczeniu w cieczach, a po zmianie warunków zewnętrznych ilość gazu, która może pozostać w roztworze, ulega zmianie.

Podczas dyskusji o stanach materii dowiedziałeś się, że stan ciekły wykazuje cechy pośrednie pomiędzy stanami stałym i gazowym. W cieczy, względne odległości pomiędzy cząsteczkami są mniejsze niż w gazie, ale większe niż w ciele stałym⁶ - pozostaje zatem dostatecznie dużo miejsca, by cząsteczki gazów mogły wnikać pomiędzy cząsteczki cieczy. Proces przenikania gazów do roztworu nazywamy rozpuszczaniem gazu w cieczy.



Być może najlepiej znanymi przykładami działania prawa Henry’ego są napoje gazowane. Gdy otworzysz butelkę, rozpuszczony pod zwiększonym ciśnieniem dwutlenek węgla gwałtownie opuszcza roztwór. Jest to dowodem, że gazy rozpuszczają się w cieczach, a przy zmianie warunków środowiska ilość gazu rozpuszczonego w roztworze może ulec zmianie

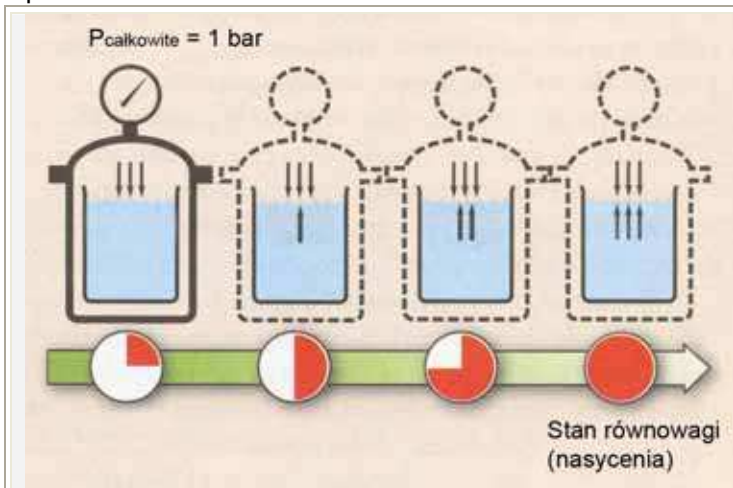
Ciekawą cechą gazów rozpuszczonych w wodzie jest to, że zachowują one własności typowe dla gazów. Chociaż są całkowicie otoczone przez cząsteczki cieczy - rozpuszczalnika, cząsteczki gazu wciąż wywierają ciśnienie. Takie ciśnienie wywierane przez cząsteczki danego gazu rozpuszczonego w cieczy nazywane jest prężnością gazu (gas tension).

William Henry, angielski chemik i fizyk, współpracownik Johna Daltona, był jedną z pierwszych osób badających zachowanie gazów rozpuszczonych w cieczach. Wnioski, do których doszedł w trakcie swoich eksperymentów, ujmuje prawo Henry’ego: ilość gazu, która rozpuszcza się w cieczy w danej temperaturze, jest wprost proporcjonalna do ciśnienia parcyjnego tego gazu. Istnieją zatem dwa

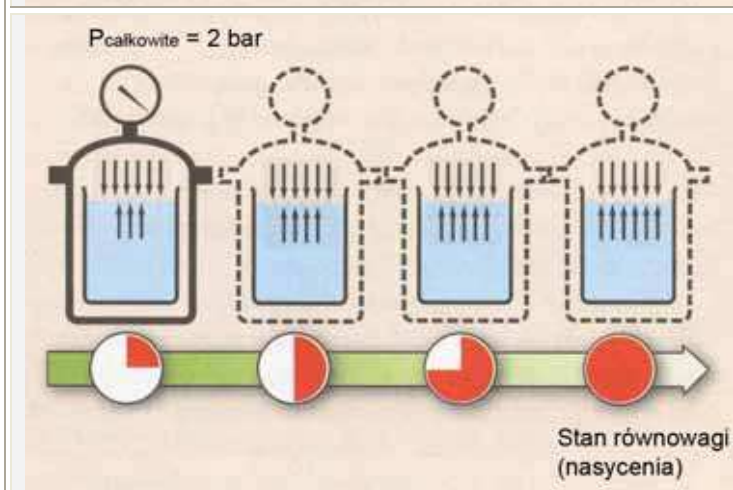
⁶ Jak pamiętasz z wcześniejszej części rozdziału, woda jest jednym z nielicznych wyjątków - średnie odległości między cząsteczkami są większe w stanie stałym niż w stanie ciekłym. (przyp. tłum.)

podstawowe czynniki wpływające na rozpuszczalność gazu w cieczy: ciśnienie parcjale gazu i temperatura. Także ciecze różnią się rozpuszczalnością wobec konkretnych gazów.

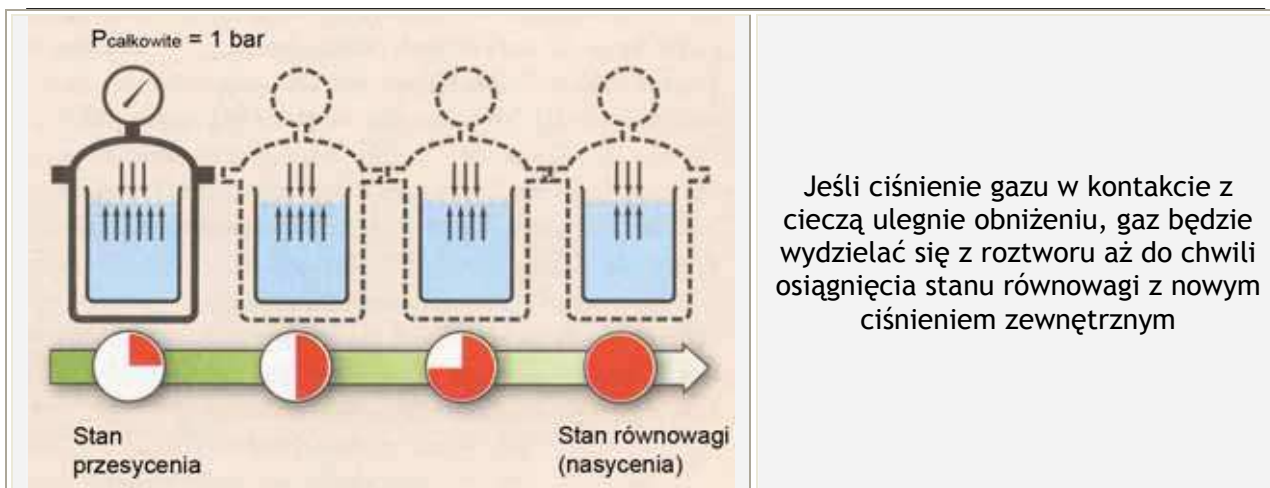
Jako nurkowie, zainteresowani jesteśmy przede wszystkim rozpuszczalnością gazów w wodzie, która jest rozpuszczalnikiem stanowiącym większą część masy naszych ciał. Wyobraź sobie teoretyczne wiadro wody, nie zawierającej żadnych rozpuszczonych gazów. W takim wiadrze, prężność gazów wynosi zero. Gdy tylko woda wejdzie w kontakt z gazem, jego cząsteczki zaczną przenikać do cieczy - przepływając ze strefy wysokiego ciśnienia do strefy niskiego ciśnienia, podobnie jak wówczas, gdy otworzysz zawór napełnionej butli i sprężone powietrze wypływa na zewnątrz. Gaz będzie się rozpuszczał w wodzie aż do momentu, gdy prężność tego gazu (ciśnienie) osiągnie taką samą wartość, jak jego ciśnienia parcjale ponad wiadrem.



Gaz będący w kontakcie z cieczą rozpuszcza się w niej, aż do chwili osiągnięcia stanu równowagi ze środowiskiem zewnętrznym. Jest to stan wysycenia



Jeśli wzrośnie ciśnienie gazu będącego w kontakcie z cieczą, gaz będzie się rozpuszczał aż do chwili osiągnięcia nowego stanu równowagi



Jeśli ciśnienie gazu w kontakcie z cieczą ulegnie obniżeniu, gaz będzie wydzielać się z roztworu aż do chwili osiągnięcia stanu równowagi z nowym ciśnieniem zewnętrznym

Zjawisko to przebiega w ten sam sposób wówczas, gdy w kontakcie z wodą znajdzie się mieszanina gazów - na przykład powietrze. Zgodnie z prawem Daltona, każdy z gazów znajdujących się w kontakcie z wodą będzie się w niej rozpuszczał aż do chwili, gdy jego prężność w roztworze będzie miała taką samą wartość, jak jego ciśnienie ponad roztworem. Każdy z gazów w mieszaninie będzie się zachowywał niezależnie od innych. Jeśli więc włożysz do komory ciśnieniowej zawierającej czysty azot wspomniane wyżej wiadro wody pozbawione wszelkich gazów, N_2 będzie rozpuszczał się w roztworze aż do chwili, gdy jego prężność w roztworze zrówna się z P_{N_2} w kontakcie z cieczą. Teraz wyobraź sobie, że zwiększamy całkowite ciśnienie poprzez dodanie do komory pewnej ilości tlenu. Chociaż ciśnienie bezwzględne wzrosło, P_{N_2} w kontakcie z wodą jest takie samo, i azot już nie przechodzi do roztworu. Natomiast zacznie się w niej rozpuszczać tlen, aż do chwili, gdy jego prężność zrówna się z P_{O_2} w atmosferze komory.

Różnica pomiędzy ciśnieniem parcyjnym gazu w kontakcie z cieczą a prężnością gazu w cieczy nazywana jest gradientem ciśnień (pressure gradient). Gdy gradient ciśnień jest duży, tempo wnikania cząsteczek gazu do wody jest wysokie. W miarę rozpuszczania gazu w wodzie maleje gradient ciśnień, i spada tempo przenikania cząsteczek gazu do wody.

Gdy prężność gazu w cieczy osiągnie równowagę z ciśnieniem parcyjnym gazu pozostającego w kontakcie z cieczą, nie następuje już przyrost ani spadek całkowitej ilości rozpuszczonego gazu w cieczy.

Poszczególne cząsteczki będą rozpuszczać się w cieczy i jednocześnie opuszczać ją - niemniej całkowita ilość cząsteczek rozpuszczonych będzie pozostawać na stałym poziomie. Ciecz zawierającą taką stałą ilość cząsteczek gazu określamy jako wysyconą tym gazem.

Wyobraź sobie, że poprzednio opisaną wodę pozostawiono w komorze rekompresyjnej wypełnionej azotem i tlenem wystarczająco długo, by nastąpiło wysycenie wody tymi dwoma gazami. Gdy podniesiesz ciśnienie poprzez dodanie do komory azotu, woda przestanie być wysyciona azotem, który będzie rozpuszczał się w niej aż do chwili zrównania prężności azotu w wodzie z ciśnieniem parcyjnym tego gazu ponad roztworem. Jednak w odniesieniu do tlenu, woda pozostaje wysyciona tym gazem, jako że P_{O_2} pozostaje stałe. Tylko podniesienie ciśnienia parcyjnego tlenu przez dodanie O_2 do komory może spowodować zwiększenie ilości tego gazu w roztworze. Zatem, im większe ciśnienie parcyjne gazu w kontakcie z wodą, tym więcej gazu rozpuści się w niej - i gaz będzie się rozpuszczał aż do chwili zrównania prężności gazu rozpuszczonego z jego ciśnieniem parcyjnym.

Wyobraźmy sobie teraz, że umieścisz to wiadro z wodą w komorze rekompresyjnej w atmosferze azotu i tlenu pod ciśnieniem dwóch barów na czas wystarczająco długi, by nastąpiło wysycenie wody obydwoma gazami. Co się stanie, gdy obniżysz ciśnienie do jednego bara?

Obniżenie ciśnienia w takim układzie oznacza, że prężność gazów rozpuszczonych w cieczy jest wyższa niż ciśnienia parcyjne tych samych gazów znajdujących się w kontakcie z powierzchnią. Woda będzie przesyciona gazami, czyli zawierać będzie więcej rozpuszczonych gazów niż mógłby ich pomieścić roztwór pod tym ciśnieniem. Znowu pojawi się gradient ciśnień, i gazy będą przepływać z układu o wyższym ciśnieniu do układu o niższym ciśnieniu. Tym razem układem o wyższym ciśnieniu będzie roztwór - zatem gazy będą się wydzielać z roztworu (desaturacja) aż do chwili osiągnięcia stanu równowagi z ciśnieniami parcyjnymi tych gazów w kontakcie z roztworem. Jeśli przed obniżeniem ciśnienia woda miała P_{N_2} równe 1,58 bara i P_{O_2} równe 0,42 bara, po obniżeniu ciśnienia do 1 bara oba gazy będą wydzielać się z

roztworu aż do chwili, gdy PN2 wyniesie 0,79 bara a PO2 - 0,21 bara - tyle, ile w wynoszą one w mieszaninie w kontakcie z powierzchnią wody.

Na skutek twoich doświadczeń z napojami gazowanymi, mógłbyś oczekiwać, że w wodzie pojawią się pęcherzyki w trakcie wydzielania azotu i tlenu z roztworu. W praktyce, takich pęcherzyków raczej nie zobaczysz: ciecze mogą tolerować znaczne przesylenie gazami bez formowania pęcherzyków. Zamiast tego, gaz będzie dyfundował z roztworu przez jego powierzchnię. Jeśli jednak prężność rozpuszczonego gazu będzie zbyt duża - a właściwie, jeśli gradient ciśnień będzie zbyt duży - gaz będzie wydelać się z roztworu szybciej niż może dyfundować przez powierzchnię cieczy. Wtedy dojdzie do powstania pęcherzyków. Inne czynniki, takie jak wstrząśnięcie cieczy, mogą także ułatwić powstawanie pęcherzyków.

W ten właśnie sposób prawo Henry'ego odnosi się do nurkowania i dekompresji. Podczas nurkowania jesteś poddany zwiększonemu ciśnieniu, i oddychasz gazami oddechowymi - powietrzem bądź nitroksen - pod ciśnieniem równym otaczającemu cię. W związku z tym, PN2 jest wyższe w twoich płucach niż w twojej krwi i w pozostałych twoich płynach ustrojowych. Zgodnie z prawem Henry'ego, azot rozpuszcza się w twoich tkankach (to samo dzieje się z tlenem - ale ponieważ procesy metaboliczne powodują jego szybkie zużycie, nie ma on wpływu na dekompresję). Kiedy się wynurzasz, twoje tkanki są przesycone azotem. O ile pozostałeś w granicach limitów bezdekompresyjnych tabel bądź komputera, gradient PN2 będzie na tyle niski, że nie dojdzie do tworzenia się pęcherzyków azotu odpowiadających za wystąpienie choroby dekompresyjnej.

Jeżeli przekroczysz limity bezdekompresyjne (w sposób nieplanowany podczas nurkowania rekreacyjnego, bądź zgodnie z planem - nurkując technicznie), musisz wykonać przystanek dekompresyjny. Pisząc bardzo skrótowo, przystanki są tak zaplanowane, aby po twoim wyjściu na powierzchnię nie wystąpił zbyt duży gradient ciśnień pomiędzy twoimi tkankami a otoczeniem, mogący skutkować wystąpieniem choroby dekompresyjnej. Podczas przystanku dekompresyjnego, część nadmiernie rozpuszczonego azotu dyfunduje z twoich tkanek do płuc, i następnie na zewnątrz organizmu. Gdy gradient ciśnienia obniży się wystarczająco, możesz wynurzyć się do następnego przystanku, gdzie następuje wydalenie z organizmu części pozostałego azotu - aż do chwili, gdy prężność N2 w tkankach obniży się wystarczająco, byś mógł bezpiecznie wynurzyć się na powierzchnię.

Zmienność cech ludzkiego organizmu sprawia, że fizjologia dekompresji i modelowania dekompresji są znacznie bardziej skomplikowane niż mogłoby się to wydawać na podstawie krótkiego opisu zachowania wiadra z wodą. Po pierwsze, nie wszystkie twoje tkanki pochłaniają azot w tym samym tempie, co wynika z różnic w ich przepuszczalności (zdolności do przechodzenia przez rozpuszczony azot między tkankami). Tempo pochłaniania zależy też od unaczynienia tkanek, na które z kolei mogą wpływać takie zmienne jak intensywność ruchu podczas pływnięcia bądź temperatura wody, mogąca ograniczyć krążenie w kończynach.

Inną ważną różnicą między wiadrem wody a twoim ciałem jest zróżnicowana rozpuszczalność gazów w różnych tkankach. Na przykład, w takich samych warunkach w określonej objętości tkanki tłuszczowej może się rozpuścić znacznie więcej azotu niż w tej samej objętości krwi, pomimo iż prężności azotu w stanie równowagi w obu tkankach będą takie same. W trakcie nurkowań technicznych na trimiksie (mieszanka tlenu, azotu i helu) niektóre tkanki mogą szybciej ulegać nasyceniu helum niż azotem ze względu na mniejszą gęstość i większe tempo dyfuzji He niż N2.

Ze względu na te zmienne, podczas nurkowania twoje tkanki pochłaniają i uwalniają azot (i inne gazy) w niejednakowym tempie. Po wystarczająco długim czasie pobytu na danej głębokości, wszystkie tkanki osiągnęłyby stopień wysycenia (saturacji); jednak ze względu na relatywnie krótki czas trwania nurkowań, także nurkowań technicznych, w czasie pobytu pod wodą niektóre części ciała nurka ulegają nasyceniu w dużym stopniu, podczas gdy inne nie.

Pomimo wszystkich tych zmiennych, zachowanie gazów w roztworze zgodnie z prawem Henry'ego tworzy podstawę teorii dekompresji. Fizjologowie ciągle odkrywają zachodzące w naszych ciałach procesy wpływające na zachowanie rozpuszczonych gazów, jednak wiemy już wystarczająco, by z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć efekt dekompresyjny danego profilu nurkowego. Dlatego twoje zapadnięcie na chorobę dekompresyjną jest bardzo mało prawdopodobne, pod warunkiem że przestrzegasz podstawowych zasad bezpiecznego nurkowania i pozostajesz w granicach bezpieczeństwa tabel lub komputera nurkowego.

Oprócz ciśnienia, temperatura wpływa na roztwory gazów w cieczach. Nie ma to bardzo dużego znaczenia w odniesieniu do dekompresji, jako że temperatura twojego ciała waha się w minimalnym stopniu. Natomiast zmiana rozpuszczalności gazów wraz z temperaturą ma duże znaczenie dla

podwodnych organizmów. Przykładowo, temperatura ma duży wpływ na ilość rozpuszczonego tlenu, niezbędnego rybom i innym wodnym organizmom do oddychania.

Gdy woda (lub inna ciecz) jest ogrzewana, tempo ruchów cząsteczek rośnie. Im szybciej cząsteczki rozpuszczalnika poruszają się, tym więcej miejsca potrzebują - pozostawiając mniej miejsca na cząsteczki rozpuszczonych gazów. W związku z tym, im wyższa temperatura, tym w stanie nasycenia mniejsza ilość gazu mieści się w danej objętości cieczy. Być może zauważyłeś, że otwarty ciepły napój gazowany pieni się znacznie intensywniej niż zimny. Także gdy podgrzewasz wodę, niewielkie bąbelki powietrza tworzą się na długo przedtem, nim woda zacznie się gotować. Przyspieszone ruchy cząsteczek wody powodują zmniejszenie ilości miejsca dostępnego cząsteczkom rozpuszczonego gazu, który będzie dyfundował do niewielkich kieszonek gazowych umiejscowionych na ściankach naczynia, w których utworzy pęcherzyki odrywające się następnie od ściany i wypływające na powierzchnię cieczy. Dowiesz się więcej na temat procesów zachodzących w twoim ciele pod wpływem rozpuszczonych gazów, choroby dekompresyjnej i modeli dekompresyjnych w rozdziale piątym - Płetwonurek od Wewnątrz.

Gazy, które powinieneś znać

Wiele pierwiastków występuje w naturze w stanie gazowym. Ponieważ gazy łatwo się mieszają, w naturze przeważnie spotykamy gazy wymieszane z innymi, a nie w stanie czystym. Najczęściej spotykaną mieszkanką gazową występującą na Ziemi jest oczywiście powietrze. Chociaż dla większości celów możemy przyjąć, że powietrze składa się z 79% azotu i 21% tlenu, w rzeczywistości oprócz azotu i tlenu zawiera ono także argon, dwutlenek węgla, neon, hel, krypton, wodór, ksenon, radon, tlenek węgla i szereg innych gazów.

W normalnych warunkach, skład suchego powietrza jest względnie stały, i składa się (w częściach objętościowych) z następujących gazów:

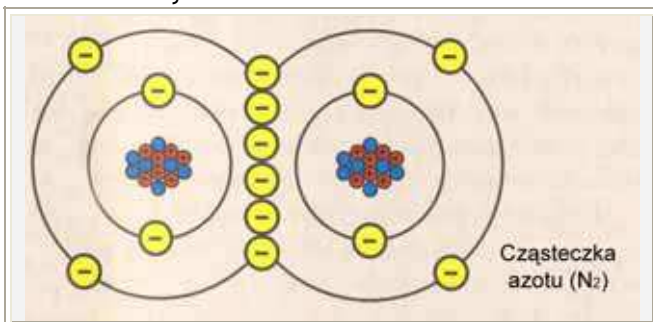
Azot	78,084%
Tlen	20,946%
Argon	0,934%
Dwutlenek węgla	0,033%

Pozostałe składniki powietrza - neon, hel, krypton, wodór, ksenon, radon i tlenek węgla - opisywane są jako gazy rzadkie, i łącznie stanowią jedynie 0,003% atmosfery.

Omówione zostaną teraz indywidualne cechy niektórych gazów, dowiesz się też o ich znaczeniu w nurkowaniu.

Azot

Azot pierwiastkowy jest spotykany bardzo często, i łatwo reaguje z innymi substancjami. Dlatego jest on spotykany w wielu naturalnych substancjach, takich jak np. białka. W powietrzu występuje azot cząsteczkowy: dwa połączone ze sobą atomy azotu tworzą jedną cząsteczkę azotu (N_2). W takim stanie, azot jest gazem obojętnym, czyli nie reagującym z innymi substancjami - przynajmniej z perspektywy płetwonurka: choć azot jest głównym składnikiem atmosfery, nasze organizmy nie używają go w trakcie oddychania. Dla roślin azot nie jest gazem obojętnym, i może uczestniczyć w ważnych procesach biochemicznych.

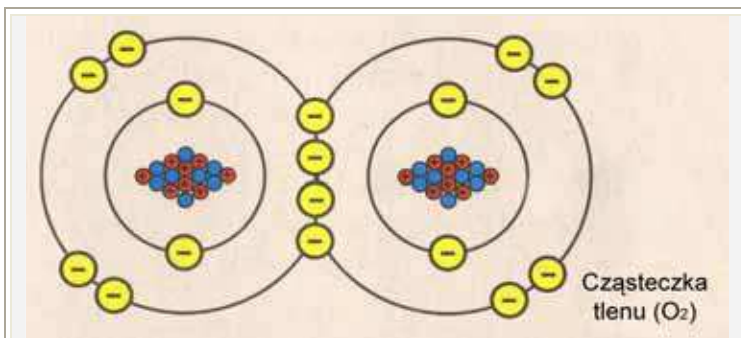


Podczas nurkowania, wdychany przez nas azot może powodować szereg problemów. Chociaż nie bierze udziału w procesach oddechowych, azot (i w różnym stopniu także inne gazy obojętne i reaktywne) wdychany pod ciśnieniem wpływa na przewodzenie sygnałów w centralnym układzie nerwowym, powodując efekt znieczulający - tak zwaną narkozę azotową, czasem określaną jako „narkozą głębin”. W Rozdziale V Encyklopedii, „Płetwonurek od wewnątrz”, znajdziesz więcej informacji na temat narkozy.

Niezależnie od narkotycznych efektów azotu wdychanego pod ciśnieniem, N_2 rozpuszcza się w tkankach podczas nurkowania, zgodnie z prawem Henry’ego. Dlatego, aby minimalizować ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej, musisz przestrzegać limitów wyznaczanych przez tabele nurkowe bądź komputer nurkowy. W nurkowaniu rekreacyjnym azot jest gazem mającym największy wpływ na

dekompresję. Jednak, jak już wkrótce się dowiesz, inne gazy także mogą powodować chorobę dekompresyjną.

Tlen



Tlen jest bardzo reaktywny, zarówno w formie pierwiastkowej, jak i cząsteczkowej (O_2): łatwo tworzy wiązania z innymi pierwiastkami, i występuje w ogromnej gamie związków chemicznych. Tlen jest też jednym z najczęściej występujących składników atmosfery. Uważa się, że częstość jego występowania jest związana z reakcjami rozpadu ozonu w górnych warstwach atmosfery, jak również z reakcjami fotosyntezy prowadzonej przez

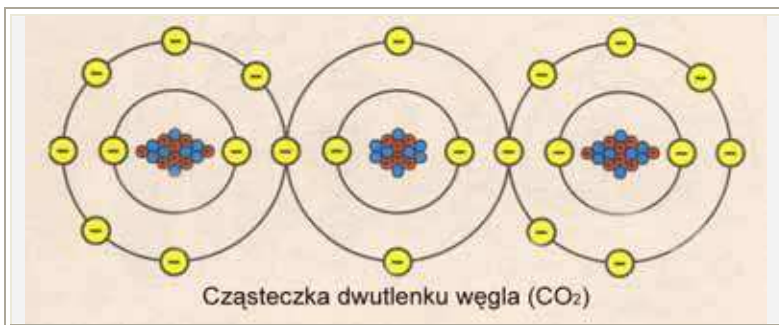
fitoplankton, zwłaszcza bruzdnice i okrzemki, w powierzchniowych, prześwietlonych warstwach oceanu. Inaczej niż to było w przypadku azotu, tlen jest niezbędny naszym organizmom do przeprowadzania procesów metabolicznych, czyli reakcji, w których z pokarmu jest pozyskiwana energia niezbędna do podtrzymywania życia. Dlatego tlen nie jest zazwyczaj problemem z punktu widzenia dekompresji. Metabolizm i inne procesy zachodzące w organizmie powodują zużywanie tlenu, tak że jego gradient ciśnienia pozostaje niski i nie przyczynia się do powstawania pęcherzyków dekompresyjnych. Eksperymenty wykazały, że w odniesieniu do dekompresji tlen może zachowywać się podobnie jak gaz obojętny, lecz tylko wtedy, gdy w trakcie nurkowania jest wdychany pod bardzo dużymi ciśnieniami parcjalnymi (PO_2). W związku z tym, generalnie nie jest to problemem, gdyż wymagane PO_2 znajduje się znacznie powyżej granicy toksyczności tlenu. Aby narazić się na problemy dekompresyjne podczas oddychania tlenem, musiałbyś znacznie przekroczyć limity toksyczności tlenowej, a wtedy wystąpienie poważnych problemów związanych z toksycznością O_2 byłoby bardziej prawdopodobne niż wystąpienie problemów dekompresyjnych powodowanych przez tlen.

Może wydawać się dziwnym, że choć potrzebujesz tlenu do życia, to pod zwiększonym ciśnieniem może on mieć działanie toksyczne. Jak już się dowiedziałeś, maksymalne PO_2 akceptowalne podczas aktywnego nurkowania to 1,4 bara, a nurkowie techniczni w trakcie postoju na przystankach dekompresyjnych mają akceptowalny limit 1,6 bara. Oddychając powietrzem w granicach limitów głębokości dla nurkowania rekreacyjnego, nie osiągniesz PO_2 1.4 bar/atm, ale używając wzbogaconego powietrza - nitroksu (gazu zawierającego powyżej 21% tlenu - zazwyczaj 32% lub 36%) możesz ten limit przekroczyć.

Co ciekawe, chociaż metabolizm i inne procesy chemiczne utrzymują PO_2 poniżej poziomu, w którym mogłoby dojść do powstawania pęcherzyków dekompresyjnych, wciąż w krwi może znajdować się wystarczająco dużo rozpuszczonego tlenu by przyczynić się do wystąpienia narkozy gazowej. Azot i tlen mają podobną rozpuszczalność w tłuszczach, co wydaje się jednym z głównych czynników wpływających na występowanie narkozy. Dlatego, choć procesy wpływające na wystąpienie narkozy są złożone i nie do końca wyjaśnione, zakładamy, że tlen w takim samym stopniu jak azot wywołuje narkozę. W związku z tym, nurkując na wzbogaconym powietrzu (nitroksie) uznajemy, że ma ono taki sam potencjał narkotyczny jak powietrze.

W Rozdziale V dowiesz się więcej na temat toksyczności tlenowej i narkozy.

Dwutlenek węgla



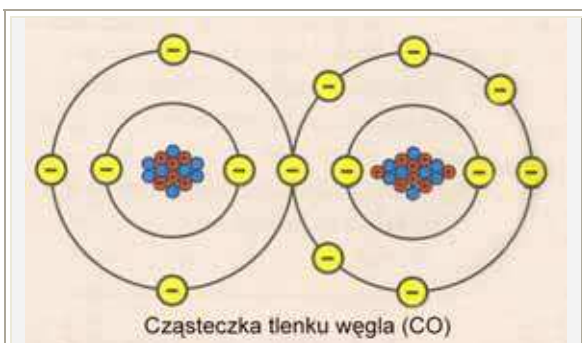
Dwutlenek węgla (CO_2) jest gazem dobrze rozpuszczalnym w wodzie. W związku z tym, stężenie CO_2 w wodzie jest wyższe niż w powietrzu. Do atmosfery dwutlenek węgla trafia przede wszystkim jako produkt procesów oddychania organizmów, a także - oprócz innych zanieczyszczeń powietrza - w efekcie spalania paliw kopalnych. Dwutlenek węgla jest też gazem cieplarnianym, który wpływa na

zwiększenie zatrzymywania ciepła przez atmosferę Ziemi, i w konsekwencji na jej ogrzanie. Wielu naukowców uważa, że oceany absorbują większość dwutlenku węgla powstałego przy spalaniu paliw kopalnych, spowalniając tym samym narastanie efektu cieplarnianego. Jednak chociaż morze pozwoliło odsunąć problem w czasie, globalne ocieplenie postępuje i staje się jednym z najpoważniejszych problemów ludzkości.

W stężeniach, w jakich normalnie występuje w atmosferze, dwutlenek węgla jest bezwonny, bezbarwny i nie ma smaku, choć w dużych stężeniach ma kwaśny zapach i smak. Dlatego właśnie napoje gazowane mają charakterystyczny zapach i smak, który zmienia się, gdy gaz się ulotni.

Jak wyjaśniono w rozdziale poświęconym fizjologii - „Nurek od wewnątrz”, zbyt wysokie stężenie dwutlenku węgla w gazie oddechowym może powodować trudności z oddychaniem i uczucie braku powietrza w trakcie pobytu pod wodą. Podczas nurkowania na zatrzymanym oddechu, zbyt niskie stężenie CO_2 wynikające z intensywnej hiperwentylacji przed nurkowaniem może zwiększać ryzyko nagłej utraty przytomności pod wodą.

Tlenek węgla

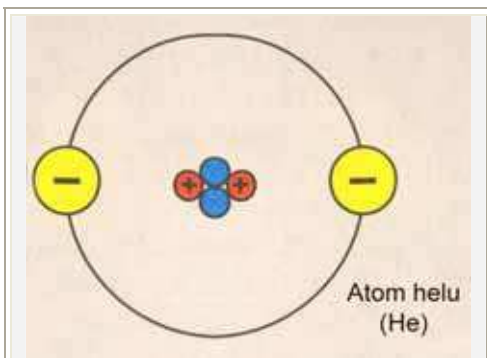


W atmosferze ziemskiej tlenek węgla (CO) występuje w bardzo małych ilościach. Większość tego gazu jest wytwarzana przez człowieka jako produkt uboczny reakcji spalania węglowodorów, np. paliw kopalnych. Tlenek węgla jest bardzo toksyczny, ale jednocześnie bezbarwny, bezwonny i pozbawiony smaku - co czyni go trudnym do wykrycia bez użycia specjalnych analizatorów. Na szczęście, CO często występuje wraz z innymi gazami, które można wyczuć zmysłami smaku lub powonienia; dlatego właśnie nie należy nurkować z powietrzem, które ma nieprzyjemny smak lub zapach. Tlenek węgla rzadko trafia do butli z gazem

oddechowym dla nurków, jednak niekiedy do tego dochodzi. Najczęściej przyczyną jest niewłaściwy smar użyty w sprężarce lub jej niepoprawna konserwacja w połączeniu z niesprawnym systemem filtracji, a czasem również złe umiejscowienie sprężarki i niesprawny system filtracji. Użycie niewłaściwych smarów lub zaniedbania przy konserwacji mogą doprowadzić do zapłonu wewnątrz sprężarki. Natomiast gdy sprężarka jest ustawiona w niewłaściwym miejscu, może dojść na przykład do sprężania gazów wydechowych tej samej sprężarki - o ile ma ona silnik benzynowy. Współcześnie stosowane filtry skutecznie usuwają tlenek węgla ze sprężanego powietrza, katalizując jego utlenienie do dwutlenku węgla (podobnie jak robią to katalizatory w samochodach), który następnie jest usuwany. Jednak niewłaściwe bądź zużyte filtry mogą przepuszczać jeden lub oba z tych gazów, a przy bardzo wysokich stężeniach CO nawet sprawny filtr może część tlenku węgla przepuszczać.

Na szczęście, profesjonalne centra nurkowe utrzymują swoje sprężarki w dobrym stanie, dodatkowo regularnie testując sprężane powietrze. Dlatego do zatrucia tlenkiem węgla w nurkowaniu dochodzi rzadko.

Hel



Hel (He) jest stosunkowo rzadkim gazem. Stwierdzono jego istnienie dopiero w 1868 roku, a po raz pierwszy pozyskano go z rud metali dopiero w roku 1895. Obecnie Stany Zjednoczone są głównym dostawcą helu. Chociaż hel jest gazem względnie tanim (w porównaniu do wielu innych gazów), niektórzy oceniają, że jego zasoby dostępne do komercyjnej eksploatacji ulegną wyczerpaniu przed końcem wieku.

Hel jest drugim najlżejszym gazem, cięższym jedynie od wodoru. Jest pierwiastkiem tak niereaktywnym, że w stanie gazowym występuje tylko w postaci pojedynczych atomów, nie tworząc nawet wiązań między własnymi atomami. Hel nigdy też nie wchodzi w skład związków chemicznych.

Znaczenie helu jest duże w nurkowaniu technicznym i komercyjnym, jako że gaz ten nie powoduje narkozy. Nurkowie komercyjni standardowo używają helioksu (mieszanki helu i tlenu) podczas przeprowadzania robót na dużych głębokościach. Natomiast w nurkowaniu technicznym, trimiks (mieszanka azotu, helu i tlenu) jest powszechnie stosowany podczas nurkowań na głębokości większe niż ok. 50 m. Dodatkową zaletą helu, związaną z jego małą gęstością - znacznie niższą niż gęstość azotu czy tlenu - jest łatwość oddychania nim na dużych głębokościach.

Jednak hel ma też pewne wady jako gaz nurkowy. Jako lekki gaz, He dyfunduje szybciej niż O₂ czy N₂, a zatem szybciej rozpuszcza się w tkankach nurka. Dla określonego profilu i frakcji tlenu, czas dekompresji jest dłuższy podczas nurkowania z użyciem mieszanki opartej na helu niż z użyciem powietrza/wzbogaconego powietrza.

Kolejnym problemem jest dobre przewodnictwo cieplne helu, znacznie wyższe niż azotu lub tlenu. Nie ma to większego znaczenia przy oddychaniu, ale czyni hel mało przydatnym jako gaz do napełniania suchych skafandrów. Hel pochłania i przewodzi ciepło na tyle szybko, że niektórzy nurkowie woliliby raczej nurkować w zalanym suchym skafandrze, niż w skafandrze suchym, ale napełnionym helem.

Poza problemami z przewodnictwem cieplnym, używanie różnych gazów do oddychania i napełniania suchych skafandrów mogłoby powodować pewne problemy z dekompresją. Ponieważ hel dyfunduje bardzo szybko, podczas dekompresji może poprzez skórę rozpuszczać się w tkankach szybciej niż inne rozpuszczone gazy (np. azot) będą z tkanek usuwane przez płuca. W związku z tym, całkowita ilość rozpuszczonego gazu może wzrosnąć do takiego poziomu, że zaczną się formować pęcherzyki. To zjawisko jest określane jako izobaryczna przeciwdyfuzja (isobaric counterdiffusion), i może zachodzić, gdy nurek oddycha wolno dyfundującym gazem, a jest otoczony gazem szybko dyfundującym. Może również się zdarzyć w trakcie oddychania szybko dyfundującym gazem podczas dekompresji/usuwania z tkanek gazu wolno dyfundującego.

W związku z tym, podczas nurkowania z użyciem mieszanek helowych powinien mieć osobny system napełniania suchego skafandra. Chociaż można używać powietrza lub nitroksu, większość nurków technicznych stosuje w tym celu argon; gaz ten zostanie omówiony wkrótce.

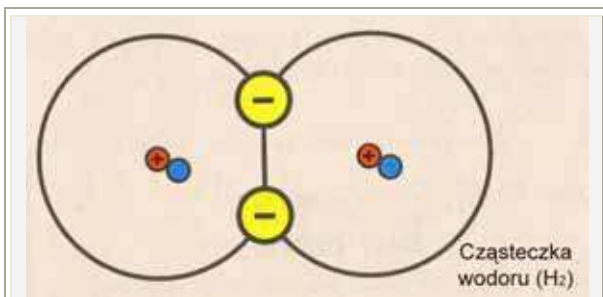
Dwa kolejne problemy związane z użyciem helu dotyczą przede wszystkim nurków komercyjnych, choć w coraz większym stopniu także nurków technicznych. Po pierwsze, w helu dźwięk rozchodzi się szybciej niż w powietrzu, zniekształcając mowę podczas rozmowy przez elektroniczne komunikatory głosowe.

Efekt można neutralizować dzięki elektronicznym filtrom korygującym głos, które sprawiają, że mowa staje się zrozumiała dla innych nurków i dla obsługi na powierzchni. Drugi problem polega na tym, że choć hel nie ma własności narkotycznych, to przy bardzo dużych ciśnieniach parcjalnych (generalnie, na głębokościach większych niż 120 m) wywołuje tzw. Syndrom Nerwowy Wysokich Ciśnień (High Pressure Nervous Syndrome - HPNS), objawiający się drżeniem, mdłościami, zmęczeniem i upośledzeniem procesów myślowych. Jednym z rozwiązań jest użycie trimiksu zamiast helioksu podczas takich nurkowań, gdyż narkotyczne działanie azotu chroni przed HPNS. Był to jeden z głównych powodów rozpoczęcia stosowania trimiksu.

Odkryty najpierw na Słońcu, później na Ziemi

Przed rokiem 1868 istnienie helu przewidywano teoretycznie, ale nikt nie udowodnił, że pierwiastek ten rzeczywiście istnieje. Dopiero w tym roku Sir Joseph N. Lockyer i P.J. Janssen potwierdzili istnienie helu w chromosferze Słońca. Aby potwierdzić odkrycie, Lockyer pracował z Eduardem Franklandem, specjalistą od spektroskopii. Hel odkryto na Ziemi dopiero 30 lat później

Wodór



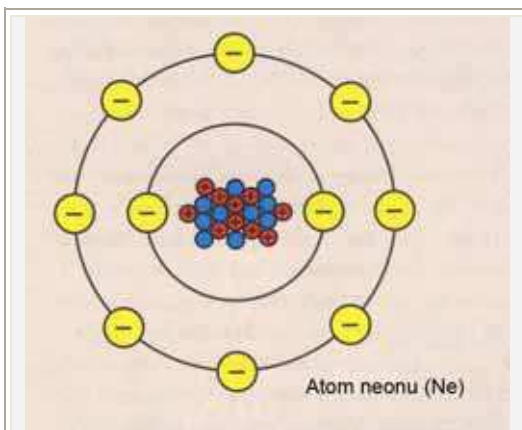
Wodór ma szereg cech idealnego gazu nurkowego. Jest najlżejszym ze wszystkich gazów, i jest uważany za najczęściej występujący pierwiastek we wszechświecie. W każdym razie, na Ziemi dostępny jest łatwo: można szybko i tanio uzyskać wodór przeprowadzając elektrolizę wody, która ulega rozszczepieniu na wodór i tlen. Wodór ma pewne działanie narkotyczne, ale znacznie słabsze niż azot czy tlen, zaś z punktu widzenia dekompresji wydaje się być lepszy niż hel. Co więcej, w odróżnieniu od

helu, wodór nie powoduje Syndromu Nerwowego Wysokich Ciśnień (HPNS). Francuska firma zajmująca się nurkowaniami komercyjnymi, Comex, przeprowadzała udane eksperymenty nad użyciem wodoru w trakcie głębokich nurkowań komercyjnych.

Wodór ma jednak poważną wadę: jest bardzo reaktywny. W stanie gazowym występuje w postaci dwuatomowych cząsteczek (H_2), które w obecności tlenu gwałtownie, wybuchowo z nim reagują, tworząc wodę. Mieszanina oddechowa, w skład której wchodzi wodór, nie może zawierać więcej niż 4% O_2 ze względu na duże prawdopodobieństwo zajścia reakcji wybuchowej. Zgodnie z prawem Daltona, minimalna głębokość na której można by takiej mieszanki używać to około 30 m. Jednak ponieważ taki gaz wciąż pozostaje mieszaną wybuchową, przy jej używaniu należy stosować się do szeregu ważnych zasad bezpieczeństwa. Na przykład, trzeba zachować ostrożność przy zmianie gazów podczas dekompresji, tak by reakcja wybuchowa nie zaszła w płucach!

Obecnie oraz w niedalekiej przyszłości, użycie wodoru jako gazu nurkowego przypuszczalnie pozostanie w fazie eksperymentalnej, i będzie raczej ograniczone do głębokich nurkowań komercyjnych. Gaz ten w przewidywalnej przyszłości nie będzie stosowany jako gaz oddechowy przez nurków technicznych, a zwłaszcza rekreacyjnych.

NEON



Większości z nas neon (Ne) kojarzy się przede wszystkim z emisją światła w trakcie przewodzenia prądu. Choć rzeczywiście obecnie jest to jego najpowszechniejsze zastosowanie, w ciągu następnych dekad neon może stać się popularnym gazem stosowanym przez nurków technicznych i komercyjnych. Obecnie jego zastosowanie w nurkowaniu jest w fazie eksperymentów, ale z wielu powodów może to wkrótce ulec zmianie.

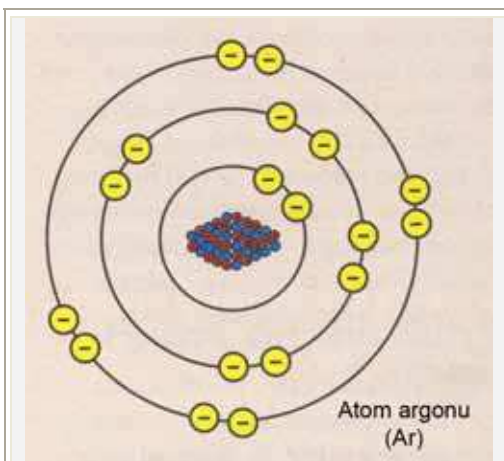
Podobnie jak hel, neon jest niereaktywnym pierwiastkiem, który nie tworzy nawet wiązań z innymi atomami neonu: gaz neonowy złożony jest z pojedynczych atomów neonu, podobnie jak to jest w wypadku helu. Neon nie wchodzi również w skład żadnego znanego związku chemicznego. Nie ma własności narkotycznych i jest gęstszy od helu - w mniejszym stopniu niż hel przewodzi ciepło i zniekształca

mowę, pozwala też na skrócenie czasu dekompresji w porównaniu z helem. Przez jego gęstość, pod dużymi ciśnieniami trudniej oddychać neonem niż helem - ale jest on wystarczająco lekki, by umożliwiać oddychanie na głębokościach rzędu 155 m, w pobliżu górnych limitów nurkowania technicznego.

Do chwili obecnej, nurkowanie na mieszanekach zawierających neon było ograniczone do fazy eksperymentalnej, głównie w związku z kosztami: uzyskanie czystego neonu jest bardzo kosztowne, znacznie droższe niż uzyskanie helu - i w związku z tym używanie neonu jako gazu oddechowego byłoby niepraktyczne. Można natomiast stosunkowo łatwo i tanio w procesie mrożenia wydzielić z powietrza „helioneon” - mieszaninę 25% helu i 75% neonu. Taka mieszanina mogłaby być, teoretycznie, bardzo użyteczna do sporządzania mieszanek gazowych do nurkowań technicznych. Wraz ze wzrostem cen handlowych helu na skutek wyczerpywania się jego złóż, helioneon mógłby zastąpić go w nurkowaniu.

Powszechny wszędzie, tylko nie u nas...

Neon, którego nazwa pochodzi od greckiego neos - nowy, jest uważany za czwarty najczęściej występujący we Wszechświecie pierwiastek. Zważywszy na jego przydatność jako gazu nurkowego, jego większa dostępność byłaby pożądana. Niestety, na Ziemi jest on bardzo rzadki, i stanowi mniej niż 0.002% atmosfery. Naukowcy sądzą, że neon występuje we Wszechświecie w dużych ilościach dzięki reakcjom jądrowym, zachodzącym we wnętrzu gwiazd

Argon

Argon (Ar) jest fizjologicznie obojętnym gazem (w niektórych warunkach tworzy wiązania z innymi pierwiastkami - ale nie w twoim ciele), który, podobnie jak hel i neon, występuje w postaci pojedynczych atomów.

Na pierwszy rzut oka, zastosowanie argonu w nurkowaniu wydaje się wątpliwe. Jest gazem bardzo gęstym i w związku z tym utrudniającym oddychanie, ma też słabe działanie narkotyczne. Gdybyś próbował nurkować na mieszance argonu i tlenu, doświadczyłbyś narkozy i problemów z oddychaniem już na głębokości 6 m.

Argon jest jednak znakomitym izolatorem ze względu na wielkość jego atomów i niskie ciepło właściwe. Dlatego jest on często używany przez nurków rekreacyjnych, technicznych i komercyjnych do napełniania suchych skafandrów, jako że zapewnia lepszą izolację niż powietrze. Ponieważ argon jest bardzo gęsty, izobaryczna przeciwyfuzja nie stanowi

problemu. Mimo to, ze stosowaniem argonu do napełniania suchych skafandrów wiążą się pewne potencjalne problemy.

Po pierwsze, dotychczas przeprowadzono mało badań dotyczących dekompresji na lekkim gazie w środowisku ciężkiego gazu. Te wątpliwości w dużym stopniu rozwiewa fakt, że nie ma teoretycznych podstaw do przypuszczeń, że takie problemy mogłyby wystąpić, oraz że nurkowie od lat używali argonu do napełniania suchych skafandrów, bez zgłaszania większych problemów. Musisz sobie jednak zdawać sprawę, że napełniając swój skafander argonem, w pewien sposób eksperymentujesz.

Druga wątpliwość wiąże się z faktem, że musisz być absolutnie pewny, że nikt przypadkowo nie użyje twojej butli z argonem do oddychania pod wodą. Ponieważ systemy do napełniania skafandrów argonem zazwyczaj używają czystego gazu, brak tlenu byłby znacznie większym problemem niż gęstość argonu czy jego efekt narkotyczny. Aby uniknąć takich problemów, twój zestaw do napełniania argonem nie powinien mieć drugiego stopnia automatu oddechowego, ani innego mechanizmu który pozwoliłby na oddychanie gazem z butli. Poza tym, zazwyczaj argon jest przechowywany w małej butli, wyraźnie oznaczonej w celu minimalizacji ryzyka jej pomyłki z butlą zawierającą gaz oddechowy.



Nurkowie techniczni często używają argonu do napełniania suchych skafandrów. Potrzebna jest do tego oddzielna butla i specjalny automat - bez drugiego stopnia z ustnikiem!

ROZDZIAŁ 5

Wewnątrz nurka

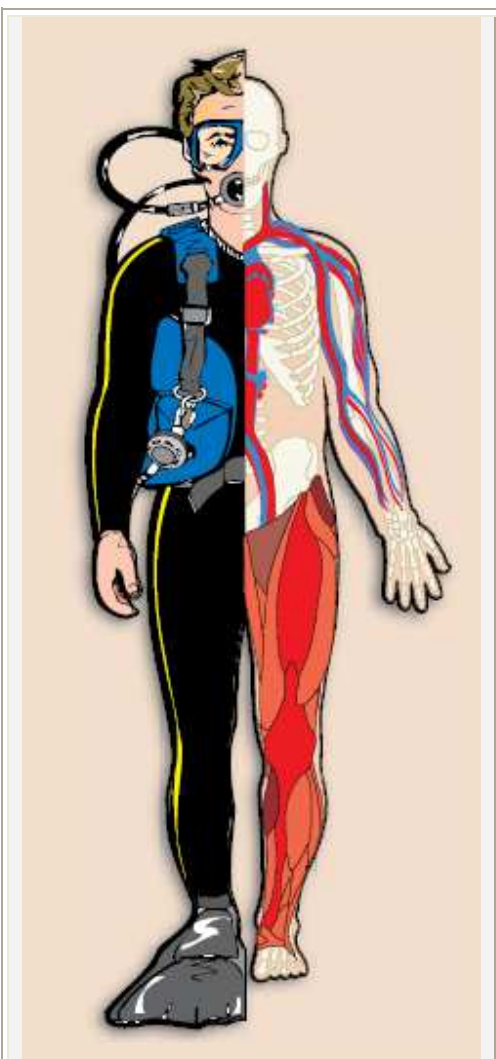
FIZJOLOGIA NURKOWANIA



SPIS TREŚCI

Wewnątrz nurka	1
WSTĘP	3
Układy krążenia i oddechowy.....	5
Budowa i funkcjonowanie układu oddechowego	10
Wpływ nurkowania na układy krążenia i oddechowy	13
Problemy układów krążenia i oddechowego związane z nurkowaniem	18
Odpowiedź fizjologiczna na zmiany temperatury	30
Odpowiedź fizjologiczna na zmiany ciśnienia w przestrzeniach powietrznych ciała	34
Uszy.....	34
Zatoki	35
Płuca	36
Sprzęt	36
Problemy w przestrzeniach powietrznych ciała	37
Uraz ciśnieniowy ucha	38
Uraz ciśnieniowy zatok	42
Uraz ciśnieniowy płuc.....	45
Urazy ciśnieniowe sprzętowe.....	51
Inne urazy ciśnieniowe	52
Fizjologia dekompresji: reakcja organizmu na rozpuszczony gaz obojętny	54
Absorpcja gazów obojętnych	54
Eliminacja gazów obojętnych	57
Choroba dekompresyjna.....	60
Modele dekompresyjne	69
Wstęp do modeli dekompresyjnych	69
Nurkowanie powtórzeniowe	75
Komputery nurkowe.....	80
Limity bezdekompresyjne.....	81
Nurkowanie wielopoziomowe.....	82
Nurkowanie powtórzeniowe	84
Wzbogacone powietrze - nitroks.....	86
Nurkowanie wielodniowe (np na safari nurkowym)	88
Procedury wynurzania	90
Nurkowanie dekompresyjne	93
Nurkowanie na wysokości i latanie po nurkowaniu	95
Przyszłość	97

WSTĘP



Spośród wszystkich form życia na Ziemi, tylko ludzie mają możliwość opuszczenia swojego naturalnego środowiska na dłużej niż kilka chwil. Technologia pozwala nam penetrować przestrzeń kosmiczną i docierać w głębiny oceanów. Odwiedzamy miejsca, do życia w których nasze ciała nie są przystosowane, ani też odpowiednio do tego wyposażone. Nurkowanie różni się od innych sposobów eksploracji nowych środowisk. W wielu przypadkach, urządzenia zaprojektowane do eksploracji innego środowiska ostaną nas i chronią przed nim. Na przykład, skafander kosmiczny odgradza cię od próżni, jednak nie umożliwiając życia w niej. Podobnie, pilot nie lata samodzielnie, a tylko steruje latającą maszyną. Nurkowanie jest inne: nurkując, funkcjonujesz w obcym środowisku w granicach limitów fizjologicznych nakładanych przez to środowisko. Akwalung nie oddycha za ciebie, ale pozwala twojemu układowi oddechowemu funkcjonować pod wodą. Płetwy nie przemieszczają cię, ale stanowią przedłużenie twoich stóp umożliwiając ci poruszanie się pod wodą. Technologia stanowi pomost pomiędzy twoją fizjologią a podwodnym światem. Z zewnątrz perspektywy, jesteś płetwonurkiem dzięki twemu wyposażeniu i umiejętnościom. Jednak od wewnątrz, jesteś nurkiem dlatego, że twoja fizjologia odpowiada i dostosowuje się do warunków podwodnego świata. Te zdolności adaptacyjne robią tym większe wrażenie, gdy zdasz sobie sprawę jak bardzo skomplikowane i złożone jest twoje ciało. Budują je miliardy komórek, każda z nich zdolna funkcjonować jako niezależna jednostka, które łączą się i współpracują tworząc tkanki, organy i układy, każdy z nich o ściśle określonych funkcjach. One z kolei tworzą złożoną, pojedynczą jednostkę potężniejszą niż suma jej składników: ciebie. Jednak pomimo jego złożoności, twoje ciało funkcjonuje w oparciu o te same podstawowe prawa co cała reszta świata ożywionego. Niezwykłe jest to, że te tysiące drobnych procesów zachodzą w twoim ciele jednocześnie, utrzymując cię przy życiu. Fizjologia nurkowania zajmuje się opisem procesów zachodzących w twoim ciele w trakcie pobytu pod wodą. Bada odpowiedź twojego organizmu na zmiany wywołane przez środowisko podwodne, jak również problemy (i ich konsekwencje) które mogą wystąpić, gdy twoje ciało nie może odpowiedzieć lub zaadaptować się do zmieniających się warunków, albo czyni to niewystarczająco efektywnie.

Fizjologia widzenia: jak postrzegasz kolory pod wodą

Środowisko, w którym żyjemy, jest wypełnione promieniowaniem elektromagnetycznym o pełnym spektrum długości fal, od nanometrów (nm - to jedna miliardowa metra) do kilometrów (km). Nie jesteśmy w stanie dostrzec większości tego promieniowania, za wyjątkiem wąskiego pasma w zakresie między 400 a 800 nm - które to pasmo nazywamy światłem widzialnym. Jest to w przybliżeniu ta sama część widma promieniowania elektromagnetycznego, która może przenikać przez wodę.

Przedstawiamy tutaj nieco informacji na temat funkcjonowania ludzkiego układu wzrokowego. Obraz jest rzutowany przez rogówkę i soczewkę na wewnętrzną powierzchnię gałki ocznej. Cienka warstwa tkanki nerwowej, siatkówka, pokrywa tą wewnętrzną powierzchnię, będącą właściwie częścią mózgu. Około 200 milionów receptorów wrażliwych na światło gęsto pokrywa powierzchnię siatkówki, wyściełając ścianę gałki. Te fotoreceptory należą do dwóch rodzajów: są to pręciki i czopki. Każdy z nich niezależnie od innych mierzy docierające do niego światło, i generuje impulsy nerwowe.

Intensywność impulsów nerwowych zależy od ilości absorbowanego światła. Jasne światło powoduje silną reakcję, zaś słabe światło powoduje słabszą odpowiedź. Wzorzec reakcji na światło wszystkich

fotoreceptorów siatkówki razem wziętych odpowiada oglądanemu przedmiotowi. Komórki nerwowe siatkówki zamieniają ten wzorzec na sygnały nerwowe, transmitowane do wyższych centrów w mózgu, które „rekonstruuja” obraz. Podczas tej skomplikowanej i wciąż w dużym stopniu nie poznanej obróbki danych powstaje coś wyjątkowego - wrażenie koloru.

Kolor jest jedynie sposobem interpretacji informacji ze świata zewnętrznego przez twoją siatkówkę i mózgowe centra wzrokowe. Naturalne światło jest przypadkową mieszaniną długości fal w zakresie od 400 do 800 nm. Cząsteczki zwane pigmentami absorbują pewne długości fal i odbijają pozostałe. W ten sposób, odbite światło różni się od światła padającego brakiem fal o długościach pochłoniętych przez pigment.

Otoczające światło postrzegamy jako bezbarwne - czyli białe; światło kolorowe różni się od niego składem widmowym.

Receptory siatkówki zwane czopkami odpowiadają za zdolność rozróżniania kolorów. Występują trzy typy czopków, różniące się rodzajem występującego w nich, absorbującego światło pigmentu. Każdy z tych rodzajów czopków posiada inne spektrum czynnościowe - różnią się one wrażliwością na fale świetlne o różnej długości. Spektra czynnościowe trzech typów czopków występujących w ludzkiej siatkówce przedstawione są na wykresie poniżej; krzywe niebieska, fioletowa i czerwona odzwierciedlają intensywność reakcji na światło o tej samej energii, ale różnej długości fali. Na przykład, na światło o długości fali 450 nm, czopek typu B jest maksymalnie wrażliwy, podczas gdy pozostałe dwa ledwo zaczynają reagować. Maksymalna czułość dla czopka typu G przypada na długość fali świetlnej 550 nm, a dla typu R - 560 nm.

Możemy z tego wyciągnąć ważne wnioski. Mianowicie, określona reakcja pojedynczego czopka może powstać albo pod wpływem stosunkowo słabego światła o długości fali odpowiadającej maksymalnej czułości, albo silniejszego światła o długościach fal krótszych lub dłuższych. Zatem, pojedynczy receptor nie jest w stanie odróżnić słabego światła o długości fali odpowiadającej jego najwyższej czułości od silnego światła spoza tego zakresu. Pojedynczy czopek jest ślepy na kolory, ale względne reakcje na światło każdego z trzech rodzajów czopków położonych blisko siebie pozwalają naszemu systemowi wzrokowemu, analizującemu sygnały, na dokonanie rozróżnienia pomiędzy intensywnością i kolorem światła.

Przykładowo, każdy z trzech rodzajów czopków reaguje na światło o długości fali 500 nm - czopek G najsilniej, zaś czopki R i B słabiej, lecz na tym samym poziomie. Światło, które powoduje takie względne reakcje trzech typów czopków jest odbierane jako zielone. Nie ma znaczenia, czy było to światło o jednej, ściśle określonej długości fali (monochromatyczne), czy była to przypadkowa mieszanina fal świetlnych o różnej długości i intensywności. Jedyną liczącą się rzeczą jest wzajemny stosunek reakcji trzech typów czopków. Jeżeli użyjemy światła monochromatycznego, nasz system wzrokowy rozpozna światło o długości fali ok. 400 nm jako fioletowe, 450 nm - niebieskie, 500 nm - zielone, 550 nm - żółte, 600 nm - pomarańczowe, i około 650 nm jako czerwone. Jednak niezliczone kombinacje długości fal i ich intensywności mogą wywoływać wrażenie takich samych kolorów.

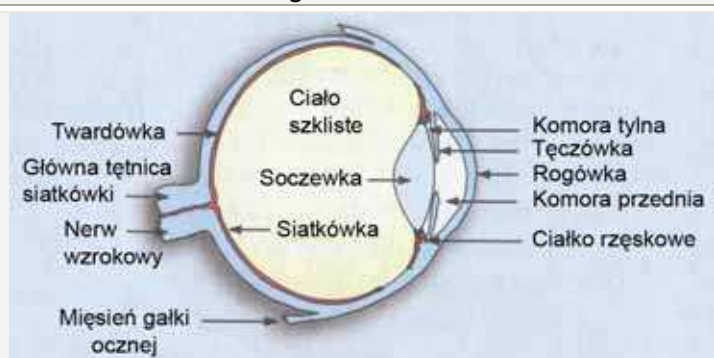
Proces widzenia staje się bardziej skomplikowany przez własność systemu wzrokowego zwanego selektywną adaptacją, polegającą na takim dostrojeniu postrzegania kolorów, by otaczające światło było odbierane jako białe. Mechanizm ten pozwala widzieć te same kolory w pomieszczeniu niezależnie od tego, czy jest ono oświetlone światłem dziennym padającym przez okno, czy światłem żarówki w nocy. Światło dzienne i światło żarówki mają różne składy widmowe i przez to różne kolory, jednak twoje oko będzie postrzegać biały obiekt jako biały bez względu na to, jakie jest źródło otaczającego światła.

Podczas robienia zdjęć aparatem cyfrowym w pomieszczeniu rozświetlonym żarówką, możesz dostrzeżesz różnice w jego składzie spektralnym. Jeżeli ustawisz balans bieli w aparacie na światło dzienne, zdjęcie będzie zabarwione na żółto i czerwono - ustawieś aparat tak, by definiował biel jako zestaw długości fal charakterystyczny dla światła dziennego. Jednak po ustawieniu balansu bieli na światło żarowe, twoje zdjęcia będą miały prawidłowe kolory (przynajmniej w odniesieniu do tego, jak my sami postrzegamy kolory!). Jeżeli wyjdiesz z aparatem z balansem bieli ustawionym na światło żarowe na zewnątrz, twoje zdjęcia będą wydawać się niebieskawe. Wreszcie, możesz ustawić balans bieli na automatyczny; wtedy, w granicach technicznych możliwości aparatu, "biel" będzie "biała" bez względu na rzeczywisty skład spektralny otaczającego światła. Podobnie działa twoje oko - automatycznie ustawia balans bieli. Chociaż do głębszych warstw wody dociera w największej ilości światło niebieskie, to nawet na głębokościach rzędu 50 m mierzone są pewne ilości światła o długości fali 650 nm (czerwonego). Podczas nurkowania, selektywna adaptacja powoduje zwiększenie czułości w zakresie fal długich (czerwonych) i zmniejszenie czułości w zakresie fal krótkich (niebieskich). Pod wodą, generalnie postrzegasz światło otaczające jako bezbarwne (białe) nawet na większych głębokościach, i dzięki temu wciąż widzisz kolory.

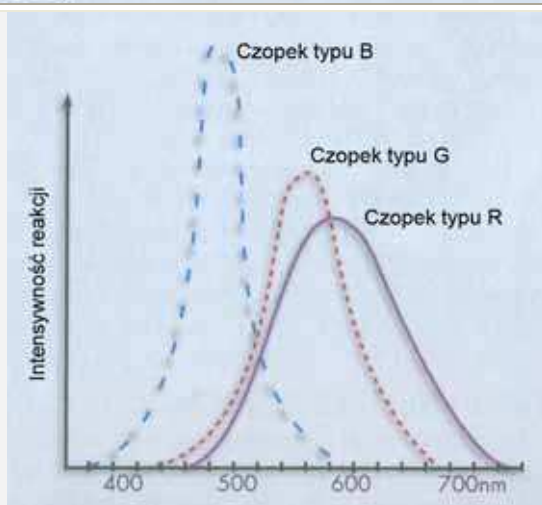
Jednak w tych samych warunkach twój aparat cyfrowy ustawiony na światło dzienne nie może się adaptować, i w związku z tym zdjęcia zrobione w otaczającym świetle na większych głębokościach wychodzą nienaturalnie niebieskie. Możesz korygować balans bieli w aparacie by sprawić, żeby zdjęcia wyglądały lepiej - ale jeśli nie jesteś w bardzo płytkiej wodzie, to bez lampy błyskowej kolory zdjęcia nie będą równie bogate jak tego, co widziałeś pod wodą. Twój naturalny "balans bieli" jest znacznie bardziej elastyczny i dynamiczny niż to, co stworzyliśmy dla aparatów cyfrowych.



Długości fal promieniowania elektromagnetycznego widzialne dla ludzkiego oka należą jedynie do niewielkiego zakresu od ok. 400 do 800 nm - zakres ten określa się jako "światło"



Anatomia ludzkiego oka. Rogówka i soczewka rzutują oglądane przez nas obrazy na siatkówkę, wysłaną fotoreceptorami. Nerw optyczny przekazuje zakodowaną informację od wszystkich fotoreceptorów do mózgu, który analizuje i interpretuje to, co widzimy

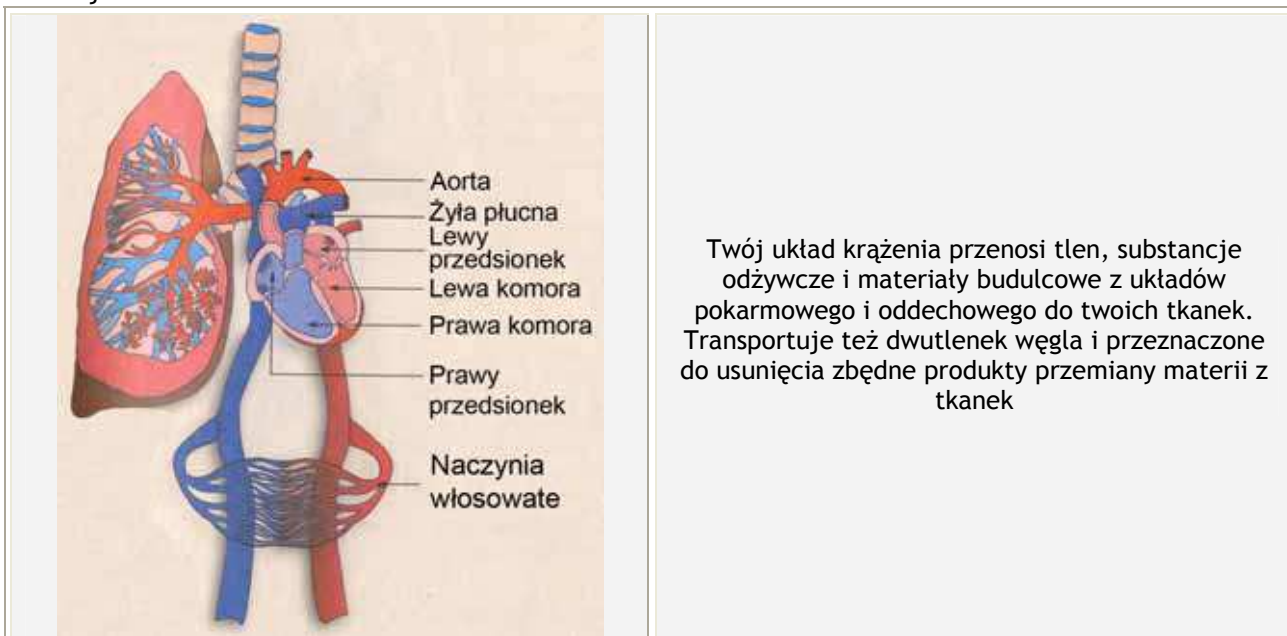


Fotoreceptory różnią się czułością na poszczególne kolory. Światło o tej samej energii, lecz o różnej długości fali, w różnym stopniu pobudzi receptory. Każda z krzywych przedstawia rozkład czułości trzech typów fotoreceptorów zwanych czopkami. Na przykład, czopki B słabo zareaguje na światło o długości fali 400 nm, ale światło o tej samej mocy i długości fali 450 nm wywoła silną reakcję. Światło o długości 400 nm musi być znacznie jaśniejsze, by wywołać taką samą odpowiedź czopka R.

Układy krążenia i oddechowy

Większość bezpośrednich i pośrednich skutków nurkowania na naszą fizjologię dotyczy układów krążenia i oddechowego - i dlatego od omówienia tych właśnie układów zaczniemy. Ludzkie ciało porusza się, wzrasta, naprawia się i rozmnaża, wszystko dzięki różnorodnym, wyspecjalizowanym układom tkanek i organów. Chociaż każdy z tych układów ma określoną funkcję, dla swego normalnego funkcjonowania każdy jest zależny od innych układów organizmu. Chociaż twoje ciało potrzebuje wszystkich tych układów, niektóre mogą „posypać się” bez powodowania poważnych natychmiastowych konsekwencji; jednak zaburzenia funkcjonowania innych układów mogą prowadzić do szybkiego wystąpienia poważnych uszkodzeń, a nawet śmierci. Na przykład, o ile nie jesteś w trakcie ucieczki przed niedźwiedziem lub w podobnej sytuacji, naciągnięcie mięśnia łydki rzadko będzie zagrażało twojemu życiu. Natomiast, o ile nie zostanie udzielona natychmiastowa pomoc medyczna, atak serca zdecydowanie stanowić będzie takie zagrożenie.

Układy krążenia i oddechowy, współpracujące przy dostarczaniu substancji odżywczych i gazów do komórek ciała oraz przy usuwaniu niepotrzebnych substancji, reagują na zmianę warunków związaną z nurkowaniem wyraźniej niż inne układy. Ponieważ cały organizm funkcjonuje dzięki nieustannej wymianie gazowej zapewnianej przez te dwa układy, ich odpowiedź na zmiany wywoływane przez środowisko podwodne może mieć wpływ na każdą komórkę twojego ciała. Te dwa układy współpracują na tyle ściśle, że niewiele z ich reakcji na nurkowanie zachodzi niezależnie od siebie.



Twój układ krążenia przenosi tlen, substancje odżywcze i materiały budulcowe z układów pokarmowego i oddechowego do twoich tkanek. Transportuje też dwutlenek węgla i przeznaczone do usunięcia zbędne produkty przemiany materii z tkanek

Zapotrzebowanie na tlen a układ krążenia

We wszystkich żywych komórkach twojego ciała zachodzą procesy metaboliczne, w których zużywany jest tlen do przetwarzania energii chemicznej na energię użyteczną, niezbędną do życia. W sytuacji braku tlenu, niektóre tkanki potrafią zawiesić swoje czynności życiowe nawet na kilka godzin, a mimo to przetrwać. Inne tkanki, na przykład mięśniowa, mogą funkcjonować przez ograniczony czas korzystając z procesów energetycznych nie wymagających dostaw tlenu. Jednak wiele tkanek obumiera w krótkim czasie w sytuacji, gdy tlen nie jest do nich stale dostarczany. Dotyczy to zwłaszcza układu nerwowego, który bezwzględnie wymaga nieprzerwanych dostaw tlenu, zużywając mniej-więcej jedną piątą całkowitego zapotrzebowania organizmu na tlen.

Twój układ krążenia przenosi tlen, substancje odżywcze i składniki budulcowe od układów pokarmowego i oddechowego do twoich tkanek. Transportuje też dwutlenek węgla i inne niepotrzebne produkty przemiany materii przeznaczone do usunięcia. Chociaż każda z tych funkcji jest niezbędna dla funkcjonowania organizmu, to transport gazów z i do układu oddechowego jest najpilniejszą z nich, i też najbardziej interesującą z nurkowego punktu widzenia.

Krew

Jeśli się skaleczysz, z rany popłynie krew. Nawet bez specjalistycznej wiedzy fizjologicznej i medycznej masz świadomość, że krew jest niezbędna do życia. Krew jest wielofunkcyjną tkanką płynną, złożoną z wielu różnorodnych składników spełniających różne funkcje: dostarczanie tlenu, odprowadzanie dwutlenku węgla, zapewnianie substancji odżywczych, usuwanie zbędnych substancji, mobilizowanie systemu immunologicznego itd.



Czerwone krwinki, czyli erytrocyty, transportują większość tlenu potrzebnego tkankom dzięki zawartości hemoglobiny, białka łatwo wiążącego się z tlenem. Gdyby nie hemoglobina, twoja krew musiałaby krążyć mniej więcej 15-20 razy szybciej by zapewnić tkankom wystarczającą ilość tlenu. Czerwone krwinki stanowią około 45% objętości krwi.

Osocze to ciecz, w której rozpuszczone są substancje odżywcze i związki chemiczne, oraz zawieszone inne składniki krwi. Przenosi ono również rozpuszczone gazy, włączając w to dwutlenek węgla - produkt oddychania komórek ciała, oraz azot, którego poziom waha się w zależności od ciśnienia parcjalnego we wdychanym powietrzu (więcej informacji w sekcji „Fizjologia dekompresji: reakcja na rozpuszczone gazy obojętne”, która szczegółowo opisuje interakcje twojego organizmu z rozpuszczonym azotem).

Chociaż osocze stanowi mniej więcej połowę całkowitej masy krwi i przenosi niektóre rozpuszczone gazy, pod ciśnieniem atmosferycznym jego udział w transporcie tlenu jest znikomy. Czerwone krwinki (erytrocyty) przenoszą niemal cały tlen potrzebny tkankom dzięki hemoglobinie, białku mającemu zdolność łatwego łączenia się i uwalniania tlenu. Gdyby nie hemoglobina, krew musiałaby krążyć 15-20 razy szybciej by zapewnić wszystkim komórkom wystarczającą ilość tlenu - i to w stanie spoczynku. Czerwone krwinki zawierające hemoglobinę stanowią ok. 45% całej masy krwi.

Hemoglobina sprawnie przenosi i uwalnia tlen, ponieważ zmiany ciśnienia parcjalnego wpływają na jej zdolność do przyłączania tego gazu. Krew przechodząca przez płuca napotyka ciśnienie parcjalne tlenu wyższe niż w innych twoich tkankach. Wysokie ciśnienie parcjalne tlenu zwiększa zdolność hemoglobiny do przyłączenia cząsteczek O_2 , i dlatego w płucach tlen przenika do krwinek czerwonych i łączy się z hemoglobiną.

Gdy krew dociera do tkanek, następuje obniżenie ciśnienia parcjalnego tlenu - zużywanego tam w procesach metabolicznych. W tych warunkach, hemoglobina uwalnia cząsteczki tlenu, które mogą być wykorzystane przez tkanki. Teraz, pozbawiona dużej części przyłączonego tlenu, hemoglobina może odwracalnie związać cząsteczki dwutlenku węgla i przetransportować je do płuc, gdzie zostaną usunięte. Dodatkowo, enzym występujący w czerwonych krwinkach uczestniczy w odwracalnej reakcji chemicznej prowadzącej do przekształcenia dwutlenku węgla w dwuwęglany, ulegające rozpuszczeniu w osoczu. Gdy krew dociera z powrotem do płuc, hemoglobina znowu łatwiej łączy się z tlenem, a w mniejszym stopniu z dwutlenkiem węgla. Dlatego dwutlenek węgla jest tutaj uwalniany, podczas gdy nowe cząsteczki tlenu przyłączają się do hemoglobiny. W tym samym czasie, w osoczu następuje odwrócenie wcześniejszej reakcji - dwuwęglany ulegają rozpadowi i wydzielają się dwutlenek węgla, który przenika do przestrzeni dróg oddechowych, skąd jest usuwany na zewnątrz.

Dzięki zdolności transportowania CO_2 w postaci dwuwęglanów, twój system krążenia przenosi znacznie więcej tego gazu niż miałyby to miejsce przy prostym rozpuszczaniu tego gazu w osoczu. Około pięciu procent dwutlenku węgla transportowanego przez krew jest rozpuszczone w osoczu, 20 procent przenoszone jest przez hemoglobinę, a około 75% krąży w postaci dwuwęglanów.

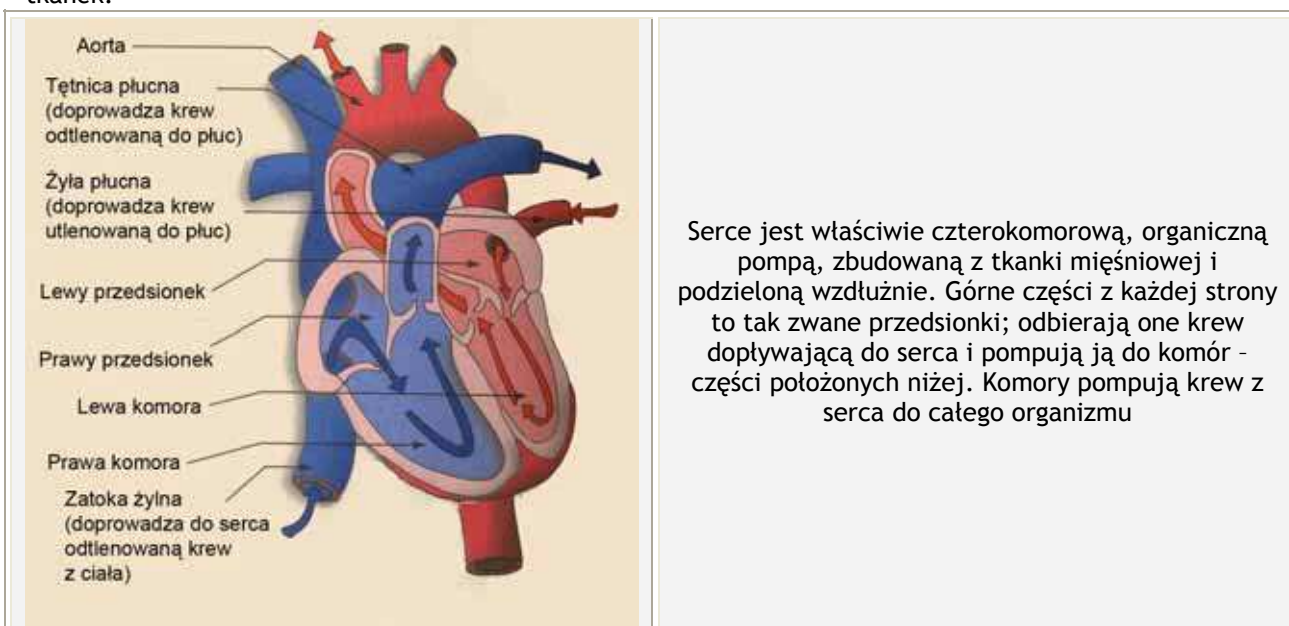
Układ sercowo - naczyniowy

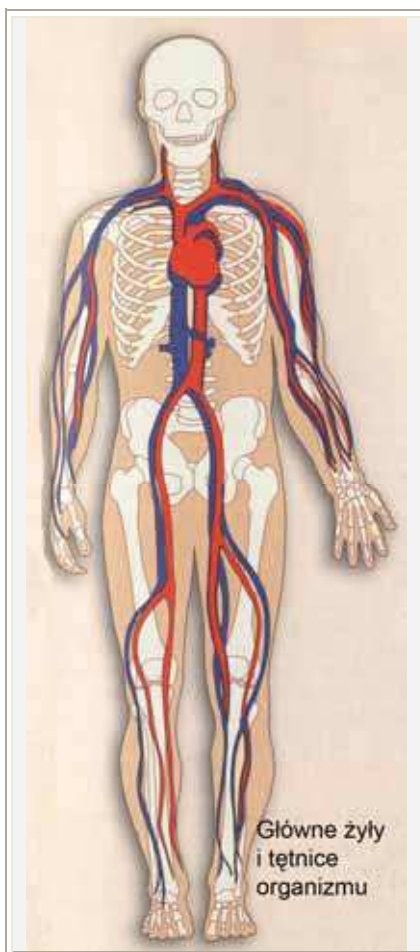
Serce, tętnice, żyły oraz naczynia włosowate składają się na układ sercowo-naczyniowy, czyli układ krążenia, który odpowiada za cyrkulację krwi w twoim organizmie. Serce jest wyspecjalizowanym mięśniem, który pompuje krew przez tętnice do tkanek twojego organizmu. Duże tętnice rozgałęziają się na mniejsze, a te z kolei na cienkie naczynia włosowate, w których następuje wymiana gazów i różnych substancji pomiędzy krwią i tkankami. Naczynia włosowate przechodzą w żyły, łącząc się w coraz większe naczynia doprowadzające krew do serca i następnie do płuc, w których zachodzi wymiana gazowa. Następnie krew przepływa ponownie do serca i cykl się powtarza.

Serce jest właściwie czterojamową, organiczną pompą, zbudowaną z wyspecjalizowanej tkanki mięśniowej i podzieloną wzdłużnie. Górne jamy serca, zwane przedsionkami, przyjmują krew wpływającą do serca i przekazują ją do komór, położonych poniżej. Komory pompują krew z serca wyrzucając ją na obwód.

Bogata w tlen krew, doptywająca do serca z płuc, wpływa do lewej części serca, skąd pompowana jest do aorty - największej tętnicy w całym ciele. Ponieważ lewa część serca zaopatruje w krew całe ciało, jest większa i mocniejsza od prawej strony.

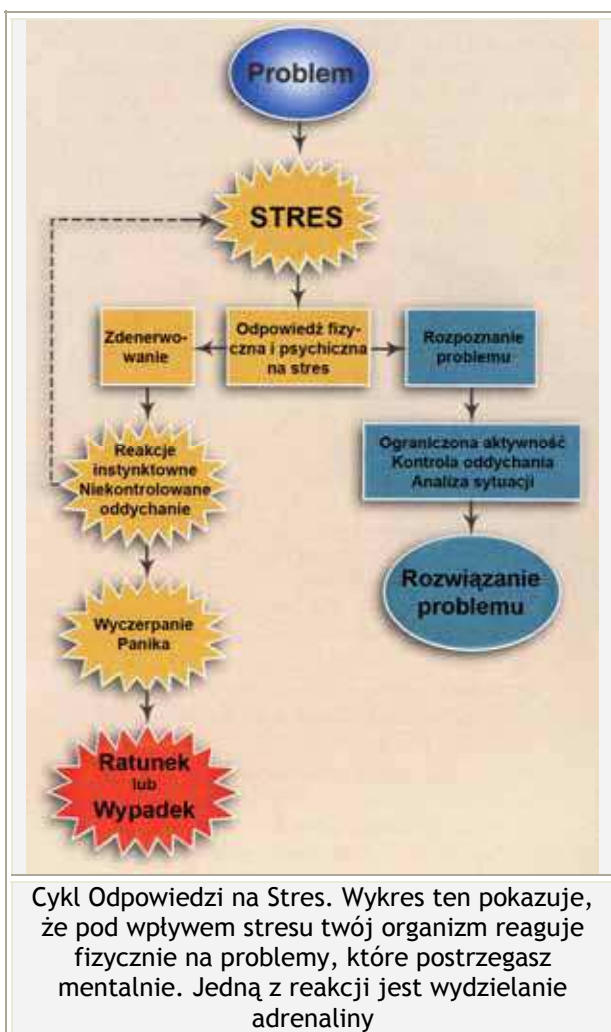
Tętnice szyjne to dwa pierwsze odgałęzienia aorty, dostarczające krew do mózgu. W części położonej dalej od serca tętnice rozgałęziają się na coraz mniejsze, aż przyjmują postać naczyń włosowatych, w których odbywa się właściwa wymiana gazów i substancji między krwią a tkankami. Naczynia włosowate są mikroskopijnej wielkości, mają tak małe średnice że krwinki przemieszczają się w nich pojedynczo, zaś ściany mają tak cienkie, że gaz i rozpuszczone składniki mogą łatwo przez nie dyfundować do otaczających tkanek.





Naczynia włosowate łączą się w żyły, które transportują krew ubogą w tlen do prawej części serca. Prawa komora pompuje krew do tętnicy płucnej, która dostarcza ją do naczyń włosowatych w płucach. Tam właśnie tlen z wdychanego powietrza przechodzi ze światła pęcherzyków płucnych do krwiobiegu. Analogicznie, dwutlenek węgla wydziela się z krwi do przestrzeni pęcherzyków właśnie w obrębie naczyń włosowatych płuc. Wzbogacona w tlen krew wraca przez żyły płucne do lewego przedsionka serca i cały cykl zaczyna się od nowa. Twoje serce poprzez swoje rytmiczne skurcze powoduje, że krew stale krąży, generując tętno (puls) oraz ciśnienie krwi. Twoje tętno odpowiada tempu skurczów serca, i może zwalniać lub przyspieszać, tak aby spełnić potrzeby twojego organizmu, zależne od wykonywanych czynności i procesów życiowych. Puls zdrowej, dorosłej osoby w stanie spoczynku powinien zawierać się pomiędzy 60 a 100 skurczów na minutę. Tempo skurczów serca i puls zmieniają się wtedy, gdy zmienia się zapotrzebowanie twoich tkanek na tlen - ale twój organizm potrzebuje tlenu przez cały czas, i dlatego serce nigdy nie może przestać pracować (a jeśli się zatrzyma, na przykład na skutek zawału serca, występuje stan zagrożenia życia). Jednak, tak jak wszystkie mięśnie, serce musi odpoczywać - czyni to pomiędzy skurczami. Ciśnienie wywoływane przez skurcze twojego serca generuje ciśnienie krwi, które można mierzyć w dwóch momentach - skurczu lub rozkurczu serca, jako ciśnienie skurczowe i rozkurczowe. Ciśnienie krwi i tętno wzrastają na skutek wysiłku fizycznego lub pod wpływem stresu i strachu, jednak zazwyczaj wracają szybko do normy po zaprzestaniu aktywności lub po przeminięciu stresu lub strachu. Tętno i ciśnienie krwi wzrastają podczas wysiłku, ponieważ twoje mięśnie zużywają więcej tlenu i wytwarzają więcej dwutlenku węgla podczas przetwarzania energii chemicznej na energię potrzebną do metabolizmu i pracy. Z tego samego powodu, przyspieszasz oddech podczas wykonywania ćwiczeń. Wkrótce omówimy sposoby, w jakie twoje ciało monitoruje i kontroluje poziom tlenu we krwi.

W wyniku stresu, twoje nadnercza wydzielają adrenalinę (epinefrynę), hormon uwalniany do układu krążenia jako część systemu obronnego organizmu. Adrenalina działa stymulująco na pracę serca, powoduje zwężenie naczyń, i zwiększa tempo oddychania w przygotowaniu twojego organizmu do ucieczki lub walki z czynnikiem powodującym stres, zwiększając zdolność całego organizmu do wysiłku (np. ucieczki). Dzieje się to odruchowo dzięki percepcji; zagrożenie nie musi być realne, aby organizm przygotował się do odpowiedzi na nie - jeśli tylko postrzegasz je jako realne, twój organizm odpowiednio zareaguje. Jak dowiesz się podczas kursu PADI Rescue Diver, jest to częścią Cyklu Odpowiedzi na Stres, który może prowadzić zarówno do rozwiązania problemu, jak i do paniki. Warto zauważyć, że kofeina i inne stymulanty imitują działanie adrenaliny w twoim organizmie, i właśnie dlatego przyspieszają twój puls i zwiększają częstotliwość oddechu.

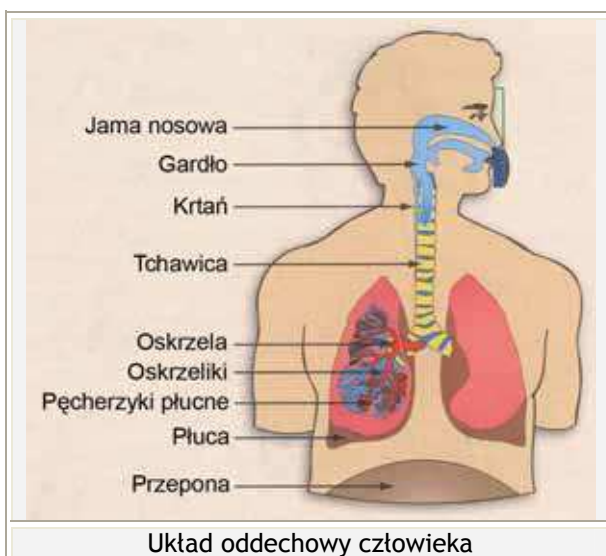


ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Stres i wzmożona aktywność fizyczna zdarzają się dość często w nurkowaniu rekreacyjnym i są stosunkowo przewidywalne. Ponieważ podczas nurkowań technicznych warunki są bardziej ekstremalne i wymagania sprzętowe wyższe, poziom stresu i wysiłek mogą być wtedy jeszcze większe. *Divers Alert Network (DAN)* donosi, że ataki serca i choroby układu sercowo-naczyniowego są coraz częstszymi przyczynami wypadków śmiertelnych podczas nurkowań, zwłaszcza u nurków powyżej 40 roku życia.

- Zasięgnij porady lekarza przed rozpoczęciem nurkowania, jeśli masz nadciśnienie bądź miałeś w przeszłości problemy z sercem
- Ćwicz regularnie, tak by zachować sprawność układu sercowo-naczyniowego
- Kontroluj dietę, by przez nieprawidłowe odżywianie nie zwiększać ryzyka wystąpienia problemów związanych z wysokim ciśnieniem krwi i chorobami serca
- Utrzymuj ilość tkanki tłuszczowej na odpowiednim poziomie przez dietę i ćwiczenia fizyczne
- Nie pal tytoniu

Budowa i funkcjonowanie układu oddechowego

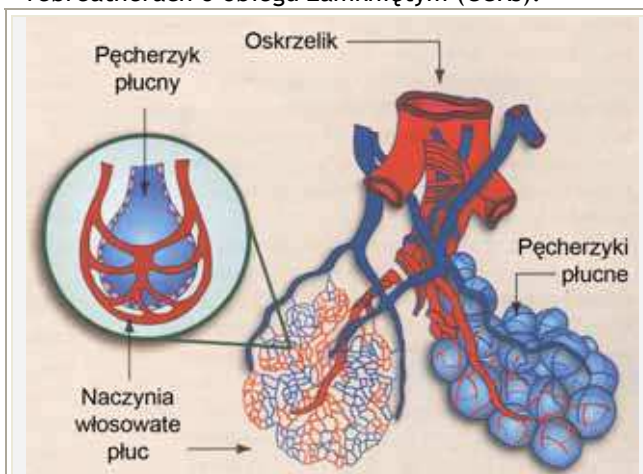
Twój układ oddechowy współpracuje z układem krążenia - zapewnia środowisko, w którym może nastąpić wymiana gazowa. Generalnie, wszystkie gazy wnikają do wnętrza twojego ciała lub opuszczają je przez płuca. Chociaż dwoma najważniejszymi gazami dla twoich procesów metabolicznych są tlen i dwutlenek węgla, to samo dotyczy wszystkich gazów którymi oddychasz, lub które są rozpuszczone w twoich tkankach. Jak obszernie omówiono w dalszej części rozdziału, azot i hel także wnikają do twoich tkanek i opuszczają je za pośrednictwem płuc, co bezpośrednio wiąże się z koniecznością stosowania tabel bądź komputerów nurkowych celem uniknięcia choroby dekompresyjnej.



Zacznijmy od opisu sekwencji zdarzeń zachodzących w układzie oddechowym, związanych z fizjologią oddychania. Odczuwasz potrzebę oddychania wtedy, gdy twój organizm wykrywa podwyższenie poziomu dwutlenku węgla i/lub obniżenie stężenia tlenu w twojej krwi i tkankach. Centra oddechowe w twoim mózgu, położone w rdzeniu przedłużonym, mają największy wpływ na kontrolę oddychania poprzez stymulowanie potrzeby wykonania wdechu w chwili, gdy przekroczono zostanie progowe stężenie CO₂. Chemoreceptory rozmieszczone obwodowo, w różnych częściach twojego ciała, monitorują stężenie tlenu, i sygnalizują ośrodkowi oddechowemu obniżenie poziomu tlenu poniżej wartości progowej. Te słabe sygnały z zewnętrznych chemoreceptorów potęgują wpływ wysokiego stężenia dwutlenku węgla na ośrodek oddechowy, przyczyniając się do pobudzenia oddychania.

Należy zwrócić uwagę, że w większości sytuacji to

stężenie dwutlenku węgla, a nie tlenu, jest najważniejszym czynnikiem kontrolującym oddychanie. Jeśli obwodowe chemoreceptory wykrywają mało tlenu, lecz stężenie dwutlenku węgla jest w normie, twój ośrodek oddechowy może nie stymulować wykonania wdechu. Z drugiej strony, nawet przy normalnych poziomach tlenu, podwyższona ilość CO₂ sprawi, że ośrodek oddechowy może reagować niepotrzebnie zwiększając częstotliwość oddechu. Jest to szczególnie ważne przy nurkowaniu na zatrzymanym oddechu, ma też znaczenie w odniesieniu do przestrzeni martwych w sprężcie powietrznym i nurkowania na rebreatherach o obiegu zamkniętym (CCRs).



Powiększenie pęcherzyka płucnego i otaczających go płucnych naczyń włosowatych. W tym miejscu zachodzi wymiana gazowa w płucach

Po stwierdzeniu zbyt wysokiego poziomu CO₂ centrum oddechowe stymuluje cię do wykonania wdechu. W tym celu przepona - duży mięsień oddzielający klatkę piersiową od jamy brzusznej - obniża się, powodując zwiększenie pojemności klatki piersiowej. Wzrost objętości i spadek ciśnienia powodują, że powietrze napływa do wnętrza klatki piersiowej, tak by doszło do wyrównania ciśnienia pomiędzy wnętrzem płuc a środowiskiem zewnętrznym. Wydech odbywa się odwrotnie - przepona rozpręża się, pozwalając sile sprężystości płuc doprowadzić do zmniejszenia ich objętości, przez co powietrze zostaje z nich wypchnięte bardzo podobnie jak powietrze wypuszczane z balonu. Zmniejszenie objętości płuc i wzrost ciśnienia wewnętrznego powodują, że powietrze wypływa z twoich płuc.

Podczas wdechu, powietrze przepływa przez usta i/lub nos oraz zatoki, w których powietrze jest zwilżane i filtrowane. Następnie, przechodzi ono

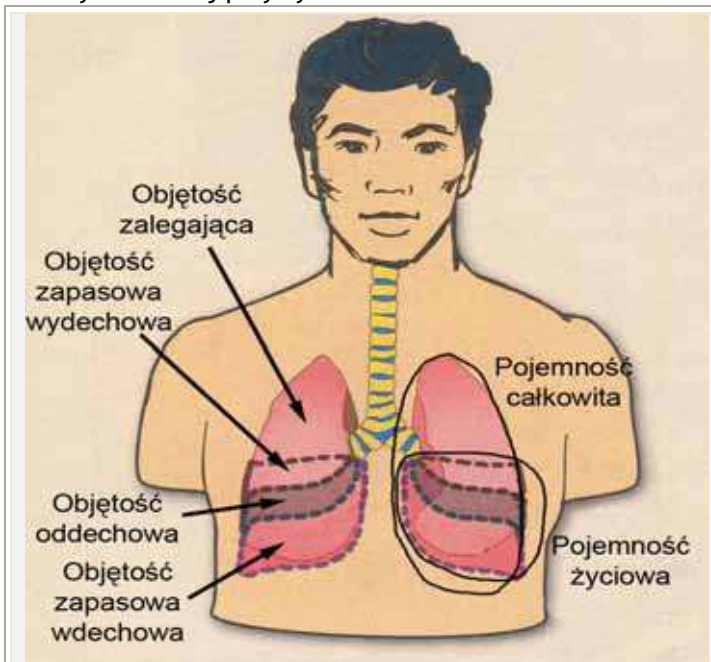
przez nagłośnię w gardle i dalej do tchawicy. Nagłośnia działa jak zawór między tchawicą a przetykiem (prowadzącym do żołądka), chroniąc drogi oddechowe przed dostaniem się do nich pokarmu lub płynów. Tchawica rozdziela się na lewe i prawe oskrzele, które prowadzą do płuc.

Choć często przyrównywane do balonów, płuca właściwie bardziej przypominają dwie duże gąbki, umieszczone wewnątrz chroniącej je klatki piersiowej. Wewnątrz płuc, oskrzela rozdziela się na coraz drobniejsze kanaliki, zwane oskrzelikami. Najdrobniejsze oskrzeliki kończą się pęcherzykami płucnymi, otoczonymi przez naczynia włosowate. Tutaj właśnie zachodzi wymiana gazowa.

Gazy przemieszczają się między światłem pęcherzyka a naczyniami poprzez cienką błonę rozdzielającą pęcherzyk i ścianę naczynia włosowatego. Błony te są mikroskopijnie cienkie, umożliwiając cząsteczkom gazów swobodne przenikanie i przemieszczanie się pomiędzy światłem pęcherzyka a twoim krwiobiegiem. Tutaj tlen, dwutlenek węgla i inne gazy dyfundują między krwią a pęcherzykiem płucnym, przy czym krew

nie wchodzi w bezpośredni kontakt z powietrzem (ani innym gazem, którym oddychasz). Mechanizmem, który odpowiada za przemieszczanie się gazów, jest dyfuzja - naturalna tendencja gazów do przemieszczania się z obszarów o wysokim ciśnieniu parcyjnym do obszarów o niskim ciśnieniu parcyjnym. Gdyby nie dyfuzja, wymiana gazów w płucach nie mogłaby zachodzić.

Aby zapewnić maksymalną powierzchnię kontaktu dla przyspieszenia dyfuzji gazów, pęcherzyki płucne i oplatające je naczynia włosowate występują w bardzo dużych liczbach. Całkowita powierzchnia strefy wymiany gazów w twoich płucach, po rozprostowaniu, miałaby wielkość typowego pokoju mieszkalnego. Mimo wielkości tej powierzchni, twój system oddechowy i krążenia wykorzystuje zaledwie ok. 15-20 procent tlenu dostępnego w każdym oddechu. Sztuczne oddychanie usta-usta jest możliwe, ponieważ wydychane powietrze wciąż zawiera 80-85% początkowej zawartości tlenu, co wystarcza do utrzymania osoby ratowanej przy życiu.



Objętość oddechowa to objętość gazu, którą pobierasz i wydychasz przy normalnym oddechu. Ilość powietrza, jaką możesz usunąć z płuc po wykonaniu normalnego wydechu, to objętość zapasowa wydechowa, zaś objętość jaką możesz dodatkowo pobrać po wykonaniu normalnego wdechu to objętość zapasowa wdechowa. Pojemność życiowa to największa objętość powietrza, jaką możesz pobrać w płucach po maksymalnym wdechu, a objętość zalegająca to ilość powietrza pozostająca w płucach po najsilniejszym wydechu. Suma pojemności życiowej i objętości zalegającej to całkowita pojemność płuc.

Tempo oddychania zmienia się w zależności od tempa produkcji dwutlenku węgla przez twoje tkanki, co ma bezpośredni związek z ilością zużywanej energii. W stanie spoczynku, przeciętna osoba wykonuje 12-20 oddechów na minutę, ale w trakcie aktywności fizycznej to tempo wzrasta, gdyż organizm szybciej pochłania tlen i wytwarza dwutlenek węgla. Centrum oddechowe utrzymuje zwiększone tempo oddychania aż do momentu, w którym stężenie dwutlenku węgla powróci do normy.

Podobnie jak tempo oddychania, także objętość wdychanego powietrza zmienia się w zależności od twojej aktywności. Jak ci zapewne wiadomo, oddychasz głębiej i szybciej podczas wykonywania ćwiczeń lub pod wpływem stresu - które zwiększają zużycie O_2 i produkcję CO_2 .

Objętość oddechowa (tidal volume) to objętość gazu, którą pobierasz i wydychasz przy normalnym oddechu. Ilość powietrza, jaką możesz usunąć z płuc po wykonaniu normalnego wydechu, to objętość zapasowa wydechowa (expiratory reserve volume), zaś objętość jaką możesz dodatkowo pobrać po wykonaniu normalnego wdechu to objętość zapasowa wdechowa (inhalatory reserve volume). Pojemność życiowa (vital capacity) to największa objętość powietrza, jaką możesz pobrać w płucach po maksymalnym wdechu (suma trzech poprzednio wymienionych objętości), a objętość zalegająca (residual volume) to ilość powietrza pozostająca w płucach po najsilniejszym wydechu. Suma pojemności życiowej i objętości zalegającej to całkowita pojemność płuc (total lung capacity). Pojęcia objętości oddechowej i pojemności zalegającej odnoszą się bezpośrednio do niektórych reakcji twojego organizmu na nurkowanie.

Wpływ nurkowania na układy krążenia i oddechowy

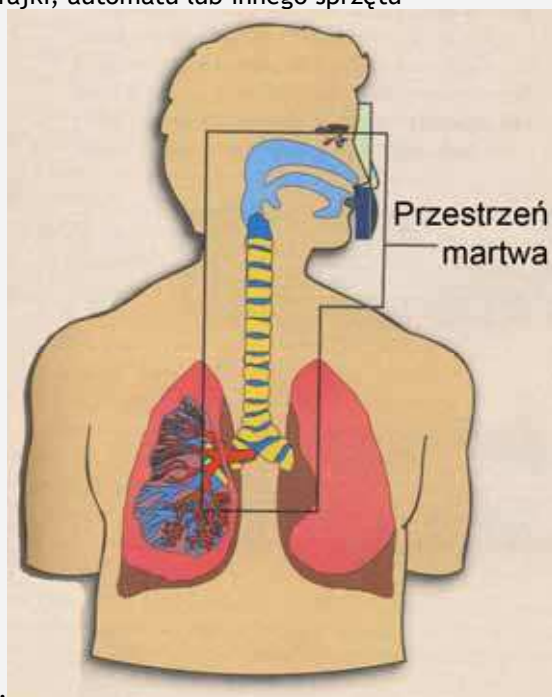
Gdy nurkujesz, twój układ oddechowy i krążenia oczywiście nie przestają funkcjonować, za to muszą przystosować się do warunków istniejących w środowisku podwodnym. Pewne procesy zachodzą bez względu na to, czy oddychasz z akwalungu, czy też nurkujesz na zatrzymanym oddechu. Możesz nurkować tylko dzięki temu, że twój organizm reaguje na zwiększone ciśnienie i wzrost gęstości gazów oddechowych pod wodą.

Reakcje na oddychanie w sprężcie

Oddychanie w sprężcie - przez automat lub fajkę - wpływa na reakcje układu krążenia i oddechowego poprzez zwiększanie zawartości dwutlenku węgla i przez zwiększanie oporów oddechowych. Reakcje te wynikają ze zwiększenia objętości przestrzeni martwych, z turbulencji i wzrostu gęstości gazu pod wodą.

Przestrzeń martwa

Przestrzeń martwa (dead-air space) to część objętości oddechowej, która nie uczestniczy bezpośrednio w wymianie gazowej. Bez sprzętu, przestrzeń martwą stanowią zatoki, tchawica i oskrzela. Jednak podczas używania sprzętu przestrzeń martwa dodatkowo powiększa się o objętość fajki, automatu lub innego sprzętu



oddechowego.

Przestrzeń martwa to ta część twojej pojemności oddechowej, która nie bierze bezpośredniego udziału w wymianie gazowej

Przy wykonywaniu wdechu, pierwsza porcja gazu docierającego do pęcherzyków jest tym samym gazem, który pozostał w drogach oddechowych po poprzednim wydechu. Jest on bogatszy w CO₂, i podczas wdechu miesza się ze świeżym gazem - tak, że gaz w pęcherzykach płucnych zawiera zawsze nieco więcej dwutlenku węgla niż wynosi jego zawartość w gazie używanym do oddychania. Oddychanie przez fajkę, automat bądź inny aparat oddechowy zwiększa tę przestrzeń martwą. Dodatkowo, podczas pobytu w wodzie objętość oddechowa jest mniejsza o ok. 15-20% niż na powierzchni, ze względu na ściskanie klatki piersiowej przez wodę (zwłaszcza wtedy, gdy przyjmujesz pozycję pionową). Na skutek zmniejszenia objętości oddechowej i zwiększenia przestrzeni martwej, zużyty gaz może stanowić większą część każdego oddechu, przez co może odpowiednio wzrosnąć zawartość CO₂ w pęcherzykach płucnych. Zwiększanie poziomu dwutlenku węgla zależy od objętości oddechowej i zalegającej, może zatem wahać się od nieistotnego aż do znacznego. Jednak, w rozsądnych granicach, możesz kompensować wzrost stężenia CO₂, zarówno świadomie jak i nieświadomie. Zwiększenie stężenia CO₂ w pęcherzykach

płucnych prowadzi do zwiększenia zawartości tego gazu we krwi, przy braku istotnego spadku zawartości tlenu. Jednak na skutek zwiększonego stężenia dwutlenku węgla twój ośrodek oddechowy stymuluje wzrost częstości i głębokości oddechów. Fizjolodzy wykazali, że u niektórych nurków ośrodek oddechowy staje się z czasem bardziej tolerancyjny na lekko podwyższony poziom CO₂. Efekt jest szczególnie wyraźny u nurków, którzy nurkują dużo na bezdechu, na przykład polując pod wodą lub biorąc udział w zawodach freedivingowych (wkrótce bliżej omówimy reakcje twojego organizmu na nurkowanie bezdechowe). Zatem, choć twoją nieświadomą reakcją może być wzrost tempa i głębokości oddechów, doświadczenie pozwala przeciwdziałać temu efektowi (w określonych granicach!).

Świadomą reakcją - jedyną, którą możesz kontrolować - jest wykonywanie głębokich wdechów celem zwiększenia objętości oddechowej. Przez zwiększanie ilości wdychanego gazu, zmniejszasz proporcję, jaką stanowi gaz z przestrzeni martwych, w całkowitej objętości docierającej do pęcherzyków płucnych. Jest to jeden z powodów, dla których uczono cię wykonywać powolne i głębokie oddechy podczas nurkowania. Innym sposobem wpływania na objętość martwą jest używanie odpowiedniego sprzętu. Producenci w taki sposób projektują sprzęt do oddychania pod wodą, by zmniejszyć przestrzeń martwą. Jak dowiedziałeś się w Rozdziale Trzecim, jest to jednym z powodów, dla których nie konstruuje się obecnie bardzo długich fajek, które niepotrzebnie zwiększały przestrzeń martwą. Wiele masek pełnotwarzowych i hełmów używanych do nurkowań komercyjnych posiada odrębne części/kieszonki na nos i usta, które oddzielają te części twarzy od reszty przestrzeni maski. Celem tego jest zmniejszenie rzeczywistej przestrzeni martwej, i zapobieżenie gromadzeniu się dwutlenku węgla wewnątrz maski. Natomiast przeciętny drugi stopień automatu oddechowego używanego w nurkowaniu rekreacyjnym ma tak małą objętość, że powoduje wzrost przestrzeni martwej w mniejszym stopniu niż przeciętna fajka.

Gęstość gazu

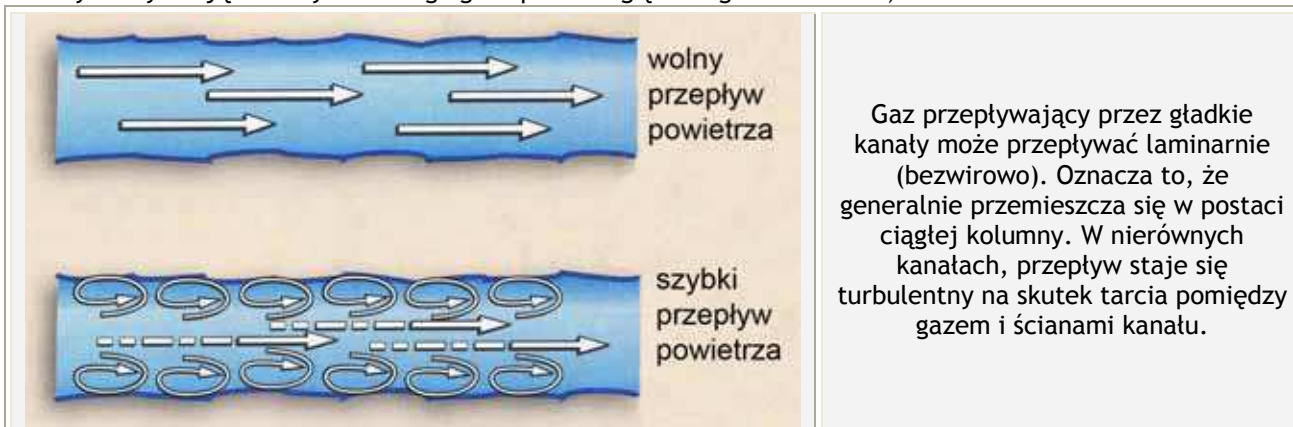
Gdy nurkujesz ze sprzętem powietrznym, głębokie oddychanie wymaga dodatkowej adaptacji z powodu większej gęstości powietrza (lub innego gazu) wdychanego pod ciśnieniem. Im gęstszy gaz, tym mniej płynnie przepływa przy danej prędkości. Przy założeniu braku innych różnic, przy wzroście prędkości gazu o określoną wielkość, opory oddechowe wzrastają nieproporcjonalnie. Dlatego właśnie potrzeba więcej niż dwa razy tyle energii na wdychanie/wydychanie określonej objętości dwa razy szybciej. Jest to spowodowane tym, że gdy gaz przepływa przez gładkie kanały, może przepływać laminarnie (bezwirowo). Oznacza to, że generalnie przemieszcza się on jako ciągła, jednorodna kolumna gazu. Niestety, wdychane przez ciebie powietrze nie przepływa gładkimi kanałami, ale przez sprzęt powietrzny, tchawicę i oskrzela. W tych nierównych kanałach, przepływ powietrza jest turbulentny (wirowy) w efekcie tarcia między gazem i ścianami kanałów. Te opory sprawiają, że gaz przemieszcza się szybciej w centralnej części kanałów niż przy ich krawędziach, powodując zawirowania w kierunku odwrotnym od kierunku przepływu, zaburzające spokojny przepływ i zwiększające opór. Im gęstszy jest gaz, tym większe są opory przy danej prędkości przepływu.



Wiele masek pełnotwarzowych i hełmów do nurkowań komercyjnych posiada odrębne części/kieszonki na nos i usta, które oddzielają te części twarzy od pozostałej przestrzeni maski. Służy to zmniejszeniu efektywnej przestrzeni martwej i zapobieżeniu akumulacji dwutlenku węgla wewnątrz

Do pewnego stopnia, ten opór ma pewne pozytywne konsekwencje (nawet na powierzchni) - zwiększa nieznacznie ciśnienie w oskrzelikach i pęcherzykach podczas wydechu. Chroni to kanały powietrzne przed zapadaniem się podczas wydechu, choć pewna ich część zapada się mimo wszystko, zarówno pod wodą, jak i na powierzchni. Więcej informacji na temat wpływu zapadania się kanałów powietrznych na nurkowanie znajdziesz w sekcji "Fizjologiczne efekty zmian ciśnienia w przestrzeniach powietrznych organizmu". Jednak w trakcie nurkowania opory te mogą stanowić problem, ponieważ im szybciej gaz przepływa, im jest on gęstszy, i im bardziej nieregularny kanał którym przepływa, tym więcej energii trzeba zużyć na przewyżczanie oporów powodowanych przez turbulencję. Jest to poważny problem w nurkowaniu

technicznym, ale może mieć znaczenie nawet w stosunkowo płytkiej wodzie - jeżeli ulegniesz wyczerpaniu. Dlatego właśnie uczono cię oddychania powolnego i głębokiego, nurkowania w stanie relaksu, oraz oszczędzania energii pod wodą. Wykwalifikowani nurkowie techniczni zapobiegają temu zjawisku przez użycie mieszanek oddechowych zawierających hel, który zmniejsza gęstość mieszanki (istnieją też inne korzyści wynikające z używania tego gazu podczas głębokiego nurkowania).



Rebreathery o obiegu zamkniętym i półzamkniętym

Rebreathery o obiegu zamkniętym i półzamkniętym (Closed-Circuit Rebreathers - CCRs i Semiclosed-Circuit Rebreathers - SCR) także wywołują odpowiedź fizjologiczną organizmu. Chociaż objętość gazu dostępnego do oddychania jest bardzo duża, dzięki swojej konstrukcji rebreathery nie mają znacząco większej przestrzeni martwej niż inne rodzaje aparatów do oddychania pod wodą. Wynika to z faktu, że absorbent chemiczny usuwa dwutlenek węgla z wydychanego gazu, który następnie powraca do nurka poprzez pętlę oddechową i zawory regulujące jego przepływ (w Rozdziale Trzecim znajdziesz więcej informacji na temat sposobu funkcjonowania rebreatherów). Dodatkową przestrzeń martwą stanowi zatem tylko objętość ustnika, a jeśli używasz maski pełnotwarzowej, część ustno-nosowa.

Jednak jeśli zużyjesz absorbent albo zapakujesz go niewłaściwie, cały rebreather może stać się jedną wielką przestrzenią martwą. Inaczej niż w typowej przestrzeni martwej, zawartość tlenu będzie wystarczająca (o ile nie wystąpią inne problemy techniczne!), ale rosnący poziom dwutlenku węgla może powodować bóle głowy, przyspieszenie oddechu oraz inne symptomy hiperkapni (zatrucia dwutlenkiem węgla - omówione wkrótce). Dlatego jest istotne, by nurkowie używający CCR bądź SCR wymieniali absorbent odpowiednio często - nie przekraczali jego zalecanej trwałości, oraz by upewnili się, że jest on prawidłowo zapakowany.

Gęstość gazu i przepływ laminarny stanowią ważne zagadnienia w nurkowaniu na rebreatherach. Energia potrzebna do przepływu gazu przez te systemy pochodzi wyłącznie od ciebie. Kanały oddechowe nie są gładkie, zatem występują naturalne turbulencje, a dodatkowo musisz "przepychać" gaz przez zbiornik z absorbentem. Energia potrzebna do tego znacznie wzrasta wraz z rosnącą gęstością gazu. Dodatkowo, wydychany gaz musi pozostać przez chwilę w sąsiedztwie absorbentu, tak by pochłonięty został cały dwutlenek węgla; szybkie oddychanie skraca ten czas, i może spowodować, że część CO₂ przepłynie przez zbiornik z pochłaniaczem. Z tych powodów, powolne i głębokie oddychanie jest szczególnie istotne podczas nurkowania na rebreatherach.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU: Aby zmniejszyć znaczenie przestrzeni martwych, gęstości gazu i turbulencji, powinieneś:

- **Oddychać powoli i głęboko podczas nurkowania**
- **Przestrzegać wytycznych producenta odnośnie pojemności i pakowania pochłaniacza dwutlenku węgla do rebreatherów**

Wpływ nurkowania na zatrzymanym oddechu

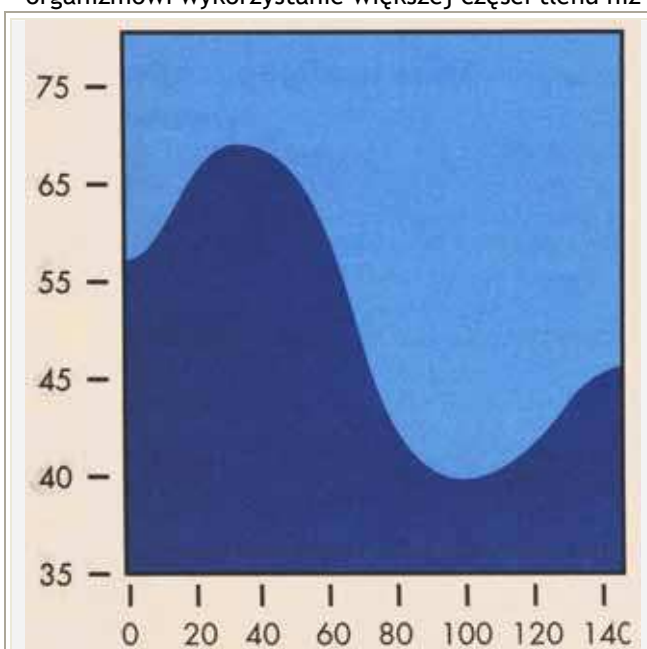
Podczas nurkowania na zatrzymanym oddechu, twoje ciało musi odpowiednio reagować na zaprzestanie oddychania (bezdech - apnea), aby zapewnić ci przeżycie oraz to, że wkrótce wznowisz oddychanie.

Fizjolodzy stwierdzili, że reakcja twojego organizmu jest nieco inna podczas wstrzymywania oddechu pod wodą i na lądzie, choć wciąż nie jest jasne dlaczego i w jakim stopniu istotne są te różnice.

Podczas bezdechu, układ krążenia wykorzystuje tlen zgromadzony w płucach, mięśniach i krwi, aby zaspokoić zapotrzebowanie tkanek na tlen. Bez wentylacji, po chwili dwutlenek węgla gromadzi się w układzie krążenia, płucach, mięśniach i innych organach. Wzrost stężenia CO₂ sprawia, że twój ośrodek oddechowy stymuluje przeponę do skurczu, co odczuwasz jako potrzebę zaczerpnięcia oddechu.

Początkowo potrzeba ta jest słaba, lecz sukcesywnie nasila się, w miarę jak ciało zużywa tlen i produkuje dwutlenek węgla - aż do tego momentu, gdy musisz wynurzyć się dla nabrania powietrza. To, jak długo potrafisz pozostać na bezdechu, zależy od szeregu parametrów fizjologicznych i reakcji, nie do końca rozumianych przez fizjologów. Znaczenie tych reakcji różni się znacząco u poszczególnych osób, i dlatego niektórzy nurkowie potrafią wstrzymać oddech na czas znacznie dłuższy od innych.

Wiele czynników i procesów w twoim ciele wpływa na czas, na jaki możesz wstrzymać oddech. Jednym z nich, jak uważa wielu fizjologów, jest ciśnienie wody. W miarę zanurzania, ciśnienie wody spręża powietrze w twoich płucach, zwiększając ciśnienie parcjale tlenu. Zwiększone ciśnienie O₂ umożliwia organizmowi wykorzystanie większej części tlenu niż byłoby to możliwe na powierzchni.



Nieświadomą reakcją twojego organizmu na nurkowanie na zatrzymanym oddechu jest zmiana częstości skurczów serca. Gdy weźmiesz pierwszy głęboki wdech, zachodzi tachykardia, czyli przyspieszenie pracy serca; następnie występuje bradykardia, czyli spowolnienie pracy serca

Mimowolną reakcją organizmu spotykana przy nurkowaniu bezdechowym jest zmiana tempa pracy serca. Gdy po raz pierwszy weźmiesz głęboki wdech, występuje tachykardia, czyli przyspieszenie akcji serca, po niej zaś następuje bradykardia, czyli spowolnienie akcji serca. Badania wykazały także występowanie arytmii (nieregularnego rytmu pracy serca) podczas długich nurkowań na zatrzymanym oddechu odbywanych przez wytrenowanych nurków bezdechowych.

Bradykardia występująca na skutek wstrzymania oddechu określana jest jako odruch ssaków nurkujących (mammalian diving reflex), ponieważ występuje u niektórych ssaków, takich jak wieloryby, foki i morświny. Wydaje się, że właśnie ten odruch umożliwiał przeżycie niektórych dzieci bliskich utonięcia w wodzie o temperaturze poniżej 10°C: po resuscytacji, poszkodowani odzyskiwali funkcje życiowe nawet po upływie ponad 20 minut od momentu zatrzymania oddechu, bez wystąpienia trwałych konsekwencji.

Fizjolodzy nie do końca rozumieją, jak i dlaczego występuje odruch nurkowy. Wiadomo, że związany jest z zimną wilgocia na twarzy, ale podczas badań zimna woda nie zawsze powodowała wydłużenie czasu bezdechu. To, że zimna woda na twarzy wydaje się wywoływać taką odpowiedź, tłumaczy, dlaczego odruch nurkowy rzadziej był spotykany u

osób podtopionych w wodach ciepłych.

Wydaje się, że na skutek odruchu nurkowego krew jest koncentrowana w mózgu i sercu, dostarczając tlen z limitowanej puli jedynie do najbardziej wymagających rejonów ciała. Może mieć to związek z rosnącym stężeniem CO₂, na co twój organizm reaguje przez ograniczenie dopływu krwi do kończyn i zwiększenie dopływu do mózgu. Inaczej niż u ssaków morskich, u których w trakcie wstrzymywania oddechu ciśnienie krwi pozostaje na stałym poziomie, u człowieka ciśnienie wzrasta w miarę przedłużania bezdechu. Zmiany we układzie krążenia występują także jako naturalna odpowiedź na zmiany temperatury; niektórzy fizjolodzy uważają, że zmiany krążenia krwi w wyniku odruchu nurkowego mogą częściowo wynikać z naturalnej reakcji na zimno.

Oprócz nieświadomych reakcji, możesz świadomie zwiększyć czas wstrzymywania oddechu. Pierwszy ze sposobów polega na relaksacji i ograniczeniu wysiłku. Im mniej intensywnie poruszasz się i mniej męczysz, tym wolniej zużywasz tlen i wytwarzasz dwutlenek węgla.

Innym sposobem świadomego zwiększania czasu bezdechów jest trening. Badania wykazały, że wytrenowani freediverzy mogą wstrzymać oddech na dłuższy czas, ponieważ wzrasta ich tolerancja na

podwyższone stężenie dwutlenku węgla, mają oni też zwiększoną wydajność beztlenową - ich ciała mają zwiększoną zdolność wytwarzania energii przy braku tlenu.

Trzecim sposobem zwiększenia czasu trwania bezdechu jest rozpoczynanie nurkowania na zatrzymanym oddechu z mniejszą ilością CO₂ w organizmie. W tym celu powinienś wykonać świadomą hiperwentylację - trzy lub cztery szybkie, głębokie oddechy tuż przed zanurzeniem. Robiąc to, zmniejszasz stężenie dwutlenku węgla w drogach oddechowych do poziomu poniżej normalnego, co z kolei prowadzi do obniżenia stężenia tego gazu w układzie krwionośnym. Dzięki temu, twoje tkanki będą mogły wytworzyć większą ilość dwutlenku węgla przed osiągnięciem poziomu, który stymuluje oddychanie. Jednak, jak dowiesz się w następnej sekcji, ważne jest ograniczanie hiperwentylację do maksymalnie trzech lub czterech oddechów.

Fizjologiczne uzasadnienie udzielania pierwszej pomocy i pomocy lekarskiej podtopionym

Utonięcie jest często wymieniane jako przyczyna śmierci w wypadkach nurkowych. Choć generalnie to twierdzenie jest prawdziwe, to przebieg zdarzeń prowadzących do wypadku zakończonego utonięciem może być bardzo różny. Na przykład, nurek może ulec wyczerpaniu na powierzchni lub pod wodą, może skończyć mu się powietrze, może też spanikować lub ulec toksyczności tlenowej. Schorzenia lub czynniki mogące prowadzić do utraty przytomności, takie jak cukrzyca, padaczka, hipotermia lub arytmia serca, także mogą powodować utonięcie - i dlatego ludziom z pewnych grup ryzyka odradza się nurkowanie. Utonięcie może także wynikać z zaistnienia innych czynników mogących nawet samodzielnie prowadzić do śmierci, takich jak atak serca podczas nurkowania.

Chociaż utonięcie może być spowodowane przez wiele różnych okoliczności, pierwsza pomoc i opieka medyczna są takie same. Zatem przed omówieniem fizjologii, zdefiniujmy pojęcie utonięcia i podtopienia. Oba wynikają z odcięcia dostępu powietrza przez wodę, ale w wypadku utonięcia ofiara umiera. Ofiara podtopienia przeżywa, przynajmniej czasowo.

Zarówno ofiara utonięcia, jak i podtopienia, może zachłysnąć się wodą - czyli wciągnąć wodę do dróg oddechowych. Około 15% ofiar utonięcia i podtopienia nie zachłystuje się wodą - prawdopodobnie podczas tonięcia odruchowo zaciskają krtań. W efekcie, te osoby duszą się, gdyż nie przestają wstrzymywać oddechu. Jeśli ratownik przywróci ofierze oddech zanim zajdą nieodwracalne zmiany w układzie krążenia i układzie nerwowym, osoba taka przeważnie wraca do zdrowia szybko i bez komplikacji.

W pozostałych 85% wypadków przebieg zdarzeń jest inny. Ofiary tonięcia zachłystują się różną ilością wody, która powoduje urazy płuc, trwające długo po wyciągnięciu poszkodowanego z wody. Poza nielicznymi wyjątkami, konsekwencje są podobne bez względu na to czy ofiara zachłysnęła się słodką czy słoną wodą, gdyż ostateczne konsekwencje są takie same, choć mechanizmy nieco się różnią.

Najważniejszym efektem zachłysnięcia się słodką lub słoną wodą jest hipoksemia. W ten sposób określa się nienormalnie niski poziom tlenu w krwi, który powoduje niewystarczające zaopatrzenie tkanek ciała w tlen (hipoksja).

Mózg jest organem najbardziej wrażliwym na brak tlenu, i dlatego utrata przytomności jest częsta w przypadkach podtopienia. Nawet po przywróceniu do życia, wciągnięcie wody do płuc może spowodować hipoksemię na skutek uszkodzenia płuc, które może nie dawać o sobie znać przez wiele godzin. Uratowana osoba podtopiona może wydawać się całkowicie wyleczona, aż do momentu wystąpienia objawów hipoksemii nawet po upływie kilku godzin po wypadku. Jest to tak zwane wtórne utonięcie. Bez specjalistycznego leczenia, uraz ten może doprowadzić do śmierci.

Jako że hipoksemia w trakcie i po wypadku powoduje uszkodzenia tkanek, podstawowym sposobem ratowania ofiary podtopienia jest jak najszybsze wykonanie sztucznego oddychania, w razie konieczności masażu serca i defibrylacji, a następnie podanie tlenu. Dzięki tym czynnościom, wiele ofiar podtopienia u których doszło do zatrzymania oddychania, a czasem także do zatrzymania akcji serca, odzyskiwało pełną sprawność bez żadnych trwałych konsekwencji.

Generalnie, podczas ratowania podtopionej ofiary nie warto próbować usuwać wody z jej płuc, jednak ratownik musi pamiętać o udrożnieniu górnych dróg oddechowych (ust, nosa i gardła) i zabezpieczeniu przed wlewaniem się większej ilości wody. Ofiara podtopienia może wymiotować (często dochodzi do połknięcia wody) - dlatego do obowiązków ratownika należy także chronienie poszkodowanego przed zachłysnięciem.

Ponieważ uraz płuc i hipoksemia spowodowane podtopieniem mogą utrzymywać się przez godziny i dni po zdarzeniu, bardzo ważne jest, aby wszystkim ofiarom podtopienia udzielona została pomoc przez służby medyczne, które dokonają szczegółowej oceny odniesionych obrażeń, i żeby w miarę możliwości poszkodowani otrzymali do oddychania czysty tlen podczas transportu do szpitala.

Dawniej lekarze uważali, że rodzaj uszkodzeń wynikających z podtopienia zależy od tego, czy ofiara

zachłysnęła się wodą słoną czy słodką. Obecnie, poza wyjątkowymi sytuacjami, nie ma to większego wpływu na przebieg leczenia, mimo że słodka i słona woda uszkodzają płuca w inny sposób. W obu przypadkach mniej tlenu przechodzi do krwi i dalej do tkanek, i dlatego podstawowym sposobem leczenia samodzielnie oddychającej ofiary podtopienia jest zawsze podanie tlenu.

W sytuacjach nurkowych, podstawowy czynnik powodujący uraz nie zawsze może być oczywisty. Na przykład, nurek może doznać embolii gazowej, stracić przytomność, i w następstwie tego doznać podtopienia. W pierwszych momentach akcji ratowniczej, trudne może być dokładne określenie przyczyn wypadku, ale nie gra to bardzo istotnej roli przy udzielaniu pierwszej pomocy. Na szczęście dla nurków podtopionych, mających uraz ciśnieniowy płuc czy chorobę dekompresyjną, stosuje się te same procedury pierwszej pomocy: sztuczne oddychanie, masaż serca i defibrylacja (jeżeli potrzeba), podanie tlenu, oraz wezwanie fachowej pomocy medycznej najszybciej jak to możliwe



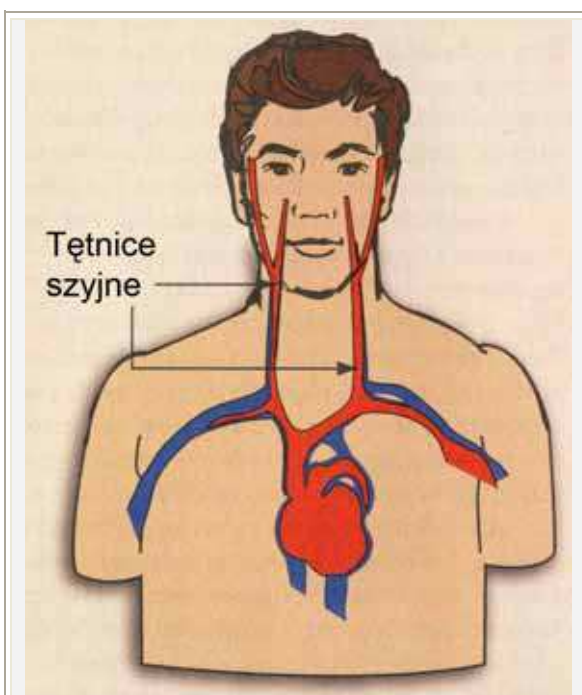
Samodzielnie oddychającej ofierze podtopienia
podaj tlen

Problemy układów krążenia i oddechowego związane z nurkowaniem

Chociaż twoje układy krążenia i oddechowy działają podczas nurkowania wyjątkowo skutecznie, nie można oczekiwać od fizjologii lądowego stworzenia takiego jak człowiek, by przejście do środowiska podwodnego przebiegało bez żadnych komplikacji. W twoim układzie krążenia i oddechowym mogą wystąpić problemy związane z wpływem sprzętu, zaniedbaniem reagowania na zmiany ciśnienia, bądź ignorancją dotyczącą zachowania się organizmu podczas nurkowania. Te problemy mogą wynikać np. z nieprzewidzianego działania sprzętu, bądź z fizjologicznych efektów posiadania zbyt dużej lub zbyt małej zawartości różnych gazów w tkankach.

Odruch zatoki szyjnej (carotid-sinus reflex)

Z rozdziału o budowie układu krwionośnego pamiętasz zapewne, że krew tętnicza dociera do mózgu przez tętnice szyjne, rozgałęziające się po obu stronach szyi. Ponieważ twój mózg nie jest w stanie przetrwać więcej niż kilku minut bez dopływu utlenowanej krwi, receptory w zatoce szyjnej stale monitorują ciśnienie krwi w twoich tętnicach szyjnych. Receptory przesyłają impulsy do centrum krążeniowego w mózgu, które hamuje pracę serca.

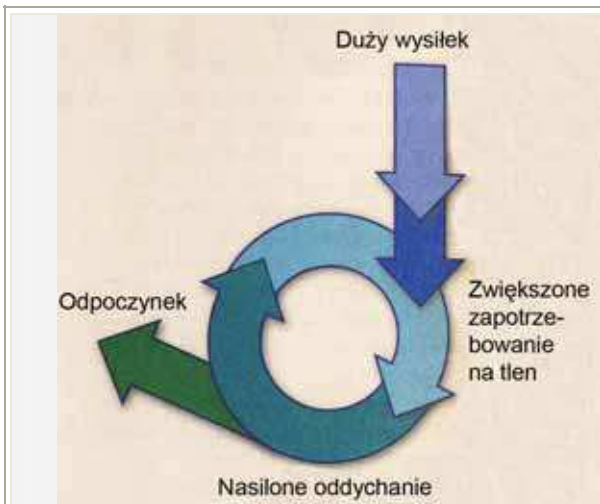


Zbyt ciasne kryza szyjna lub kaptur mogą uciskać tętnice szyjne i powodować utratę przytomności poprzez odruch zatoki szyjnej

Gdy receptory w kłębkach szyjnych wykryją wysokie ciśnienie krwi, stymulują ośrodek krążeniowy, który wysyła sygnały spowalniające tempo pracy twojego serca. Gdy zaś wykryją niskie ciśnienie krwi, przesyłanie sygnałów do ośrodka krążeniowego ustaje, i w efekcie przerywane jest wysyłanie sygnałów do serca. Wtedy tempo pracy serca wzrasta.

Taki mechanizm kontroli powoduje, że możesz mieć problemy gdy ubierzesz suchy skafander ze zbyt ciasną kryzą szyjną, ciasny mokry skafander, kaptur albo jakiegokolwiek inny element ekwipunku mocno uciskający szyję. Wtedy twoje receptory w zatokach szyjnych mogą nieprawidłowo interpretować ucisk jako wysokie ciśnienie krwi, stymulując centrum krążeniowe w mózgu do spowolnienia pracy serca.

Twoje serce zwalnia, jednak ucisk nie ustaje - i receptory w kłębkach szyjnych w dalszym ciągu odbierają go jako zbyt wysokie ciśnienie krwi. W efekcie, dalej przesyłają sygnały, by spowolnić pracę serca. Jeśli proces ten będzie postępował, może dojść do utraty przytomności na skutek zbyt niskiego zmniejszenia dopływu krwi do mózgu. Jednak w większości wypadków, zanim sytuacja stanie się poważna, poczujesz się niekomfortowo i słabo. Zignorowanie tych symptomów grozi omdleniem.



W nurkowaniu, najczęstszą przyczyną hiperkapni jest nadmierny wysiłek i/lub nieodpowiednie oddychanie - szybkie i płytkie. Połączenie małej objętości oddechowej, dużej przestrzeni martwej i zwiększonej produkcji CO₂ może prowadzić do sytuacji, w której dwutlenek węgla produkowany jest szybciej niż organizm może go usuwać

Hiperkapnia

Hiperkapnia (lub hiperkarbia) to nadmiar dwutlenku węgla w twoim układzie oddechowym i układzie krążenia. Jak wspomnieliśmy, może wynikać z wielu przyczyn, w tym ze zbyt dużej przestrzeni martwej lub na skutek wstrzymywania oddechu.

W nurkowaniu, najczęstszą przyczyną hiperkapni jest nadmierny wysiłek, oraz/lub oddychanie niewystarczająco głęboko i wolno. Połączenie małej objętości oddechowej, dużej przestrzeni martwej i wysokiej produkcji dwutlenku węgla może prowadzić do sytuacji, w której będziesz wytwarzał CO₂ szybciej, niż twój układ oddechowy będzie się go w stanie pozbywać. Pod wpływem zwiększonego stężenia dwutlenku węgla, twój ośrodek oddechowy stymuluje cię do przyspieszenia oddychania. Jednak większa gęstość powietrza pod wodą sprawia, że twoja przepona i inne mięśnie oddechowe muszą pracować jeszcze ciężiej by przezwyciężyć opory wynikające z turbulencji. To z kolei prowadzi do wytworzenia jeszcze

większej ilości dwutlenku węgla, co powoduje jeszcze szybsze oddychanie. Ten cykl będzie trwał aż do chwili, gdy zaprzestaniesz wszelkiej aktywności i dasz swojemu układowi sercowo-naczyniowemu możliwość zaspokojenia jego wymagań dotyczących wymiany gazów.

Gdy poziom dwutlenku węgla w powietrzu w pęcherzykach płucnych i w krwiobiegu wzrasta, możesz doświadczyć bólu głowy, dezorientacji, przyspieszenia oddychania, a później uczucia braku powietrza (duszości). Te symptomy ostrzegają cię przed przemęceniem, sygnalizując konieczność zatrzymania się, odpoczynku i oddychania powolnego i głębokiego. W związku z rosnącą gęstością gazów, im głębiej nurkujesz, tym łatwiej możesz ulec przemęczeniu, a jednocześnie potrzeba więcej czasu do przywrócenia normalnego stanu. Dodatkowo, dwutlenek węgla wydaje się mieć duży udział w narkozie gazowej (omówionej w dalszej części tego rozdziału), przez co nawet umiarkowana hiperkapnia staje się istotnym problemem podczas głębokich nurkowań.

Ważne jest by zauważyć, że chociaż można uniknąć hiperkapni przez zwiększenie objętości oddechowej podczas umiarkowanego wysiłku, to istnieją granice nałożone przez twoją fizjologię, sprzęt i inne czynniki. Po ich przekroczeniu, będziesz wytwarzać CO₂ szybciej niż dasz radę go usuwać - bez względu na głębokość oddechu - co nieuchronnie prowadzi do hiperkapni. Dlatego ważne jest prawidłowe odbieranie sygnałów twojego organizmu, i zmniejszanie aktywności przy pierwszych objawach przemęczenia.

Hiperkapnia może też wystąpić przez nieprawidłową technikę oddychania - krótkie wstrzymywanie powietrza w płucach przed wykonaniem wydechu (skip-breathing), zamierzone lub nie. Niezamierzone wstrzymywanie oddechu może wystąpić na skutek wyrobienia nawyku wstrzymywania oddechu w celu kontrolowania pływalności. Chociaż kontrola oddechu jest ważnym sposobem regulowania pływalności, wstrzymywanie oddechu jest błędem. Natomiast do zamierzonego wstrzymywania oddechu zazwyczaj dochodzi w błędnym przekonaniu, że pozwala to na wydłużenie czasu korzystania z zapasu powietrza. Jednak zmniejszenie wentylacji powoduje wzrost stężenia CO₂ w krwi, a przez to stymulację oddychania; dlatego ilość zaoszczędzonego gazu jest zazwyczaj zanedbywalna.

Hiperkapnia może też wynikać (choć rzadko) z zanieczyszczonego powietrza w butli. Wynika to zwykle z problemów ze sprężarką, która produkuje tlenek węgla. Katalizatory w systemie filtracji sprężarki przekształcają toksyczny tlenek węgla na dwutlenek węgla, który jest stosunkowo nieszkodliwy. Zatrucie tlenkiem węgla może wystąpić, gdy skażenie przekroczy pojemność filtrów sprężarki, i prowadzi ono do obniżenia poziomu CO₂ we krwi. Jest to jednak inny problem, który wkrótce omówimy.

Wysokie stężenie dwutlenku węgla może ostatecznie prowadzić do utraty przytomności - ale jest bardzo mało prawdopodobne, by do tego doszło na powierzchni. Zazwyczaj, utrata przytomności jest ostatnią szansą twojego organizmu na przywrócenie normalnego oddychania - gdy wszystkie pozostałe metody zawiodą. Oczywiście, utrata przytomności pod wodą może spowodować, że nurek wypuści ustnik automatu i utonie; dlatego jest istotne, by unikać hiperkapni, a jeśli do niej dojdzie, natychmiast zatrzymać się i pozwolić organizmowi na uspokojenie oddechu. Jeśli dalej będziesz doświadczał tych symptomów, lub jeśli wystąpią one bez uprzedniego przemęczenia i/lub nieprawidłowego oddychania, natychmiast przerwij nurkowanie.

Hipokapnia

Ponieważ twój ośrodek oddechowy reguluje oddech przede wszystkim w oparciu o poziom dwutlenku węgla we krwi, hipokapnia (zwana też hipokarbią), czyli niedostateczna ilość dwutlenku węgla, także może powodować problemy fizjologiczne.

Generalnie, hipokapnia wynika albo ze zbyt intensywnej świadomej hiperwentylacji, albo z nieświadomej hiperwentylacji pod wpływem stresu lub strachu. Pierwszym symptomem hipokapni są zawroty głowy podczas nieświadomej hiperwentylacji; później może wystąpić utrata przytomności. Jednak podczas nurkowania na zatrzymanym oddechu hipokapnia może prowadzić bezpośrednio do tzw. "mroczków płytkiej wody" (shallow-water blackout), bez wystąpienia sygnałów ostrzegawczych.

"Mroczki płytkiej wody" mogą wystąpić w efekcie nadmiernej wentylacji przed nurkowaniem na zatrzymanym oddechu - czyli wykonania więcej niż trzech lub czterech szybkich i głębokich oddechów. Nadmierna hiperwentylacja prowadzi do obniżenia poziomu dwutlenku węgla w układzie oddechowym i układzie krążenia do nienaturalnie niskiego poziomu. Problemem jest to, że podczas takiego nurkowania stężenie dwutlenku węgla nie osiągnie poziomu przy którym następuje stymulacja oddychania, aż do momentu, gdy tkanki zużyją cały tlen dostępny w organizmie. Nurek może pozostać pod wodą tak długo, że dojdzie do obniżenia stężenia tlenu do poziomu znacznie niższego niż podczas typowego nurkowania na zatrzymanym oddechu.

Pod wodą, zwiększone ciśnienie parcjalne O₂ w pęcherzykach płucnych pozwala hemoglobinie łączyć się z tlenem nawet wtedy, gdy stężenie tego gazu spadnie do poziomu, który nie pozwoliłby na łączenie z

hemoglobina na powierzchni. Gdy stężenie CO₂ wzrośnie do poziomu, na którym następuje stymulacja oddychania, pętlonurek się wynurza, i wtedy PO₂ może gwałtownie spaść poniżej poziomu umożliwiającego hemoglobinie łączenie się z tlenem. Dochodzi wtedy do hipoksji (niedostatku tlenu), i nurek traci przytomność bez wystąpienia sygnałów ostrzegawczych. Może to prowadzić do utonięcia, ale dodatkowo hipoksja powoduje uszkodzenia tkanek, zwłaszcza nerwowej. Najbardziej zaawansowana i najbardziej szkodliwa dla tkanek hipoksja określana jest jako anoksja - stan, przy którym poziom tlenu we krwi spada do zera.

Zatrucie tlenkiem węgla

Chociaż do zatrucia tlenkiem węgla (CO) zazwyczaj dochodzi w sytuacjach nie związanych z nurkowaniem, oddychanie tlenkiem węgla pod ciśnieniem w trakcie nurkowania jest zwykle bardziej poważną i złożoną sprawą. W nurkowaniu, powodem zatrucia tlenkiem węgla są zazwyczaj problemy ze sprężarką, wytwarzającą tlenek węgla w ilościach przekraczających wydajność filtrów - co prowadzi do skażenia gazu oddechowego. Początkowo może to nie zostać zauważone, ponieważ tlenek węgla nie ma ani smaku, ani zapachu.

Powodem, dla którego tlenek węgla może stanowić zagrożenie, jest to, że hemoglobina wiąże się z nim ponad 200 razy łatwiej niż z tlenem, lecz nie uwalnia go równie łatwo. Gdy CO wnika do krwiobiegu, układ krążenia potrzebuje 8 do 12 godzin na jego wydalanie. Dodatkowo, tlenek węgla wiąże się z różnymi enzymami, uczestniczącymi w różnorodnych procesach biochemicznych w twoim organizmie, i upośledza ich funkcje.

Gdy nurek oddycha powietrzem skażonym tlenkiem węgla, hemoglobina we krwi przepływającej przez naczynia włosowate pęcherzyków płucnych wiąże się z tym gazem, tworząc karboksyhemoglobinę. Powoduje to "zablokowanie" cząsteczek hemoglobiny, co uniemożliwia transport tlenu. Duże powinowactwo hemoglobiny do tlenku węgla nie pozwala na odłączenie cząsteczek CO podczas przepływu krwi przez tkanki - inaczej niż w przypadku odwracalnego połączenia hemoglobiny z tlenem. Gdy nurek kontynuuje oddychanie tlenkiem węgla, gaz wiąże się z kolejnymi cząsteczkami hemoglobiny, i pozostaje coraz mniej nieskażonych czerwonych krwinek zdolnych do przenoszenia tlenu. Jeśli proces postępuje, dochodzi do hipoksji - krew nie ma możliwości dostarczania wystarczającej ilości tlenu, by zaspokoić zapotrzebowanie tkanek.

Podczas nurkowania, dochodzą dodatkowe komplikacje związane z wzrastającym ciśnieniem - pod wodą tkanki mogą otrzymywać wystarczającą ilość tlenu, choć duża część hemoglobiny zablokowana jest przez tlenek węgla. Wynika to z faktu, że zwiększone ciśnienie parcjalne tlenu pozwala na przenoszenie przez osocze większej ilości tlenu niż jest to możliwe na powierzchni. Pomaga to zaspokoić zapotrzebowanie tkanek na tlen, i opóźnia wystąpienie symptomów zatrucia - bólu głowy, dezorientacji, zawężonego pola widzenia. Gdy nurek się wynurza (po pojawieniu się symptomów, bądź z innego powodu), PO₂ obniża się, i krew nie może więcej przenosić wystarczającej ilości tlenu. Pojawia się hipoksja, i nurek traci przytomność bez wystąpienia wcześniejszych objawów. Sytuacja jeszcze się komplikuje, gdy wszyscy nurkowie w grupie używają gazu z tego samego źródła - u wszystkich zatrucie tlenkiem węgla może wystąpić w tym samym momencie.

Zatrucie tlenkiem węgla może sprawić, że wargi i paznokcie poszkodowanego przybiorą barwę jasnoczerwoną - choć nie jest to częste. Hemoglobina połączona z tlenem ma barwę czerwoną, lecz związana z tlenkiem węgla przybiera barwę jeszcze bardziej jaskrawoczerwoną niż zwykle. Skażona krew może być zauważalna, gdy przepływa przez naczynia włosowate warg i paznokci, położone tuż pod powierzchnią skóry. Jednak nie zawsze jest to oczywiste, zwłaszcza pod wodą, gdzie zjawisko pochtaniania kolorów i noszony sprzęt mogą maskować objawy.

Do skażenia tlenkiem węgla powietrza używanego przez nurków dochodzi bardzo rzadko. Natomiast inną przyczyną zatrucia CO jest palenie papierosów. Fizjolodzy stwierdzili, że palenie papierosów powoduje wzrost stężenia tlenku węgla we krwi 3 do 12 razy. Może to upośledzać transport tlenu do tkanek i usuwanie dwutlenku węgla, zwłaszcza u ludzi z chorobą niedokrwienną serca. Krążenie przyspiesza, wzrasta ciśnienie krwi i tempo bicia serca, tak by niezablokowane krwinki czerwone mogły zaspokoić potrzeby tkanek dotyczące wymiany gazowej. Jest to przyczyną, dla której palenie wpływa pobudzająco na pracę serca.

Toksyczność tlenowa

Do początku lat dziewięćdziesiątych, toksyczność tlenowa nie była większym problemem w społeczności nurków rekreacyjnych. Wynikało to z faktu, że podczas nurkowania na powietrzu w limitach nurkowania

rekreacyjnego, niemal niemożliwe jest przekroczenie granic, powyżej których toksyczność tlenowa może wystąpić.

Uległo to zmianie w efekcie wzrostu popularności wzbogaconego powietrza - nitroksu (mieszanka oddechowa o zwiększonej zawartości tlenu w stosunku do powietrza, a zatem o obniżonej zawartości azotu) wśród nurków rekreacyjnych, oraz nurkowań technicznych z wykorzystaniem mieszanek o wysokiej zawartości tlenu lub czystego tlenu podczas dekompresji. Również w leczeniu hiperbarycznym, gdy jest to potrzebne, często stosuje się czysty tlen pod ciśnieniem, co również może powodować występowanie objawów toksyczności tlenowej.

Podczas dyskusji o toksyczności tlenowej, zazwyczaj rozróżnia się jej dwa główne typy. Pierwszy dotyczy symptomów w układzie oddechowym, zaś drugi - w układzie nerwowym. Toksyczność płucna tlenu wynika z przedłużonej ekspozycji na tlen pod ciśnieniem parcjalnym przekraczającym 0,5 atmosfery. Toksyczność tlenu dla centralnego układu nerwowego, albo mózgowa (Central Nervous System - CNS toxicity), lub efekt Paula Berta (w 1878, Paul Bert pierwszy wykazał, że ciśnienie parcjalne tlenu było parametrem kontrolującym zachowanie zwierząt zarówno pod niskimi, jak i wysokimi ciśnieniami. W szczególności, wykazał on, że tlen pod wysokimi ciśnieniami działa jak trucizna dla centralnego układu nerwowego, i może powodować silne konwulsje), dotyczy reakcji układu nerwowego na ekspozycję na tlen, i jest zwykle nieprzewidywalna, za wyjątkiem faktu, że występuje pod wysokimi ciśnieniami parcjalnymi tlenu. Ciśnienia parcjalne tlenu nie przekraczające 1,4 bar są uważane za dopuszczalne z punktu widzenia zagrożenia toksycznością CNS. Ciśnienia parcjalne O₂ z zakresu 1,4 - 1,6 bar są dopuszczalne w trakcie dekompresji (w nurkowaniu technicznym), zaś dla ciśnień powyżej 1,6 bar zagrożenie toksycznością mózgową tlenu uważane jest za zbyt wysokie - w każdym razie, z nurkowego punktu widzenia.

W nurkowaniu jesteśmy szczególnie zainteresowani toksycznością płucną i mózgową tlenu, jednak na poziomie biochemicznym fizjologowie wyróżnili wiele form toksyczności tego gazu. Wynika to z faktu, że tlen jest gazem wysoce reaktywnym, roznoszonym przez krew po całym organizmie, i w związku z tym mającym potencjalny wpływ na wszystkie organy. Naukowcy stwierdzili, że ekspozycja na wysokie PO₂ może negatywnie wpływać na siatkówkę oka, błony komórkowe, naczynia włosowate, białka strukturalne, i wiele innych części organizmu. Na szczęście, większość z tych efektów zachodzi w znaczącym stopniu (lub w ogóle) tylko po ekspozycji na tlen o czasie i ciśnieniu parcjalnym znacznie wykraczającym poza wartości akceptowalne podczas nurkowania.

Fizjologowie dobrze poznali reakcje ludzkiego organizmu na toksyczność tlenową, jak również zbadali czas potrzebny do jego regeneracji. Jednak wciąż pozostaje wiele wątpliwości odnośnie sposobu, w jaki dochodzi do uszkodzeń. Generalnie, wydaje się, że pod wysokimi PO₂ tlen reaguje ze związkami chemicznymi w organizmie tworząc wolne rodniki, które z kolei reagują w destrukcyjny sposób ze związkami budującymi ciało. Twój organizm posiada systemy zwalczające wolne rodniki (które powstają podczas metabolizmu, aktywności fizycznej i w innych procesach), jednak ekspozycja na tlen pod wysokimi ciśnieniami może przekroczyć możliwości tych systemów. W efekcie, wolne rodniki zaczynają zaburzać lub modyfikować normalne procesy zachodzące w organizmie.

Toksyczność płucna tlenu

Toksyczność płucna tlenu, określana też jako efekt Lorraina Smitha (w 1899, Lorrain Smith opisał tą formę toksyczności u zwierząt eksperymentalnych), jest formą toksyczności tlenowej bezpośrednio wpływającą na płuca. Poza ekstremalnymi przypadkami (zwykle w efekcie lekceważenia wczesnych symptomów), toksyczność płucna nie jest poważnym problemem nawet jeżeli do niej dojdzie. Można jej też generalnie łatwo uniknąć - przez nie przekraczanie limitów ekspozycji tlenowej.

U większości osobników, toksyczność płucna tlenu wynika z ekspozycji na ciśnienie parcjalne tlenu powyżej 0,5 bara przez długi czas - im wyższe PO₂, tym krótszy czas potrzebny do jej wystąpienia. W efekcie, wystąpienie toksyczności płucnej tlenu jest bardzo mało prawdopodobne nawet podczas nurkowania na wzbogaconym powietrzu (nitroksie) przy zachowaniu limitów bezdekompresyjnych. Na głębokości 15 metrów, ciśnienie parcjalne tlenu podczas nurkowania na powietrzu wynosi 0,53 bara, i można się spodziewać wystąpienia toksyczności tlenowej. Na głębokości 40 metrów, PO₂ wynosi w przybliżeniu 1,04 bara; generalnie, do wystąpienia symptomów toksyczności płucnej należałoby pozostać na tej głębokości przez ponad 12 godzin. Podczas nurkowania na wzbogaconym powietrzu, te ciśnienia parcjalne zostałyby osiągnięte na mniejszych głębokościach, i należy się bardziej liczyć z wystąpieniem płucnej toksyczności tlenu, aczkolwiek wciąż jest to mało prawdopodobne przy pozostawaniu w granicach limitów bezdekompresyjnych.

Natomiast nurkowie techniczni, odbywający długą dekompresję na czystym tlenie pod ciśnieniem parcjalnym 1,6 bara, są w znacznie większym stopniu zagrożeni wystąpieniem toksyczności płucnej tlenu.

Jest to jeszcze bardziej prawdopodobne, gdy wykonują serie nurkowań, pomiędzy którymi odstępy są krótsze niż 24 godziny. Poza tym, naukowcy wykazali występowanie łagodnych symptomów toksyczności płucnej w efekcie bardzo długich ekspozycji na tlen pod ciśnieniem parcjale 0,25 bara; w związku z tym, teoretycznie możliwe jest pojawienie się symptomów podczas wykonywania serii długich, płytkich nurkowań w granicach powietrznych limitów bezdekompresyjnych, z bardzo krótkimi przerwami powierzchniowymi. Jest też możliwe, że w efekcie długiej ekspozycji, u nurków może występować lekka toksyczność płucna tlenu, z której jednak nie zdają sobie sprawy.

Podrażnienie płuc wydaje się najbardziej bezpośrednim i zauważalnym symptomem toksyczności płucnej. Może się zacząć jako łagodne podrażnienie gardła, a następnie kaszel. W ciężkich przypadkach może wystąpić uczucie pieczenia w klatce piersiowej oraz niekontrolowany kaszel. Toksyczność płucna powoduje też obniżenie pojemności życiowej i upośledzenie zdolności płuc do wymiany gazów, chociaż te objawy nie są istotne - poza ekstremalnymi przypadkami. Żaden z tych symptomów nie jest szczególnie niebezpieczny, pod warunkiem, że chwilowo zaprzestasz nurkowania, tak by dać organizmowi czas do regeneracji. Organizm łatwo się regeneruje po wystąpieniu toksyczności płucnej, po powrocie do warunków normoksycznych (normalne ciśnienie tlenu - PO₂ 0,21 bara). Ponieważ regeneracja wymaga zarówno zajścia odpowiednich procesów chemicznych, jak i naprawy strukturalnej, czas potrzebny do regeneracji może być bardzo różny. Jednak badania nad czasem potrzebnym do przywrócenia wyjściowej pojemności życiowej płuc po wystąpieniu toksyczności płucnej sugerują, że można oczekiwać pełnej regeneracji po upływie 10 do 36 godzin.

Toksyczność mózgowa tlenu

W nurkowaniu, formą toksyczności najbardziej cię dotyczącą jest toksyczność mózgowa tlenu (toksyczność dla centralnego układu nerwowego - Central Nervous System toxicity - CNS toxicity). Możesz osiągnąć limity ekspozycji zarówno podczas nurkowania rekreacyjnego na nitroksie, jak i podczas nurkowania technicznego z wykorzystaniem nitroksu i czystego tlenu. Podczas gdy toksyczność płucna tlenu nie jest poważnym problemem nawet jeśli wystąpi, toksyczność mózgowa może spowodować utonięcie nurka. Wystąpienie toksyczności mózgowej nie jest też uzależnione od relacji PO₂-czas, tak jak w przypadku toksyczności płucnej.

Toksyczność mózgowa tlenu powoduje wystąpienie symptomów dotyczących centralnego układu nerwowego, takich jak zaburzenia widzenia (widzenie tunelowe, zaburzenia ostrości widzenia), słuchu (dzwonienie w uszach, muzyka), występowanie mdłości, mimowolnych skurczów i fascykulacji (zwłaszcza mięśni twarzy), podrażnienia, oraz zawrotów głowy. Możesz zapamiętać te symptomy używając akronimu VENTID (V - visual system, E - ears, N - nausea, T - twitching, I - irritability, D - dizziness).

Jednak najpoważniejszym z objawów są konwulsje (drgawki tlenowe - hyperoxic seizure). Objawiają się one utratą przytomności i występowaniem silnych, powtarzalnych skurczów niemal wszystkich mięśni ciała, trwających około minuty - lub krócej, gdy obniżone zostanie ciśnienie parcjale tlenu. Następnie poszkodowany intensywnie oddycha, i stopniowo powraca do pełnej świadomości w ciągu mniej więcej pół godziny. Chociaż testy w kontrolowanych warunkach wykazały, że same konwulsje są raczej nieszkodliwe (choć nieprzyjemne), to zagrożeniem jest szansa zgubienia ustnika przez nieprzytomnego nurka, który następnie może utonąć (z oczywistych względów, maski pełnotwarzowe i hełmy zmniejszają to ryzyko). Testy prowadzone od lat 40 XX wieku wykazują, że im wyższe ciśnienie parcjale O₂, tym szybciej pojawiają się symptomy i objawy toksyczności mózgowej tlenu. Pechowo z punktu widzenia planowania nurkowania, występują bardzo duże różnice w podatności na toksyczność mózgową tlenu, nie tylko pomiędzy osobami, ale także u jednej osoby z dnia na dzień lub z nurkowania na nurkowanie. Na przykład, w roku 1947 dr Ken Donald z Royal Navy wystawiał jednego ochotnika na ciśnienie parcjale tlenu 3,0 bara w komorze testowej, dwudziestokrotnie w ciągu 90 dni. Czas potrzebny do wystąpienia objawów i symptomów toksyczności tlenowej wahał się od niecałych 20 minut do ponad dwóch i pół godziny, i nie zależał od żadnych mierzalnych parametrów.

Inne czynniki dotyczą osobniczej wrażliwości. Chociaż wyniki testów nie są jednoznaczne, aktywność fizyczna wydaje się obniżać odporność na toksyczność mózgową tlenu, prawdopodobnie dlatego, że ćwiczenia zwiększają stężenie dwutlenku węgla, powodując rozszerzenie naczyń i dostarczanie jeszcze większej ilości tlenu do mózgu. Poza tym, istnieją doniesienia, że leki stymulujące centralny układ nerwowy mogą także zwiększać podatność na toksyczność mózgową tlenu.

Monitorowanie ekspozycji tlenowej

Duże zróżnicowanie w podatności na toksyczność mózgową tlenu wyklucza wyliczenie praktycznych limitów PO₂-czas - jednak właściwie upraszcza to monitorowanie zagrożenia. Unikasz wystąpienia toksyczności mózgową tlenu poprzez takie planowanie nurkowań, by twoje PO₂ pozostało na tyle niskie, żeby toksyczność mózgową nigdy nie występowała. Podczas nurkowania rekreacyjnego i technicznego, tą granicą jest 1,4 bara dla dennej (aktywnej) części nurkowania. Podczas dekompresji w nurkowaniu technicznym, dozwolony jest limit 1,6 bara, ponieważ w czasie dekompresji pozostajesz w stanie spoczynku. Z drugiej strony, toksyczność płucna jest stosunkowo przewidywalna na podstawie czasu ekspozycji i ciśnienia parcjalnego tlenu. Do celów rekreacyjnych, większość nurków uznaje za najprostsze pozostawanie w granicach limitów tlenowych dla pojedynczej ekspozycji, określonych przez U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Limity tlenowe dla pojedynczej ekspozycji, wg NOAA

PO ₂ [bar]	Czas
0,6	720 min
0,7	570 min
0,8	450 min
0,9	360 min
1,0	300 min
1,1	240 min
1,2	210 min
1,3	180 min
1,4	150 min
1,5	120 min
1,6	45 min

Dla zwiększonej użyteczności w przypadku wykonywania nurkowań wielokrotnych bądź wielopoziomowych, limity NOAA mogą być stosowane jako procent dozwolonej ekspozycji. Jest to podstawą rozprowadzanych przez PADI tabel ekspozycji tlenowej DSAT, oraz niepoprawnie nazwanego "zegara toksyczności mózgową", często wykorzystywanego przez społeczność nurkową (limity NOAA służą zapobieżeniu wystąpienia toksyczności płucnej, a nie mózgową).

Limity NOAA powstały w celu stosowania przez nurków naukowych, którzy nieraz nurkują przez wiele dni z rzędu. Jednak pomimo łatwości stosowania, metodologia ta okazała się zbyt mało elastyczna dla nurków komercyjnych i technicznych, którzy mogą odbywać przedłużoną dekompresję przy wysokich ciśnieniach parcjalnych tlenu. Ci nurkowie stosują metodę Repex, wynalezioną przez doktora R. W. Hamiltona, odnoszącą się do pozostawania w granicach limitów toksyczności płucnej.

Metoda Repex oblicza ekspozycję tlenową w porcjach zwanych jednostkami toksyczności tlenu (Oxygen Toxicity Units - OTUs), wyliczanych następująco:

$$\text{OTUs} = \text{czas w minutach} \times [(\text{PO}_2 - 0,5) \div 0,5] 0,83$$

Dozwolona dzienna ilość OTUs zależy od skumulowanej ekspozycji tlenowej w ciągu wielu dni. Na przykład, jeśli nurkujesz przez jeden dzień, możesz mieć 850 OTUs, lecz przy codziennym nurkowaniu przez kolejne 10 dni, limit wynosi ok. 300 OTUs dziennie. Jeśli porównasz limity NOAA z limitami metody Repex, zobaczysz że limity NOAA pozwalają na maksymalnie 300 OTUs - co jest limitem metody Repex dla nurkowania wielodniowego. Te dwa systemy są zbieżne, lecz metoda Repex jest bardziej elastyczna, jako że pozwala na wyższą ekspozycję jeśli nie zamierzasz nurkować przez wiele kolejnych dni. W nurkowaniu technicznym, przyjętą praktyką jest pozostawanie w granicach zarówno limitów metody Repex, jak i "zegara toksyczności mózgową" NOAA.

Oddychanie czystym tlenem na powierzchni praktycznie nie stwarza zagrożenia wystąpienia toksyczności mózgową, ponieważ ciśnienie parcjalne wynosi jedynie 1,0 bara. Wystąpienie poważniejszych symptomów toksyczności płucnej w tych warunkach wymagałoby ponad 12 godzin nieprzerwanej ekspozycji na działanie tlenu. Dlatego też ratownicy medyczni w sytuacjach awaryjnych mogą zawsze podać pacjentowi (nawet

nurkowi) tlen, bez obaw o możliwość wystąpienia toksyczności tlenowej. Natomiast szpitale zazwyczaj redukują stężenie tlenu w sytuacjach, gdy pacjent wymaga dłuższego leczenia pod zwiększonym ciśnieniem O₂.

Inną procedurą, która wydaje się mieć znaczenie w monitorowaniu ekspozycji tlenowej w nurkowaniu technicznym, jest stosowanie przerw powietrznych (air breaks) - czyli dokonywania regularnej zamiany gazu stosowanego podczas dekompresji na powietrze lub inny gaz o niskiej zawartości tlenu, w celu chwilowego zmniejszenia PO₂. Zazwyczaj, nurkowie techniczni odbywający dekompresję na czystym tlenie na głębokości 6 metrów, przestawiają się na powietrze, lub inny gaz o niskiej zawartości tlenu, na pięć minut w ciągu każdych 20 minut dekompresji. Podczas nurkowań wymagających dłuższej dekompresji, nurkowie techniczni mogą wykonywać przerwy powietrzne podczas wszystkich przystanków, podczas których są wystawieni na PO₂ równe 1,6 bara. Wyniki niektórych badań sugerują, że jeszcze lepsze byłoby wykonywanie częstszych, krótszych przerw, na przykład trzyminutowe przerwy co 10-12 minut. Te przerwy zazwyczaj nie są doliczane do czasu dekompresji.

Uzasadnienie stosowania przerw powietrznych wynika z dużych ilości danych eksperymentalnych i z rzeczywistych nurkowań, wskazujących, że przerwy znacznie zwiększają tolerancję na tlen, a w szczególności opóźniają wystąpienie toksyczności tlenowej. Fizjolodzy uważają że wynika to z faktu, że wiele z mechanizmów upośledzanych przez wysokie ciśnienia parcjalne tlenu może w dużym stopniu ulegać naprawie w ciągu zaledwie kilku minut, nawet jeśli do całkowitej regeneracji musi upłynąć kilka godzin. Przerwy powietrzne wprowadzone zostały w oparciu o ten mechanizm szybkich napraw, i znacznie zmniejszają one ryzyko toksyczności tlenowej.

Narkoza gazowa

Głębokie nurkowanie może powodować zetknięcie się z innym problemem, związanym z rozpuszczaniem się gazów w twojej krwi i ich docieraniem do układu nerwowego za pośrednictwem układu oddechowego i krążenia. Jest nim narkoza gazowa - euforyczny, znieczulający efekt znany też jako „euforia głębin”.

Potocznie określany jest również jako narkoza azotowa, ponieważ azot jest jej najczęstszym sprawcą; jednak inne gazy, takie jak argon, dwutlenek węgla i tlen, mają takie samo lub silniejsze działanie znieczulające jak azot, i albo wywołują działanie bezpośrednio znieczulające, albo współdziałają z innymi gazami w powodowaniu narkozy. W związku z tym, termin „narkoza gazowa” jest właściwszy.



Narkoza gazowa może upośledzać ocenę sytuacji i opóźniać reakcję na pojawiające się problemy. Na głębokości 55 metrów, większość nurków będzie dotkniętych narkozą w takim stopniu, że będą sami zdawać sobie sprawę z zatrucia i euforii

Podczas oddychania powietrzem lub wzbogaconym powietrzem (nitrokssem), narkoza gazowa rozwija się wraz ze wzrostem ciśnień parcjalnych azotu i tlenu w miarę zanurzania. Chociaż duże znaczenie ma indywidualna wrażliwość i zmienność osobnicza, w testach efekt zazwyczaj staje się zauważalny na głębokości około 30 metrów. Na tej głębokości, narkoza jest zwykle łagodna, i objawia się spowolnieniem procesów myślowych, wydłużonym czasem rozwiązywania problemów, a u niektórych nurków lekkim wrażeniem euforii i dobrego samopoczucia.

Efekt narkotyczny wzrasta z głębokością. Czas rozwiązywania problemów ulega wydłużeniu, pogarszają się również zdolności motoryczne. Narkoza może upośledzać ocenę sytuacji i wydłużać czas reakcji na pojawiające się problemy. Przed osiągnięciem głębokości 55 metrów, większość nurków będzie dotkniętych

narkozą w takim stopniu, że będą świadomie zdawać sobie sprawę z zatrucia i wrażenia euforii.

Eksperymenty oraz doświadczenie pokazują, że poniżej 60 metrów narkoza silnie wpływa na sprawność nurka, upośledzając zdolność koncentracji i obserwacji otoczenia. Nurkowie schodzący na te głębokości zgłaszają halucynacje wzrokowe i słuchowe, oszłomienie, paranoję i depresję.

Zdaniem większości fizjologów, narkoza sama w sobie nie jest szkodliwa. Przemija szybko po zmniejszeniu głębokości, tak że większość nurków odczuwa jej zmniejszenie na długo przed osiągnięciem powierzchni. Nieznane są skutki następne, prócz tego, że niekiedy nurkowie zgłaszają zaburzenia pamięci dotyczące części nurkowania odbytej pod wpływem narkozy.

Zatem problemem związanym z narkozą nie jest sama narkoza, ale powodowane przez nią upośledzenie - opóźnianie reakcji na problemy, negatywny wpływ na decyzje dotyczące bezpieczeństwa i zaburzenie zdolności motorycznych. To właśnie narkoza (jako dodatek do bardzo skróconych czasów bezdekompresyjnych) jest powodem, dla którego limit głębokości dla osób nurkujących rekreacyjnie na powietrzu i nitroksie ustalono na 40 metrów. W nurkowaniu technicznym, maksymalna głębokość dla nurków na powietrzu wynosi generalnie od 50 do 55 metrów (w społeczności nurków technicznych występują różnice zdań) dla pojedynczych nurkowań prowadzonych w dobrych warunkach. US Navy ustaliło 58 metrów jako górną granicę dla osób nurkujących na powietrzu, a większość firm zajmujących się nurkowaniem komercyjnym ustaliło swoje limity na tym samym poziomie.

Efekty narkotyczne są często porównywane do efektów działania alkoholu. „Prawo Martini” potocznie opisuje siłę narkozy, która na głębokości 30 metrów ma moc jednego martini, a co 15 metrów zwiększa się o kolejne martini. Wiele nurków obytych z nurkowaniem na powietrzu lub nitroksie w tym przedziale głębokości opisuje to jako względnie dokładne (nawet jeśli nieco subiektywne) przybliżenie.

Przyczyny narkozy gazowej

Podobnie jak z wieloma innymi aspektami fizjologii nurkowania, w wypadku narkozy wiadomo więcej o jej skutkach, niż o sposobie ich powstawania. Dokładny mechanizm narkozy nie jest do końca poznany, ale wiadomo, że niemal każdy gaz może powodować znieczulenie pod wysokimi ciśnieniami parcjalnymi - włącznie z gazami obojętnymi.

Fizycy opisują azot jako gaz fizjologicznie obojętny. Nie oznacza to, że jest on zupełnie niereaktywny (bierze udział w wielu reakcjach chemicznych), lecz to, że nie wchodzi w żadne reakcje chemiczne w obrębie twojego ciała. Żadna część wdychanego azotu nie jest używana do budowy białek lub enzymów - wchodzący w ich skład azot pochodzi wyłącznie z pożywienia.

To, że azot jest gazem „obojętnym” nie oznacza jednak, że nie powoduje żadnych efektów. Na przykład, gdy podczas nurkowania rozpuszcza się w dwóch tkankach, to przy zbyt szybkim wynurzaniu wydzielający się z roztworu w postaci pęcherzyków gaz może powodować chorobę dekompresyjną (szczegółowo omówioną pod koniec tego rozdziału). Po rozpuszczeniu w tkance mózgowej, gazy reaktywne i niereaktywne, włącznie z azotem, mogą działać jak środki znieczulające. Można porównać narkozę azotową do efektu działania innego gazu o właściwościach narkotycznych, podtlenku azotu, N₂O. Podtlenek azotu, określany niekiedy jako „gaz rozweselający”, był powszechnie używanym środkiem znieczulającym, zwłaszcza w dentystyce, ze względu na działanie narkotyczne już pod ciśnieniem atmosferycznym. W wyższych stężeniach powoduje euforię, objawy podobne do nietrzeźwości, i w bardzo krótkim czasie utratę przytomności. Efekty jego działania są zależne od ciśnienia: przy podwojeniu ciśnienia, mniej więcej dwukrotnie zwiększa się efekt.

Potencjał narkotyczny gazu jest w przybliżeniu proporcjonalny do jego rozpuszczalności w tłuszczach.

Zgodnie z tym przybliżeniem, hel byłby tylko w jednej piątej tak narkotyczny jak azot, podczas gdy dwutlenek węgla wywierał dwudziestokrotnie, a tlen - 1,6 razy silniejszy efekt narkotyczny. Jednakże testy na ludziach wykazały, że nie można mierzyć narkozy w tak prosty sposób.

Nietypowym gazem w związku z wpływem na narkozę jest tlen. Głębokie (powyżej 90 m) nurkowania testowe wykazały, że mieszanka zawierająca 4% tlenu i 96% azotu ma silniejsze działanie narkotyczne od powietrza, nie zaś słabsze - jak można by się spodziewać w oparciu o wyższą rozpuszczalność tlenu niż azotu w tłuszczach. Jednak inne testy wykazały, że wzrost stężenia tlenu w mieszaninie z azotem rzeczywiście zwiększa narkozę. Większość fizjologów nurkowania tłumaczy tę pozorną niezgodność występowaniem nieznanej dotychczas zależności pomiędzy azotem i tlenem. A chociaż jest jasne, że tlen przyczynia się do narkozy (z tego właśnie powodu traktujesz powietrze i nitroks jako gazy o tym samym potencjale narkotycznym), jego efekt narkotyczny nie wydaje się być związany wyłącznie z jego rozpuszczalnością w tłuszczach.

Dwutlenek węgla jest kolejnym gazem przyczyniającym się do występowania narkozy. Liczne badania wykazały, że wzrost stężenia CO₂ - albo w gazie używanym do oddychania, albo przez jego nagromadzenie

w układzie oddechowym w związku z objętością przestrzeni martwych i z gęstością gazu używanego do oddychania – nasila narkozę. Dokładny mechanizm jest nawet słabiej znany od wpływu tlenu. Niektóre badania wskazują, że CO₂ ma w przybliżeniu dziesięciokrotnie silniejszy efekt narkotyczny od azotu – nie zaś 13 do 20 razy silniejszy, jak należałoby oczekiwać na podstawie pomiarów jego rozpuszczalności w tłuszczach.

Czynniki przyczyniające się do wystąpienia narkozy. Pomędzy osobami występują znaczne różnice w podatności na narkozę azotową, podobnie jak we wrażliwości na jakąkolwiek inną formę intoksykacji. Zatem, na danej głębokości będziesz dotknięty narkozą w mniejszym lub w większym stopniu niż inni nurkowie. Jednakże testy wykazały, że zróżnicowanie nie jest bardzo duże, i na głębokościach powodujących narkozę wszyscy badani wykazują obniżenie zdolności matematycznych, koordynacji i pamięci krótkoterminowej. Jednak wyniki tych testów nie są stałe – wiele parametrów wpływa na osobniczą wrażliwość na wystąpienie narkozy. Innymi słowy, nie możesz być pewien, że podczas nurkowania następnego dnia będziesz mieć umysł równie jasny jak w dniu poprzednim.

Oprócz znieczulającego wpływu azotu i tlenu, spożywanie niektórych leków może przyczynić się do wystąpienia narkozy na głębokościach znacznie mniejszych niż 40 metrów. Większość osób zdaje sobie sprawę z efektów jednoczesnego zażywania substancji takich jak alkohol i Valium, ponieważ ich efekty będą się wzajemnie wzmacniać. Dokładnie taka sama sytuacja występuje w przypadku łączenia narkozy gazowej z substancjami takimi jak alkohol, środki uspokajające i nasenne, czy barbiturany. Nawet środki, których możesz nie uważać za środki uspokajające, takie jak lekarstwa przeciwko chorobie lokomocyjnej, alergiom lub biegunce, mogą powodować nasilenie narkozy. Typowe przykłady to Marezine, Contac i Lomotil¹. Wszystkie te lekarstwa wywierają efekt antycholinergiczny, co oznacza, że blokują przekazywanie części sygnałów nerwowych. Wydaje się to być główną przyczyną wystąpienia znieczulenia. Na poziomie morza, leki te mogą nieznacznie upośledzać sprawność umysłową, lecz ty możesz tego nie zauważać. Jednak na większych głębokościach efekty ich działania poprzez działanie synergistyczne mogą nasilać narkozę gazową. Pod tym względem, alkohol jest szczególnie silnym środkiem, ale inne wymienione substancje również mogą powodować narkozę. Aby nie zostać zaskoczonym przez narkozę, wypróbuj leki przeciw chorobie morskiej najpierw na powierzchni, a potem podczas płytkich nurkowań. Niektóre z tych leków przyczyniały się do występowania bardzo silnej narkozy na głębokościach tak niewielkich jak 18 metrów.

Z kolei, pewne inne czynniki wydają się mieć działanie bardziej subiektywne i zależne od cech indywidualnych. Nurkowie często mają wrażenie silniejszej narkozy w gorszych warunkach, na przykład w zimnej wodzie i przy ograniczonej widoczności raczej niż w ciepłej wodzie o dużej przejrzystości. Jednak obiektywnie przeprowadzane testy wskazują, że siła narkozy jest mniej więcej taka sama, ale stres, duża ilość zadań do wykonania i inne czynniki umysłowe mogą sprawić, że będzie ona bardziej zauważalna w niektórych sytuacjach niż w innych.

Hipoteza Meyera-Overtona. Najczęściej stosowanym przez fizjologów wyjaśnieniem występowania narkozy gazowej jest hipoteza Meyera-Overtona. W potocznej formie, stanowi ona: Wszystkie gazowe bądź lotne substancje wywołują narkozę, o ile przenikają przez błony komórkowe w określonych stężeniach, charakterystycznych dla każdej grupy zwierząt, a relacja pomiędzy stężeniem a siłą narkozy jest w przybliżeniu taka sama dla wszystkich lotnych substancji o działaniu narkotycznym. Jak wspomniano wcześniej, zgodnie z tą hipotezą efekt narkotyczny gazu jest wprost proporcjonalny do jego rozpuszczalności w tłuszczach, które są podstawowym materiałem strukturalnym w komórkach. Rozpuszczalność azotu w tłuszczach jest znacznie wyższa niż rozpuszczalność helu, więc jego potencjał narkotyczny jest znacznie wyższy. Obecnie uważa się, że narkoza zachodzi na połączeniach nerwowych, nazywanych synapsami, gdzie azot zaburza przekaz sygnału elektrycznego pomiędzy neuronami (komórkami nerwowymi). Przede wszystkim, wywiera to wpływ na części mózgu odpowiedzialne za stan gotowości i koordynację i oznacza, że proces przekazywania informacji pomiędzy neuronami będzie wolniejszy. Hipoteza Meyera-Overtona jest wytłumaczeniem przydatnym, ale nie idealnym. Efekt narkotyczny wielu gazów jest proporcjonalny do ich rozpuszczalności w tłuszczach, ale dla innych (zwłaszcza tlenu i dwutlenku węgla) jest inaczej. W związku z tym, fizjolodzy uważają że hipoteza Meyera-Overtona częściowo tłumaczy występowanie narkozy gazowej, ale znaczenie mają także inne procesy biochemiczne, z których wiele jest wciąż badanych.

¹ W tekście podano nazwy handlowe leków stosowanych powszechnie w Stanach Zjednoczonych. W Polsce, W Polsce, przykładami leków o takim działaniu są Aviomarin (przeciw chorobie lokomocyjnej), Contac (przeciw alergiom), Reasec (przeciw biegunce) (przyp. tłum.)

Kontrolowanie narkozy

Są trzy podstawowe sposoby zapobiegania i zmniejszania wpływu narkozy gazowej: ograniczanie głębokości, przyzwyczajanie się do narkozy, i stosowanie alternatywnych mieszanek gazowych.

Ograniczanie głębokości.

Jak wspomniano wcześniej, jednym z powodów ustalenia maksymalnej głębokości dla nurków rekreacyjnych na 40 metrów jest ograniczanie narkozy gazowej. Jest to najbardziej bezpośrednia metoda przeciwdziałania narkozie azotowej. Jednak twoja wrażliwość na narkozę może się zmieniać na skutek interakcji z lekami bądź przez czynniki subiektywne, i dlatego powinieneś traktować 40 metrów jako największą dopuszczalną głębokość, ustalając płytszą maksymalną głębokość na podstawie twojej własnej wrażliwości na narkozę.

Przyzwyczajanie się do narkozy.

Nurkowie techniczni, komercyjni oraz inni stosujący powietrze bądź wzbogacone powietrze poniżej 40 metrów, mogą częściowo ograniczyć narkozę poprzez przyzwyczajanie się do niej. W mniejszym stopniu dotyczy to nurków rekreacyjnych, nurkujących w przedziale głębokości od 18 do 40 metrów. Przyzwyczajanie oznacza, że radzisz sobie z narkozą przez doświadczenie i szkolenie. Nurkowie często zgłaszają zmniejszenie narkozy po wykonaniu kilku głębokich nurkowań na powietrzu lub nitroksie w krótkim okresie czasu. W niektórych przypadkach, nurkowie nurkujący na powietrzu/nitroksie nie odczuwali narkozy nawet na głębokościach rzędu 50 metrów - po zdobyciu doświadczenia w nurkowaniu na te głębokości. Natomiast nurkowie używający powietrza poniżej 60 metrów często twierdzą, że odczuwanie narkozy zmniejsza się po kilku nurkowaniach.

Wydaje się, że przez zdobywanie doświadczenia z narkozą, uczysz się radzić sobie z nią (świadomie i nieświadomie) przez silniejsze koncentrowanie się, pozostawianie sobie więcej czasu na różne czynności, i wizualizację (wyobrażanie sobie przed nurkowaniem) nurkowania i sytuacji awaryjnych. Jest też jasne, że zdolności motoryczne i procedury wyuczone aż do automatyczności (poziomu, przy którym nie jest konieczne świadome myślenie) opierają się upośledzeniu przez narkozę, chociaż narkoza może opóźnić odczucie konieczności wykonania takiej umiejętności bądź procedury.

Chociaż jest pewne, że można do pewnego stopnia ograniczyć odczuwanie narkozy, trwają dyskusje na temat możliwości uzyskania prawdziwej, fizjologicznej odporności na nią. W różnych eksperymentach uzyskano sprzeczne wyniki, i jak na razie brak ostatecznej odpowiedzi.

Użycie alternatywnych mieszanek oddechowych.

Innym sposobem radzenia sobie z narkozą gazową jest używanie gazów o ograniczonym działaniu narkotycznym. Nurkowie techniczni, naukowcy, komercyjni i wojskowi stosują mieszanki helowe do głębokich nurkowań w celu eliminacji lub mocnego ograniczenia narkozy (jak również celem zmniejszenia gęstości gazu). Nurkowie komercyjni i militarni zazwyczaj stosują helioks (mieszanek tlenu i helu), podczas gdy nurkowie techniczni częściej używają trimiksu (mieszanki tlenu, helu i azotu). Im głębsze nurkowanie, tym wyższa jest zawartość helu potrzebna do zmniejszania narkozy. Największym problemem jest wydłużenie czasu dekompresji przy zwiększeniu ilości helu w mieszance kosztem tlenu i azotu.

Chociaż hel ogranicza narkozę, w gazie oddechowym wciąż występuje tlen, a w trimiksie również azot. Oznacza to, że należy wyznaczyć maksymalną głębokość, na jakiej mieszanka gazowa może być używana, ze względu na jej potencjał narkotyczny. W nurkowaniu technicznym wyznacza się Równoważną Głębokość Narkotyczną (Equivalent Narcotic Depth - END), czyli głębokość, na której należy oczekiwać takiej samej narkozy jak podczas nurkowania na powietrzu/nitroksie.



Dla przykładu, mieszanina zawierająca 11% tlenu, 50% helu i 39% azotu (TMx 11/50) posiada END na głębokości 90 metrów wynoszące w przybliżeniu 40 metrów. Innymi słowy, spodziewasz się mniej-więcej takiej samej narkozy przy nurkowaniu z użyciem tej mieszanki na 90 metrów, jaką miałbyś używając powietrza bądź nitroksu na głębokości 40 metrów.

W zarządzaniu narkozą, nurkowie techniczni stosują limity głębokości, przyzwyczajanie oraz alternatywne mieszanki gazowe. Generalnie, powietrze/nitroks jest akceptowalne do głębokości 40

metrów (tak jak u nurków rekreacyjnych), choć w dobrych warunkach, na wodach otwartych, powietrze/nitroks może być stosowane podczas nurkowań dekompresyjnych do głębokości 50 metrów. Trimiks jest wymagany podczas wszystkich nurkowań na głębokości przekraczające 50 metrów, w miejscach bez bezpośredniego dostępu do powierzchni poniżej 40 metrów, oraz podczas nurkowań na wodach otwartych poniżej 40 metrów gdy warunki i/lub założenia nurkowania są bardziej wymagające.

Syndrom nerwowy wysokich ciśnień

Chociaż hel przyczynia się do zmniejszenia narkozy w nurkowaniu technicznym, komercyjnym i innych formach nurkowania głębokiego, na bardzo dużych głębokościach wywiera inny efekt - syndrom nerwowy wysokich ciśnień (High Pressure Nervous Syndrome - HPNS). W zależności od względnych zawartości azotu i helu w mieszance oddechowej, HPNS może wystąpić już na głębokości 90 metrów, chociaż zwykle wiąże się go z nurkowaniami na głębokości przekraczające 120 metrów. Jak dotąd, HPNS był problemem głównie w nurkowaniu komercyjnym, ale doświadczali go także nurkowie techniczni, i przypuszczalnie będzie coraz większym problemem w nurkowaniu technicznym, jako że istnieje tendencja to zwiększania głębokości nurkowań.

Podobnie jak narkoza, HPNS wpływa na układ nerwowy, ale w inny sposób - inne są objawy i symptomy. Może wystąpić drżenie rąk, skurcze, mdłości, zawroty głowy i utrata koordynacji, podobnie jak obniżenie sprawności umysłowej. Nurkowie mogą całkowicie utracić świadomość otoczenia, mogą też wystąpić objawy takie, jak nierozróżnianie ręki prawej od lewej. Podobnie jak w wypadku narkozy, występują znaczne różnice w osobniczej podatności na syndrom nerwowy wysokich ciśnień.

Fizjolodzy nie rozumieją dobrze mechanizmu powodującego HPNS. Wydaje się, że hel pod ciśnieniem zaburza procesy biochemiczne w komórkach nerwowych lub związane z układem nerwowym. Badania wskazują, że hel zaburza liczne procesy w obwodowym układzie nerwowym na wiele różnych sposobów; nie ma jasnych danych wskazujących na występowanie żadnego konkretnego mechanizmu, jest zatem możliwe, że wiele niezależnych procesów biochemicznych powoduje HPNS. Naukowcy stwierdzili również, że im szybsze tempo zanurzania (kompresji), tym silniejszy HPNS.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU:

- **Noś dobrze dopasowane skafandry i kaptury, aby unikać wywierania ciśnienia na receptory w zatokach szyjnych. Jeśli jakiś element sprzętu zbytnio uciska twoją szyję, popraw go lub wymień przed nurkowaniem.**
- **Zawsze podczas pobytu pod wodą oddychaj powoli, głęboko i nieprzerwanie. Nie wstrzymuj oddechu i unikaj przemęczenia.**

- Przestrzegaj zaleceń producenta dotyczących pojemności absorbenta CO₂ w rebreatherach o obiegu zamkniętym i półzamkniętym, oraz jego pakowania.
- Aby uniknąć „mroczków płytkiej wody” unikaj hiperwentylacji składającej się z więcej niż trzech-czterech oddechów przed nurkowaniem na zatrzymanym oddechu.
- Napełniaj butlę tylko w renomowanych bazach/centrach nurkowych.
- Jeśli doświadczysz objawów hiperkapni nie przemijających podczas odpoczynku, albo zatrucia tlenkiem węgla, natychmiast przerwij nurkowanie.
- Nurkuj na wzbogaconym powietrzu - nitroksie, czystym tlenie lub jakimkolwiek innym od powietrza gazie tylko wtedy, gdy jesteś odpowiednio wyszkolony i uprawniony do użycia danej mieszanki. Nie przekraczaj limitów ekspozycji tlenowej.
- Jeśli jesteś nurkiem technicznym, wprowadzaj przerwy na oddychanie powietrzem jako rutynową czynność podczas dekompresji przy ciśnieniu parcjalnym tlenu wynoszącym 1,6 bara.
- Palenie tytoniu jest szkodliwe, i powinieneś go unikać. Jeśli nie jesteś w stanie całkiem z niego zrezygnować, powstrzymaj się przynajmniej przez 10-12 godzin przed i po nurkowaniu. Jeśli palisz, zasięgnij opinii lekarza przed zaangażowaniem się w nurkowanie, zwłaszcza jeśli dziennie wypalasz paczkę papierosów lub więcej.
- Ograniczaj narkozę gazową przez dostosowywanie maksymalnej głębokości do twojego poziomu wyszkolenia, doświadczenia i indywidualnej wrażliwości. Optymalnie, naucz się radzić sobie z narkozą pod profesjonalnym nadzorem, najlepiej podczas kursu specjalistycznego PADI Nurkowanie Głębokie (*Deep Diver Specialty*).
- Podczas planowania nurkowania, rozważ możliwy wpływ alkoholu i leków na narkozę gazową.

Odpowiedź fizjologiczna na zmiany temperatury

W środowisku lądowym organizm ludzki wystawiony jest na szeroki zakres temperatur, i w związku z tym posiada mechanizmy utrzymujące stałą temperaturę. Utrzymywanie stałej temperatury ciała (około 37°C) jest kluczowe dla prawidłowego zachodzenia procesów chemicznych niezbędnych dla twojego funkcjonowania. Odchylenia od tej temperatury w górę lub w dół, o amplitudzie większej niż kilka stopni i trwające dłużej niż chwilę, mogą zagrażać życiu.

Inaczej niż w przypadku pozostałych zagadnień wynikających z fizjologii nurkowania, podczas nurkowania w skafandrach ochronnych w ciepłym klimacie uwarunkowania termiczne mogą mieć znaczenie jeszcze przed rozpoczęciem nurkowania. Generalnie, problemem może być wtedy zbyt wysoka temperatura. Gdy wejdiesz do wody, twoje ciało będzie zmuszone reagować na warunki termiczne stworzone przez wodę, czyli na utratę ciepła; może to czynić w pewnym zakresie i przez określony czas, zwłaszcza gdy jest chronione izolującym skafandrem.

Reakcje na ciepło



Podczas nurkowania w zimnej wodzie, wymagającej używania grubych skafandrów, przed nurkowaniem może pojawić się ryzyko przegrzania przy gorącej, słonecznej pogodzie

Zbyt dużo ciepła rzadko jest problemem podczas nurkowania, gdyż nawet stosunkowo ciepła woda odprowadza ciepło od ciała. Jednak często ma to znaczenie przed i po nurkowaniu, szczególnie w obszarach o gorącym klimacie, w których występuje zimna woda, stwarzająca konieczność korzystania z grubego skafandra.

Gdy temperatura ciała wzrasta - albo na skutek przebywania w gorącym miejscu, wykonywania rozgrzewających ćwiczeń, albo kombinacji tych czynników, zaczynają zachodzić procesy fizjologiczne mające za zadanie powstrzymanie wzrostu temperatury twojego ciała.

Najpierw rozszerzają się naczynia włosowate skóry, umożliwiając wypromieniowywanie ciepła z krwi przez skórę. Później zaczynasz się pocić, chłodząc skórę - a przez to również krew - przez parowanie. Jeżeli temperatura ciała pozostaje wysoka, wzrasta puls i częstość pracy serca, przyspieszając cyrkulację krwi dla szybszego chłodzenia, wzrasta też częstość oddechu.

Reakcje te zachodzą będą do momentu, gdy temperatura ciała powróci do normy, co w praktyce ma miejsce gdy znajdziesz się w chłodniejszym środowisku (wejdiesz do wody), lub zaprzestasz wykonywania ćwiczenia. Jeśli nie nastąpi to dość szybko, ciało będzie kontynuowało próby obniżenia temperatury, aż do wyczerpania swych fizjologicznych możliwości. Im bardziej sprawny fizycznie jesteś i im mniej tkanki tłuszczowej posiadasz, tym lepiej możesz sobie radzić z hipertermią (przegrzaniem), ale po przekroczeniu pewnych granic możesz doświadczyć wyczerpania cieplnego bądź szoku cieplnego (omówione

wkrótce).

Reakcje na zimno

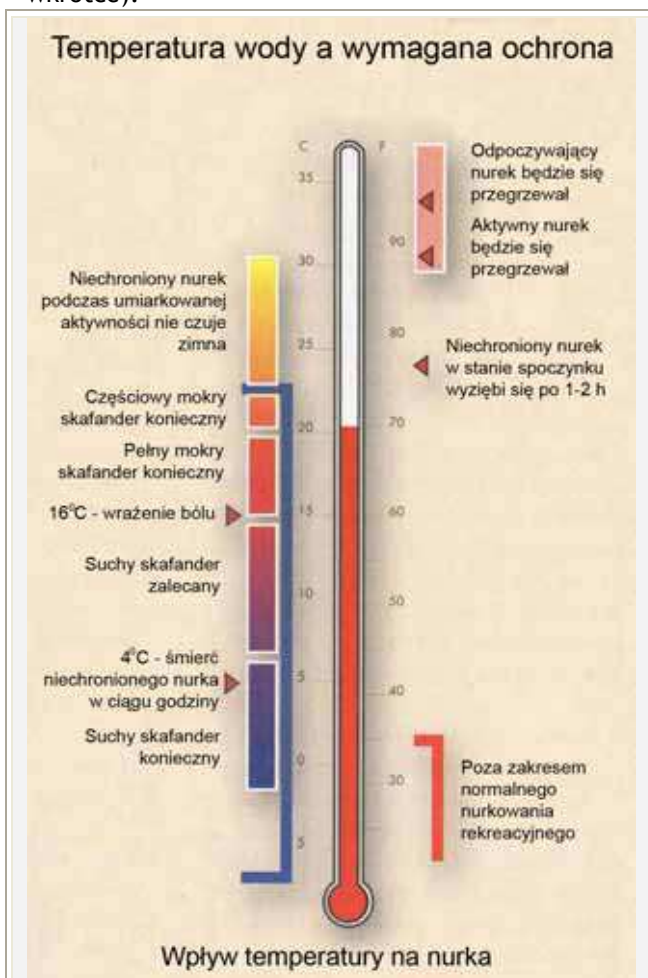
Twoje ciało jest zaopatrzone w mechanizmy fizjologiczne chroniące je przed obniżeniem temperatury. Jak opisano w rozdziale IV, woda przewodzi ciepło dwudziestokrotnie szybciej niż powietrze, i wymaga znacznie więcej ciepła do ogrzania określonej objętości. Oznacza to, że przy takiej samej temperaturze, przy której w powietrzu będzie ci ciepło, w wodzie szybko poczujesz się zimno i niekomfortowo. Na przykład, bez izolującego skafandra, przeciętny nurek niebezpiecznie wyziębnie się w pół godziny w wodzie o temperaturze 16°C, a przeżyje zaledwie około dwóch godzin w wodzie o temperaturze 4°C. Dla większości nurków, woda musi mieć temperaturę przynajmniej 27°C by mogli wytrzymać dłuższy czas bez izolującego skafandra, choć dla wielu osób ta temperatura jest wciąż zbyt niska, by czuli się komfortowo.

Pomijając bardzo ciepłą wodę, skafander ochronny nie zmienia sposobu reagowania organizmu na zimno. Izolując twoje ciało, twój mokry lub suchy skafander wydłuża czas nurkowania przez spowolnienie wychładzania, i przez zwiększanie efektywności mechanizmów odpowiedzialnych za utrzymanie temperatury ciała zapobiega zbyt szybkiej utracie ciepła przez skórę. O ile nie nurkujesz w bardzo ciepłej wodzie, skafander nie eliminuje jednak całkowicie utraty ciepła. Spowalnia jego utratę, ale twój organizm reaguje na zimno w taki sam sposób w skafandrze i bez niego. Twój mokry lub suchy skafander wpływają jednak na to, jak długo procesy zachodzące w twoim organizmie będą w stanie utrzymać temperaturę twojego ciała na odpowiednim poziomie.

Gdy twoje ciało się ochładza, centra termiczne w dłoniach, stopach i głowie uruchamiają procesy przyczyniające się do zatrzymania ciepła, które rozpoczynają się od zmian w krążeniu. Na skutek zwężenia naczyń zmniejsza się dopływ krwi do kończyn, co ogranicza utratę ciepła z krwi przez skórę. Zauważ, że jest to proces dokładnie przeciwny do naturalnych procesów schładzających organizm. Jest to też powód, dla którego po dłuższej ekspozycji na zimno drętwieją palce dłoni i stóp.

Jeśli zwężenie naczyń nie ogranicza utraty ciepła w wystarczającym stopniu, zaczynają się dreszcze, które powodują wytworzenie ciepła poprzez zwiększenie aktywności mięśni i przyspieszenie metabolizmu. W powietrzu, dreszcze często w wystarczającym stopniu zatrzymują obniżanie temperatury ciała na dłuższy czas (w zależności od wielu innych czynników), ale pod wodą są ostatnim etapem walki z zimnem. Jeśli nie

wyjdiesz z wody gdy rozpoczną się dreszcze, twoje ciało wkrótce osiągnie granice możliwości walki o utrzymanie temperatury ciała, i dojdzie do hipotermii - nadmiernego obniżenia temperatury (omówionego wkrótce).



Indywidualne predyspozycje mają znaczenie przy twojej reakcji na zimno i na zdolność twojego ciała do radzenia sobie z nim. Częste wystawianie ciała na zimno (hartowanie) w pewnym stopniu zwiększa zdolność organizmu do zatrzymywania i wytwarzania ciepła. Możesz zobaczyć to w lokalnej społeczności nurkowej: pletwonurkowie nurkujący regularnie w wodach strefy klimatu umiarkowanego potrzebują mniej izolacji podczas nurkowania w tropikach niż osoby nurkujące wyłącznie w ciepłych wodach.

Dawniej fizjolodzy uważali, że osoby z większą ilością tkanki tłuszczowej mają przewagę nad osobami szczuplejszymi pod względem zdolności utrzymywania temperatury; obecnie jednak wydaje się, że nie zawsze jest to prawdą. Badania wykazały, że głębiej położone warstwy mięśni przyczyniają się do zwiększenia odporności, a także przez dreszcze wytwarzają ciepło (tkanka tłuszczowa nie może generować ciepła). Niedawne badania wykazały, że w zakresie temperatur, przy których dreszcze i zwężenie naczyń wystarczają do utrzymania temperatury ciała, od procentowej zawartości tkanki tłuszczowej większe znaczenie ma całkowita masa ciała. Zawartość tkanki tłuszczowej wydaje się mieć znaczenie na obu ekstremach tego zakresu: zanim jeszcze wystąpi skurcz naczyń i dreszcze, oraz gdy te dwa mechanizmy zawiodą i dojdzie do hipotermii. Możesz przedłużyć czas, przez jaki twoje ciało będzie utrzymywać stałą temperaturę, poprzez właściwe korzystanie ze skafandrów nurkowych i stosowanie odpowiednich technik nurkowych.

Znaczna ilość ciepła tracona jest przez głowę, gdyż ciało nie może ograniczać ilości krwi dostarczanej do skóry głowy. W związku z tym, nurkowanie w kapturze od mokrego skafandra znacznie przyczynia się do powstrzymywania utraty ciepła. W bardzo ciepłej wodzie (około 29°C dla większości nurków) pełny mokry skafander może ograniczyć utratę ciepła do takiego poziomu, że będziesz wytwarzać je w takim samym tempie w jakim będzie ono odprowadzane. Pozwoliłoby ci to pozostać w wodzie praktycznie przez nieograniczony czas - przynajmniej ze względu na ciepło!

Chociaż gaz z twojej butli może być dość chłodny, utrata ciepła związana z oddychaniem jest zazwyczaj nieznaczna (pominąwszy bardzo głębokie nurkowania techniczne i komercyjne), ponieważ tchawica i zatoki skutecznie zatrzymują ciepło. Przy wdechu, napływający zimny gaz ogrzewa się, pobierając ciepło z tchawicy i zatok po drodze do płuc. Przy wydechu, gaz ogrzewa te obszary, pomagając cię zatrzymać ciepło. Ten fizjologiczny mechanizm jest tak skuteczny, że pozwala na zatrzymanie znacznych ilości ciepła nawet podczas oddychania mieszanką helową (hel jest znany ze zdolności szybkiego odprowadzania ciepła). Mimo to, zwłaszcza podczas głębokich nurkowań, gęsty zimny gaz absorbuje więcej ciepła, niż utraciłbyś podczas oddychania na powierzchni. Nurkowie komercyjni używają specjalnych grzejników wstępnie ogrzewających gazy oddechowe, właśnie celem ograniczenia utraty ciepła przez drogi oddechowe. Nie ma jednak powszechnie stosowanego sposobu na ogrzewanie powietrza podawanego przez automaty używane przez nurków rekreacyjnych. Rebreathery o obiegu zamkniętym i półzamkniętym (CCR i SCR) mają tutaj przewagę, gdyż procesy chemiczne usuwające dwutlenek węgla z gazu oddechowego generują ciepło i ogrzewają gaz.

Pewne zachowania mogą pozornie pomagać ci utrzymać ciepło, jednak w rzeczywistości ich skutek jest wprost przeciwny. Zwiększona aktywność fizyczna powoduje wytworzenie większej ilości ciepła, ale

pomoże ci tylko wtedy, gdy jesteś dobrze izolowany we względnie ciepłej wodzie. W przeciwnym wypadku, stracisz więcej ciepła niż go uzyskasz poprzez zwiększenie przepływu wody wokół twojego ciała, a także przez skórę - przez tymczasowe rozszerzenie naczyń, gdy czujesz, że jest ci ciepło.

Podobnie, niekiedy nurkowie oddają moc do swoich mokrych skafandrów. Abstrahując od spraw związanych z higieną, ciepły mocz sprawia, że przez chwilę czujesz się bardziej komfortowo. Jednak w rzeczywistości w ten sposób przyczyniasz się do szybszej utraty ciepła. Po pierwsze, sam mocz unosi z sobą znaczną ilość ciepła, a po drugie, wrażenie ciepła powoduje zmniejszenie skurczu naczyń w skórze i kończynach. Zwiększony przepływ krwi przez skórę i kończyny sprawia, że szybciej tracisz ciepło.

Przegrzanie i udar cieplny

Chociaż twoje ciało może skutecznie obniżyć swoją temperaturę nawet w dość gorącym środowisku, skafander nurkowy znacznie obniża zdolności schładzania organizmu. Najważniejszym sposobem pozbywania się nadmiaru ciepła jest pocenie się, ale skafander zapobiega parowaniu wody i związanemu z tym obniżeniu temperatury. Schładzanie organizmu przez parowanie potu jest też niemożliwe pod wodą, w skafandrze lub bez niego. Jeśli robisz coś forsownego albo gdy znajdujesz się w gorącym środowisku, lub obie te rzeczy jednocześnie - to w połączeniu z twoim skafandrem może prowadzić to do przegrzania.

Przegrzanie to stan, w którym twoje ciało wszystkimi sposobami próbuje zapobiec wzrostowi temperatury. Nurek cierpiący z powodu przegrzania oddycha płytko i szybko, ma słabe i szybkie tętno oraz chłodną i lepłą skórę. Mocno się poci i szybko odwadnia, mogą pojawić się mdłości i osłabienie. Ten sposób oddychania, szybkie tętno i silne pocenie się są niektórymi ze sposobów, jakimi twój organizm próbuje doprowadzić do obniżenia temperatury. Nurek zdradzający objawy przegrzania powinien rozpiąć lub zdjąć skafander, przenieść się do cienia, napić się wody i ochłodzić.

Jeżeli nurek w stanie przegrzania nie będzie w stanie się schłodzić, albo jeszcze się rozgrzeje, to fizjologiczne mechanizmy kontroli ostatecznie zawiodą, i wystąpi udar cieplny. Puls jest wówczas silny i szybki, ustaje pocenie, a skóra jest zaczerwieniona i gorąca. Rośnie temperatura ciała, ponieważ nie działają mechanizmy ją obniżające. Jeśli nie zostanie udzielona pomoc medyczna, udar cieplny może prowadzić do uszkodzenia mózgu i innych organów, a nawet do śmierci. Dlatego jest on jednym z zagrożeń wymagających natychmiastowej pomocy wyspecjalizowanych służb medycznych. W trakcie oczekiwania na pogotowie, ratownicy powinni ściągnąć z poszkodowanego płetwonurka skafander i ubranie, umieścić go w cieniu, i próbować jak najszybciej go schłodzić poprzez polewanie wodą, przecieranie ciała gąbką, i zapewnienie wentylacji. W niektórych przypadkach niezbędna może być bardziej intensywna pierwsza pomoc, zwłaszcza gdy przyjazd pogotowia się opóźnia.

Hipotermia

Jeśli zignoruje dreszcze i będziesz kontynuować nurkowanie, utrata ciepła będzie postępować; może dojść wtedy do obniżenia temperatury ciała. Niekontrolowane dreszcze i zaburzenia koordynacji wskazują na lekką hipotermię i obniżenie temperatury do poziomu nie niższego niż 34°C.

Gdy hipotermia postępuje, ustępują niekontrolowane dreszcze i skurcz naczyń. Wskazuje to na początki ciężkiej hipotermii - stanu, w którym mechanizmy utrzymujące temperaturę zawiodły, podobnie jak przy udarze cieplnym, lecz w drugą stronę. Gdy do tego dojdzie, nurek nagle poczuje się komfortowo - ciepła krew napływa do skóry. Jest to niebezpieczny stan, ponieważ mimo że nurek nie odczuwa zimna, jego ciało traci ciepło w niekontrolowany sposób, i temperatura ciała szybko opada.

Obniżenie temperatury ciała powoduje upośledzenie procesów umysłowych, co objawia się sennością, brakiem koordynacji i zanikami pamięci. Jeśli hipotermia postępuje, dochodzi do utraty świadomości, śpiączki, a potem śmierci.

Nurek w stanie lekkiej hipotermii powinien natychmiast przerwać nurkowanie, i jak najszybciej się ogrzać. Powinien ściągnąć wszystkie mokre rzeczy, założyć ciepłe ubranie i okryć się kocem, oraz pić ciepłe bezalkoholowe napoje.

Poważna hipotermia zagraża życiu - niezbędna jest pomoc medyczna. Oczekując na przyjazd pogotowia, ściągnij z poszkodowanego mokre ubranie, ale unikaj niepotrzebnego zamieszania. Załóż poszkodowanemu ciepłe ubranie, okryj go kocem, i monitoruj jego funkcje życiowe, w razie potrzeby wykonując sztuczne oddychanie i masaż serca. Ponieważ osoby w stanie ciężkiej hipotermii mają przytłumione odruchy, kontynuuj resuscytację aż do przybycia służb medycznych (lub do utraty sił), nawet jeśli poszkodowany wydaje się nie reagować.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU:

- Zapobiegaj możliwemu przegrzaniu i udarowi cieplnemu przed nurkowaniem poprzez zakładanie skafandra w ostatniej chwili przed wejściem do wody. Ogranicz aktywność, nie przebywaj w pełnym słońcu. Zdejmij skafander i ochłódź się jeżeli tylko zauważysz u siebie oznaki przegrzania.
- Pocenie może prowadzić do odwodnienia. Dlatego gdy intensywnie się pocisz, pij dużo wody lub innych napojów nie działających moczopędnie.
- Używaj skafandra odpowiedniego do temperatury wody w której nurkujesz. Zakończ nurkowanie i wyjdź z wody, jeśli tylko wystąpią u ciebie dreszcze.
- Przegrzanie, udar cieplny i hipotermia są stanami zagrażającymi życiu i wymagają pomocy medycznej. Zapisz się na kursy PADI Rescue Diver i Emergency First Response, aby być przygotowanym na okoliczność ich wystąpienia.

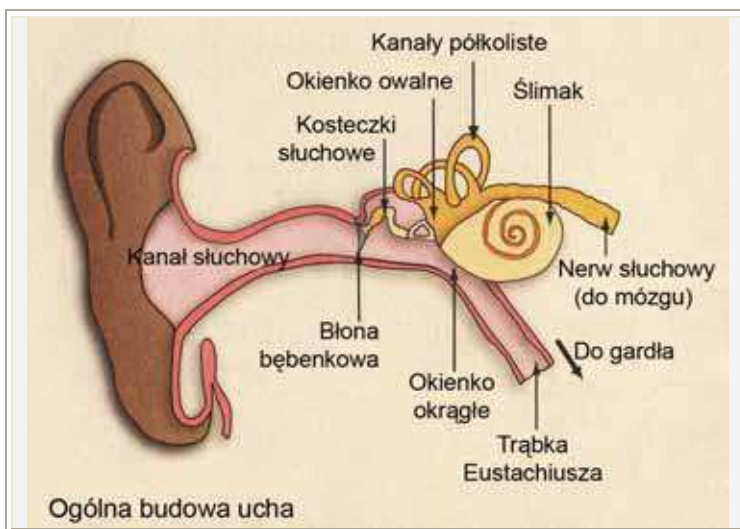
Odpowiedź fizjologiczna na zmiany ciśnienia w przestrzeniach powietrznych ciała

W porównaniu z innymi fizjologicznymi reakcjami organizmu na nurkowanie, wpływ ciśnienia na przestrzenie powietrzne twojego ciała wydaje się być najbardziej oczywisty. Jako świeżo upieczony nurek, odczuwasz ciśnienie w uszach (przestrzeni powietrznej twojego ciała) już przy zanurzeniu poniżej jednego metra, i odczuwasz ulgę przy wyrównaniu ciśnienia.

Twoje ciało składa się w zdecydowanej większości z wody oraz substancji stałych, i dlatego, jak przedstawiono w Rozdziale Czwartym, w granicach praktycznych limitów nurkowania traktujemy tkanki ludzkiego ciała jako nieściśliwe. Dzięki temu, nurkowie używający specjalnych mieszanek byli w stanie odbyć nurkowania nawet na głębokość 700 metrów. (Chociaż podczas nurkowań tak ekstremalnie głębokich, nawet "nieściśliwe" tkanki płynne oraz stałe ulegają nieznacznej kompresji, co wpływa na strukturę białek i innych makrocząsteczek. Dotyczy to jednak głębokości znacznie większych nawet od tych, na które regularnie schodzą nurkowie komercyjni.)

Natomiast gazy są ściśliwe, i dlatego wszystkie przestrzenie twojego ciała, które są wypełnione powietrzem - a zwłaszcza uszy, zatoki, płuca i maska - odczuwają wpływ zmian objętości następujących na skutek zmian ciśnienia. Reagując na te zmiany, możesz usuwać lub dodawać gaz z/do wszystkich przestrzeni powietrznych. Dotyczy to także sztucznych przestrzeni gazowych wokół ciała, stwarzanych przez maskę oraz suchy skafander.

Uszy



Możesz odczuwać ciśnienie hydrostatyczne (ciśnienie wody) już na głębokości jednego metra. W miarę jak się zanurzasz, świadomie wyrównujesz ciśnienie w uszach wraz ze wzrastającym ciśnieniem hydrostatycznym, tak aby uniknąć dyskomfortu.

Spojrzenie na schemat budowy ucha i jego anatomie tłumaczy, jak i dlaczego powinieneś wyrównywać ciśnienie w uszach. Ucho dzielimy na zewnętrzne, środkowe i wewnętrzne, a każda z części ma odrębną funkcję w procesach słyszenia. Ucho zewnętrzne wychwytuje fale dźwiękowe rozchodzące się w powietrzu (albo w wodzie) i przewodzi je dalej, poprzez kanał słuchowy, przez błonę bębenkową do ucha środkowego.

Błona bębenkowa stanowi szczelną barierę pomiędzy uchem zewnętrznym a uchem środkowym. Fale dźwiękowe powodują drgania błony bębenkowej, przylegającej do kosteczek słuchowych, które mechanicznie wzmacniają drgania i przenoszą je dalej, do ślimaka w uchu wewnętrznym.

Ślimak ucha jest narządem częściowo wypełnionym płynem zwanym perylimfą. Kosteczki słuchowe przylegają do okienka owalnego ślimaka. Pod wpływem drgań kosteczek wpukla się ono wewnątrz i na zewnątrz, powodując oscylację fali ciśnieniowej w perylimfie ślimaka, które są zamieniane na impulsy nerwowe interpretowalne przez mózg.

Okienko okrągłe na ślimaku działa jak kompensator ciśnienia, odginając się na zewnątrz kiedy okienko owalne odgina się do wewnątrz i napiera na nieściśniętą perylimfę, oraz wpuklając się do wewnątrz, gdy okienko owalne wygina się na zewnątrz.

Bez tej kompensacji, wibracja nie mogłaby być przenoszona jako fala ciśnieniowa, a słyszenie nie byłoby możliwe.

W uchu wewnętrznym znajdują się też kanały półkoliste, które kontrolują zmysł równowagi i orientacji. Mimo że kanały półkoliste nie biorą udziału w procesach słyszenia, łączą się one ze ślimakiem poprzez układ perylimfatyczny. Z tego powodu, odpowiedź ucha na zmiany ciśnienia dotyczy nie tylko słyszenia, ale również zmysłu równowagi.

Wpływ zmian ciśnienia na ucho objawia się przede wszystkim w uchu środkowym. Ucho zewnętrzne jest otwarte i bezpośrednio łączy się ze środowiskiem zewnętrznym, stąd jest zawsze w równowadze z otaczającym ciśnieniem. Natomiast ucho wewnętrzne jest całkowicie wypełnione nieściśniętym płynem i dlatego niewrażliwe na zmiany otaczającego ciśnienia. Jednakże ucho środkowe jest suche i wypełnione powietrzem (gazem), i z tego powodu wpływają na nie zmiany ciśnienia. Ucho środkowe połączone jest z gardłem poprzez trąbkę Eustachiusza, która pozwala gazom wydostawać się i dostawać do niego.

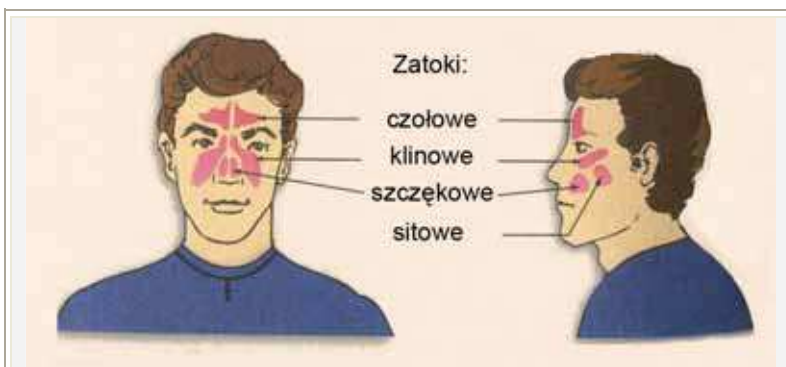
Podczas zanurzania, ciśnienie hydrostatyczne uciska twoją błonę bębenkową, podczas gdy gaz w uchu środkowym ulega kompresji. Kompensujesz ten wzrost ciśnienia w uchu środkowym poprzez wdmuchanie dodatkowego gazu przez trąbkę Eustachiusza, tak aby przywrócić równowagę objętości i ciśnienia po obu stronach błony bębenkowej.

Zazwyczaj wyrównujesz ciśnienie stosując próbę Valsalvy albo manewr Frenzela. Obie techniki polegają na wdmuchiowaniu powietrza przez zatkany nos, co powoduje rozluźnienie tkanek otaczających trąbkę Eustachiusza i powoduje przepływ gazu przez trąbki. Istnieje różnica między tymi technikami - w próbie Valsalvy używasz przepony i próbujesz wydymać powietrze mając zatkany nos; zaś podczas manewru Frenzela używasz mięśni gardła, tak aby ścisnąć powietrze przy zatkany nosie.

Podczas wykonywania manewru Frenzela jest mniejsze prawdopodobieństwo rozerwania okienka okrągłego, który to problem jest omawiany w sekcji Problemy w Przestrzeniach Powietrznych Ciała; jednak aby go dobrze opanować, potrzeba zazwyczaj więcej czasu. Początkujący nurkowie uczą się wyrównywać ciśnienie "dmuchając przez zatkany nos", i wielu nowych nurków początkowo wyrównuje ciśnienie stosując próbę Valsalvy. Jednak gdy już przyzwyczaisz się do wyrównywania ciśnienia, prawdopodobnie zaczniesz stosować manewr Frenzela.

Podczas wynurzania, ciśnienie w przestrzeni ucha środkowego ulega wyrównaniu samorzutnie, bez konieczności świadomego działania z twojej strony. Rozprężający gaz bardzo łatwo wydostaje się z ucha środkowego, przez trąbkę Eustachiusza do gardła, dlatego zazwyczaj nie musisz poświęcać uwagi uszom podczas wynurzania.

Zatoki



Jeśli jesteś w dobrym stanie zdrowia, twoje zatoki są drożne, i gaz swobodnie przepływa przez nie. Ciśnienie w zatokach wyrównywane jest samorzutnie, jednocześnie z wyrównywaniem ciśnienia w uchu środkowym, i dlatego nie musisz nic robić podczas wynurzania czy zanurzania.

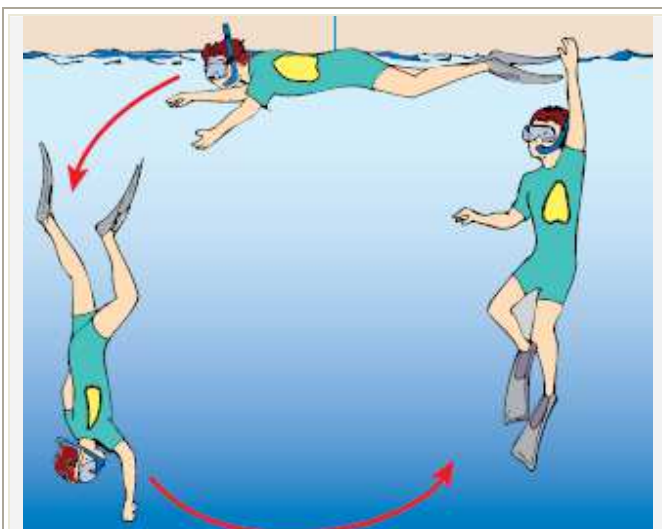
Zatoki mogą powodować problemy wtedy, gdy decydujesz się na nurkowanie mając niecałkowicie drożne drogi oddechowe, na przykład na skutek

przeziębienia lub alergii. Omówimy te problemy wkrótce, w sekcji Problemy w Przestrzeniach Powietrznych Ciała.

Płuca

Twoje płuca stanowią oczywiście przestrzeń powietrzną, i dlatego wpływają na nie zmiany ciśnienia. Zmiany te zależą jednak od tego, czy nurkujesz na zatrzymanym oddechu, czy też z akwalungiem (lub innym aparatem oddechowym).

Nurkowanie na zatrzymanym oddechu



Podczas wynurzenia po nurkowaniu na zatrzymanym oddechu, powietrze rozpręża się do objętości nieco większej niż początkowa. Ten niewielki spadek objętości spowodowany jest zużyciem części tlenu przez układ oddechowy, oraz wykorzystaniem części powietrza na wyrównanie ciśnienia w masce

Gdy się zanurzasz podczas nurkowania na zatrzymanym oddechu (freedivingu), wzrastające ciśnienie hydrostatyczne powoduje zmniejszenie objętości twoich płuc, poprzez sprężanie w nich powietrza. Nie powoduje to problemów dzięki temu, że płuca są skonstruowane tak, by zmniejszanie ich objętości było możliwe. Spadek objętości w tym przypadku nie różni się od tego podczas wykonywania wydechu, pod warunkiem, że ciśnienie zewnętrzne nie redukuje objętości płuc poniżej objętości zalegającej płuc. Przeciętny nurek rozpoczynający zanurzenie z pełnymi płucami, po głębokim wdechu, musiałby zanurkować na zatrzymanym oddechu na głębokość większą niż 40 metrów aby płuca zostały ściśnięte poniżej objętości zalegającej płuc. Większość nurków nie jest w stanie zanurkować na taką głębokość, choć dla wielu freediverów startujących w zawodach nie jest to większy problem. Omówimy później potencjalnie dotyczące ich problemy.

W miarę wynurzenia po nurkowaniu na zatrzymanym oddechu, powietrze w twoich płucach rozpręża się do objętości niewiele mniejszej niż na początku nurkowania. Ta

nieznaczna różnica jest spowodowana wykorzystaniem tlenu z powietrza znajdującego się w pęcherzykach płucnych przez układ krążenia, a także zużyciem powietrza użytego do wyrównania ciśnienia w uszach i w masce.

Nurkowanie w sprężce powietrznej

Aparat oddechowy oraz urządzenia pompujące gaz oddechowy z powierzchni dostarczają gaz oddechowy pod ciśnieniem mniej więcej odpowiadającym ciśnieniu otoczenia. Gdyby nie to, nie byłbyś w stanie oddychać. Oznacza to, że twoje płuca dostosowują się do zmieniającej się głębokości z każdym oddechem. Niezależnie od głębokości podczas nurkowania, objętość twoich płuc pozostaje w przybliżeniu taka sama jak podczas oddychania na powierzchni. W miarę zanurzania, płuca wyrównują zmniejszenie objętości, spowodowane przez sprężanie się gazu, wraz z każdym wdechem. Podczas wynurzenia, nadmiar rozprężającego się gazu usuwany jest z każdym wydechem.

W tym przypadku wyrównanie ciśnienia jest całkowicie automatyczne - dopóty, dopóki normalnie oddychasz. Poważne komplikacje mogą powstać jeśli zaczniesz wstrzymywać oddech, co omówiono w dziale Problemy w Przestrzeniach Powietrznych Ciała.

Sprzęt

Z fizjologicznego punktu widzenia, przestrzeń powietrzna wytworzona przez sprzęt do nurkowania nie różni się wiele od naturalnych przestrzeni powietrznych organizmu, ponieważ także wymagają wyrównywania w nich ciśnienia w miarę wzrastania ciśnienia zewnętrznego. Dwie najważniejsze sztuczne

przestrzeń powietrzna wpływająca na nurka to przestrzeń powietrzna maski oraz przestrzeń wokół ciała w trakcie nurkowania w suchym skafandrze.

Podczas zanurzania, ciśnienie powoduje sprężenie powietrza w twojej masce. Aby je wyrównać, wdmuchujesz powietrze przez nos do maski, co powoduje utrzymanie ciśnienia wewnętrznego oraz objętości w masce w równowadze z ciśnieniem otoczenia. Gdy się wynurzasz, rozprężające się powietrze w twojej masce z łatwością ucieka przez jej kołnierz, co nie wymaga z twojej strony jakiegokolwiek działania.

Suchy skafander tworzy kolejną przestrzeń powietrzną (gazową), która otacza niemal całe twoje ciało (zazwyczaj z wyjątkiem rąk oraz głowy, choć w niektórych modelach także ręce i głowa są suche). W trakcie zanurzania, gaz w suchym skafandrze ulega kompresji wokół twojego ciała, dlatego dodajesz powietrze/wzbogacone powietrze ze swojej butli poprzez wąż niskiego ciśnienia ze swojego automatu. Alternatywnie, możesz używać argonu dostarczanego przez odrębny system ze specjalnej butli. W obu przypadkach jednak, dodajesz gaz do swego skafandra, tak aby wyrównać ciśnienie i objętość wewnątrz niego.

Podczas wynurzania, gaz w suchym skafandrze ulega rozprężeniu, i wydostaje się przez zawór upustowy znajdujący się najczęściej na ramieniu.

Problemy w przestrzeniach powietrznych ciała

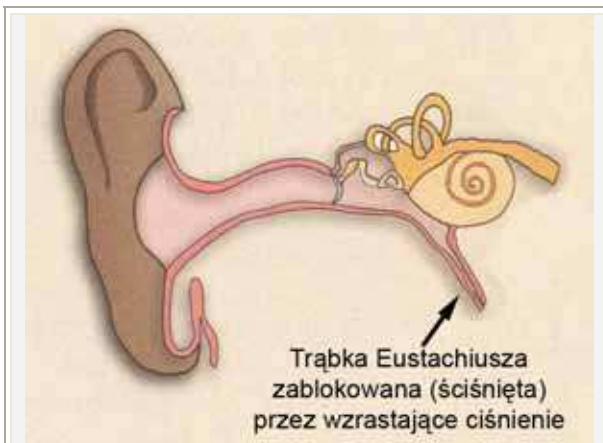
Wszystkie naturalne oraz sztuczne przestrzenie powietrzne w twoim ciele przystosowują się z łatwością do środowiska podwodnego - o ile wyrównujesz w nich ciśnienie do ciśnienia otoczenia. Jeżeli ci się to jednak nie uda, zarówno podczas zanurzania jak i wynurzania, może dojść do urazów zarówno lekkich, jak i stanowiących zagrożenie dla życia.

W każdej przestrzeni powietrznej może dojść do barotraumy (urazu ciśnieniowego) podczas zanurzania lub wynurzania, ale rodzaj doznanego urazu różni się w zależności od fizjologii dotkniętej przestrzeni powietrznej.

Urazy ciśnieniowe powstałe podczas zanurzania określane są jako "ściśnięcie" (squeeze) i polegają na tym, że ciśnienie hydrostatyczne wciska tkanki ciała do niewyrównanych przestrzeni powietrznych. Urazy ciśnieniowe powstałe podczas wynurzania określane są jako "uraz rozprężeniowy" albo "blokada wsteczna" (reverse squeeze, reverse block, expansion injury) - w zależności od konkretnych warunków - i polegają na tym, że uwieczony, rozprężający się gaz powoduje rozepchnięcie tkanek w miarę jak spadku ciśnienia zewnętrznego. Inne urazy ciśnieniowe powstałe podczas wynurzania dotyczą wciskania pęcherzyków rozprężającego się gazu do krwiobiegu.

Chociaż poszczególne rodzaje urazów ciśnieniowych mogą spowodować poważne obrażenia, łatwo ich unikniesz poprzez stosowanie odpowiednich procedur. Urazy ciśnieniowe prawie zawsze wynikają z niestosowania się i nieprzestrzegania określonych procedur.

Uraz ciśnieniowy ucha



Jeżeli opóźnisz wyrównanie ciśnienia, wzrastające ciśnienie w gardle może spowodować zaciśnięcie ścian trąbki Eustachiusza, utrudniając lub wręcz uniemożliwiając wyrównanie ciśnienia

Zakładając, że wiesz jak wyrównać ciśnienie w uszach, czasami mimo wszystko możesz mieć z tym problemy. Po kilku szybkich zmianach głębokości, twoje mięśnie gardłowe mogą się zmęczyć, lub też po paru miesiącach bez nurkowania możesz nie być tak biegły w technikach wyrównania ciśnienia. Czasami sprzęt uciska twoje gardło - na przykład ciasna kryza szyjna albo paski z maski pełnotwarzowej, częściowo blokując twoje trąbki Eustachiusza.

Jeżeli zanurzasz się zbyt szybko bez wyrównywania ciśnienia, wzrastająca różnica ciśnień pomiędzy twoim uchem środkowym a gardłem może powodować ściśnięcie i zamknięcie się trąbek Eustachiusza, uniemożliwiające wyrównywanie ciśnienia. Jednak najczęstszą przyczyną problemów z wyrównaniem ciśnienia jest zatkanie ucha z powodu przeziębienia lub alergii. Kiedy masz katar albo jeśli jesteś alergikiem, śluz oraz obrzęk błony śluzowej może zablokować trąbki Eustachiusza, utrudniając lub wręcz uniemożliwiając wyrównanie ciśnienia. Próby wyrównania ciśnienia gdy ucho jest zatkane mogą

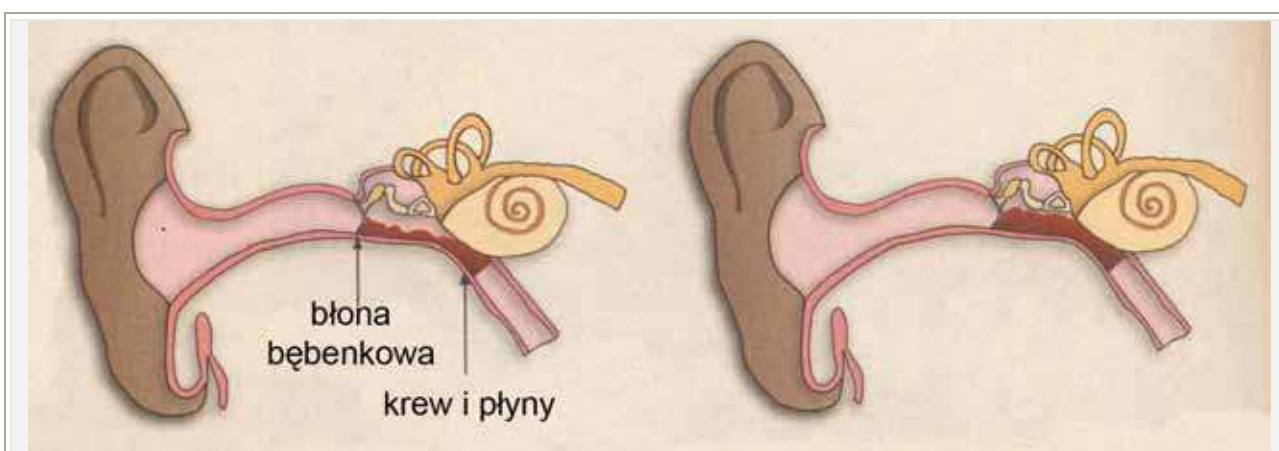
powodować dostanie się śluzu do ucha środkowego, co czasami prowadzi do infekcji.

Niezależnie od przyczyny, niepowodzenie w wyrównywaniu ciśnienia w uszach może prowadzić do jednego lub większej liczby urazów ciśnieniowych.

Ściśnięcie ucha środkowego

Jeżeli nurek zanurza się mimo niemożności wyrównania ciśnienia w uszach, pojawia się u niego ostry ból w uchu spowodowany przez ciśnienie hydrostatyczne uciskające błonę bębenkową w kierunku przestrzeni powietrznej, w której ciśnienie nie jest wyrównane. Jeśli sytuacja taka się przeciąga, a powietrze nie jest dodawane by wyrównać zmniejszenie objętości, ciśnienie hydrostatyczne powoduje wypchnięcie płynów ustrojowych i krwi z tkanek otaczających ucho środkowe do przestrzeni powietrznej ucha. Im dłużej nurek nie wyrównuje ciśnienia, tym więcej płynów ustrojowych i krwi napływa do ucha środkowego.

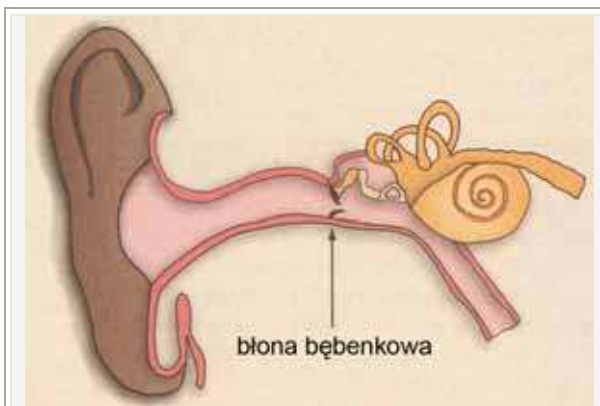
Wtedy ostry ból zmniejsza się, a nurek odczuwa coś w rodzaju "wypełnienia" ucha. Płyny obecne w uchu środkowym powodują przytłumienie vibracji, co powoduje osłabienie słuchu. Ściśnięcie ucha środkowego przeważnie można łatwo wyleczyć poprzez odpowiednie postępowanie medyczne, jednak nie zastosowanie właściwego leczenia może doprowadzić do trwałego upośledzenia słuchu spowodowanego przez infekcję następującą w wyniku urazu mechanicznego.



Jeżeli nurek zanurza się mimo niemożności wyrównania ciśnienia w uszach, pojawia się u niego ostry ból w uchu spowodowany przez ciśnienie hydrostatyczne uciskające błonę bębenkową w kierunku przestrzeni

powietrznej, w której ciśnienie nie jest wyrównane. Jeśli sytuacja taka się przeciąga, ciśnienie hydrostatyczne powoduje wypchnięcie płynów ustrojowych i krwi z tkanek otaczających ucho środkowe do przestrzeni powietrznej ucha

Rozerwanie błony bębenkowej



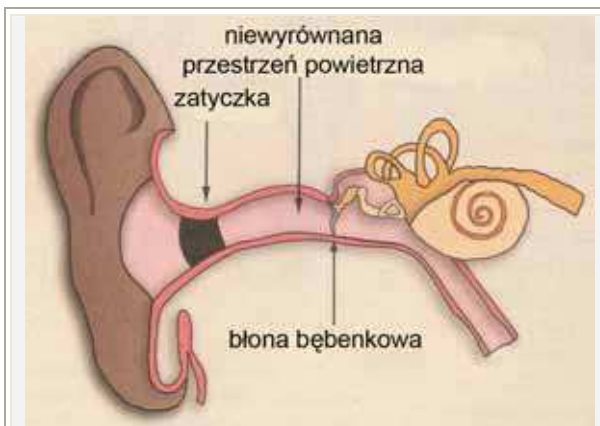
Jeżeli nurek nie wyrównujący ciśnienia w uszach zanurza się szybciej niż możliwe jest wpełnienie płynów z tkanek do przestrzeni ucha środkowego, może dojść do rozerwania błony bębenkowej.

Jeżeli nurek nie wyrównujący ciśnienia w uszach zanurza się szybciej niż możliwe jest wpełnienie płynów z tkanek do przestrzeni ucha środkowego, może dojść do rozerwania błony bębenkowej. Błona ta pęka do wewnątrz ucha, w trakcie czego nurek odczuwa ostry ból, który jednak szybko ustępuje, gdy woda wlewająca się do ucha wypełnia przestrzeń powietrzną i powoduje odczucie ulgi. Jednak ponieważ temperatura wody jest zazwyczaj niższa od temperatury ciała, jej przedostanie się do ucha środkowego powoduje zawroty głowy i dezorientację z powodu wychłodzenia kanałów przedsionkowych. Objawy te jednak ustępują, w miarę jak woda ogrzewa się od ciała.

Generalnie, rozerwana błona bębenkowa zagoi się. Jednak woda dostająca się do ucha środkowego może nanieść bakterie i obcy materiał organiczny, co może być przyczyną infekcji. Właściwe leczenie otolaryngologiczne minimalizuje ryzyko trwałego ubytku słuchu spowodowanego rozerwaniem błony

bębenkowej.

Blokada wsteczna



Zatyczki do uszu, a czasami także kaptury od mokrych skafandrow, powodują powstanie sztucznej przestrzeni powietrznej w kanale słuchowym, pomiędzy zatyczką a błoną bębenkową, w której ciśnienie nie może być wyrównane.

Do blokady wstecznej (zwanej także ściśnięciem wstecznym - reverse squeeze) dochodzi, gdy ciśnienie w uchu środkowym jest wyrównywane podczas zanurzania, ale rozprężający się gaz nie może wydostać się poprzez trąbki Eustachiusza podczas wynurzenia. Do sytuacji tej najczęściej dochodzi wtedy, gdy nurek używa środków obkurczających błonę śluzową nosa (krople stosowane podczas kataru, alergii) i specyfików, które tracą swoje działanie podczas nurkowania. Do blokady wstecznej może też dojść, gdy nurek z przyblokowanymi trąbkami Eustachiusza na siłę wyrównuje ciśnienie podczas zanurzenia, lecz podczas wynurzenia dochodzi do poownego zablokowania trąbek.

Odczucia podczas blokady wstecznej są dokładnie takie same jak przy ściśnięciu ucha środkowego, z tą jednak różnicą, że ciśnienie wypycha błonę bębenkową na zewnątrz, a nie do wewnątrz. W odróżnieniu od ściśnięcia ucha środkowego podczas zanurzania, ograniczona ilość gazu nie pozwala nurkowi przerwać wynurzenia z powodu niemożności wyrównania ciśnienia,

i ostatecznie nurek musi się wynurzyć, niezależnie od tego czy uda mu się wyrównać ciśnienie, czy nie. W przypadku blokady wstecznej niektórzy nurkowie donosili o udanym wyrównaniu ciśnienia poprzez odwrotne wyrównanie (wdech przy zatkanym nosie) oraz bardzo powolne wynurzenie się. Mimo to, uporczywa blokada wsteczna może w rzadkich przypadkach powodować rozerwanie błony bębenkowej na zewnątrz, jeśli nurek jest zmuszony do wynurzenia się bez wyrównanego ciśnienia.

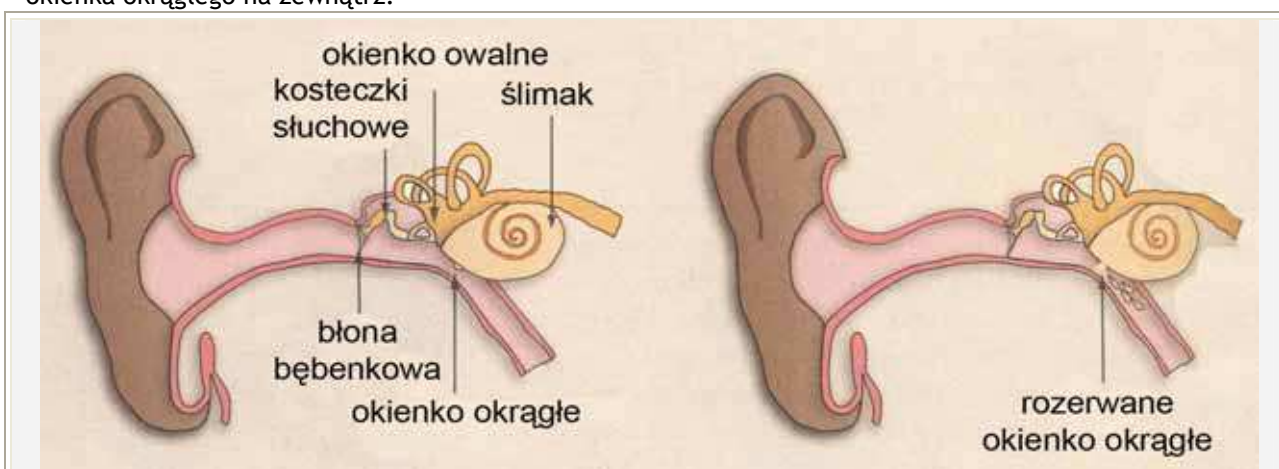
Zatyczki do uszu / kaptury do mokrych skafandrów

Zatyczki do uszu, a czasami także kaptury od mokrych skafandrów, powodują powstanie sztucznych przestrzeni powietrznych w kanałach słuchowych pomiędzy zatyczką a błoną bębenkową, w których ciśnienie nie może być wyrównane. Dlatego nie powinieneś używać zatyczek do uszu podczas nurkowania, może za wyjątkiem specjalnych zatyczek przeznaczonych do nurkowania, które pozwalają wodzie na przedostawanie się do kanału słuchowego. Czasami także ściśle przylegający kaptur może powodować podobny stan poprzez szczelne zatkanie ucha, czemu jednak można natychmiast zapobiec poprzez odcignięcie kaptura z ucha i dopuszczenie do niego wody. Jeśli kiedykolwiek napotkasz niespotykane wcześniej trudności z wyrównaniem ciśnienia w trakcie nurkowania w kapturze, sprawdź czy odcignięcie go na chwilę nie rozwiąże problemu.

Jeśli nurek używa zatyczek do uszu, to podczas zanurzania będzie odczuwał ból, gdyż ciśnienie będzie wypychać błonę bębenkową na zewnątrz (jak podczas blokady wstecznej) do niewyrównanej przestrzeni powietrznej. Nurek może próbować wyrównać ciśnienie, co jednak spowoduje nasilenie się bólu (lub nawet rozerwanie błony bębenkowej), gdyż dodawanie powietrza do ucha środkowego spowoduje powstanie jeszcze większej różnicy ciśnień bo obu stronach błony bębenkowej. W tym samym czasie, ciśnienie hydrostatyczne może spowodować "wessanie" zatyczki głęboko do przewodu słuchowego. Niewyrównane ciśnienie może też spowodować wyciek płynu do ucha środkowego (ściśnięcie ucha środkowego), do przewodu słuchowego, i/lub zewnętrzne rozerwanie błony bębenkowej.

Rozerwanie okienka okrągłego

Do pęknięcia okienka okrągłego ślimaka może dojść, gdy płetwonurek opóźnia moment wyrównania ciśnienia podczas zanurzania, a potem próbuje wykonać je na siłę, lub też przedłuża próbę Valsalvy. W uchu z niewyrównanym ciśnieniem, błona bębenkowa wpukla się do wewnątrz w odpowiedzi na ciśnienie hydrostatyczne. Ten ruch błony bębenkowej jest przewodzony i wzmacniany poprzez kosteczki słuchowe i okienko owalne do ślimaka - dokładnie tą samą drogą, jak fala dźwiękowa. Okienko owalne także wpukla się do wewnątrz, powodując wzrost ciśnienie w perylimfie, który kompensowany jest przez uwypuklenie okienka okrągłego na zewnątrz.



Do pęknięcia okienka okrągłego ślimaka może dojść, gdy płetwonurek opóźnia moment wyrównania ciśnienia podczas zanurzania, a potem próbuje wykonać je na siłę, lub też przedłuża próbę Valsalvy. W uchu z niewyrównanym ciśnieniem, błona bębenkowa wpukla się do wewnątrz w odpowiedzi na ciśnienie hydrostatyczne. Ten ruch błony bębenkowej jest przewodzony i wzmacniany poprzez kosteczki słuchowe i okienko owalne do ślimaka - dokładnie tą samą drogą, jak fala dźwiękowa. Okienko owalne także wpukla się do wewnątrz, powodując wzrost ciśnienie w perylimfie, który kompensowany jest przez uwypuklenie okienka okrągłego na zewnątrz. Jeśli w tym momencie nurek będzie próbował wyrównać ciśnienie poprzez wykonanie silnej i przedłużonej próby Valsalvy, jednoczesny wzrost ciśnienia perylimfy oraz ciśnienia transmitowanego przez błonę bębenkową może spowodować rozerwanie okienka okrągłego.

Przez cały czas, w organizmie wytwarzany jest płyn mózgowo-rdzeniowy, który omywa nerwy czaszkowe oraz nerwy rdzeniowe. Układ żylny stale produkuje i absorbuje te płyny, włącznie z perylimfą. Podczas manewru Valsalvy, ciśnienie w klatce piersiowej chwilowo wzrasta, ograniczając przepływ krwi w żyłach

głównych prowadzących do serca. W odpowiedzi na to następuje wzrost ciśnienia w dużych żyłach - a w związku z tym także ciśnienia płynu mózgowo-rdzeniowego, i również perylimfy. Jeśli nurek opóźni wyrównanie ciśnienia, okienko okrągłe w uchu wybrzusza się na zewnątrz w odpowiedzi na ciśnienie przenoszone do ślimaka. Jeśli w tym czasie nurek będzie próbował wyrównać ciśnienie poprzez silne i przedłużone wykonanie próby Valsalvy, jednoczesny wzrost ciśnienia perylimfy oraz ciśnienia transmitowanego przez błonę bębenkową może spowodować rozerwanie okienka okrągłego. Rozerwanie okienka okrągłego powoduje uczucie zablokowania ucha; nurek może także doświadczyć upośledzenia słuchu, często wraz z dzwonieniem w uszach i zawrotami głowy. Rozerwanie okienka okrągłego jest poważnym urazem i wymaga leczenia otolaryngologicznego, gdyż w przeciwnym razie może dojść do stałego ubytku słuchu albo nawet całkowitej głuchoty ucha dotkniętego urazem. Nawet pomimo leczenia, rozerwanie okienka okrągłego może mieć trwałe konsekwencje. Uraz ten może też wpływać na utrzymywanie równowagi. Na szczęście, możesz ograniczyć ryzyko rozerwania okienka okrągłego poprzez wyrównywanie ciśnienia odpowiednio wcześniej i często podczas zanurzania, nie wyrównywanie ciśnienia na siłę lub zbyt długo, oraz poprzez stosowanie techniki Frenzela zamiast Valsalvy.

Ucho tlenowe

Ostatnio stwierdzono, że tzw. ucho tlenowe (oxygen ear) także może być przyczyną urazu ciśnieniowego. Jest to zjawisko obserwowane wyłącznie u nurków technicznych oraz innych używających 100% tlenu podczas dekompresji. Niezwykle jest to, że może dojść do tego urazu pomimo właściwego wyrównywania ciśnienia w wodzie, a często dochodzi do niego także na powierzchni, po nurkowaniu. Ucho tlenowe może wystąpić, kiedy nurek techniczny używa czystego tlenu podczas dekompresji. Ponieważ niewielkie zmiany głębokości podczas dekompresji nie są niczym niezwykłym, nurek może wyrównywać ciśnienie kilkakrotnie podczas oddychania tlenem, i w efekcie zawartość tlenu w uchu środkowym dochodzi u niego do 100% (lub blisko tej wartości).

Czysty tlen w uchu środkowym nie jest pilnym problemem. Jednak z czasem cienkie błony ucha środkowego oraz łożysko kapilarne zaczynają wchłaniać oraz metabolizować tlen. Skutkujący tym ubytek tlenu powoduje zmniejszenie objętości ucha środkowego, a tym samym efekt analogiczny jak podczas zanurzania bez wyrównywania ciśnienia. Jeśli nurek nie przywróci równowagi ciśnieniowej, skutek także jest taki sam - ściśnięcie ucha środkowego. Może do tego dojść jeszcze podczas dekompresji na danej głębokości, albo po wynurzeniu na powierzchnię po nurkowaniu, podczas którego ostatnie przystanki dekompresyjne były wykonywane na czystym tlenem.

Zazwyczaj jednak nie stanowi to problemu, gdyż nurek odczuwa zmieniające się ciśnienie w uchu środkowym i wyrównuje je bez zastanawiania się nad przyczyną. Jeśli jednak nurek się wynurzy i z jakiegoś powodu nie może wyrównać ciśnienia (np. z powodu pojawiającej się po nurkowaniu niedrożności), postępujący metabolizm tlenowy w uchu może spowodować narastający dyskomfort i ściśnięcie ucha środkowego.

Jeśli nie jesteś podatny na zatykanie się uszu po nurkowaniu, możesz uniknąć zjawiska ucha tlenowego po prostu przez zdanie sobie sprawy z jego występowania. Po wynurzeniu, na powierzchni łagodnie wyrównaj ciśnienie, tak by zrekompensować zmianę objętości w uchu środkowym spowodowaną przez metabolizm tlenu.

Jeśli natomiast masz skłonności do zatykania się uszu po nurkowaniu, możesz po dokończeniu dekompresji na tlenie przerzucić się na powietrze lub nitroks, następnie zanurzyć się nieco (około metra) i wyrównać ciśnienie. Możesz następnie się lekko wynurzyć, ponownie się zanurzyć (znowu jedynie o metr) i raz jeszcze wyrównać ciśnienie. W ten sposób wyrównujesz ciśnienia w uchu środkowym mieszkanką azotowo-tlenową, która nie jest metabolizowana tak szybko. Po nurkowaniu, miej przy sobie krople udrażniające nos, tak aby móc zapobiec jakimkolwiek powstałym po nurkowaniu niedrożnościom, które mogłyby utrudniać wyrównywanie ciśnienia.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU:

- **Wyrównuj ciśnienie w uszach natychmiast po zanurzeniu, i kontynuuj wyrównywanie ciśnienia w miarę jak się zanurzasz. Nie czekaj do chwili, gdy poczujesz dyskomfort - wyrównuj ciśnienie zanim to odczucie się pojawi.**
- **Jeśli nie możesz wyrównać ciśnienia, wynurz się nieznacznie i spróbuj ponownie wyrównać ciśnienie. Jeśli ciągle nie możesz wyrównać ciśnienia, przerwij nurkowanie.**

- Informuj swojego partnera nurkowego lub instruktora o problemie z wyrównaniem ciśnienia. Jest to jedyny sposób, by ta osoba się o tym dowiedziała.
- Nie nurkuj będąc przeziębionym lub z alergią. Nie używaj środków udrażniających drogi oddechowe by umożliwić nurkowanie podczas przeziębienia lub z alergią.
- Wyrównuj ciśnienie z wyczuciem, używając manewru Frenzela. Nigdy nie wykonuj przedłużonego wyrównywania lub nie wyrównuj ciśnienia na siłę stosując manewr Valsalvy, ponieważ może to spowodować rozerwanie okienka okrągłego.
- Jeśli doznasz jakiegokolwiek urazu ciśnieniowego ucha, skontaktuj się niezwłocznie z lekarzem.
- Nie nurkuj z zatyczkami w uszach (chyba, że są to zatyczki specjalnie przeznaczone do nurkowania) i pamiętaj, że być może będziesz musiał odciągnąć na chwilę ściśle przylegający kaptur, by umożliwić normalne wyrównanie ciśnienia w uszach.
- Jeśli nurkujesz technicznie, bądź świadomy zjawiska zwanego uchem tlenowym, i wyrównuj ostrożnie ciśnienie w uszach podczas i po nurkowaniu, jeśli tylko odczujesz taką potrzebę.

Uraz ciśnieniowy zatok

Jeśli nurkujesz przeziębiony lub z objawami alergii, możesz mieć problemy nie tylko z wyrównaniem ciśnienia w uszach, ale także z zatokami. Nurek, który zanurza się z zatkanyymi zatokami, może, choć nie musi odczuwać bólu w miarę jak ciśnienie powoduje kompresję gazu w przestrzeniach powietrznych zatok. Jeśli nurek zanurzy się gwałtownie, ból zatok może być odczuwalny między oczami, nad zębami albo w kościach policzkowych. Ból przeważnie słabnie w miarę, jak ciśnienie hydrostatyczne wciąga krew i płyny z otaczających tkanek do przestrzeni powietrznych zatok., przywracając równowagę ciśnieniową. Podczas wynurzania, gaz się rozpręża, wypychając nagromadzone płyny i krew do jamy nosowej. Powoduje to często, że nurek wynurza się z krwią w masce - co ewidentnie wskazuje, że doszło do ściśnięcia (squeeze) zatok. Uraz ten przeważnie sam ulega wyleczeniu, nie wymagając specjalnej pomocy medycznej. Skontaktuj się jednak z lekarzem, jeżeli po nurkowaniu występuje ostry lub rozległy ból albo gorączka sugerująca infekcję zatok.



Nurkowanie z przeziębieniem lub alergią może prowadzić do ściśnięcia zatok. Ciśnienie hydrostatyczne wciska krew i płyny ustrojowe z otaczających tkanek do przestrzeni powietrznej. Gdy nurek się wynurza, gaz ponownie się rozpręża, powodując wypchnięcie nagromadzonej krwi i płynów na zewnątrz zatoki, do jamy nosowej

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU:

- Nie nurkuj jeśli jesteś przeziębiony, występują u Ciebie objawy alergii lub wynikające z innej przyczyny zatkanie nosa.

- Jeżeli czujesz ból w zatokach podczas zanurzania, prawdopodobnie doszło u ciebie do ściśnięcia zatok. Przestań się zanurzać i zakończ nurkowanie.
- Jeśli doszło u ciebie do ściśnięcia zatok, a ból jest silny, przedłuża się albo pojawiają się komplikacje, wybierz się na wizytę do laryngologa. Nie kontynuuj nurkowania dopóki nie wyleczysz zatok i nie pozbędziesz się problemu z zatkanymi drogami oddechowymi.
- Udaj się do laryngologa również jeżeli często dochodzi u ciebie do urazu ciśnieniowego zatok.

Sposoby leczenia urazów ciśnieniowych ucha i zatok

Jak omówiono w Rozdziale Czwartym - Nurkowanie w Świecie Materialnym, to Robert Boyle jako pierwszy stwierdził, że objętość gazów zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do ciśnienia. Brzmi to świetnie z punktu widzenia naukowca planującego zabierać pod wodę nadmuchane balony, ale nie dla osoby z przeziębieniem, alergią, skrzywioną przegrodą nosową, polipami w zatokach, lub po prostu kiepsko działającymi trąbkami Eustachiusza. Dla kogoś, kto ma problemy z wyrównaniem ciśnienia w uszach lub zatokach, lecz mimo to próbuje nurkować, prawo Boyle'a objawia się naprawdę boleśnie.

Urazy ciśnieniowe ucha i zatok.

Jeśli wyższe ciśnienie zewnętrzne "wciska" płyny i krew z tkanek i naczyń do przestrzeni powietrznych ucha i zatok, efektem jest ból uszu i zatok, upośledzenie słuchu, i często zawroty głowy. Te formy urazu ciśnieniowego określane są jako *barotitis (uszy)* lub *barosinusitis (zatoki)*.

Barotitis może prowadzić do infekcji i zapalenia ucha środkowego. Leczenie przez otolaryngologów zazwyczaj wymaga doustnego przyjmowania antybiotyków, środków zmniejszających wydzielanie śluzu, a w sytuacjach przewlekłych - sterydów. Całkowita absorpcja przez tkanki lub usunięcie przez trąbki Eustachiusza płynów z ucha środkowego może trwać nawet sześć tygodni. W rzadkich przypadkach, w błonie bębenkowej umieszczana jest cienka rurka pozwalająca na wentylację ucha środkowego i zapobiegająca ponownemu napłynięciu płynów. Oczywiście, poszkodowany nie może nurkować, dopóki rurka nie zostanie usunięta, a błona bębenkowa nie zagoi się. W żadnym wypadku nurek z *barotitis* nie powinien nurkować lub latać samolotem, do chwili, gdy ucho zacznie funkcjonować prawidłowo.

Barosinusitis objawia się bólem w policzkach, pomiędzy oczami, wzdłuż nosa i w górnej szczęce. Nurek powinien zaprzestać nurkowania. Otolaryngolodzy zalecają zazwyczaj doustne przyjmowanie antybiotyków i środków zmniejszających wydzielanie śluzu. Niekiedy ból zmniejsza się po użyciu sprayów do nosa oraz naprzemiennym stosowaniu zimnych i gorących okładów na policzkach, pomagających w udrożnieniu zatok. Lekarz może też zalecić zażywanie środków przeciwbólowych.

Przerwana lub rozerwana błona bębenkowa. Do przerwania lub rozerwania błony bębenkowej dochodzi zazwyczaj wtedy, gdy nurek kontynuuje zanurzanie pomimo silnego bólu w uszach. Także nawracające zapalenia ucha w dzieciństwie mogą spowodować osłabienie błony bębenkowej i zwiększenie jej podatności na przerwanie, a inną przyczyną urazu może być wyjątkowo silne wyrównywanie ciśnienia, zwłaszcza w trakcie kataru.

Zimna woda wlewająca się do ucha może spowodować zawroty głowy. W takiej sytuacji, poszkodowany nurek powinien poinformować partnera o problemie i powoli się wynurzyć. Krew w uchu zewnętrznym generalnie oznacza, że doszło do przerwania błony.

Poszkodowany nurek powinien powstrzymać się od nurkowania, zapobiegać dostaniu się wody do ucha, i jak najszybciej skonsultować się z otolaryngologiem. Przerwanie błony bębenkowej powoduje czasową utratę słuchu, ale słuch powróci po zrośnięciu się błony. Niewielkie rozdarcie błony zrośnie się w przeciągu jednego do sześciu tygodni. W wielu wypadkach lekarz nie będzie musiał przepisywać kropli ani antybiotyków, ponieważ nie dojdzie do infekcji. Musi o tym jednak zdecydować lekarz.

Rozzerwania, które nie zrastają się samorzutnie, muszą być operowane. W trakcie operacji nazywanej tympanoplastyką, fragment tkanki umieszczany jest nad i pod rozerwaniem, tak że zostaje ono zakryte.

Uraz ciśnieniowy ucha wewnętrznego.

Do rozerwania okienka okrągłego, czyli do urazu ciśnieniowego ucha wewnętrznego, zazwyczaj dochodzi na skutek późnego rozpoczęcia wyrównywania ciśnienia i wykonania silnej, przedłużonej próby Valsalvy. Gdy dojdzie do urazu, ucho będzie wydawać się wypełnione, może też wystąpić upośledzenie słuchu. Głuchota może pojawić się natychmiast, albo z niewielkim opóźnieniem.

Nurek, który podejrzewa u siebie uraz ciśnieniowy ucha wewnętrznego, powinien natychmiast skontaktować się z otolaryngologiem. Lekarz może zalecić odpoczynek i unikanie wysiłku przez pewien czas; jeśli jednak słuch nie powróci, konieczna może być operacyjna rekonstrukcja okienka okrągłego. Po takiej operacji, poszkodowany nurek nie powinien nurkować ani latać samolotem przez kilka miesięcy.

Zawroty głowy. Zawroty głowy (vertigo) są symptomem wielu rodzajów urazów ciśnieniowych, i dlatego nie powinny być ignorowane. Przyczyny zawrotów głowy mogą być różne, od lekkiego ściśnięcia ucha środkowego, aż do przzerwania błony bębenkowej lub urazu ciśnieniowego ucha wewnętrznego. Dlatego symptom ten powinien być potraktowany poważnie, i nurek powinien natychmiast skonsultować się z lekarzem specjalizującym się w medycynie nurkowej (na przykład z DAN - Divers Alert Network). Dla prawidłowej diagnozy przydatne jest poznanie historii nurkowania.

Pomocna może być ocena stanu ucha przez lekarza, który może rozpoznać przerwanie błony bębenkowej lub okienka okrągłego lub owalnego. Zawroty głowy mogą też świadczyć o chorobie dekompresyjnej, ale w takim wypadku często inne symptomy ułatwiają diagnozę.

Ucho pływaka (zapalenie ucha zewnętrznego - otitis externa).

Chociaż nie jest to właściwie forma urazu ciśnieniowego, ucho pływaka jest prawdopodobnie najczęstszym problemem nurków dotyczącym ucha. To nieprzyjemne schorzenie wynika ze zmiany odczynu (pH) kanału ucha zewnętrznego z kwaśnego na zasadowy na skutek wielokrotnej ekspozycji na wodę i wilgoć.

Symptomy mogą być różne - od kłopotliwego swędzenia, aż do całkowitego zamknięcia kanału ucha zewnętrznego, obrzęku, nasilonego bólu i gorączki.

Najlepszym sposobem zapobiegania temu schorzeniu jest regularne przemywanie uszu po nurkowaniu jednym z łatwo dostępnych roztworów, na przykład przeznaczonych do uszu kropli zawierających kwas octowy. Jeśli nurek jest podatny na zapalenie ucha zewnętrznego, powinien robić to za każdym razem gdy woda dostanie się do kanału słuchowego. Jeśli zaś w uszach nurka znajduje się duża ilość woszczyzny, otolaryngolog powinien okresowo ją usuwać.

Wyrośla kostne (exostoses)

to twarde guzki w kanale ucha zewnętrznego, pojawiające się po wielokrotnej ekspozycji na zimną wodę. Wyrośla kostne mogą zatrzymywać w kanale ucha różne śmieci i paprochy, dlatego nurek z tymi zmianami może wymagać regularnego czyszczenia uszu.

Ostry przypadek ucha pływaka wymaga konsultacji lekarskiej. Na leczenie zwykle składa się czyszczenie ucha, umieszczenie tamponu w przewodzie słuchowym zewnętrznym, doustne przyjmowanie antybiotyków i środków przeciwbólowych, stosowanie kropli dousznych i nagrzewania lampą. Poszkodowany nie powinien nurkować i powinien chronić ucho przed wodą, aż dojdzie do całkowitego wyleczenia.

Niekiedy w uchu zewnętrznym dochodzi do infekcji grzybiczej. Otolaryngolog może ją zdiagnozować i zalecić odpowiednie postępowanie.

Ogólne sposoby zapobiegania.

Powinieneś wyrównywać ciśnienie zaraz po rozpoczęciu zanurzania, a później często w miarę zanurzania. Dogodnie jest korzystać z liny opustowej do kontrolowania tempa zanurzania bądź wynurzania. Dobrze jest też zanurzać się i wynurzać w pozycji pionowej lub ukośnej - z głową powyżej stóp, tak by obniżyć ciśnienie żyłne w głowie i szyi i ułatwić wyrównywanie ciśnienia.

W żadnym wypadku nie nurkuj z przeziębieniem, alergią lub nawet lekkim przytkaniem górnych dróg oddechowych - trąbki Eustachiusza i wejścia do zatok mogą być przyblokowane w stopniu wystarczającym, by uniemożliwić wyrównanie ciśnienia. Jeśli masz alergię, poddawaj się leczeniu.

Po zakończeniu nurkowania, żeby zapobiec uchu pływaka możesz przemyć przewody słuchowe i wysuszyć uszy na słońcu. W aptekach kupić można dostępne bez recepty płyny do przemywania uszu. Oczywiście, zawsze dobrze jest omówić z lekarzem domowym stosowanie środków i metod zapobiegawczych. Nie stosuj żadnego rodzaju antybiotyku do uszu jako środka zapobiegawczego - o ile nie zalecił ci tego lekarz. Jeżeli często masz problemy z wyrównywaniem ciśnienia, twój lekarz również może ci pomóc. Często skutkuje stosowanie sprayu do nosa dziesięć minut przed nurkowaniem. Jednak zabieg ten nie powinien być nigdy stosowany do umożliwienia nurkowania w trakcie przeziębienia, i powinieneś omówić z lekarzem częste stosowanie takiego sprayu.

Skrzywienie przegrody nosowej (chrzęstno-kostnej przegrody rozdzielającej jamę nosową) może przyczyniać się do blokowania trąbek Eustachiusza i ujść zatok. Zanim zrezygnujesz z nurkowania przez niemożność wyrównania ciśnienia, skorzystaj z porady otolaryngologa. Wyprostowanie przegrody lub otwarcie nosa może ułatwić wyrównywanie ciśnienia i umożliwić ci nurkowanie.

Nie nurkując gdy nie możesz wyrównać ciśnienia, pamiętaj o wczesnym i częstym wyrównywaniu ciśnienia w uszach i unikając nasilonego wyrównywania ciśnienia, powinieneś być w stanie uniknąć urazów ciśnieniowych uszu i zatok

Uraz ciśnieniowy płuc

Uraz ciśnieniowy płuc (barotrauma płuc) odnosi się przede wszystkim do sytuacji, w których nurek wynurza się wstrzymując oddech po oddychaniu gazem z butli pod wodą. Wszystkie przypadki urazu ciśnieniowego płuc są poważnymi urazami. Zaczniemy jednak od omówienia teoretycznego urazu ciśnieniowego płuc, do którego może dojść podczas nurkowania na zatrzymanym oddechu.

Ściśnięcie płuc

Jak dowiedziałeś się wcześniej, płuca zmieniają objętość podczas normalnej pracy, i dlatego dla twoich płuc generalnie nie stanowi problemu wzrost ciśnienia i spadek objętości powietrza podczas nurkowania na zatrzymanym oddechu. Nie wiadomo jednak dokładnie co się dzieje, gdy nurkujesz na głębokość na której twoje płuca są ściśnięte poniżej objętości zalegającej - najmniejszej objętości, jaką płuca mogą mieć w normalnych warunkach na powierzchni. Co prawda, dla większości ludzi oznaczałoby to zanurkowanie na zatrzymanym oddechu na głębokość poniżej 30 metrów, jednakże tylko wtedy, gdy rozważamy nurkowanie na pełnym wdechu. Jeśli wykonasz wydech i zanurkujesz z pustymi płucami, mogą one ulec kompresji poniżej objętości zalegającej już na głębokości dwóch, trzech metrów.



Mandy Rae-Cruishank z Performance Freediving sięga po denną plakietkę podczas udanego nurkowania po rekord świata w kategorii Stałe Obciążenie na Grand Cayman na Brytyjskich Wyspach Dziewiczych, w 2004 r. Chociaż ściśnięcie płuc było uważane za potencjalne ryzyko, sukcesy freediverów nurkujących na rekordowe głębokości wykazały, że w praktyce nie jest to problemem

Dawniej fizjolodzy uważali, że limitem nurkowania na zatrzymanym oddechu będzie głębokość około 40 metrów. Podstawą do tych przypuszczeń było to, że przy ciśnieniu panującym na tej głębokości (5 bar) płuca zostaną skompresowane mniej więcej do objętości zalegającej. Uważano, że jeżeli zejdziesz głębiej, to możesz doznać urazu ciśnieniowego płuc (ściśnięcia płuc - lung squeeze lub thoracic squeeze) na skutek nadmiernego ściśnięcia pęcherzyków płucnych oraz innych tkanek powyżej ich fizjologicznych możliwości, powodując wzrost ciśnienia w tętnicach płucnych i ich rozerwanie.

Nie trwało długo zanim nurkowie uprawiający ekstremalny freediving udowodnili, że przewidywania te były błędne. Dzisiaj rekord nurkowania na zatrzymanym oddechu przekracza 150 metrów, a nic nie wskazuje na to, że głębsze nurkowania, choć ryzykowne, nie są możliwe. Pomimo tego, że notowano przypadki śmiertelne podczas bicia rekordów głębokości i czasu nurkowania na zatrzymanym oddechu, do dnia dzisiejszego żaden z nich nie był spowodowany urazem ciśnieniowym płuc (prawie wszystkie śmiertelne przypadki były spowodowane przez utratę przytomności lub utonięcie). Fizjolodzy badali niektórych czołowych nurków uprawiających freediving, próbując dowiedzieć się, dlaczego nie dochodzi u nich do ściśnięcia płuc, a raczej dlaczego ściśnięcie płuc (które musi zachodzić zgodnie z prawem Boyle'a) wydaje się im nie szkodzić. Okazuje się, że nasze ciała są w stanie wytrzymać nadmierne zmniejszenie objętości płuc. Niektóre z tych mechanizmów nie mają skutków następnych, podczas gdy inne tak, ale krótki czas trwania nurkowań ogranicza te skutki.

Wydaje się, że jeśli płuca nurka ulegają kompresji poniżej objętości zalegającej, to dochodzi do naturalnej kompresji klatki piersiowej oraz uniesienia przepony. Pomaga to

skompensować zmniejszenie objętości. Fizjolodzy sądzą, że krew ulega redystrybucji z obszarów obwodowych, tak aby utrzymać równowagę ciśnienia w klatce piersiowej. Wydaje się, że zmniejsza to oczekiwaną redukcję objętości.

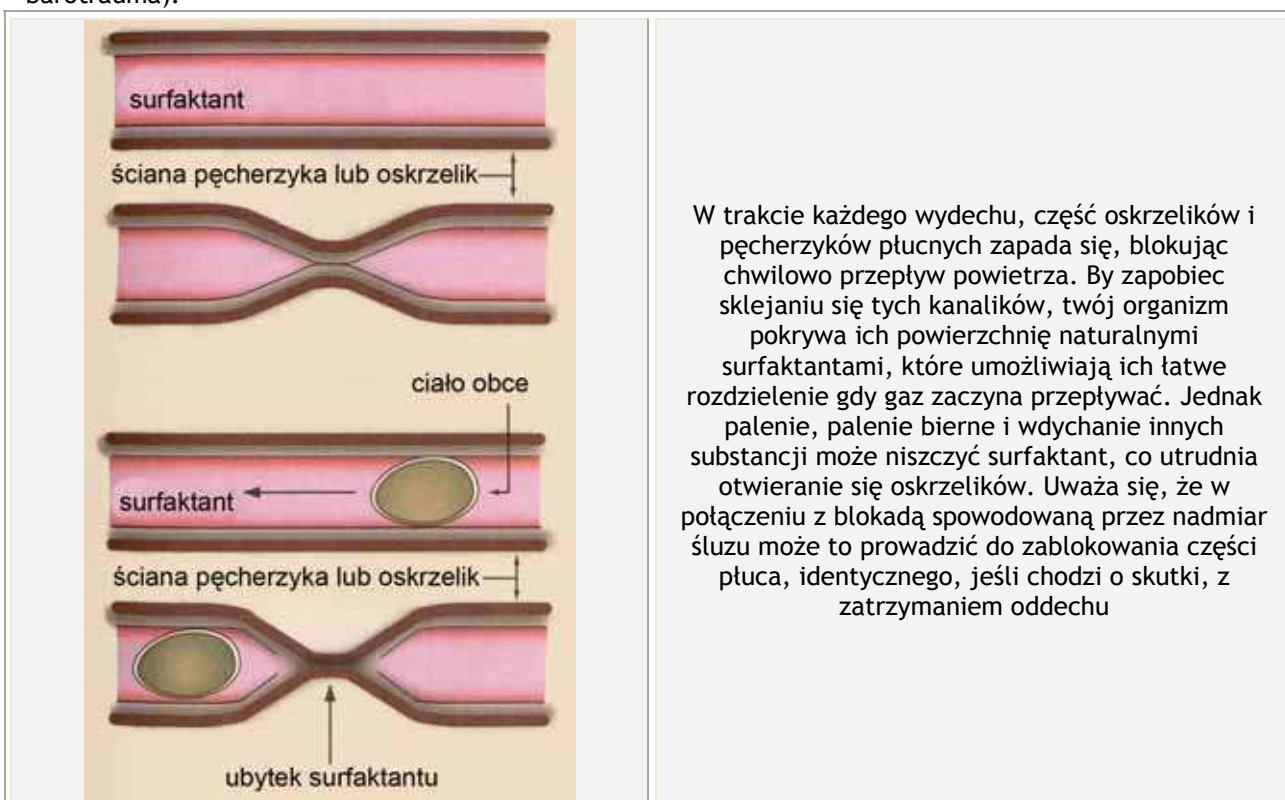
Inną reakcją na tę sytuację może być obrzęk i krwawienie naczyń włosowatych płuc, i wyciek krwi i płynów przez ścianę kapilar do pęcherzyków. To powodowałoby częściowe ograniczenie efektu zmniejszenia objętości spowodowane kompresją gazu, jednak obrzęk płuc (czyli obecność krwi w płucach) jest urazem, który upośledza wymianę gazową i zmniejsza objętość oddechową, podobnie jak zapalenie płuc. Nie ma wielu doniesień na ten temat, jednakże istnieją dane, że rzeczywiście do takich zmian w organizmie może

dochodzić. W niektórych przypadkach, freediverzy kaszleli krwią po wykonaniu wielu głębokich nurkowań pod rząd.

Fizjolodzy uważają, że obrzęk płuc nie stanowi poważniejszego problemu, gdyż czas trwania ucisku jest krótki i w tym czasie jedynie niewiele płynu może się zgromadzić w płucach. Jest to potwierdzone faktem, że objawy obrzęku płuc występowały jedynie po wykonaniu dłuższej serii głębokich nurkowań na zatrzymanym oddechu. Zatem generalnie substancje nagromadzone w płucach ulegają naturalnej absorpcji. Więc nawet jeśli teoretycznie ściśnięcie płuc mogłoby być urazem zagrażającym życiu, nie udowodniono, by był to problem dotyczący wiele osób. Opisano zaledwie jeden przypadek ściśnięcia płuc wymagający pilnej interwencji medycznej, lecz nie jest pewne, czy ten przypadek nie wynikał częściowo z dostania się wody do dróg oddechowych.

Uraz rozprężeniowy płuc²

Gdy oddychasz z automatu lub innego aparatu do oddychania pod wodą, ciśnienie w twoich płucach wyrównywane jest z każdym oddechem. Sytuacja ulega jednak zmianie, gdy podczas wynurzania wstrzymasz oddech, albo gdy na skutek urazu lub schorzenia dojdzie do zatrzymania powietrza (gazu) w części płuca. W takiej sytuacji, gaz rozprężający się na skutek spadku ciśnienia z dużym prawdopodobieństwem spowoduje uraz rozprężeniowy płuc (lung overexpansion injury, ascending lung barotrauma).



W trakcie każdego wydechu, część oskrzelików i pęcherzyków płucnych zapada się, blokując chwilowo przepływ powietrza. By zapobiec sklejeniu się tych kanalików, twój organizm pokrywa ich powierzchnię naturalnymi surfaktantami, które umożliwiają ich łatwe rozdzielanie gdy gaz zaczyna przepływać. Jednak palenie, palenie bierne i wdychanie innych substancji może niszczyć surfaktant, co utrudnia otwieranie się oskrzelików. Uważa się, że w połączeniu z blokadą spowodowaną przez nadmiar śluzu może to prowadzić do zablokowania części płuca, identycznego, jeśli chodzi o skutki, z zatrzymaniem oddechu

Złota zasada nurkowania - by nigdy nie wstrzymywać oddechu - wynika właśnie z chęci uniknięcia zagrożenia, jakie niesie ten uraz. Najczęstszą przyczyną wstrzymywania oddechu przez nurków była tradycyjnie panika lub ignorancja, ale dochodziło do niego także na skutek nudności, zadławienia lub nieuwagi. Nieprawidłowe oddychanie (skip-breathing, omówione w sekcji o hipokapni) także było podawane jako przyczyna. Wydaje się też, że przy bardzo szybkim wynurzaniu gaz może rozprężać się w płucach szybciej, niż jest usuwany przy wydechu, także powodując uraz rozprężeniowy.

² W języku angielskim przyjęta jest nazwa tego urazu oddająca jego istotę - *lung overexpansion injury*. W języku polskim określa się go mniej jednoznacznie - jako uraz ciśnieniowy lub barotraumę płuc, które to określenie teoretycznie obejmuje także opisane powyżej ściśnięcie płuc (*lung squeeze*). Dlatego w tytule sekcji użyłem nazwy jednoznacznie odróżniającej ten uraz od ściśnięcia płuc - choć nie stosowanej powszechnie w Polsce, zaś w tekście używałem tych nazw zamiennie (przyp. tłum.).

Rzadsze, choć także możliwe, jest powstanie blokady zatrzymującej gaz w części płuca, i sprawiającej, że ta część płuca jakby "wstrzymuje oddech". Możliwymi przyczynami są przeziębienie lub infekcja dolnych dróg oddechowych, powodujące nagromadzenie śluzu i płynów w płucach. Z tego samego powodu, nie powinieneś nurkować z przeziębieniem, alergią lub innym schorzeniem powodującym nagromadzenie wydzieliny.

Palenie uważane jest za jedną z możliwych przyczyn urazu ciśnieniowego płuc, gdyż generalnie powoduje zwiększenie ilości wydzieliny zalegającej w drogach oddechowych. W trakcie każdego wydechu, część oskrzelików i pęcherzyków płucnych zapada się, blokując chwilowo przepływ powietrza. By zapobiec sklejeniu się tych kanalików, twój organizm pokrywa ich powierzchnię naturalnymi surfaktantami, które umożliwiają ich łatwe rozdzielanie gdy gaz zaczyna przepływać. Jednak palenie, palenie bierne i wdychanie innych substancji może niszczyć surfaktant, co utrudnia otwieranie się oskrzelików. Uważa się, że to w połączeniu z blokadą spowodowaną przez nadmiar śluzu może prowadzić do zablokowania części płuca, jeśli chodzi o skutki identycznego z zatrzymaniem oddechu.

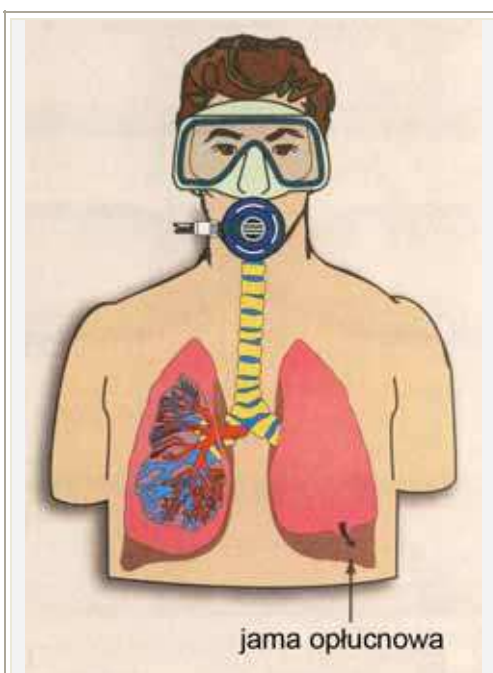
Chociaż zdarzało się to wyjątkowo, notowano także przypadki barotraumy płuc bez wyraźnej przyczyny. Fizjolodzy zauważyli także, że do urazu rozprężeniowego z nieznanych powodów proporcjonalnie częściej dochodziło u nurków niż w innych okolicznościach wystawiających człowieka na zmiany ciśnienia (komory wysokościowe, samoloty itd.). Tłumaczące to hipotezy zwracały uwagę na rozmieszczenie krwi w trakcie pobytu pod wodą, oraz na to, że gdy nurek wznosi się w kolumnie wody, zmiany ciśnienia są często znacznie szybsze niż w tych innych okolicznościach. Mimo to, do barotraumy płuc w trakcie nurkowania dochodzi bardzo rzadko, a w większości przypadków może być ona przypisana wstrzymywaniu oddechu i/lub nadmiernemu tempu wynurzenia.

Nie potrzeba dużej różnicy ciśnień by doszło do barotraumy płuc. Badania wykazały, że u nurka rozpoczynającego wynurzenie z pełnymi płucami i wstrzymującym oddech, wystarczy zmiana głębokości o jeden lub półtora metra by doszło do urazu rozprężeniowego. Co więcej, ryzyko urazu wzrasta w miarę wynurzenia, gdyż stosunek wzrostu objętości gazu do zmiany głębokości o daną wartość (np. o metr) jest większy bliżej powierzchni - zgodnie z prawem Boyle'a.

Gdy dochodzi do urazu rozprężeniowego, płuco nie pęka jak balon, ale raczej ulega rozdarciu. Największe ryzyko związane z urazem wynika nie z samego rozdarcia, ale z przedostawania się powietrza z płuc do tkanek i krwiobiegu. Możemy podzielić urazy rozprężeniowe płuc na cztery podstawowe kategorie: embolia gazowa, odma opłucnowa, odma śródpiersiowa i odma podskórna. Uraz ciśnieniowy powoduje też rozdarcie naczyń krwionośnych w płucach, i wynikające z tego bezpośrednie mieszanie się krwi z powietrzem w płucach. Często sprawia to, że poszkodowany kaszle krwią.

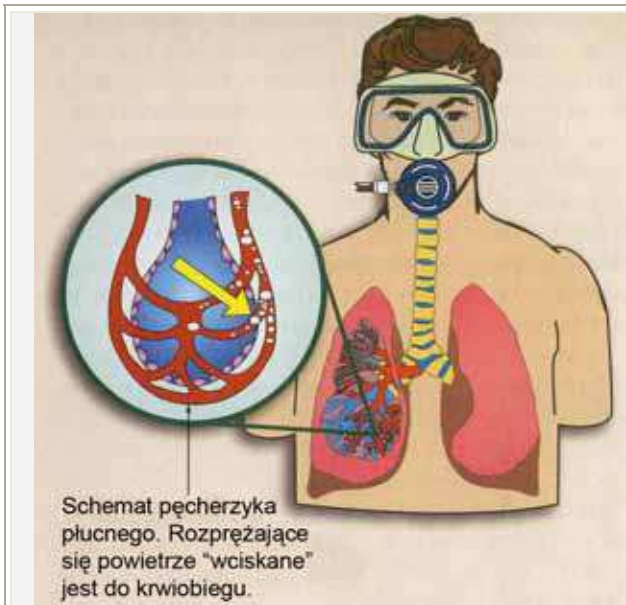
Embolia gazowa.

Do embolii gazowej (gas embolism, arterial gas embolism - AGE), znanej też jako zator gazowy - najpoważniejszego z urazów rozprężeniowych płuc, dochodzi wtedy, gdy powietrze przechodzi do krwiobiegu, z rozdartych pęcherzyków płucnych do naczyń włosowatych płuc. Dla uściślenia, embolia/zator to stan, w którym jakiekolwiek ciało obce w naczyniach krwionośnych blokuje przepływ krwi; w zatorze gazowym takim "ciałem obcym" jest pęcherzyk powietrza lub innej mieszanki gazowej używanej do oddychania, a w tętniczym zatorze gazowym (AGE) taki pęcherzyk znajduje się w tętniczej części układu krążenia.



Jeżeli przepiętne płuco rozedrze się wzdłuż krawędzi, gaz wycieknie do jamy opłucnowej, powodując częściowe lub całkowite zapadnięcie się płuca. Taki uraz nazywany jest odmą opłucnową

Odma opłucnowa.

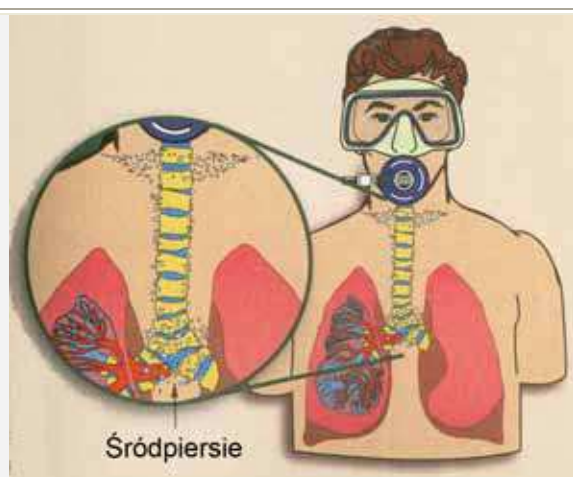


Do najpoważniejszego z urazów rozprężeniowych płuc dochodzi wtedy, gdy pęcherzyki powietrza przechodzą do krwiobiegu - z rozdartych

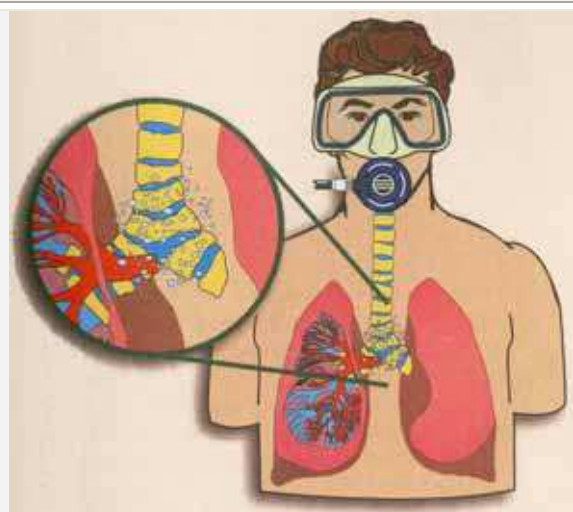
Powietrze przenikające do krwiobiegu w uszkodzonych płucach przepływa żyłami płucnymi do serca, a z lewej komory serca do aorty i części tętniczej układu krążenia. Wraz z krwią tętniczą, pęcherzyki gazu mogą się przemieścić praktycznie do każdego miejsca w organizmie, powodując poważne uszkodzenia przez blokowanie przepływu krwi do tkanek.

Pierwsze główne odgałęzienia aorty znajdują się w łuku aortalnym, ponad sercem. Odgałęzieniami tymi są tętnice szyjne, zaopatrujące mózg. Jeśli pęcherzyki przełyną do tętnic szyjnych, co jest prawdopodobne, mogą trafić do mózgu i spowodować mózgową embolię gazową. Blokują wtedy dopływ niosącej tlen krwi do różnych części mózgu, powodując jego udar niedokrwienny. Najczęstszym objawem jest utrata przytomności, a do innych należą zaburzenia świadomości, zmieszanie, szok, zmiana osobowości; udar niedokrwienny mózgu może prowadzić nawet do śmierci. W porównaniu z chorobą dekompresyjną, omówioną w dalszej części rozdziału, efekty mózgowej embolii gazowej objawiają się szybko i wyraźnie, podczas gdy choroba dekompresyjna rozwija się zazwyczaj z opóźnieniem.

Jeśli ofiara embolii gazowej ma tyle szczęścia, że pęcherzyki ominą tętnice szyjne, embolia wciąż może pojawić się i powodować uszkodzenia w innych częściach organizmu. Na przykład, jeśli pęcherzyki zablokują odżywiające serce naczynia wieńcowe, ograniczony przepływ krwi może spowodować zawał serca.



Odma podskórna (subcutaneous emphysema) często występuje jednocześnie z odmą śródpiersiową, i powstaje na skutek przemieszczania się pęcherzyków gazu ze śródpiersia przez obszar stawiający najmniejszy opór, aż do strefy miękkich tkanek u nasady szyi



Inną możliwą konsekwencją urazu rozprężeniowego płuc jest nagromadzenie się gazu w śródpiersiu. Jest to tak zwana odma śródpiersiowa

Jeżeli przepelnione płuco rozedrze się wzdłuż krawędzi, gaz wycieknie do jamy opłucnowej, czyli przestrzeni zawartej pomiędzy dwoma błazkami opłucnej - jedną okrywającą płuco, a drugą wyścielającą ściany klatki piersiowej, powodując częściowe lub całkowite zapadnięcie się płuca. Taki uraz nazywany jest odmą opłucnową (pneumothorax).

Sama w sobie, odma opłucnowa nie stanowi tak bezpośredniego zagrożenia życia jak embolia, ponieważ poszkodowany wciąż ma jedno funkcjonujące płuco. Zapadnięcie płuca powoduje ostry ból w klatce piersiowej, poszkodowany może też odkastywać skrzepy krwi.

Może dojść do spontanicznego wystąpienia odmy opłucnowej bez wystąpienia urazu rozprężeniowego (zarówno w nurkowaniu, jak i niezależnie od niego), na skutek osłabienia struktury płuc, prowadzącej do ich nagłego rozdarcia i zapadnięcia. Chociaż rzadka, spontaniczna odma opłucnowa może wystąpić w każdym momencie u osoby, u której występuje takie schorzenie. Jeśli dojdzie do niego w trakcie pobytu nurka pod wodą, może być poważniejsze niż odma powstała na skutek urazu ciśnieniowego: stan nurka może ulec pogorszeniu podczas wynurzania, gdy rozprężające się powietrze naciska na zapadnięte płuco. Spontanicznie występująca odma ma tendencję do nawracania, dlatego bezwzględnie wyklucza dalsze nurkowanie.

Odma śródpiersiowa.

Inną możliwą konsekwencją urazu rozprężeniowego płuc jest nagromadzenie się gazu w śródpiersiu, czyli centralnej części klatki piersiowej. Odma śródpiersiowa (mediastinal emphysema) jest jednak sama w sobie znacznie mniej niebezpieczna niż odma opłucnowa lub embolia gazowa.



Zalecaną procedurą podczas udzielania pierwszej pomocy osobom które doznały jakiegokolwiek urazu rozprężeniowego płuc jest podanie czystego tlenu do oddychania

Gaz gromadzący się w śródpiersiu w wyniku odmy śródpiersiowej może uciskać serce i główne naczynia krwionośne, zaburzając krążenie. Poszkodowany może czuć się bliski omdlenia lub nie móc złapać oddechu w fectie upośledzenia krążenia. Jednak w wielu sytuacjach symptomy są łagodne lub brak ich w ogóle, a poszkodowany może odczuwać jedynie ból w klatce piersiowej i/lub ucisk klatki. Jednak nawet wtedy, symptomy takie wskazują na konieczność udzielenia pierwszej pomocy i pilnego zasięgnięcia opinii lekarza: istnieje prawdopodobieństwo, że doszło jednocześnie do embolii gazowej.

Odma podskórna.

Odma podskórna (subcutaneous emphysema) często występuje jednocześnie z odmą śródpiersiową, i powstaje na skutek przemieszczania się pęcherzyków gazu ze śródpiersia przez obszar stawiający najmniejszy opór, aż do strefy miękkich tkanek u nasady szyi. Powietrze gromadzi się bezpośrednio pod skórą, sprawiając, że poszkodowany odczuwa wypełnienie szyi. Zmienia mu się także głos. Skóra może trzeszczeć pod wpływem dotyku, a w poważniejszych przypadkach uraz może powodować nabrzmienie boków szyi i górnej części klatki piersiowej. Ponieważ odma podskórna wynika z odmy śródpiersiowej, wielu fizjologów traktuje ją po prostu jako odmianę odmy śródpiersiowej, a nie jako odrębny typ urazu.

Pierwsza pomoc i leczenie urazów ciśnieniowych płuc

Chociaż trzy z czterech typów urazu rozprężeniowego płuc nie stanowią same w sobie bezpośredniego zagrożenia życia, stwierdzenie któregośkolwiek z nich jest dowodem, że doszło

do urazu ciśnieniowego płuc. Dlatego najlepszym wyjściem jest takie postępowanie i udzielanie pierwszej pomocy, jak gdyby jednocześnie wystąpiła embolia - i pozostawienie ostatecznej diagnozy lekarzowi specjalizującemu się w medycynie nurkowej.

Podstawową zalecaną pierwszą pomocą w wypadku jakiegokolwiek urazu ciśnieniowego jest podanie tlenu. Tlen jest pomocny na dwa sposoby. Po pierwsze, oddychanie tlenem powoduje obniżenie ciśnienia parcjalnego azotu w pęcherzykach płucnych, i przez to wzrost gradientu ciśnienia azotu pomiędzy krwią a światłem pęcherzyka. Przyspiesza to usuwanie azotu z organizmu, spowalnia i zapobiega wzrostowi pęcherzyków w naczyniach i ułatwia ich usuwanie. Po drugie, pęcherzyki w organizmie powodują uszkodzenia wywołując lokalną hipoksję - blokując przepływ krwi niosącej tlen; dlatego oddychanie tlenem zwiększa stężenie tlenu we krwi i "efektywność" krwi docierającej do tkanek dotkniętych hipoksją. W wypadku mózgowej embolii gazowej jest to szczególnie ważne, gdyż dotkniętą tkanką jest mózg, szczególnie wrażliwy na niedotlenienie.

Poszkodowany nieprzytomny, ale oddychający, powinien zostać położony na lewym boku, z podtrzymywaną głową. Leżenie na boku pozwala zachować drożność dróg oddechowych w razie, gdyby poszkodowany miał wymiotować. Stan niektórych pacjentów ulegał pogorszeniu, gdy zmieniali pozycję na siedzącą; dlatego odradzaj poszkodowanemu siadanie lub wstawanie podczas udzielania pierwszej pomocy lub transportu - o ile przybyły na miejsce lekarz nie zaleci inaczej. Nieoddychającego poszkodowanego położyć na plecach i rozpocznij sztuczne oddychanie, masaż serca i defibrylację - w zależności od potrzeb. Pamiętaj, że najważniejsze jest zachowanie i przywracanie drożności dróg oddechowych, kontrolowanie oddychania i krążenia, podanie tlenu, oraz jak najszybsze przetransportowanie nurka do szpitala.

Jeśli u nurka doszło do zatoru gazowego (embolii), kluczowa jest szybka rekompresja w celu zmniejszenia ilości i rozmiaru pęcherzyków w krwiobiegu i ponownego przeprowadzenia gazu do roztworu. Skutecznie przywraca to przepływ krwi do tkanek. Żaden inny uraz ciśnieniowy nie wymaga rekompresji - o ile jednocześnie nie występuje embolia gazowa; ale to lekarz musi podjąć decyzję o sposobie postępowania.

Odma opłucnowa może wymagać chirurgicznego usunięcia gazu poprzez dren wprowadzony przez ścianę klatki piersiowej do jamy opłucnowej. Rekompresja pacjenta, u którego wystąpiła jednocześnie embolia gazowa i odma opłucnowa, może być skomplikowana, ze względu na rozprężanie się powietrza w opłucnej podczas dekompresji. W takim wypadku, leczenie odmy musi zostać przeprowadzone w komorze przed przywróceniem pacjenta do ciśnienia atmosferycznego.

Odma śródpiersiowa i podskórna ustąpi samoczynnie, gdyż krew będzie powoli reabsorbować uwięzione powietrze. W wyjątkowych sytuacjach, oddychanie tlenem może przyspieszyć reabsorpcję powietrza.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU:

- **Pamiętaj, by nigdy nie wstrzymywać oddechu podczas korzystania z jakiegokolwiek aparatu do oddychania pod wodą.**
- **Wynurzaj się powoli, nie przekraczając prędkości 18 metrów na minutę lub maksymalnej prędkości dozwolonej przez twój komputer. Jeszcze wolniejsze tempo wynurzania jest lepsze.**
- **Palenie papierosów i przekrwienie płuc mogą stwarzać ryzyko uwięzienia gazu w części płuc, i w następstwie wystąpienia urazu ciśnieniowego. Nie nurkuj z jakąkolwiek formą obturacji płuc. Dla twojego zdrowia i bezpieczeństwa, najlepsze będzie rzucenie palenia.**
- **Bądź przygotowany na wypadek wystąpienia urazu ciśnieniowego płuc. Zalecane jest odbycie kursu PADI Rescue Diver oraz Emergency First Response.**

Czym jest zespół urazów dekompresyjnych?

Chociaż nieraz spotkasz się z użyciem określenia "zespół urazów dekompresyjnych" (decompression illness, DCI) zamiennie z określeniem "choroba dekompresyjna" (decompression sickness, DCS), nie są to synonimy. Choroba dekompresyjna jest jednym z możliwych urazów dekompresyjnych.

Choroba dekompresyjna to określenie stanu spowodowanego przez wydzielanie się nadmiaru azotu lub innego gazu rozpuszczonego we krwi w postaci pęcherzyków, tworzących się w obrębie organizmu. Szczegółowo omówimy chorobę dekompresyjną, jej przyczyny oraz zapobieganie w następnej części tego rozdziału.

W efekcie urazu rozprężeniowego płuc również może dojść do wepchnięcia gazu do krwiobiegu.

Mechanizm tworzenia pęcherzyków jest inny niż przy chorobie dekompresyjnej, ale ostateczny problem jest taki sam: pęcherzyki blokujące przepływ krwi i powodujące uszkodzenia tkanek na inne sposoby.

Dlatego niektóre z najpoważniejszych symptomów pojawiają się przy obu urazach.

Ponieważ zarówno barotrauma płuc, jak i choroba dekompresyjna wymagają takiej samej pierwszej pomocy, nie ma potrzeby rozróżniać ich podczas udzielania pierwszej pomocy poszkodowanemu nurkowi.

Określenie "zespół urazów dekompresyjnych" odnosi się zatem zarówno do choroby dekompresyjnej, jak i do barotraumy płuc - takie same są procedury postępowania i pierwsza pomoc. Jeżeli będzie to konieczne, lekarz wyspecjalizowany w medycynie nurkowej zidentyfikuje mechanizm konkretnego urazu w późniejszym terminie, gdy nurek znajdzie się w szpitalu.

Urazy ciśnieniowe sprzętowe

Zaniedbanie wyrównywania ciśnienia w sztucznych przestrzeniach powietrznych wokół ciała, stworzonych przez sprzęt nurkowy, także może prowadzić do urazów, choć zwykle nie są one tak poważne jak ściśnięcie twoich naturalnych przestrzeni powietrznych wewnątrz ciała.

Ściśnięcie maski.

Do ściśnięcia przestrzeni powietrznej pod maską (mask squeeze) dochodzi zazwyczaj podczas bardzo szybkich zanurzeń, podczas których nurek zapomina o dopuszczaniu powietrza nosem do wnętrza maski. Wzrastające ciśnienie hydrostatyczne może powodować "wessanie" tkanek otaczających oko do niewyrównanej przestrzeni powietrznej, i ich obrzęk.

Ten obrzęk powoduje generalnie uszkodzenie naczyń krwionośnych, na skutek czego skóra wokół oczu i na policzkach przyjmuje purpurową barwę. Może też dojść do przerwania naczyń włosowatych na powierzchni gałki ocznej. Ściśnięcie maski wygląda dramatycznie i sprawia bardzo poważne wrażenie, chociaż często nurek nie zdaje sobie sprawy że do niego doszło - dopóki nie spojrzy w lustro. Uraz powstały przez ściśnięcie maski zwykle goi się bez żadnych trwałych konsekwencji, ale zawsze rozsądnie jest zasięgnąć porady lekarza.

Ściśnięcie suchego skafandra (dry suit squeeze).

Niewyrównanie ciśnienia wewnątrz suchego skafandra (sporadycznie dotyczy to także powietrza uwięzionego w mokrym skafandrze) może spowodować szczypanie lub zsinienie skóry. Najczęstszą przyczyną jest szybkie wykonanie szybkiego zanurzenia bez wcześniejszego sprawdzenia, czy inflator suchego skafandra jest podłączony. Dochodzi też do niego w sytuacjach, gdy nurek już w wodzie stwierdza, że wziął zbyt mało balastu, i zamiast wynurzyć się i skorygować problem, pozwala na ściśnięcie skafandra celem zmniejszenia pływalności.

Jeśli nurek zlekceważy szczypanie i kontynuuje zanurzanie, ściśnięcie skafandra może powodować powstanie krwiaków i uszkodzenie skóry. Efekty lekkiego ściśnięcia skafandra może przypominać konsekwencje ściśnięcia maski - nurek może dopiero po nurkowaniu dowiedzieć się że do niego doszło, odkrywając siniaki i krwiaki na całym ciele. Natomiast poważniejsze ściśnięcie może być dość bolesne; w sytuacjach, w których doszło do rozłączenia inflatora suchego skafandra, nurkowie niekiedy zalewali skafandry przez kryzę szyjną lub nadgarstkową by zmniejszyć ściśnięcie, a następnie przerywali nurkowanie.

Inne urazy ciśnieniowe

Powietrze lub inny gaz uwięziony w jakimkolwiek zakamarku ciała może potencjalnie powodować uraz ciśnieniowy. Na przykład, przestrzeń powietrzna pod plombami w zębach w rzadkich wypadkach powodowały problemy. Jeśli w trakcie nurkowania lub po jego zakończeniu odczuwasz nietypowy ból zęba, to właśnie może być przyczyną. W takim wypadku, przedstaw problem twojemu dentyście.

Gaz gromadzący się w jelitach podczas nurkowania także może się rozprężyć przy wynurzaniu i powodować przejściowy dyskomfort. Możesz obniżyć prawdopodobieństwo tego poprzez unikanie spożywania pokarmów działających gazopędnie przed nurkowaniem.

Te i inne rodzaje problemów wynikających ze zmian ciśnienia występują rzadko, ale są możliwe.

Pierwsi twórcy tabel nurkowych

W roku 1670 Robert Boyle spojrzął w oczy węża, którego właśnie skończył poddawać dekompresji w komorze, i zauważył w nich rosnące pęcherzyki. Boyle nie mógł wiedzieć, co je powodowało, ale jako

sumienny naukowiec zanotował swoje obserwacje. Była to pierwsza historyczna wzmianka na temat choroby dekompresyjnej (choć bez podania jej nazwy). Jednak dopiero w latach 70. XIX wieku zrozumiano znaczenie tych pęcherzyków.

U ludzi, choroba dekompresyjna (decompression sickness, DCS) pojawiła się po raz pierwszy w roku 1841, gdy francuscy górnicy zaczęli wydobywanie węgla w pierwszej w świecie kopalni, w której w sztuczny sposób zwiększono ciśnienia powietrza. Lekarze B. Pol i T. J. J. Wattelle opisali kliniczne przypadki DCS w roku 1854, po zbadaniu górników; zauważyli, że schorzenie występowało po opuszczeniu strefy zwiększonego ciśnienia, a powrót do niej powodował ustępowanie objawów. Ponieważ nie rozumieli przyczyn choroby dekompresyjnej, odebrali ją jako paradoks - tak, jak gdyby np. wyjęcie ręki z ognia powodowało oparzenia, a jej powtórne włożenie do ognia likwidowało objawy. Pol i Wattelle jako pierwsi opisali objawy i symptomy DCS, lecz nie potrafili ich wyjaśnić.

Wkrótce potem, to samo zjawisko wystąpiło u robotników pracujących w kesonach ciśnieniowych przy budowaniu mostów. W kesonach wykorzystywano sprężone powietrze, by powstrzymać wodę podczas prac na dnie rzeki. U robotników, opuszczających kesony często rozwijała się choroba dekompresyjna, która stała się znana jako „choroba kesonowa”. Robotnicy pracujący przy budowie mostu brooklińskiego w Nowym Jorku porównywali reakcje cierpiących, którzy zginali się by ulżyć cierpieniom, z „greckim wygięciem” („Grecian bend”), modną postawą kobiet tego okresu. Wkrótce choroba dekompresyjna była powszechnie określana jako „the bends”, czyli „krzywiki”.

Przez lata choroba atakowała nurków i górników bez widocznych przyczyn i prawidłowości, do momentu, gdy francuski lekarz Paul Bert zwrócił na nią uwagę w latach 70. XIX wieku. Po zebraniu raportów medycznych na temat przypadków choroby dekompresyjnej u robotników pracujących w kesonach i nurków, zaczął szukać przyczyn choroby.

Prowadząc eksperymenty nad oddychaniem, Bert stwierdził, że gazowe składniki powietrza oddziałują chemicznie na organizm proporcjonalnie do ciśnienia. Stwierdził też, że azot pochłaniany przez ciało pod zwiększonym ciśnieniem formuje czasami pęcherzyki po obniżeniu ciśnienia.

W roku 1878 Bert opublikował swoje teorie w „La Pression Barometrique”, 1100-stronicowej księdze, która została przetłumaczona na angielski w roku 1943. Bert zalecał, by nurkowie i pracownicy kesonowi wynurzali się powoli, a jeżeli ich „wyginało”, by zawracali i wynurzali się jeszcze wolniej. Teoria Berta została pozytywnie zweryfikowana w roku 1893, podczas konstrukcji tunelu pod rzeką Hudson. Robotników dotkniętych przez DCS leczono w znajdującej się na miejscu komorze dekompresyjnej, co przyczyniło się do zmniejszenia zarówno częstości występowania objawów i symptomów, jak i liczby przypadków śmiertelnych. I choć zalecenia Berta stanowiły wielki postęp w medycynie dekompresji, to zapobieganie chorobie dekompresyjnej przez używanie tabel uwzględniających czas i głębokość zanurzenia zaczęło się dopiero 30 lat później.

W roku 1906 profesor John Scott Haldane, lekarz zainteresowany skutkami oddziaływań gazów na ciało, zajął się przypadkami choroby dekompresyjnej u nurków klasycznych Royal Navy. Już wcześniej Haldane znacząco przyczynił się do rozwoju wiedzy o oddychaniu, wpłynął na poprawę warunków pracy w kopalniach w zakresie bezpieczeństwa gazowego i pierwszej pomocy, a pracując wraz z J. G. Priestleyem odkrył niejako „przy okazji”, że dwutlenek węgla reguluje normalny cykl oddechowy - podkładając kamień węgielny pod fizjologię oddychania.

Zaopatrzony w „La Pression Barometrique” Paula Berta i wyniki innych badań dotyczących ciśnienia, wraz z A. E. Boycottem i G. C. C. Damantem rozpoczął eksperymenty na kozach. Założył, że ciało może znieść określoną nadwyżkę azotu rozpuszczonego w płynach ciała, i na kozach badał, ile dodatkowego azotu organizm może tolerować zanim pojawią się pęcherzyki powodujące „the bends”. Eksperymenty na kozach zakończyły się powodzeniem.

Następnie, Haldane rozpoczął eksperymenty z ochotnikami - nurkami z Royal Navy. Przed ich rozpoczęciem zażądał zmian w ekwipunku nurków klasycznych, włączając w to lepsze pompy, dostarczające czystsze powietrze na większe głębokości. Gdy Haldane kończył swój projekt, zalecenia jego zespołu dotyczące wyciągarek i strojów stały się standardem Royal Navy, a wiele ze zmian konstrukcyjnych wprowadzonych przez nich jest stosowana do dziś przez osoby nurkujące w tradycyjnych hełmach z brązu.

Do zwiększenia bezpieczeństwa przyczyniły się badania jego syna, J. B. S. Haldane’a, który prowadził również pionierskie badania nad toksycznością tlenową w aparatach tlenowych z obiegiem zamkniętym Royal Navy, wykorzystywanych w czasie II wojny światowej do ewakuacji załóg z łodzi podwodnych. Mniej więcej w tym samym czasie Kenneth Donald rozpoczął podobne badania w celu wykorzystania nurków wyposażonych w aparaty tlenowe o obiegu zamkniętym do przyczepiania min do burt wrogich okrętów.

Prace te utrwaliły pozycję Donalda jako niekwestionowanego autorytetu w dziedzinie badań nad toksycznością tlenu; on i J. B. S. Haldane wzajemnie się konsultowali, gdyż obaj prowadzili prace nad wpływem tlenu pod ciśnieniem.

Eksperymenty Haldane’a umożliwiły osiąganie rekordowych głębokości, a następnie wynurzania się bez choroby dekompresyjnej. Ponieważ praktyka potwierdzała teorie Haldane’a, ochotnicy bili rekordy głębokości niemal codziennie, dochodząc do głębokości 64 metrów. Gdy nurkowie regularnie wynurzali się z „nienurkownej” głębokości bez choroby dekompresyjnej, Haldane opublikował w roku 1907 pierwsze tabele nurkowe. Czasopismo *The Journal of Hygiene* opublikowało artykuł „The Prevention of Compressed Air Illness”, autorstwa Boycotta, Damanda i Haldane’a w roku 1908; do dziś artykuł ten jest uważany za pracę kładącą podwaliny teorii dekompresji.

Obecnie prace Berta i Haldane’a są kontynuowane. Specjaliści od medycyny nurkowej wciąż badają i udoskonalają tablice nurkowe oraz metody leczenia choroby dekompresyjnej w celu zwiększania bezpieczeństwa nurkowania oraz minimalizowania ryzyka DCS. Mimo to, zdecydowana większość komputerów nurkowych oraz tabel opiera się na oryginalnym modelu Haldane’a, który ze stosunkowo niewielkimi modyfikacjami obowiązuje już od stu lat.

Fizjologia dekompresji: reakcja organizmu na rozpuszczony gaz obojętny

Minęło ponad 140 lat od chwili, gdy fizjologowie rozpoczęli badania nad chorobą dekompresyjną (decompression sickness - DCS), bolesną przypadłością po raz pierwszy stwierdzoną u górników pracujących w kopalniach, w których sztucznie podnoszono ciśnienie. Później choroba dekompresyjna wystąpiła u robotników pracujących przy budowie mostów w kesonach ze sprężonym powietrzem, umieszczonych na dnie rzek.

Pierwsi fizjologowie stwierdzili, że pod zwiększonym ciśnieniem azot gazowy przechodzi do roztworu w ciele, a potem, po spadku ciśnienia, może wydzielać się w postaci pęcherzyków i powodować chorobę dekompresyjną - jednak wciąż byli zdezorientowani. Dlaczego niektóre rodzaje ekspozycji na azot pod zwiększonym ciśnieniem (podczas nurkowania, lub pracy w warunkach podwyższonego ciśnienia) powodowały DCS, a inne nie? Dlaczego ekspozycja w takich samych warunkach u jednych osób powodowała chorobę dekompresyjną, a u innych nie?

W miarę uzyskiwania wyników kolejnych badań, pierwsi naukowcy zajmujący się dekompresją zrozumieli wiele aspektów reakcji organizmu na azot i inne rozpuszczone gazy obojętne, jednak wciąż zadawali nowe pytania. Czy pęcherzyki mogą się wytworzyć bez wywoływania choroby dekompresyjnej? W jakiej formie organizm wydziela rozpuszczone gazy obojętne - jako pęcherzyki, z roztworu, czy też w obu postaciach? Jak unikać choroby dekompresyjnej?

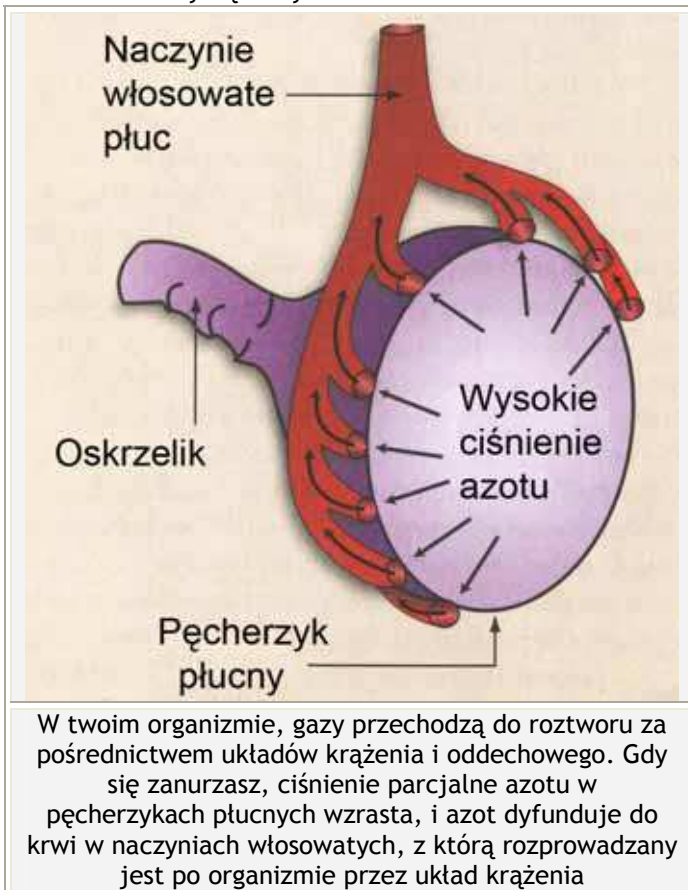
Nawet dzisiaj, odpowiedzi na wiele z tych pytań nie są do końca znane, chociaż wiemy znacznie więcej na temat zachodzących w organizmie procesów, a stan naszej wiedzy wciąż się rozszerza. Badania nad fizjologią dekompresji zajmują się między innymi sposobem pochłaniania i usuwania z organizmu rozpuszczonych gazów, jak również procesami zachodzącymi w organizmie, gdy rozpuszczone gazy zaczną powodować problemy - czyli spowodują chorobę dekompresyjną. Zajmują się też modelowaniem procesów zachodzących podczas dekompresji - co jest jedynym sposobem zapobiegania DCS (oprócz wstrzymania się od nurkowania!). Omówimy bliżej modele dekompresyjne po zapoznaniu się ze znanymi i teoretycznymi procesami zachodzącymi w organizmie nurka.

Absorpcja gazów obojętnych

Gdy jesteś wystawiony na zwiększone ciśnienie podczas nurkowania (lub z innej przyczyny), azot i/lub inne gazy obojętne rozpuszczają się w twoich tkankach, co jest bezpośrednią konsekwencją prawa Henry’ego, omówionego w Części IV. Prawo Henry’ego stanowi, że w stanie równowagi ilość gazu rozpuszczona w cieczy jest wprost proporcjonalna do ciśnienia parcjalego tego gazu. Ciało ludzkie jest w przeważającej części złożone z cieczy, dlatego gazy rozpuszczają się w nim podobnie jak w wodzie. Ponieważ jednak ciało ludzkie ma skomplikowaną budowę, rozpuszczanie się gazów w tkankach jest bardziej skomplikowane niż ich rozpuszczanie w wiadrze wody.

Z punktu widzenia fizjologii nurkowania rekreacyjnego, prawo Henry’ego dotyczy przede wszystkim dwóch fizjologicznie obojętnych gazów - azotu i helu. Tlen również rozpuszcza się w tkankach pod ciśnieniem,

jednak w granicach limitów dozwolonych ze względu na jego toksyczność nie stwarza problemów dekompresyjnych, ponieważ tkanki metabolizują tlen lub w inny sposób z nim reagują. Inne gazy w powietrzu istnieją w ilościach śladowych, i ich absorpcja nie powoduje większych konsekwencji. Jednak ogólne zasady przedstawione w tym rozdziale dotyczą każdego gazu fizjologicznie obojętnego, którym nurkowi zdarzy się oddychać.



Prawo Henry'ego stanowi, że w ludzkim ciele gazy będą się rozpuszczać proporcjonalnie do otaczającego ciśnienia. Załóżmy, że oddychasz powietrzem (21% tlenu, 79% azotu) na powierzchni i z butli nurkowej, chociaż te same zasady dotyczyć będą każdej mieszaniny gazów obojętnych i tlenu.

Na powierzchni, przed nurkowaniem, twoje ciało jest wysyczone azotem, co oznacza, że tkanki zawierają tyle rozpuszczonego azotu, ile mogą pomieścić pod ciśnieniem atmosferycznym. W miarę zanurzania, gdy ciśnienie wzrasta, twoje ciało przestaje być wysyczone, gdyż pod zwiększonym ciśnieniem w tkankach może rozpuścić się więcej azotu z twojej mieszanki oddechowej. Jeśli pozostaniesz na tej głębokości wystarczająco długo, gaz przechodzący do roztworu osiągnie stan równowagi z ciśnieniem zewnętrznym. Twoje ciało będzie znów wysyczone pod tym nowym ciśnieniem.

Gaz rozpuszcza się w wiadrze wody poprzez prostą dyfuzję przez powierzchnię wody. W twoim ciele, gaz przechodzi do roztworu przez twoje układy oddechowy i krwionośny. W miarę zanurzania, ciśnienie parcjalne azotu w powietrzu pęcherzykowym wzrasta ponad wartość ciśnienia tego gazu w krwi (ciśnienie azotu już rozpuszczonego), i N_2 dyfunduje do krwi przepływającej przez naczynia włosowate

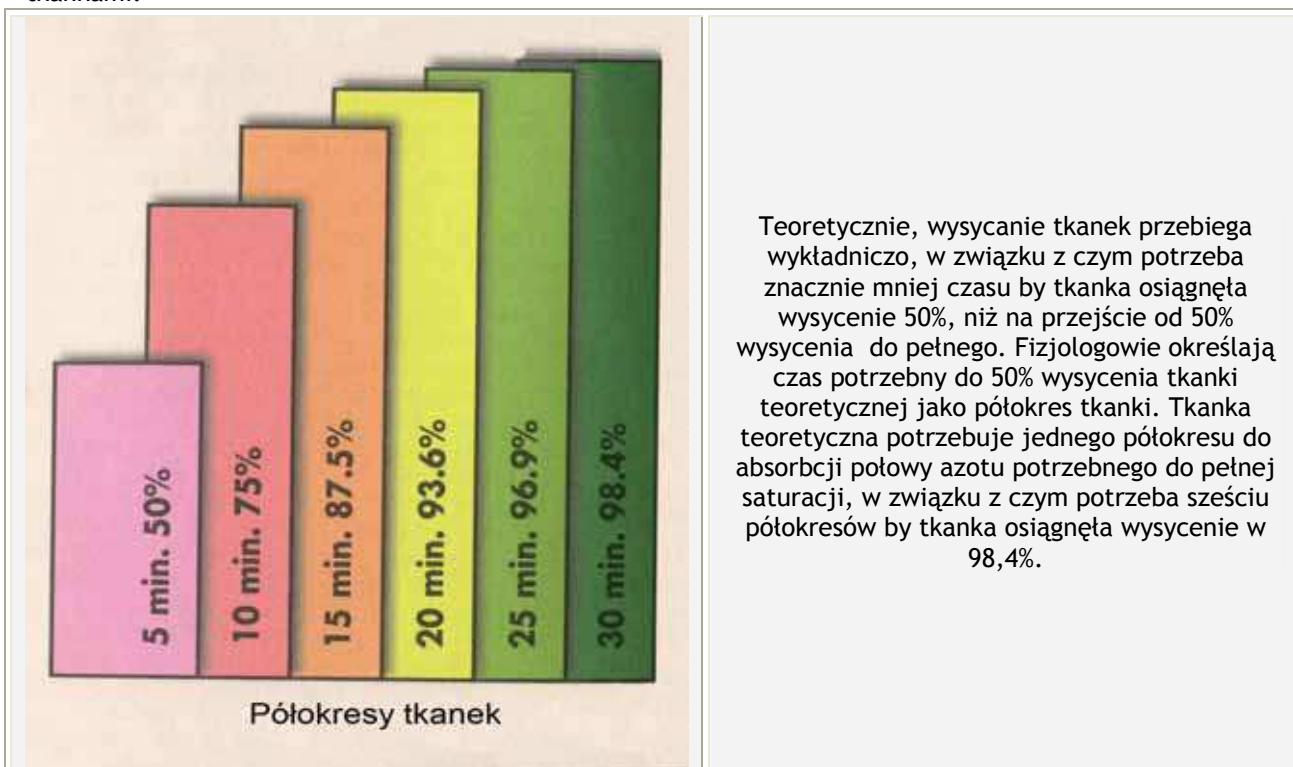
płuc, a następnie rozprowadzany jest po ciele przez układ krwionośny. Im wyższa różnica ciśnień (gradient ciśnień) pomiędzy azotem w powietrzu pęcherzykowym a azotem we krwi, tym szybciej azot rozpuszcza się we krwi.

Gdy krew przepływa przez tkanki ciała, ciśnienie azotu w krwi jest wyższe od ciśnienia tego gazu w otaczających tkankach. Dlatego N_2 dyfunduje z krwi do tkanek. Jak napisano wcześniej, jeśli nurek utrzymałby stałą głębokość i pozostał tam wystarczająco długo, tkanki w końcu uległyby wysyceniu i stały się niezdolne do absorpcji większej ilości azotu na tej głębokości. Jednak nurkowie rekreacyjni, ale także większość nurków technicznych, komercyjnych, wojskowych i naukowych, zazwyczaj nie osiąga pełnego wysycenia tkanek. Aby doszło do całkowitego wysycenia, należałoby spędzić 12 i więcej godzin na danej głębokości.

Gdy wzrasta ciśnienie azotu w tkankach, zbliżając się do ciśnienia otoczenia, gradient ciśnień maleje, i obniża się tempo absorpcji azotu. Teoretycznie, nasycenie wzrasta wykładniczo, czyli tkankom potrzeba znacznie mniej czasu na osiągnięcie 50% saturacji, niż na przejście z 50% do pełnej saturacji. Fizjologowie określają czas potrzebny do osiągnięcia 50% saturacji tkanki teoretycznej jako półokres tkanki, czyli czas jej połowicznego wysycenia. Półokres to czas potrzebny tkance teoretycznej do absorpcji połowy gazu potrzebnego do pełnej saturacji - zatem potrzeba sześciu półokresów do osiągnięcia nasycenia na poziomie 98,4%. Jest to wielkość tak bliska stu procentom, że w modelowaniu dekompresji zazwyczaj traktuje się tkankę, dla której minęło sześć półokresów, jako całkowicie wysyconą. Półokres jest bardzo ważnym pojęciem, do którego wrócimy w rozdziale o modelach dekompresyjnych.

Tempo absorpcji azotu jest różne dla poszczególnych tkanek, a więc mają one różne półokresy. Niektóre dobrze ukrwione tkanki pochłaniają azot szybko, i potrzebują stosunkowo niewiele czasu do pełnej saturacji. Są więc teoretycznie szybkimi tkankami. Inne tkanki są gorzej ukrwione, a do tego mogą

rozpuścić wiele azotu zanim osiągną wysycenie; mają one długie półokresy, są więc teoretycznie wolnymi tkankami.

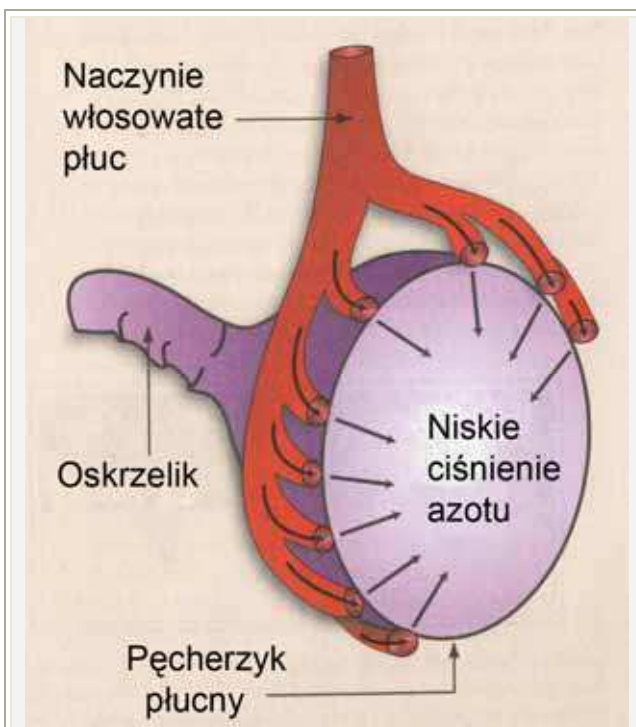


Zauważ, że wielokrotnie użyliśmy słowa „teoretycznie”. Fizjologowie mają świadomość, że ciało nie pochłania i uwalnia gazów obojętnych w tak prosty sposób, jak np. wiadro wody. Wiedzą też, że ciało ludzkie zbudowane jest z dużej ilości różnych tkanek i błon o różnym stopniu ukrwienia, i o różnych parametrach jako rozpuszczalniki. Chociaż możemy stwierdzić, że krew i tkanka nerwowa są prawdopodobnie szybkimi tkankami, a tkanki tłuszczowa i kostna są zapewne wolnymi tkankami, nie ma bezpośredniej korelacji pomiędzy konkretnymi tkankami a półokresami. Z tego powodu, możesz słyszeć o „tkankach teoretycznych” (theoretical tissues), „kompartamentach” lub „przedziałach” (compartments), zamiast po prostu o „tkankach” (tissues).

Ilość azotu absorbowanego przez tkanki zależy bezpośrednio od głębokości i czasu nurkowania. Im głębiej się zanurzasz, tym większe jest ciśnienie otoczenia i tym bardziej wzrasta gradient ciśnień pomiędzy ciśnieniem azotu w płucach i ciśnieniem azotu w tkankach. Im wyższy gradient ciśnień, tym szybciej azot przechodzi z płuc do krwi i tkanek. Im zaś dłużej pozostajesz pod ciśnieniem, tym więcej czasu ma twoje ciało na absorpcję azotu.

Nie licząc narkozy azotowej, omówionej wcześniej, zwiększone ciśnienie azotu w twoich tkankach nie wywiera istotnych efektów fizjologicznych tak długo, dopóki pozostajesz pod wodą lub, dokładniej, pod ciśnieniem. Jednak gdy się wynurzasz, ciśnienie maleje. Ponieważ twoje ciało absorbowało azot podczas nurkowania, w końcu wynurzysz się na głębokość, na której ciśnienie azotu w tkankach przekroczy ciśnienie otoczenia. Tkanki staną się więc przesycone, czyli będą zawierać więcej rozpuszczonego azotu niż mogłyby utrzymać pod danym ciśnieniem otoczenia. Zgodnie z prawem Henry’ego, azot zaczyna wydzielać się z tkanek i twój organizm zaczyna go usuwać, co rodzi potencjalne problemy związane z możliwością wystąpienia choroby dekompresyjnej.

Eliminacja gazów obojętnych



W trakcie wynurzania, w pewnym momencie ciśnienie azotu w tkankach osiągnie wartość wyższą od ciśnienia zewnętrznego. Azot (lub inny gaz obojętny) dyfunduje z krwi do pęcherzyków płucnych, co powoduje spadek jego ciśnienia we krwi

Zanim jeszcze pierwsi lekarze odkryli, że rozpuszczający się azot (gaz obojętny) jest odpowiedzialny za chorobę dekompresyjną, zauważyli, że choroba rozwija się wtedy, gdy poszkodowany opuszcza strefę podwyższonego ciśnienia, nie zaś wtedy, gdy tam przebywa. Z czasem, fizjologowie rozwinęli teorię, w jaki sposób ciało reaguje na przesylenie.

Dzięki eksperymentom, wcześnie fizjologowie szybko zauważyli, że ciało może tolerować pewien stopień przesylenia bez występowania komplikacji, lecz jeśli gradient ciśnień pomiędzy ciśnieniem w tkankach a ciśnieniem otoczenia przekroczy określony poziom, rozwija się choroba dekompresyjna. Gdyby nie to zjawisko, nurkowanie byłoby niemożliwe, a przynajmniej bardzo skomplikowane - musiałbyś zredukować ciśnienie gazu obojętnego w tkankach do poziomu ciśnienia atmosferycznego jeszcze przed osiągnięciem powierzchni.

Wczesne teorie

Początkowo fizjologowie wierzyli, że eliminacja gazów obojętnych przez organizm jest procesem dokładnie przeciwnym do absorpcji - o ile ciśnienie gazu mieści się w rozsądnych granicach. Uważano, że gdy nurek osiąga małą głębokość, ciśnienie gazów w krwi przekracza ciśnienie w powietrzu pęcherzykowym. Azot (lub inny gaz obojętny) dyfunduje z krwi do powietrza pęcherzykowego, co powoduje spadek ciśnienia gazu we krwi. Azot z

innych tkanek ciała dyfunduje do krwi, która transportuje go do płuc, gdzie jest usuwany do pęcherzyków płucnych. Proces trwa aż do chwili, gdy po wielu godzinach azot w tkankach osiągnie stan równowagi z ciśnieniem parcjale azotu w otoczeniu ($P_{N_2} = 0,79$ bara)

John Scott Haldane oparł swoją teorię, przedstawioną tutaj w uproszczonej formie, na eksperymentach przeprowadzonych w początkach XX wieku. Aby uprościć obliczenia, zakładał on, że powietrze składa się w 100% z azotu. Haldane uznał, że tkanki mogą mieścić rozpuszczony azot do momentu, gdy prężność azotu w tkankach nie przekroczy wartości równej 1,58 ciśnienia otoczenia. Zostało to wyrażone jako krytyczny stosunek ciśnienia azotu w tkankach do ciśnienia otaczającego, równy 1,58:1 (początkowo wyrażano go jako stosunek 2:1 ciśnienia otoczenia dla stuprocentowego azotu do ciśnienia otoczenia, ale jest to ta sama wartość: $2 \times 0,79 = 1,58$). Teoria zakładała, że o ile nie dojdzie do przekroczenia tej krytycznej proporcji, w organizmie nie dojdzie do wytworzenia fazy gazowej - pęcherzyków w tkankach, a układy krążenia i oddechowy będą usuwać azot w stanie rozpuszczonym aż do momentu powrotu ciała do stanu równowagi. Jeśli natomiast ta krytyczna proporcja zostanie przekroczona, mogą się wytworzyć pęcherzyki powodujące chorobę dekompresyjną.

Opierając się na tych założeniach, Haldane opublikował w 1907 swoje pierwsze tabele nurkowe. Ta właśnie koncepcja reakcji organizmu na nadmiar azotu (podobnie jak helu, neonu i innych gazów obojętnych, po uwzględnieniu ich zróżnicowanej rozpuszczalności w tkankach, z innymi półokresami i ciśnieniami krytycznymi) była bazą dla opracowywania kolejnych modeli dekompresyjnych aż do początku lat 70., gdy technologia wykazała jej niekompletność. Jednak wielokrotnie modyfikowana i poprawiana teoria Haldane'a pozostaje w użyciu do dzisiaj, i na niej opiera się większość modeli dekompresyjnych stosowanych przez dzisiejszych nurków.

Teorie współczesne

Oryginalna koncepcja Haldane’a dotycząca absorpcji i eliminacji gazów obojętnych okazała się prawidłowa, ale niekompletna. Po nurkowaniu, twój organizm usuwa większą część rozpuszczonego gazu obojętnego przez prostą dyfuzję z tkanek do układu krwionośnego, i na zewnątrz za pośrednictwem płuc. Jednak z upływem czasu fizjologowie zaczęli zdawać sobie sprawę, że czysty model Haldane’a nie opisuje problemu wystarczająco dokładnie.

Pierwszym z problemów, które się wyłoniły w efekcie badań nad dekompresją, była kwestia krytycznej proporcji ciśnień, która okazała się znacznie niższa (ponad 200 razy!) od tej, która według fizyków konieczna była do powstania pęcherzyków w czystej wodzie. Zaobserwowano, że w przesyconej tkance faza gazowa tworzy się znacznie łatwiej niż w przesyconej czystej cieczy takiej jak woda. Biorąc pod uwagę warunki panujące w ludzkim organizmie, jest praktycznie niemożliwe, żeby pęcherzyki powstawały w środku cieczy wyłącznie w wyniku jej przesylenia.

Jednak pęcherzyki tworzą się bardzo łatwo w przesyconej tkance dzięki zjawisku nukleacji (nucleation), czyli wzrostowi pęcherzyków powodowanemu przez dyfuzję gazu do już istniejących drobnych kieszonek gazowych. Fizjologowie podejrzewali, że w wielu tkankach znajduje się duża ilość gazowych zarodki (micronuclei), mikroskopijnych kieszonek gazowych na powierzchni ciał stałych, które mogą służyć jako „nasiona” dla wzrostu pęcherzyków. Jeśli nukleacja byłaby źródłem formowania się pęcherzyków, to ich pewna ilość powinna się tworzyć w organizmie bez wywoływania choroby dekompresyjnej.

W początkach lat 70., pierwsze użycie detektora dopplerowskiego przez dr Merril Spencer (Institute of Applied Physiology and Medicine) zrewolucjonizowało badania nad dekompresją. Wykorzystując detektory dopplerowskie, które dzięki ultradźwiękom mogą „śledzić” pęcherzyki przemieszczające się w naczyniach krwionośnych i w sercu, fizjologowie mogli poszukiwać badanych pęcherzyków po nurkowaniach, nawet wtedy, gdy nie występowały symptomy choroby dekompresyjnej. Niemal natychmiast, badania hiperbaryczne wykazały istnienie małych pęcherzyków w krwioobiegu, nawet w sytuacjach, gdy nurkowie nie wykazywali oznak DCS.

Odkrycie tzw. „niemych” pęcherzyków (silent bubbles, nazwanych tak, gdyż nie powodowały DCS) potwierdzało teorię nukleacji, popieraną już wtedy przez wielu fizjologów, i doprowadziło do rewizji poglądów dotyczących sposobów eliminacji przez organizm rozpuszczonych gazów obojętnych oraz gazów obojętnych w fazie gazowej, czyli w postaci pęcherzyków o różnych kształtach i rozmiarach, znajdujących się w tkankach (pęcherzyki w naczyniach włosowatych mają raczej kształt cylindryczny i „kietbaskowaty” niż sferyczny).

Czym jest „Doppler”?

Efekt Dopplera, nazwany od austriackiego fizyka Christiana Dopplera który pierwszy go opisał, odnosi się do pozornej zmiany częstotliwości fal dźwiękowych powodowanych przez względny ruch źródła dźwięku i obserwatora. Klasycznym przykładem jest zmiana brzmienia dźwięku syreny karetki w trakcie jej przybliżania i następnie oddalania.

W badaniach nad dekompresją, falami dźwiękowymi są ultradźwięki emitowane przez dopplerowski przepływomierz ultradźwiękowy, które powodują powstanie słyszalnego dźwięku po odbiciu od pęcherzyków przemieszczających się wraz z krwią. Nurkowie mogą mieć symptomy choroby dekompresyjnej przy braku wykrywalnych pęcherzyków, bądź duże ilości pęcherzyków, lecz brak symptomów. Jednak generalnie profile nurkowe, po przeprowadzeniu których wykrywano duże ilości pęcherzyków, wiązały się też z dużym prawdopodobieństwem wystąpienia DCS. Dlatego pomiary prowadzone przy użyciu detektora dopplerowskiego są ważnym sposobem oceny profili nurkowych

Pomimo różnic pomiędzy modelami fizjologicznymi i teoriami, obecnie niemal wszyscy fizjologowie zajmujący się dekompresją zgadzają się co do tego, że nukleacja odpowiada za tworzenie się pęcherzyków, a pewna ilość fazy gazowej powstaje w ciele praktycznie po każdym nurkowaniu. Drobne zarodki gazowe wydają się być stabilne w hydrofobowych szczelinach, bądź być stabilizowane przez białka lub inne cząsteczki rozmieszczone na granicy między cieczą a gazem. Zarodki gazowe mogą się tworzyć w wyniku przemieszczania się powierzchni naczyń względem siebie, przy czym tworzą się strefy niskiego ciśnienia. Jest to tak zwana trybonukleacja (tribonucleation). Kawitacja Reynolda (Reynold’s cavitation), która jest wynikiem przemieszczania się cieczy i powstawania przy tym zawirowań, także może wytwarzać strefy niskiego ciśnienia w których mogą się tworzyć zarodki gazowe, i jest możliwe że podciśnienie powstające w efekcie pracy mięśni również za to odpowiada.

Liczba zarodki istniejących w ciele w danym momencie jest nieznana, nie wiadomo też czy ich liczba może zwiększać się z czasem - chociaż wydaje się, że intensywne ćwiczenia powodują ich powstawanie. W

każdym razie, podczas dekompresyjnej części nurkowania rozpuszczony gaz będzie dyfundował do zarodki, powodując ich wzrost - aż do powstania pęcherzyków. W związku z tym, podczas dekompresji nie ma określonego limitu przesycenia, poniżej którego nie powstają nigdy pęcherzyki, a powyżej którego tworzą się zawsze. Zamiast tego, faza gazowa w ciele wzrasta proporcjonalnie do stopnia przesycenia - czasu nurkowania, głębokości, początkowej ilości zarodki, i do pewnego stopnia tempa wynurzenia. Model dekompresyjny - tabela bądź komputer - bierze pod uwagę te parametry.



W przesyconych tkankach, gaz obojętny dyfunduje do zarodki gazowych, powiększając je, aż uwolnią się od powierzchni tkanek w postaci małych pęcherzyków. Dopóki ilość tak powstałych pęcherzyków jest niewielka, twoje tkanki stopniowo usuwają gaz obojętny przez połączenie dyfuzji gazu rozpuszczonego (oryginalna koncepcja Haldane’a), wychwytywania i dyfuzji mikropęcherzyków w naczyniach włosowatych płuc, oraz redyfuzji gazu z wolnych mikropęcherzyków do krwiobiegu, gdy ciśnienie gazu wokół nich ulega zmniejszeniu.

Pęcherzyki wykrywane przez ultradźwiękowy detektor Dopplera znajdują się w naczyniach żylnych, chociaż początkowo tworzą się w naczyniach włosowatych mięśni i w tkance tłuszczowej. Podczas wzrastania mikropęcherzyków w naczyniach włosowatych podczas dekompresji, powiększają się one i /lub łączą ze sobą aż do chwili, gdy mogą się oderwać, przepłynąć do systemu żylnego i przemieszczać się z krwią, gdzie stają się wykrywalne dzięki detektorowi Dopplera, przykładowo zazwyczaj w okolicy serca. Przemieszczają się w systemie żylnym aż do płuc, gdzie grzęzną w naczyniach włosowatych. Wtedy gaz z pęcherzyków bez szkody dla nurka dyfunduje do pęcherzyków płucnych, oprócz wyjątkowych sytuacji, gdy pęcherzyki akumulują się szybciej niż mogą być eliminowane (jest to płucna odmiana choroby dekompresyjnej, „the chokes”).

Chorobę dekompresyjną powodują pęcherzyki wzrastające w innych miejscach. Obszarem wzrostu fazy gazowej w największym stopniu odpowiadającej za „krzywiki”, the bends (ból stawów kończyn) są prawdopodobnie ścięgna i więzadła wokół stawów; te pęcherzyki najprawdopodobniej nie powstają w naczyniach włosowatych. Pęcherzyki wykrywalne przy pomocy detektora Dopplera są spokrewnione z pęcherzykami powodującymi bóle stawów, ale niekoniecznie są to te same pęcherzyki. Fizjologowie monitorują pęcherzyki w naczyniach żylnych, próbując odgadnąć, co dzieje się w pozostałych tkankach. Dlatego nie można stosować detektora dopplerowskiego jako „detektora krzywików” u konkretnego poszkodowanego, chociaż to urządzenie jest bardzo użyteczne do oceny dekompresji podczas licznych nurkowań z udziałem wielu nurków.

Fizjologowie generalnie uważają, że profile dekompresyjne powodujące powstawanie drobnej fazy gazowej (z mięśni lub tkanki tłuszczowej) będą powodować wytwarzanie drobnej fazy gazowej także w innych tkankach, jak ścięgna i więzadła. Statystycznie rzecz biorąc, wyniki badań przeprowadzonych na wielu nurkach podczas licznych nurkowań świadczą, że jest to prawda. Dlatego upowszechniła się ocena harmonogramów dekompresyjnych przy użyciu detektora Dopplera, dzięki której fizjologowie mogą oceniać modele dekompresyjne także wtedy, gdy u stosujących je nurków nie występuje DCS.

Zatem zgodnie z aktualnymi teoriami, organizm eliminuje azot poprzez dyfuzję - tak, jak uważano początkowo. Nie jest to jednak jedyny sposób usuwania gazu, i nie zachodzi bez powstawania pewnej ilości subklinicznych (nie powodujących objawów) pęcherzyków. Narastanie fazy gazowej do pewnego stopnia zachodzi prawdopodobnie podczas fazy dekompresyjnej wszystkich nurkowań. Stosowanie się do tabel bądź

wskazać komputera nurkowego nie zapobiega całkowicie powstawaniu pęcherzyków, ale ogranicza ich ilość do poziomu, na którym pozostajesz chroniony od choroby dekompresyjnej. Zatem, nie wystąpią u ciebie objawy i symptomy DCS, choć mogą występować pewne ilości subklinicznych pęcherzyków.

Współczesna teoria dekompresji i modele dekompresyjne koncentrują się na roli tworzenia pęcherzyków w rozwoju choroby dekompresyjnej. Na podstawie danych eksperymentalnych, możliwe wydaje się zredukowanie bądź eliminacja zarodki gazowych. Eksperymenty nad kompresją, przeprowadzane na żelach agarowych, krewetkach i szczurach, wskazują, że podczas dekompresji tworzy się mniej fazy gazowej, jeśli badany obiekt wcześniej wystawiony był na szybki wzrost ciśnienia. Uważa się, że ten początkowy wzrost ciśnienia może powodować „zgniatanie” zarodki gazowych i przechodzenie ich do roztworu. Pozostaje mniej zarodki funkcjonujących jako „nasiona” dla wzrostu pęcherzyków w fazie dekompresyjnej nurkowania. Inne badania wskazują na rolę zachowań, które mogą zmniejszyć ryzyko choroby dekompresyjnej; jednym z takich ochronnych zachowań jest regularne ćwiczenie.

Matematyczne modelowanie powstawania pęcherzyków jest znacznie bardziej złożone niż modele stosowane przez Haldane’a; może ono jednak znacznie poprawić strategię dekompresji stosowane przez nurków technicznych, komercyjnych i wojskowych. Modele oparte o powstawanie pęcherzyków zapewne nie wpłyną znacząco na bezpieczeństwo w rekreacyjnym nurkowaniu bezdekompresyjnym (i tak częstotliwość występowania choroby dekompresyjnej jest niższa niż 1%), ale mogą wpłynąć na planowanie nurkowań powtórzeniowych i na procedury związane z wykonywaniem przystanków bezpieczeństwa.

Choroba dekompresyjna

Obecnie uważa się, że pewna ilość pęcherzyków pojawia się w organizmie po każdym nurkowaniu. Jeśli jest ich niedużo i są niewielkich rozmiarów, nie powodują efektów; jednak jeśli jest ich więcej, ich objętość może być wystarczająco duża, by wystąpiła choroba dekompresyjna. Generalnie, żeby doszło do choroby dekompresyjnej, pęcherzyki muszą się pojawić w słabo ukrwionych tkankach bądź w tętniczej części układu krwionośnego. Pęcherzyki pojawiające się w żyłnej części układu krwionośnego są zazwyczaj nieszkodliwe, zatem faza gazowa musi pojawić się w części tętniczej, lub zostać w jakiś sposób przeniesiona z części żyłnej do tętniczej, lub obie te rzeczy mogą wystąpić jednocześnie.

Ponieważ pęcherzyki mogą się wytworzyć niemal w dowolnej części ciała (lub zostać tam przeniesione), choroba dekompresyjna może objawiać się poprzez wiele pozornie niezwiązanych symptomów o zróżnicowanym natężeniu. Oznacza to również, że różne czynniki mogą teoretycznie predysponować cię do wystąpienia DCS, a inne mogą mieć działanie ochronne - znowu teoretycznie.

Lekarze zajmujący się medycyną nurkową łatwo rozpoznają niektóre z objawów i symptomów choroby dekompresyjnej, lecz inne oznaki występujące po nurkowaniu mogą być skutkiem choroby dekompresyjnej lub nie. W wielu typach nurkowania, dokładny mechanizm powodujący uraz - poza samym tworzeniem się fazy gazowej - pozostaje nieznany. Przykładowo, wciąż nie wiadomo, co powoduje bóle kończyn i stawów podczas choroby dekompresyjnej. Trudności są spowodowane przez fakt, że interakcje pomiędzy fazą gazową i tkankami mogą być bardzo złożone. Fizjologowie przypuszczają, że do efektów może się zaliczać podrażnienie ścian naczyń krwionośnych i zachodzenie licznych procesów biochemicznych. Na przykład, pęcherzyki mogą powodować skupianie się płytek krwi i czopowanie niektórych naczyń krwionośnych. Możliwe jest również, że układ odpornościowy atakuje pęcherzyki w podobny sposób jak drobnoustroje chorobotwórcze, czyli za pośrednictwem białych krwinek, enzymów i na inne jeszcze sposoby. Na skutek zachodzenia wszystkich tych procesów, choroba dekompresyjna może być znacznie bardziej skomplikowana niż wynikałoby to z prostej mechaniki pęcherzyków blokujących przepływ krwi do tkanek.

Pomimo różnorodności możliwych objawów i symptomów, przy wątpliwościach odnośnie tego, co właściwie je powoduje, różne odmiany choroby dekompresyjnej mają szereg cech wspólnych. Choroba dekompresyjna zwykle pojawia się z opóźnieniem, i może wystąpić nawet do 36 godzin po nurkowaniu - chociaż mniej więcej połowa przypadków DCS objawia się w ciągu godziny od zakończenia nurkowania. Natomiast podczas nurkowania na mieszkankach zawierających hel, choroba dekompresyjna często objawia się szybko, nieraz jeszcze w czasie dekompresji; jest to bardzo rzadkie podczas nurkowania na powietrzu lub nitroksie, chyba że poszkodowany pominął znaczną część głębszych przystanków dekompresyjnych. Choroba dekompresyjna może nasilać się w ciągu pierwszych kilku godzin od wystąpienia. Znając te fakty, lekarze wiedzą że symptomy pojawiające się 48 godzin po nurkowaniu, lub te pojawiające się zaraz po nurkowaniu lecz przemijające bez zastosowania pierwszej pomocy lub innych zabiegów, prawdopodobnie nie wynikają z wystąpienia DCS (choć diagnoza jest wciąż potrzebna).

Fizjologowie tradycyjnie wyróżniali dwa typy choroby dekompresyjnej. Typ I jest mniej poważny, i występują w nim tylko dolegliwości bólowe; natomiast Typ II jest poważniejszy, i dotyczy centralnego

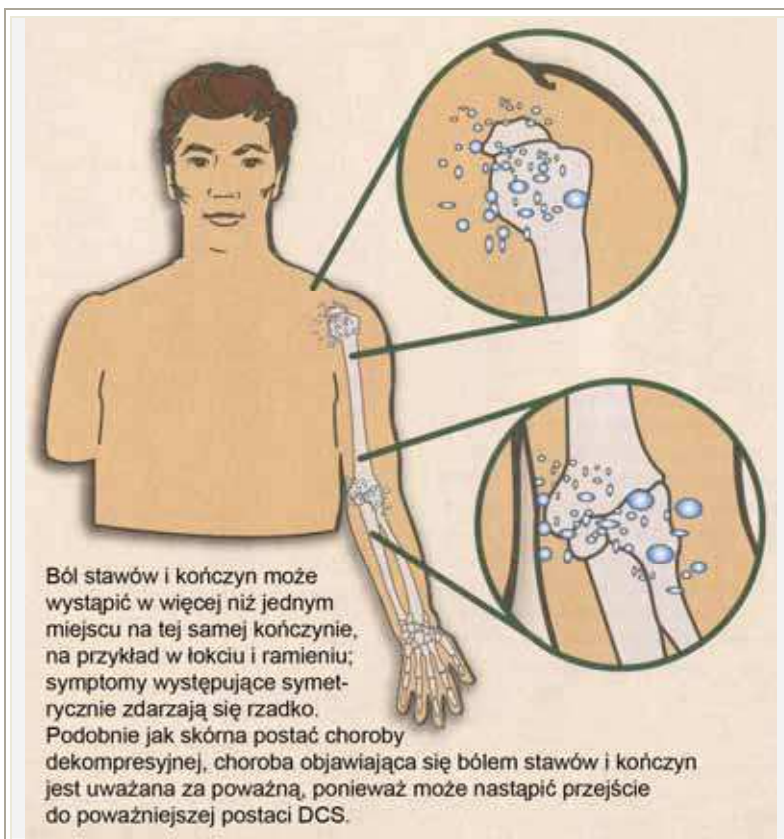
układu nerwowego; rozróżnia się je na podstawie symptomów występujących u poszkodowanych. W ostatnim czasie, fizjologowie wyróżnili jeszcze Typ III (bardzo poważny, interakcja pomiędzy embolią gazową i chorobą dekompresyjną). W każdym z tych typów występują podkategorie, wyróżnione na podstawie dokładnych objawów i symptomów.

Chociaż podział ten jest użyteczny podczas badań nad chorobą dekompresyjną, w praktyce klinicznej jest mniej przydatny, gdyż nie ukazuje bezpośrednio powagi danego przypadku. Przykładowo, nurek z mrowiącymi koniuszkami palców i nurek sparaliżowany od pasa w dół mogą obaj cierpieć na Typ II choroby dekompresyjnej. Poza tym, możliwe jest jednoczesne występowanie różnorodnych objawów i symptomów.

Choroba dekompresyjna typu I

Choroba dekompresyjna Typu I objawia się wyłącznie bólem, jej objawy i symptomy nie stanowią bezpośredniego zagrożenia życia, i jest mało prawdopodobne, że będzie mieć poważne długoterminowe konsekwencje. Mimo to, fizjologowie wciąż nie rozumieją wszystkich procesów zachodzących w ciele gdy pojawiają się pęcherzyki, dlatego należy zacząć udzielanie pierwszej pomocy i wezwać pomoc lekarską, gdy tylko osoba po zakończeniu nurkowania zacznie wykazywać objawy choroby dekompresyjnej - także tylko Typu I.

Skórna postać choroby dekompresyjnej.



Pęcherzyki pojawiające się w naczyniach włosowatych skóry mogą spowodować wystąpienie skórnej postaci choroby dekompresyjnej (cutaneous decompression sickness). Charakteryzującą się ona czerwoną wysypką, pojawiającą się najczęściej na ramionach i w górnej części klatki piersiowej. Ten typ DCS występuje częściej po „nurkowaniach” w komorze ciśnieniowej niż po rzeczywistych nurkowaniach w wodzie, dlatego niektórzy fizjologowie sądzą, że częściowo odpowiedzialna za jej wystąpienie może być dyfuzja gazu obojętnego przez skórę. Chociaż skórna postać choroby dekompresyjnej sama w sobie nie jest niebezpieczna, jej obecność wskazuje na możliwość wystąpienia także poważniejszych symptomów. Jeśli brak oznak innych postaci DCS, lekarze mogą zalecić leczenie wyłącznie przez oddychanie tlenem, bez stosowania rekompresji.

Choroba dekompresyjna objawiająca się bólem stawów i kończyn.

Ból stawów i kończyn pojawia się w mniej więcej 75% przypadków DCS. Jak wspomniano, przyczyna bólu stawów nie jest znana. Fizjologowie proponują różne wyjaśnienia przyczyn powstawania bólu, w tym wzrost pęcherzyków w obrębie szpiku kostnego, lub podrażnienie przez pęcherzyki ścięgien i więzadeł. Ponieważ ból jest stacjonarny u niektórych pacjentów, u innych zaś przemieszcza się z czasem, prawdopodobnie różne mechanizmy mogą odpowiadać za niego. Ból kończyn i stawów może występować w różnych częściach jednej kończyny, na przykład w barku i łokciu; ból występujący symetrycznie po obu stronach ciała jest zjawiskiem niezwykłym. Podobnie jak przy skórnej postaci choroby dekompresyjnej, DCS objawiająca się bólem kończyn jest traktowana poważnie przede wszystkim ze względu na możliwość równoległego wystąpienia poważniejszych problemów.

Choroba dekompresyjna typu II

W Typie II choroby dekompresyjnej pojawiają się symptomy mogące stanowić bezpośrednie zagrożenie życia lub grozić trwałą niepełnosprawnością. Przede wszystkim, dotyczy to uszkodzeń układu nerwowego.

Neurologiczna postać choroby dekompresyjnej.

Jeśli symptomy DCS dotyczą układu nerwowego, są to najpoważniejsze przypadki choroby dekompresyjnej. Ponieważ system nerwowy przebiega przez całe ciało, neurologiczna postać choroby dekompresyjnej może wpływać na zdolność poruszania, zmysł dotyku, ale także na funkcje życiowe - oddech lub pracę serca. Do objawów należą mrowienie i drętwienie kończyn, utrata przytomności, zatrzymanie oddechu i paraliż. Neurologiczna postać choroby dekompresyjnej najczęściej dotyczy rdzenia kręgowego, często powodując drętwotę i paraliż kończyn dolnych, postępujące w górę ciała. W stosunkowo krótkim czasie, nieleczone ofiary mogą zostać sparaliżowane od szyi w dół.

Chociaż wiadomo, że bezpośrednią przyczyną neurologicznej postaci choroby dekompresyjnej jest faza gazowa, dokładny mechanizm powodowania uszkodzeń przez pęcherzyki nie jest znany. Istnieją teorie, że pęcherzyki mogą blokować dopływ krwi do tkanki nerwowej, lub że pęcherzyki powstające w obrębie tkanki powodują w niej krwawienia.

Płucna postać choroby dekompresyjnej.

Choroba dekompresyjna objawiająca się w naczyniach włosowatych płuc wskazuje na możliwość pojawienia się symptomów zagrażających życiu. Na szczęście, jest ona rzadka. W normalnych warunkach, „nieme” pęcherzyki i mikropęcherzyki docierające do płucnych naczyń włosowatych dyfundują do pęcherzyków płucnych bez szkody dla zdrowia nurka. W wyjątkowych przypadkach, albo jeśli pęcherzyki pojawiają się w dużych ilościach (przyczyną może być zlekceważenie tabel bądź wskazań komputera), ich tempo napływania może przekroczyć możliwości ich likwidacji w naczyniach włosowatych płuc, i wtedy część pęcherzyków może przedostawać się do tętniczej części układu krwionośnego. Wielu fizjologów sądzi, że ten właśnie mechanizm odpowiada za występowanie mózgowej postaci DCS.

Możliwe jest również, że gdy tempo napływania pęcherzyków przekracza możliwości dyfuzji azotu do pęcherzyków płucnych i przemieszczania się ich przez płucne naczynia włosowate, mogą one blokować i wstrzymywać przepływ krwi do płuc. Jeśli do tego dojdzie, to mniej krwi przepływać będzie przez płuca i docierać do lewej strony serca, co spowoduje wzrost tempa pracy serca i ciśnienia krwi. Bez natychmiastowej pomocy lekarskiej, system krążenia może całkowicie zaprzestać pracy. Może się też zdarzyć, że krew zacznie opływać zablokowane naczynia włosowate przez drożne naczynia, tak że krążenie zostanie zachowane. Jeśli pęcherzyki będą dalej napływać szybciej niż następować będzie ich eliminacja, mogą zaburzać wymianę gazową. To spowoduje jednocześnie ograniczenie dopływu tlenu do tkanek i spowolnienie usuwania azotu; oznakami będą bóle przy oddychaniu, często występujące jednocześnie z krótkim, drażniącym kaszlem. Poszkodowani często odczuwają duszności i mają wrażenie braku powietrza, co spowodowało nadanie tej odmianie płucnej DCS nazwy „the chokes”. Objawy mają tendencję do szybkiego narastania, i mogą prowadzić do wystąpienia szoku.

Warto zauważyć, że dwie ostatnie odmiany płucnej formy choroby dekompresyjnej występują tylko w razie silnego przesycenia gazem obojętnym, które może wystąpić np. wtedy, gdy nurek techniczny wynurzy się na powierzchnię bez odbycia większej części wymaganej dekompresji.

Mózgowa postać choroby dekompresyjnej.

Pęcherzyki przemieszczające się przez płucne naczynia włosowate do części tętniczej układu krwionośnego mogą wędrować dalej do mózgu przez tętnice szyjne, w analogiczny sposób jak gaz wtłoczony do krwiobiegu podczas urazu ciśnieniowego płuc, powodujący embolię gazową. Symptomy mózgowej postaci choroby dekompresyjnej są właściwie takie same jak embolii gazowej, i należą do nich nieostre widzenie, bóle głowy, dezorientacja, nieprzytomność i śmierć.

Choroba dekompresyjna typu III

Typ ten DCS nie jest powszechnie wyróżniany, jednak niektórzy fizjologowie klasyfikują możliwą interakcję embolii gazowej i choroby dekompresyjnej jako Typ III choroby dekompresyjnej. Uważa się, że pęcherzyki gazu wtłoczone do krwiobiegu na skutek urazu ciśnieniowego płuc mogą pełnić rolę zarodków dla powstających pęcherzyków w tkankach przesycenych rozpuszczonym gazem obojętnym.

Chociaż badania nad tym zagadnieniem nie są bardzo zaawansowane i nie doprowadziły do uzyskania rozstrzygających wyników, wydaje się, że ten mechanizm może odpowiadać za powstawanie najbardziej poważnych i niebezpiecznych przypadków choroby dekompresyjnej, w szczególności neurologicznej postaci DCS.

Inne formy choroby dekompresyjnej

Inne formy DCS występują rzadziej niż te wymienione powyżej, jednak również mogą się zdarzyć.

Pęcherzyki w tętniczej części układu krwionośnego mogą powodować bardzo różnorodne symptomy, od zawrotów głowy do zawału serca, w zależności od ich lokalizacji. Choroba dekompresyjna może się nawet objawiać w układzie pokarmowym, chociaż jest to rzadkie.

Zmęczenie.

Najczęstszym symptomem choroby dekompresyjnej jest nadmierne zmęczenie, chociaż fizjologowie nie są pewni jaki mechanizm je powoduje. Sprawa jest komplikowana przez fakt, że nurkowanie samo w sobie jest męczące, zwłaszcza w zimnej wodzie, w której ciało wydatkuje duże ilości energii na utrzymanie stałej temperatury. Zazwyczaj fizjologowie traktują nadmierne zmęczenie podobnie jak inne symptomy DCS. Jednak nie powinieneś ignorować nadmiernego zmęczenia pojawiającego się bez poważnej przyczyny.

Objawy choroby dekompresyjnej w uchu środkowym.

Choroba dekompresyjna może się objawiać w obrębie ucha, powodując utratę słuchu, zawroty głowy lub dzwonienie w uszach. Uraz ciśnieniowy ucha może objawiać się w podobny sposób, dlatego może być ciężko rozróżnić te dwa przypadki. Często symptomy w obrębie ucha są jedynymi oznakami DCS występującymi u nurka.

Choroba dekompresyjna objawiająca się w uchu środkowym jest często kojarzona z nurkowaniami na mieszkankach gazowych zawierających hel. Fizjologowie uważają, że objawy DCS w uchu środkowym mogą wynikać z tworzenia się pęcherzyków w perylimfie ślimaka podczas dekompresji. Ponieważ ta odmiana choroby często występuje tuż po przełączeniu z mieszanki zawierającej hel na mieszkankę zawierającą tylko tlen i azot, niektórzy sądzą, że azot z ucha środkowego dyfunduje do mikropęcherzyków wewnątrz ślimaka, powodując ich wzrost i wystąpienie objawów DCS.

Czynniki ryzyka i zapobieganie

Indywidualne różnice fizjologiczne mogą wpływać na prawdopodobieństwo wystąpienia u ciebie choroby dekompresyjnej. Fizjologowie nie znają jeszcze wszystkich czynników, które mogą predysponować poszczególnych nurków do choroby dekompresyjnej, i w związku z tym nie mogą brać ich wszystkich pod uwagę podczas opracowywania modeli dekompresyjnych.

Indywidualne cechy twojej fizjologii i twoje zachowanie podczas nurkowania mogą stwarzać czynniki predysponujące cię do wystąpienia choroby dekompresyjnej, albo też chronić cię przed nią. Oznacza to, że sposób i prędkość absorpcji i/lub eliminacji przez ciebie gazu obojętnego używanego do oddychania będzie w pewnym stopniu odbiegać od wartości przewidywanych przez tabele lub komputer nurkowy.

Czynniki zestawione poniżej zostały generalnie uznane za te, które mogą wpływać na ryzyko wystąpienia u ciebie choroby dekompresyjnej. Znaczenie większości z nich nie zostało naukowo udowodnione, lecz opiera się raczej na ogólnych doniesieniach, przewidywaniach teoretycznych, doświadczeniach społeczności nurkowej, anegdotach, a niekiedy po prostu na zdrowym rozsądku. Dlatego wiążą się nimi liczne znaki zapytania, i nie ma praktycznego sposobu na skonstruowanie modeli dekompresyjnych biorących pod uwagę wszystkie te czynniki u wszystkich osób. Jako rozsądny nurek, powinieneś brać je pod uwagę i nurkować konserwatywnie, unikając zbliżania się do limitów bezdekompresyjnych twojego komputera lub tabel.

Ilość tkanki tłuszczowej.

Azot łatwiej rozpuszcza się w tłuszczu niż w wodzie, i dlatego uważa się, że nurek z większą ilością tkanki tłuszczowej może w czasie nurkowania zaabsorbować więcej azotu niż przewidują to modele dekompresyjne. Niektóre badania prowadzone na ludziach i zwierzętach potwierdzają tę hipotezę, lecz wyniki innych nie wskazywały na istnienie związku pomiędzy ilością tkanki tłuszczowej i prawdopodobieństwem wystąpienia DCS. Być może to inne czynniki biochemiczne, takie jak np. zwiększona zawartość cholesterolu, predysponują nurków do wystąpienia choroby dekompresyjnej. Ponieważ hel jest znacznie słabiej rozpuszczalny w tłuszczach niż azot, nie jest jasne, w jakim stopniu nadmiar tkanki tłuszczowej będzie zwiększał ryzyko wystąpienia DCS podczas nurkowań na trimiksie bądź helioksie.

Ćwiczenia fizyczne.

Stwierdzono, że ćwiczenia fizyczne mogą zarówno chronić, jak i zwiększać ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej. Te dane się nie wykluczają - efekt ćwiczeń zależy od czasu jaki upłynął pomiędzy ćwiczeniami a nurkowaniem. Badania na zwierzętach wykazały, że intensywne ćwiczenia więcej niż 12 godzin przed nurkowaniem dają efekt ochronny, zaś intensywne ćwiczenia tuż przed lub kilka godzin przed nurkowaniem wydają się predysponować do wystąpienia choroby dekompresyjnej. Według niektórych hipotez, białka wytwarzane podczas ćwiczeń chronią Cię przed DCS, lecz na krótko przed nurkowaniem ćwiczenia mogą spowodować wzrost liczby zarodki gazowych na których tworzą się pęcherzyki. Chociaż wyniki tych badań są interesujące, uzyskane informacje na temat ćwiczeń i nurkowania wciąż budzą wątpliwości.

Ćwiczenia modyfikują i przyspieszają krążenie, zatem wydają się wpływać na absorpcję i eliminację gazów obojętnych. Podczas pierwszej, głębszej części nurkowania, aktywność fizyczna może zwiększać ryzyko DCS poprzez zwiększanie absorpcji gazu obojętnego. Spokojne ćwiczenia (np. łagodne poruszanie kończynami) podczas przystanku dekompresyjnego mogą zwiększać bezpieczeństwo, gdyż prawdopodobnie przyspieszają eliminację rozpuszczonego gazu. Dane eksperymentalne potwierdzają prawdziwość obu tych koncepcji. Wiele badań wskazuje, że ćwiczenia tuż po nurkowaniu zwiększają ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej. Według jednej z hipotez, ćwiczenia fizyczne przyczyniają się do powstawania chwilowych stref niskiego ciśnienia i zarodki gazowych, zwiększających tworzenie się fazy gazowej. Według innej hipotezy, podczas intensywnych ćwiczeń wzrasta ciśnienie krwi, co może prowadzić do przedostawania się pęcherzyków z żyłnej części układu krwionośnego do części tętniczej.

Płeć.

Ponieważ u kobiet występuje wyższa zawartość tkanki tłuszczowej niż u mężczyzn, niektórzy fizjologowie uważają, że kobiety będą naturalnie bardziej wrażliwe na wystąpienie DCS. Jednak niedawne badania nie wykazały związku pomiędzy ryzykiem wystąpienia DCS a płcią. Lekarze zajmujący się medycyną nurkową traktują ten problem jako nierozwiązany, i zazwyczaj zakładają, że ewentualna różnica we wrażliwości kobiet i mężczyzn na chorobę dekompresyjną jest niewielka.

Wiek.

Wyniki niektórych badań na osobach wystawionych na zwiększone ciśnienie (w tym na osobach nie nurkujących) wskazują na związek pomiędzy wiekiem a ryzykiem wystąpienia DCS. Może to wynikać ze zmian naturalnie zachodzących z wiekiem, takich jak obniżenie sprawności układów oddechowego i krążenia - co negatywnie wpływa na wymianę gazową. Dodatkowo, u starszych osób zwykle występuje większa ilość tkanki tłuszczowej.

Pomimo tego, inne badania nie stwierdziły związku pomiędzy wiekiem a ryzykiem wystąpienia choroby dekompresyjnej. Według jednej z teorii, sprawność fizyczna zmniejsza się z wiekiem, i dlatego ryzyko związane z wiekiem może raczej odzwierciedlać ryzyko związane ze zmniejszoną sprawnością fizyczną. Mimo to, nawet u sprawnych osób wiek powoduje nieuniknione zmiany w układach krążenia i oddechowym, i dlatego w starszym wieku zalecane jest nurkowanie bardziej konserwatywne.

Sprawność fizyczna. Wiele badań przeprowadzonych na ludziach i zwierzętach wykazało, że sprawność fizyczna zapewnia ochronę przed chorobą dekompresyjną. Na przykład, wyniki badań na szczurach dowiodły, że wytrenowane szczury przeżywały profile dekompresyjne powodujące śmierć niesprawnym fizycznie szczurów. Sprawny fizycznie organizm generalnie toleruje wyższy poziom stresu niż organizm niewytrenowany, i zapewne dotyczy to także stresu powodowanego przez dekompresję. Zawartość tkanki tłuszczowej i wiek także mogą odzwierciedlać sprawność fizyczną jako zmienne kontrolujące ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej. Co ciekawe, w przeciwieństwie do innych wymienionych tutaj czynników ryzyka, brak danych wskazujących, że sprawność fizyczna nie zwiększa odporności na DCS.

Odwodnienie.

Modele dekompresyjne zakładają, że gazy obojętne transportowane są do tkanek przez prawidłowo funkcjonujący układ krwionośny. Tymczasem odwodnienie (dehydratacja) zmniejsza ilość krwi która przeprowadza wymianę gazową, przez co spowalniana jest eliminacja gazu z organizmu. Z tego powodu, odwodnienie jest uważane za czynnik zwiększający podatność na DCS, i rzeczywiście jest często wiązany z przypadkami choroby dekompresyjnej. Jednak wyniki badań prowadzonych na zwierzętach nie są jednoznaczne. Często występuje dehydratacja chroniczna, więc związek pomiędzy odwodnieniem a DCS może być przypadkowy.

W każdym razie, wszystkie układy w twoim organizmie funkcjonują lepiej, gdy jesteś dobrze nawodniony. Spożywanie środków o działaniu diuretycznym (np. kofeiny), obfite pocenie, a nawet suche powietrze z butli - wszystkie te czynniki przyczyniają się do odwodnienia twojego organizmu. Także podczas metabolizmu alkoholu zużywane są duże ilości wody, i dlatego osoba skacowana jest najprawdopodobniej częściowo odwodniona. Rozsądnym rozwiązaniem jest pełne nawodnienie się przed nurkowaniem, o ile któryś z tych czynników dotyczy ciebie.

Choroby, zranienia.

Jakikolwiek stan zaburzający normalne krążenie może potencjalnie wpływać na eliminację z twojego organizmu gazów obojętnych. Wyleczone zranienia mogą powodować lokalne zaburzenia przepływu krwi, zaś choroby zazwyczaj wpływają negatywnie na wydolność układu krążenia.

Alkohol.

Uważa się, że alkohol spożyty przed lub po nurkowaniu wpływa na twoją fizjologię, zwiększając ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej. Tuż przed nurkowaniem, nawet niewielkie ilości wypitego alkoholu mogą przyspieszać krążenie, zwiększając nasycenie tkanek gazami obojętnymi powyżej wartości przewidywanych przez modele dekompresyjne. Alkohol przyczynia się także do wystąpienia narkozy azotowej. Po nurkowaniu, alkohol rozszerza naczynia krwionośne, przypuszczalnie przyspieszając usuwanie z tkanek azotu i przyczyniając się do powstawania pęcherzyków. Dodatkowo, alkohol ma działanie diuretyczne.

Dwutlenek węgla.

Podwyższony poziom CO₂ wynikający z wstrzymywania oddechu podczas nurkowania lub nieprawidłowego oddychania, może zaburzać transport gazów przez układ krwionośny na skutek rozszerzania naczyń, i zwiększać lub modyfikować wchłanianie gazów obojętnych podczas nurkowania. Brak poważnych dowodów na potwierdzenie tych przypuszczeń, lecz zgadzają się one z naszym stanem wiedzy na temat reakcji organizmu na zwiększone stężenie dwutlenku węgla.

Zimno.

Różne badania dowodzą, że ekspozycja na zimno w trakcie i po nurkowaniu może wpłynąć na ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej. Wynika to z reakcji twojego organizmu na niską temperaturę - jak pamiętasz, w razie konieczności organizm ogranicza krążenie obwodowe celem zachowania ciepła. Obecnie uważa się, że jeśli pletwonurkowi jest tak samo zimno podczas całego nurkowania, to krążenie zmienia się w niewielkim stopniu, i ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej jest albo takie samo, albo nawet zmniejszone. Jednak jeśli nurkowi jest ciepło na początku nurkowania, a potem się wyziębia (co wydaje się stosunkowo częste w nurkowaniu sportowym), wtedy ryzyko wystąpienia DCS rośnie. Jest to spowodowane tym, że nurek będzie mieć normalne krążenie na początku nurkowania, w trakcie absorpcji gazu, lecz ograniczone krążenie w trakcie jego eliminacji.

Badania wykazały, że u nurków wystawianych na zimno po nurkowaniu istnieje większe ryzyko wystąpienia DCS niż u nurków, którzy po wynurzeniu zabezpieczają się przed chłodem. Wiąże się to z faktem, że w cieple odbywa się normalne, nieograniczone krążenie obwodowe. Z drugiej strony, stwierdzono również, że jeśli zmarznięci nurkowie po nurkowaniu brali gorący prysznic, to ryzyko tworzenia się pęcherzyków w ich tkankach także wzrastało. Prawdopodobnie wynika to z faktu, że ciepło zmniejsza zdolność tkanek do utrzymywania gazów obojętnych w stanie rozpuszczonym.

Wysokość n.p.m. i latanie po nurkowaniu.

Większość modeli dekompresyjnych zakłada, że po nurkowaniu nurek wynurza się do poziomu ciśnienia atmosferycznego na poziomie morza. Dlatego mogą pojawić się komplikacje, jeżeli po nurkowaniu planujesz lot samolotem lub wzniesienie się wysoko ponad poziom morza w inny sposób (np. przejazd przez góry), zanim twoje tkanki pozbędą się nadmiaru azotu. W takim wypadku, obniżone ciśnienie atmosferyczne na wysokości zwiększyłoby gradient ciśnień pomiędzy twoimi tkankami a środowiskiem zewnętrznym. Mogłoby to przyspieszać powstawanie fazy gazowej w twoim ciele - na co wskazują liczne eksperymenty.

Będziesz mieć podobne problemy, jeśli zanurkujesz na wysokości bez uwzględniania obniżonego ciśnienia atmosferycznego przy pomocy specjalnych tabel, albo komputera zaprojektowanego do nurkowania na

wysokości. Gdy wystąpi choroba dekompresyjna spowodowana ekspozycją na wysokość, powrót na poziom morza zwykle nie usuwa jej objawów.

Przestrzegając aktualnych wytycznych odnośnie nurkowania na wysokości i latania po nurkowaniu (opisanych wkrótce) możesz skutecznie ograniczyć ryzyko.

Niezarośnięty otwór przedsionkowy.

W większości sytuacji, należy spodziewać się pęcherzyków w tętniczej części układu krwionośnego tylko w razie wystąpienia poważnej choroby dekompresyjnej, gdy ilość pęcherzyków docierających do płuc przekracza możliwości ich wychwytywania w naczyniach włosowatych płuc, albo w razie wystąpienia embolii gazowej po urazie ciśnieniowym płuc, gdy gaz przechodzi przez uszkodzone ściany pęcherzyków płucnych bezpośrednio do krwiobiegu.

Jednak niekórzy fizjologowie zwrócili szczególną uwagę na niewielką część nurków, u których stwierdzono tak zwany niezarośnięty otwór przedsionkowy (atrial septum defect - ASD, lub patent foramen ovale - PFO, określany też po prostu jako „dziura w sercu”). PFO jest pozostałością po życiu płodowym: płód nie oddycha, więc otwór ten pozwala krwi omijać płuca nienarodzonego dziecka. Po porodzie, otwór zazwyczaj zarasta w ciągu roku, lecz u niektórych osób nie zarasta całkowicie.

Ocenia się, że PFO występuje u 20 do 34% populacji. Dla ogromnej większości z nich nie stanowi to żadnego problemu, gdyż otwór jest zakrywany przez wyrostek tkanki, utrzymywany na miejscu przez ciśnienie panujące w sercu i skutecznie rozdzielający dwie połowy serca. Jednak w niektórych nietypowych okolicznościach, wyrostek ten pozwala na bezpośredni przepływ krwi z części żyłnej serca do tętniczej, a u bardzo małego procentu ludzi PFO jest stale otwarte, i przepływ krwi z żyłnej do tętniczej części serca zachodzi regularnie.

Problemem jest to, że obecność niezarośniętego otworu przedsionkowego może teoretycznie pozwolić zazwyczaj nieszkodliwym pęcherzykom na przejście z żyłnej części serca (z krwi płynącej w kierunku płuc) do części tętniczej, i w ten sposób ominąć płuca. Mogłoby to powodować poważne postacie choroby dekompresyjnej. Prace naukowe potwierdzają występowanie problemu: na przykład, dwa badania wykazały, że nieproporcjonalnie duża część nurków u których wystąpiła neurologiczna postać choroby dekompresyjnej miała PFO.

Chociaż fizjologowie regularnie badają ten problem, rola PFO w powstawaniu choroby dekompresyjnej jest wciąż kwestionowana. PFO nie wydają się być przyczyną większości wypadków dekompresyjnych.

Badania naukowe prowadzone przy Johnson Space Center przy NASA w Houston w Teksasie (astronauci przechodzą dekompresję przed spacerami w przestrzeni kosmicznej) pokazały, że u osób z niezarośniętym otworem przedsionkowym bardzo ciężko doprowadzić do transferu pęcherzyków przez PFO, nawet jeśli prowadzący badania specjalnie próbowali to wywołać. Teoretycznie, przesylenie gazem obojętnym mogłoby ułatwić przepływ pęcherzyków przez PFO, ale potwierdzono to tylko u zwierząt u których doprowadzono do poważnego przesylenia azotem - takiego jakie mogłoby wystąpić po ominięciu znacznej części wymaganej dekompresji.

Zarówno praktyka, jak i pewne dane eksperymentalne wskazują, że ryzyko wystąpienia DCS u nurków z PFO nie jest znacząco większe niż u nurka bez tej przypadłości, przy założeniu przestrzegania podstawowych, konserwatywnych praktyk nurkowych. Nie jest nawet pewne, że jeśli do przepływu krwi pomiędzy komorami dochodzi także w stanie spoczynku, to jest to powód do obaw. Mimo tego, nurek świadomy posiadania PFO powinien zdecydować się na konsultację u specjalisty oraz bardzo konserwatywnie przestrzegać limitów podczas nurkowania.

Odwrócone profile.

Od dawna zalecano nurkom nie wykonywanie głębokich nurkowań po płytkich, oraz unikanie profili typu „zęby pily”, ze znacznymi zmianami głębokości w górę i w dół. Twierdzono, że zwiększa to ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej, chociaż przegląd literatury wykazał, że te wytyczne wywodziły się ze znacznych ograniczeń długości nurkowania powtórzeniowego podczas korzystania z tabel US Navy do planowania głębokiego nurkowania po nurkowaniu płytkim.

Analiza odwróconych profili wykazała, że występują one często, zwłaszcza w nurkowaniu bezdekompresyjnym. W odniesieniu do głębokich nurkowań dekompresyjnych istnieją teoretyczne zastrzeżenia wynikające z modeli uwzględniających powstawanie pęcherzyków. Ale według obecnego stanu wiedzy, nie ma podstaw by sądzić, że odwrócone profile są istotnym czynnikiem ryzyka dla nurków bezdekompresyjnych płytszych niż 40 metrów, i dla różnic głębokości nie przekraczających 12 metrów.

Ponieważ jednak większość danych eksperymentalnych uzyskano podczas nurkowań o typowych profilach, wciąż zalecane jest unikanie profili odwróconych.

Wcześniejsze przypadki DCS. Badania nurków oraz innych osób pracujących pod zwiększonym ciśnieniem wskazują, że osoba, u której już kiedyś wystąpiła choroba dekompresyjna, będzie bardziej predysponowana do jej ponownego wystąpienia w przyszłości. Według jednej z hipotez, pierwszy przypadek DCS u danej osoby uszkadza systemy bądź zaburza procesy odpowiedzialne za reagowanie na stres dekompresyjny. Inni fizjologowie argumentują, że osoba, u której wystąpił pierwszy przypadek DCS, może być od początku bardziej podatna, i drugi przypadek po prostu wynika z tej predyspozycji. W każdym razie, rozsądnym zachowaniem dla osoby u której wystąpiła choroba dekompresyjna jest nie wznowianie nurkowania bez zgody lekarza specjalizującego się w medycynie hiperbarycznej, i nurkowanie bardzo konserwatywne - nie zbliżanie się do limitów.

Wpływ nurkowania na ciążę

Możesz ukończyć wiele kursów nurkowania, czytać publikacje nurkowe, uczestniczyć w specjalnych programach, a mimo tego wiedzieć bardzo niewiele o wpływie nurkowania na ciążę - przede wszystkim dlatego, że niewiele wiadomo o tym zagadnieniu, co nie uległo zresztą zmianie w ciągu ostatnich ponad dwudziestu lat.

Dyskusje na ten temat zawsze koncertują się na jednym podstawowym problemie - czy nurkowanie w jakikolwiek sposób może zaszkodzić rozwijającemu się płodowi. Analiza czynników fizjologicznych związanych z nurkowaniem, oraz potencjalnego sposobu ich oddziaływania na dziecko w łonie matki, pozwolą ci rozszerzyć swoją wiedzę o możliwych skutkach nurkowania w trakcie ciąży.

Ściśnięcie - dotyczy ono wyłącznie przestrzeni powietrznych w ciele lub wokół ciała nurka. Ponieważ wody płodowe całkowicie otaczają płód, nie ma przestrzeni powietrznych, i płód nie może ucierpieć na skutek ściśnięcia.

Uraz ciśnieniowy płuc - Ponieważ płód nie oddycha powietrzem, lecz wchłania tlen bezpośrednio z krwi matki, nie może doświadczyć urazu ciśnieniowego płuc. Ciężarna kobieta, u której wystąpi embolia gazowa, naraża jednak na niebezpieczeństwo zarówno życie swoje, jak i życie dziecka. Jeżeli embolia wymaga leczenia w komorze dekompresyjnej, co jest prawdopodobne, leczenie może być ryzykowne dla dziecka ze względu na możliwość wystąpienia toksyczności tlenowej (opisane niżej). Jednak biorąc pod uwagę łatwość uniknięcia barotraumaty płuc oraz to, że uraz nie zagraża samemu płodowi, urazy ciśnieniowe płuc nie są poważnym zagrożeniem dla płodu, gdyż ich wystąpienie u zdrowych nurków przestrzegających podstawowych standardów nurkowych jest mało prawdopodobne.

Toksyczność tlenowa - Toksyczność tlenowa jest potencjalnym problemem przede wszystkim u osób nurkujących na nitroksie, a także w nurkowaniu technicznym, wymagającym dekompresji na nitroksach o dużej zawartości tlenu bądź na czystym tlenie. Eksperymenty na ciężarnych owcach wykazały brak zagrożenia dla płodu w warunkach wysokiego ciśnienia. Przy zwiększonym ciśnieniu parcjale tlenu, u płodów nie nastąpiło istotne zwiększenie stężenia tlenu we krwi nawet wówczas, gdy matki wystawiono na ciśnienia parcjale dochodzące do 2,1 atm - znacznie powyżej 1,4 atm będącego limitem dla osób nurkujących na nitroksie, przy ciśnieniu parcjale 1,6 atm będącym limitem awaryjnym. Przy ciśnieniu parcjale 3,15 atm wystąpił wzrost stężenia tlenu u płodów, ale to ciśnienie jest bez porównania większe niż te, z którymi mają do czynienia nurkowie (ciśnienie parcjale tlenu 3,15 atm odpowiada nurkowaniu na powietrzu na głębokość 141 metrów, bądź na nitroksie 40 na głębokość 69 metrów). Wzrost ciśnienia tlenu w krwi płodu nie powinien powodować u niego poważniejszych komplikacji. Jest to dobra wiadomość dla kobiet, które po głębokim nurkowaniu odkryły, że są w ciąży.

Jest jedna sytuacja, w której nurek może zostać poddany działaniu bardzo wysokich ciśnień parcjale tlenu. Podczas leczenia choroby dekompresyjnej w komorze ciśnieniowej, zazwyczaj elementem procedury jest chwilowa ekspozycja na tlen pod wysokim ciśnieniem. Płód narażony na bardzo wysokie ciśnienia tlenu, zwłaszcza w późnym okresie ciąży, teoretycznie może być zagrożony uszkodzeniem narządu wzroku - tzw. retrolental fibroplasia. Jest to możliwe, ponieważ u wcześniaków w przeszłości poddawanych leczeniu tlenem, dochodziło do tego urazu, prowadzącego niekiedy do ślepoty. Jednak operatorzy komór dekompresyjnych nie zauważyli, żeby u dzieci matek leczonych w komorach dekompresyjnych z powodów nie związanych z nurkowaniem dochodziło do uszkodzeń tego typu. Inną kwestią jest to, czy płód może ucierpieć z powodu zbyt małej ilości tlenu. Łożysko reguluje przepływ tlenu do płodu. Poza tym, istnieją naturalne mechanizmy fizjologiczne, zapewniające dziecku wystarczającą ilość tlenu nawet wtedy, gdy matka ma go mało. U płodu może zatem dojść do znacznego obniżenia stężenia tlenu tylko w ekstremalnych sytuacjach, takich jak utonięcie matki.

Choroba dekompresyjna - Czy płód może ucierpieć w wyniku choroby dekompresyjnej lub w wyniku

tworzenia się pęcherzyków azotu? Zagadnienie to wzbudza wiele kontrowersji wśród fizjologów, a wielu informacji niezbędnych do udzielenia odpowiedzi na to pytanie wciąż brakuje. Rozważamy najczęściej trzy główne problemy:

1. Czy jeżeli u nurkującej kobiety wystąpi choroba dekompresyjna, to ucierpi także dziecko? Badania na ciężarnych owcach wykazały, że jeśli w końcowych etapach ciąży były one wystawione na wysokie ciśnienia - choć nie na tyle wysokie, by spowodować chorobę dekompresyjną - jagnięta rodziły się zdrowe. Jednak owce, u których w końcowych etapach ciąży wywoływano chorobę dekompresyjną i nie leczono jej, rodziły martwe jagnięta. Teoretycznie więc, wystąpienie choroby dekompresyjnej u kobiety w późnej fazie ciąży mogłoby powodować śmierć płodu. Nie znane są jednak konsekwencje dla płodu, gdy u matki w początkowym etapie ciąży wystąpi choroba dekompresyjna, która zostanie wyleczona i przeminie bez żadnych trwałych efektów. Dane z ośrodków zajmujących się leczeniem hiperbarycznym (nie tylko w związku z nurkowaniem) mogą w przyszłości pozwolić na rozwiązanie tego problemu, jednak obecnie wiadomo bardzo niewiele.

2. Czy pęcherzyki azotu powstają u płodu w takim samym tempie jak u matki? Jest to poważny problem dla kobiety, która odkrywa, że była w ciąży podczas nurkowania bezdekompresyjnego, uznawanego za bezpieczne dla niej samej. Wczesne eksperymenty przeprowadzane na psach i szczurach wykazały odporność płodów na tworzenie się w nich pęcherzyków, lecz wyniki późniejszych badań prowadzonych na owcach i kozach nie były jednoznaczne. W jednym z eksperymentów, u owcy sprężonej do ciśnienia odpowiadającego głębokości 50 metrów pęcherzyki wytworzyły się u matki, lecz nie u płodu. W podobnym eksperymencie przeprowadzanym na owcach i kozach pęcherzyki wytworzyły się zarówno u matek, jak i u płodów. Jednak młode zwierzęta urodziły się normalne. W oparciu o te dane niektórzy badacze uznali, że płód jest w pewnym stopniu chroniony, i że pęcherzyki wystąpią u dziecka z mniejszym prawdopodobieństwem niż u matki. Jednak mamy wciąż zbyt mało danych, dlatego nikt dotąd nie sformułował wytycznych dotyczących stopnia ryzyka w zależności od głębokości i czasu trwania nurkowania.

3. Czy pęcherzyki mogą powodować komplikacje przy porodzie? Wydaje się, że każdy pęcherzyk wytworzony w ciele płodu może zaburzać jego prawidłowy rozwój. Gdy pęcherzyki azotu tworzą się u nurka, są one przeważnie filtrowane w płucach, dzięki czemu nie osiągają one części tętniczej układu krążenia, gdzie mogłyby powodować uszkodzenia. Ponieważ płuca płodu nie funkcjonują, nie posiada on systemu usuwającego pęcherzyki; jednak z drugiej strony, pęcherzyki tworzące się u matki będą filtrowane przez łożysko i nie dotrą do dziecka.

W celu rozpoznania problemu, przeprowadzono dwie serie badań nurkujących kobiet. W jednym z badań, w grupie kobiet nurkujących w trakcie ciąży na głębokość 30 metrów lub powyżej, częściej wystąpiły komplikacji porodowe niż w kontrolnej grupie kobiet nie nurkujących. Jednakże wartość ta nie odbiegała zbyt od średniej dla całej populacji. W innym, podobnym badaniu nie stwierdzono różnic w częstotliwości występowania zaburzeń.

Również badania na zwierzętach nie dostarczyły ostatecznych dowodów nad wpływem wysokich ciśnień na rozwój płodu. Na przykład, w jednym z eksperymentów wystawiono owce we wczesnym etapie ciąży - w okresie najszybszego rozwoju płodu - na bardzo wysokie ciśnienia. Nie stwierdzono nieprawidłowości u płodów. Są to dobre informacje dla kobiet, które nurkowały na duże głębokości zanim jeszcze dowiedziały się, że są w ciąży.

Pierwsza pomoc i leczenie choroby dekompresyjnej

Jak dowiedziałeś się podczas dyskusji o urazie ciśnieniowym płuc, jeśli nie możemy natychmiast skorzystać z pomocy lekarskiej, to traktujemy chorobę dekompresyjną (decompression sickness - DCS) i embolię gazową (arterial gas embolism - AGE) jako jeden typ urazu: uraz dekompresyjny (decompression illness - DCI). Przeczytaj rozdział „Pierwsza pomoc i leczenie przy urazie ciśnieniowym płuc” by przypomnieć sobie o zalecanych procedurach postępowania w wypadku wystąpienia DCI.

Przypadek DCI zdiagnozowany jako choroba dekompresyjna (DCS) zazwyczaj wymaga leczenia przez rekompresję, chociaż w wypadku skórnej postaci choroby dekompresyjnej, przy braku innych objawów, lekarz może uznać że nie jest to konieczne. Niezwłocznie przeprowadzona terapia rekompresyjna okazała się bardzo skuteczne w redukowaniu lub zapobieganiu trwałym uszkodzeniom. Uważa się, że opóźnienia w rozpoczęciu terapii są ważną przyczyną występowania trwałych uszkodzeń ciała.

Rekompresja sprawia, że pęcherzyki w ciele poszkodowanego zmniejszają objętość lub przechodzą ponownie do roztworu - symptomy są likwidowane poprzez skuteczne usunięcie ich bezpośredniej

przyczyny. Następuje przywrócenie przepływu krwi do porażonych tkanek, i jednocześnie zwiększenie stężenia tlenu. Następnie zaczyna się długa, powolna dekompresja, zwykle połączona z terapią tlenową, podawaniem odpowiednich leków i kroplówek, tak że zgromadzony gaz ma dużo czasu na bezpieczne opuszczenie tkanek.

ZASTOSOWANIE W NURKOWANIU

- **Korzystaj z komputerów i tabel nurkowych do planowania twoich nurkowań konserwatywnie, pozostawaj w bezpiecznej odległości od limitów. Przestrzegaj wszystkich zaleceń producenta podczas korzystania z komputera nurkowego.**
- **Zwracaj uwagę na czynniki, które mogą predysponować cię do wystąpienia choroby dekompresyjnej. Jeśli występują niektóre z nich, nurkuj jeszcze bardziej konserwatywnie.**
- **Zapoznaj się z procedurami udzielania pierwszej pomocy w wypadku wystąpienia choroby dekompresyjnej, najlepiej podczas kursów PADI Rescue Diver i Emergency First Response.**

Modele dekompresyjne

Uwaga: ten rozdział oparty jest na podręczniku „The Recreational Diver’s Guide to Decompression Theory, Dive Tables and Dive Computers” autorstwa dr Johna Lewisa i Karla Shreevesa (wydanie II, 1992, Intl. PADI, Inc., nakład wyprzedany) przerobionym i uaktualnionym przed włączeniem do tego wydania „Encyklopedii Nurkowania Rekreacyjnego”.

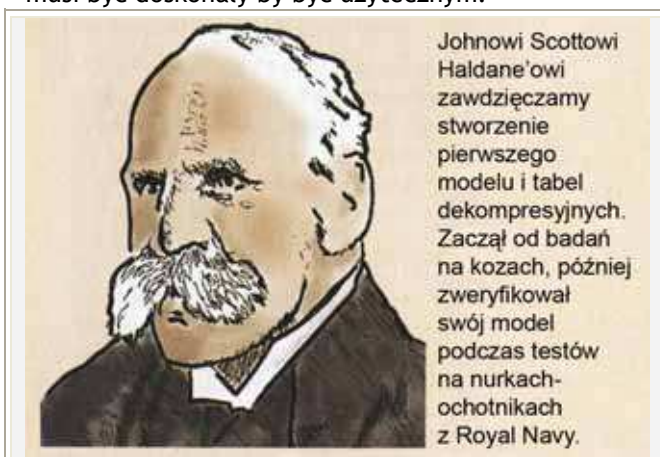
Wstęp do modeli dekompresyjnych

Chociaż niniejsza dyskusja dotycząca problemów związanych z dekompresją dotyczy nurków, istnieje możliwość wystąpienia choroby dekompresyjnej podczas każdego przedsięwzięcia, podczas którego ludzie doświadczają znacznego obniżenia ciśnienia. W związku z tym, do osób potencjalnie zagrożonych DCS należą robotnicy pracujący w kesonach, lotnicy i astronauta, oraz oczywiście nurkowie. Osoby z tych grup polegają na **modelach dekompresyjnych** dla zmniejszenia zagrożenia chorobą dekompresyjną. Celem modelowania dekompresji jest konstruowanie przewidywalnych procedur na podstawie zdobytej wiedzy i przewidywań (teoria dekompresji), które pozwolą kontrolować i ograniczać formowanie się fazy gazowej w twoim organizmie. Tabele nurkowe i komputery nurkowe są narzędziami, umożliwiającymi stosowanie modelu. Wbrew powszechnej opinii, celem modelowania dekompresji nie jest po prostu zapobieganie DCS; to można osiągnąć bardzo prosto - poprzez wstrzymanie się od nurkowania. Dlatego celem jest umożliwienia nurkowania trwającego jak najdłużej przy zachowaniu minimalnego ryzyka wystąpienia DCS. (Zerowe ryzyko byłoby idealne, ale jak dotąd nauka nie osiągnęła punktu, w którym byłoby to możliwe). Podczas dążenia do tego celu, niemal każdy duży krok w rozwoju teorii dekompresji i modeli dekompresyjnych pozwalał na wydłużenie czasu nurkowania i zmniejszenie ryzyka.

Młodszy oficer Andrew Catto powinien być zginąć, a przynajmniej zwiijać się w agonii. Jest rok 1907, i Catto przeżył niemożliwe nurkowanie. Brytyjska Royal Navy uważa nurkowania poniżej 30 metrów za ekstremalnie niebezpieczne - a Catto zanurkował na głębokość 55 metrów. Nikt przedtem nie spędził na tej głębokości więcej niż 10 minut bez wystąpienia „krzywików” - a Catto pozostał na tej głębokości przez 29 minut. Niezwykle nurkowanie Catto było możliwe dzięki nowemu modelowi dekompresyjnemu stworzonemu przez Johna Scotta Haldane’a - modelowi, który pozostał praktycznie niezmienny przez następne 100 lat.

Nie myl terminów „użyteczny” i „wiarygodny” w modelach dekompresyjnych. Generalnie, cokolwiek potwierdzonego podczas rzeczywistych nurkowań z udziałem ludzi na określonej głębokości i w określonym czasie, z akceptowalnie niskim ryzykiem wystąpienia DCS, jest wiarygodnym modelem. Zwróć uwagę na te dwa najważniejsze punkty: możemy ufać modelom dekompresyjnym wyłącznie wtedy, gdy zostały sprawdzone podczas rzeczywistych nurkowań, i musimy określić poziom ryzyka który skłonni jesteśmy zaakceptować.

Co ciekawe, aby być wiarygodnym, model bynajmniej nie musi być oparty na rzeczywistych danych ani też skomplikowany. Na przykład, jeśli ograniczymy głębokość do 30 metrów, zawsze będziemy wykonywać trzyminutowy przystanek bezpieczeństwa na głębokości 5 metrów, a pomiędzy nurkowaniami wykonywać będziemy przerwy powierzchniowe trwające nie mniej niż 90 minut, moglibyśmy użyć pary kostek sześciennych do określenia limitu bezdekompresyjnego w minutach. Limity byłyby przypadkowe, a w większości wypadków podczas tego samego nurkowania ty i twój partner mielibyście różne limity, lecz najdłuższy możliwy dopuszczalny czas wynikający z tego modelu wynosiłby 12 minut. Jeśli porównasz tę wielkość z bazą danych ludzkich nurkowań, stwierdzisz, że wszystkie nurkowania dozwolone przez ten model swobodnie mieściłyby się w przedziale ryzyka który społeczność nurkowa uznaje za dopuszczalny dla nurków rekreacyjnych. Zatem, jest to wiarygodny model dekompresyjny, w granicach wyznaczonych przez jego projekt. Jednak nie byłby to zbyt użyteczny model, ponieważ wyznaczane przez niego limity byłyby znacznie i niepotrzebnie skrócone, według naszej wiedzy uzyskanej na podstawie rzeczywistych nurkowań. Użyteczny model dekompresyjny musi być wiarygodny, i musi przewidywać, tak dokładnie jak to możliwe, najdłuższe czasy bezdekompresyjne i najkrótsze wymagane przystanki dekompresyjne, jednak przy akceptowalnym ryzyku DCS. Aby to uzyskać, przewidywania modelu muszą odtwarzać tak blisko jak to możliwe wyniki rzeczywistych nurkowań. Historycznie, próba modelowania procesów zachodzących w ludzkiej fizjologii była głównym sposobem podejścia do tego zagadnienia, ale, jak zobaczysz, model nie musi być doskonały by być użytecznym.



Jak dowiedziałeś się wcześniej, współczesna teoria dekompresji i oparte na niej modelowanie rozpoczęło się od prac Johna Scotta Haldane'a. Royal Navy zatrudniło Haldane'a, by rozwiązał problem występowania choroby dekompresyjnej u nurków, a sto lat później hołdem dla jego geniuszu są niemal wszystkie komputery nurkowe i tabele stosowane współcześnie, opierające się na modelach teoretycznych stworzonych przez niego. W oparciu przede wszystkim o eksperymenty na kozach, Haldane i jego współpracownicy stworzyli teorię, która zakładała zróżnicowaną absorpcję azotu przez różne tkanki ciała, i przewidywała, że przez ograniczanie ilości pochłoniętego w ten sposób azotu do określonych poziomów, można uniknąć tworzenia fazy gazowej i przez to choroby

dekompresyjnej.

Oryginalny model dekompresyjny Haldane'a składał się z pięciu tkanek z półokresami wynoszącymi od 5 do 75 minut, i matematycznie przewidywał, w jaki sposób różne tkanki w organizmie mogą pochłaniać i eliminować azot. Chociaż jednak powszechnie przyjęto, że różne tkanki mają różne tempo absorpcji i eliminacji azotu, ważne jest rozróżnienie pojęcia „tkanki” w fizjologii dekompresji i w modelowaniu dekompresji. Haldane wierzył, że istnieje pewien związek pomiędzy półokresami które ustalił i rzeczywistymi tkankami w ciele, jednak nie planował, by konkretne tkanki rzeczywiste odpowiadały określonym tkankom teoretycznym. Zamiast tego, Haldane próbował po prostu matematycznie modelować fakt, że różne części ciała nie pochłaniają i uwalniają azotu w jednym, określonym tempie. Dzisiaj najczęściej stosowane są określenia „przedział tkankowy” (tissue compartment), „tkanka teoretyczna” (theoretical tissue) i „teoretyczny przedział tkankowy” (theoretical tissue compartment), jednak niekiedy stosuje się, cokolwiek nieprecyzyjnie, określenie „tkanka” (tissue). Co więcej, porównywanie modeli z przypadkami choroby dekompresyjnej nie wskazuje na określone związki pomiędzy symptomami a teoretycznymi tkankami, wzbudzając wątpliwości co do tego, czy tkanki teoretyczne w ogóle odpowiadają tkankom rzeczywistym. Dlatego coraz większa ilość ekspertów zajmujących się dekompresją używa określenia „kompartament” lub „przedział” (compartment), całkowicie rezygnując z odniesienia „tkanki”. Zatem, może się zdarzyć, że jeden nurek przekroczy limit „tkanki” 5-minutowej, inny zaś „tkanki” 480-minutowej, i u obu jedynym symptomem będzie ból nadgarstka. Współczesne modele przy obliczeniach biorą pod uwagę nawet 20 lub 30 teoretycznych przedziałów o półokresach dochodzących do, i przekraczających, 600 minut.

Jako dodatek do przewidywanego tempa absorpcji i eliminacji azotu, model Haldane'a wprowadził też krytyczny stosunek pomiędzy teoretycznym ciśnieniem rozpuszczonego azotu a ciśnieniem otoczenia. Haldane używał krytycznego stosunku wynoszącego 1,58 ciśnienia parcjalego azotu w tkankach : 1

ciśnienie otoczenia (dokładniej, ponieważ traktował powietrze jako 100% azot, używał stosunku 2:1, co jest tą samą wartością po przeliczeniu całkowitego ciśnienia na ciśnienie azotu) dla wszystkich przedziałów tkankowych. Według założeń Haldane’a, wystąpienia choroby dekompresyjnej należałoby oczekiwać po nurkowaniu, podczas którego przekroczony zostanie krytyczny stosunek dla któregośkolwiek z kompartmentów. Aby tego uniknąć, Haldane skonstruował układ głębokości, czasów i przystanków dekompresyjnych które pozwalały nurkowi na pozbycie się nadmiarowego azotu podczas wynurzenia, lecz bez przekroczenia tych wartości krytycznych. To była podstawa pierwszych opublikowanych tabel nurkowych. Dzięki jego pracom, wkrótce nurkowie bezpiecznie odbywali nurkowania wcześniej uważane za niemożliwe ze względu na ryzyko wystąpienia DCS.

W późnych latach 30., badania prowadzone przez US Navy wykazały, że różne kompartmenty mają różne wartości krytyczne, zamiast jednej wspólnej wartości zaproponowanej przez Haldane’a. Stwierdzono, że szybkie przedziały (te o krótkich półokresach) mogą tolerować znacznie wyższe przesycenie azotem niż przewidywał Haldane, zaś wolne przedziały (o długich półokresach) - nieco niższe. Badania prowadzone w latach 50. wykazały natomiast, że nie tylko różne tkanki teoretyczne mają różne wartości krytyczne, ale wartości te różnią się dla jednej tkanki w zależności od głębokości.

W tym samym okresie, US Navy po raz pierwszy opisało procedury nurkowań powtórzeniowych (które omówimy później), biorąc pod uwagę eliminację azotu z tkanek podczas przerwy powierzchniowej pomiędzy nurkowaniami. Wcześniej, wszystkie nurkowania przeprowadzone tego samego dnia były do siebie dodawne, tak że limity nurkowań powtórzeniowych i czas przystanków dekompresyjnych oparte były na łącznym czasie wszystkich nurkowań. Dokonując tych ważnych zmian, US Navy zwiększyło ilość kompartmentów do sześciu (dodając przedział o półokresie 120 minut), oraz wprowadziło pojęcie M-wartości (M-value) dla ułatwienia wyliczania maksymalnych dopuszczalnych ciśnień azotu (wartości krytycznych) dla danej tkanki. Oryginalnie, M-wartości określały maksymalne dopuszczalne ciśnienie azotu w danym przedziale tkankowym w stopach wody morskiej (wartość bezwzględna) - fswa. Ułatwiło to matematyczne formułowanie tabel nurkowych przez określanie maksymalnego nadwyżkowego ciśnienia w stosunku do ciśnienia atmosferycznego dla każdej tkanki teoretycznej, i przez likwidację konieczności każdorazowego wyliczania zmiennych stosunków.

Większość modeli dekompresyjnych używanych we współczesnych komputerach i tabelach także opiera się na ciśnieniach gazów obojętnych i na M-wartościach, chociaż, jak napisano wcześniej, uważa się że nie istnieją prawdziwe M-wartości powyżej których tworzą się pęcherzyki, a poniżej których nie. Badania wskazują raczej, że modele dekompresyjne zapobiegają wystąpieniu choroby dekompresyjnej przez kontrolowanie wielkości i ilości pęcherzyków.

Chociaż teorie uległy zmianie, podstawowa metodologia używana w dużej większości tabel i komputerów nurkowych pozostaje neo-Haldane’owska, czyli opiera się o te same założenia, które jako pierwszy zastosował Haldane. Niektóre z parametrów uległy zmianie, zmieniły się też nazwy części pojęć, jednak model Haldane’a pozostaje podstawą większości współczesnych modeli, włącznie z niemal wszystkimi stosowanymi w komputerach nurkowych. Głównym powodem jest to, że model Haldane’a opiera się na stosunkowo nieskomplikowanych obliczeniach matematycznych, co czyni go idealnym dla niewielkich, prostych komputerów nurkowych, i że model jest stosunkowo wiarygodny z punktu widzenia nurków rekreacyjnych, a nawet większości nurków technicznych i komercyjnych. Jest wiarygodny i użyteczny, nawet jeśli nie modeluje dokładnie procesów zachodzących w ludzkim organizmie.

Wszystkie modele neo-Haldane’owskie używają pojęcia przedziałów teoretycznych. Każdy z przedziałów różni się od pozostałych na dwa ważne sposoby: 1) absorbuje azot (lub inny gaz obojętny) w różnym tempie, co jest odzwierciedlone jako jego półokres; oraz 2) może tolerować różną ilość gazu obojętnego, co odzwierciedla jego M-wartość, dla uproszczenia opisywana też jako dopuszczalne nasycenie azotem (chyba, że rozważamy nurkowanie techniczne z użyciem helu!). Gdy zastosujesz te pojęcia w odniesieniu do modelu, zobaczysz, że model Haldane’a i sposób jego działania nie są wcale trudne do zrozumienia.

Nasycenie azotem i półokresy

Zacznijmy od omówienia nasycenia kompartmentów azotem i koncepcji półokresu, wspomnianego już wcześniej. Aby uprościć dalsze rozważania, założymy że oddychasz powietrzem, zarówno na powierzchni, jak i podczas nurkowania.

Jeśli nie nurkowałeś przez więcej niż jeden dzień, modele dekompresyjne zakładają, że wszystkie twoje przedziały tkankowe mają nasycenie azotem równe zero. Dokładniej rzecz ujmując, ciśnienie azotu wewnątrz twoich tkanek wynosi 0,79 bara gdy oddychasz powietrzem na poziomie morza. Jednak, dla uproszczenia obliczeń matematycznych, założymy że na powierzchni nasycenie tkanek teoretycznych

azotem wynosi zero. Taka definicja ułatwia też zrozumienie zagadnienia, a nie wpływa na model teoretyczny.



Ilustracja 1: Nasycenie azotem kompartmentu 5-minutowego w trakcie 15-minutowego pobytu na głębokości 30 metrów

Załóżmy, że nurkujesz teraz na głębokość 30 metrów. Zgodnie z modelem Haldane’a, wszystkie twoje przedziały tkankowe zaczną absorbować azot, i po dostatecznie długim czasie uległyby wysyceniu (osiągnęły stan równowagi) - do momentu osiągnięcia nasycenia azotem odpowiadającego głębokości 30 m. Nurkowie saturowani, którzy całymi dniami żyją i pracują w zanurzonych kapsułach mieszkalnych, są rzeczywistym tego przykładem. Po wielu godzinach na głębokości, ich ciała osiągną stan saturacji gazem obojętnym (azotem i/lub helem), i ich wymagania dekompresyjne pozostają takie same, bez względu na to czy pozostaną tam przez dzień, przez tydzień, czy jeszcze dłużej. Bez względu na głębokość - a dotyczy to także powierzchni, czyli głębokości 0 - jeśli pozostaniesz na niej wystarczająco długo, twoje

kompartamenty zostaną nasycone azotem do wartości odpowiadającej tej głębokości.

Stosując półokresy, możemy przewidzieć, ile czasu musi minąć zanim na danej głębokości każdy z kompartmentów zostanie nasycony azotem do określonego poziomu. Załóżmy, że szybko zanurzyłeś się na głębokość 30 metrów podczas pierwszego nurkowania tego dnia. Jak już wiesz, początkowo nasycenie twoich przedziałów tkankowych wynosiło zero, zaś po odpowiednio długim czasie kompartamenty zostaną nasycone do poziomu odpowiadającego głębokości 30 metrów. Każdy z kompartmentów wymaga czasu równego jego półokresowi do zwiększenia nasycenia o połowę wielkości brakującej do pełnego wysycenia. Podczas twojego nurkowania na głębokość 30 metrów, przedział tkankowy o półokresie wynoszącym 5 minut (potocznie określany jako 5-minutowy kompartment) zostanie nasycony azotem do poziomu odpowiadającego głębokości 15 metrów w ciągu zaledwie 5 minut, ale 120-minutowy kompartment potrzebować będzie dwóch godzin (120 minut) by osiągnąć ten sam poziom.

Gdyby interesowało nas jedynie nasycenie gazem obojętnym danego przedziału po upływie jednego półokresu, moglibyśmy tutaj się zatrzymać. Jeśli jednak chcemy być w stanie obliczyć nasycenie dowolnego kompartmentu po dowolnym czasie, musimy zbadać co stanie się po upływie kilku półokresów.

Podczas pierwszego półokresu, gradient ciśnień się zmniejsza (gradient - czyli różnica pomiędzy początkowym nasyceniem azotem, w naszym przykładzie równym zero, a nasyceniem po saturacji, równym głębokości) o połowę. Podczas pierwszych 5 minut, nasycenie 5-minutowego kompartmentu zwiększyło się do odpowiadającego głębokości 15 metrów. W tym momencie, gradient ciśnień uległ zmniejszeniu z 30 metrów do 15 metrów. Podczas kolejnych 5 minut, gradient ciśnień znów ulega zmniejszeniu o połowę, a nasycenie kompartmentu azotem wyniesie 22,5 metra.

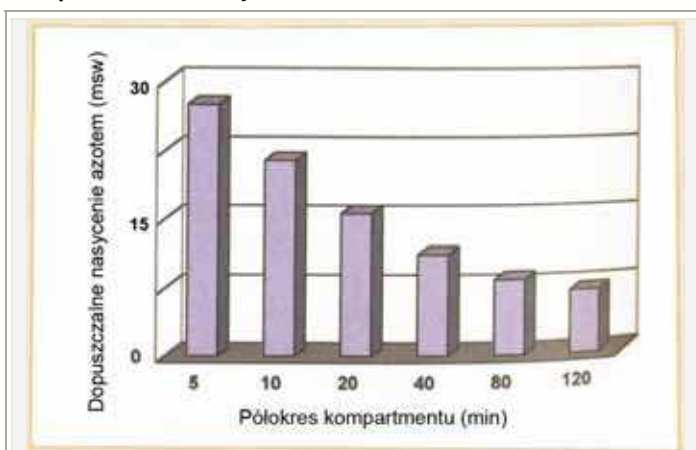
W każdym kolejnym 5-minutowym okresie, gradient ciśnień między środowiskiem zewnętrznym a tkanką ulega zmniejszeniu o połowę. Jednocześnie, podczas każdego półokresu, nasycenie kompartmentu azotem zwiększa się o połowę wartości gradientu ciśnień na początku tego półokresu. Matematycy określają funkcję opisującą takie zmiany nasycenia jako funkcję wykładniczą.

Sześć przedziałów tkankowych w modelu US Navy miało półokresy wynoszące 5, 10, 20, 40, 80 i 120 minut, i zachowanie każdego z nich było jakościowo takie samo. Aby osiągnąć nasycenie odpowiadające głębokości 15 metrów na głębokości 30 metrów, kompartamenty wymagałyby odpowiednio 5, 10, 20, 40, 80 i 120 minut - czyli czasu równego jednemu półokresowi. Pozostały gradient ciśnień, czyli różnica pomiędzy wartością aktualną a wartością ostateczną, po całkowitym wysyceniu - będzie ulegał zmniejszeniu o połowę z każdym kolejnym półokresem.

Gdyby każdy z kompartmentów w ciągu każdego półokresu zwiększał nasycenie azotem tylko o połowę, to z matematycznego punktu widzenia nigdy nie mógłby osiągnąć wysycenia, choć byłby bardzo blisko.

Ponieważ jednak po upływie sześciu półokresów kompartment wysycony jest w 98,4%, większość modeli dekompresyjnych traktuje sześć półokresów jako czas potrzebny do całkowitego wysycenia. W naszym przykładzie, 5-minutowy kompartment zostałby nasycony azotem do poziomu odpowiadającego głębokości 30 metrów po 30 minutach (po upływie sześciu 5-minutowych półokresów) na tej głębokości.

Dopuszczalne nasycenie azotem



Ilustracja 2: Graficzne przedstawienie sześciopredziałowego modelu Haldane’owskiego

Chociaż model Haldane’a jest tak elegancki i klarowny, sam w sobie nie mógłby służyć do przewidywania nawet prostych nurkowań bezdekompresyjnych - ani w żaden inny sposób modelować ludzkiej fizjologii. Limity bezdekompresyjne mogą być określone tylko w jeden sposób - poprzez eksperymentalne nurkowania testowe. Dopuszczalne nasycenie azotem każdego z kompartmentów może być określone dopiero wtedy, gdy nurkowania testowe dostarczą wystarczającą ilość danych. Jednak gdy już określimy półokresy, to dane dotyczące limitów bezdekompresyjnych na różnych głębokościach całkowicie wystarczą do określenia dopuszczalnego nasycenia azotem - czyli M-wartości - każdego z przedziałów. Należy pamiętać, że modele Haldane’a nie opisują dokładnie ludzkiej fizjologii. Jak

wspomniano wcześniej, Haldane przypuszczał, że różne tkanki wpływają na sposób absorpcji azotu przez ciało, choć dzisiaj wielu fizjologów to kwestionuje. Poza tym, Haldane oparł swój model na przypuszczeniu, że jeśli u nurka nie występują symptomy choroby dekompresyjnej, oznacza to, że w jego ciele nie pojawiły się pęcherzyki.

Dzisiaj wiemy, że pęcherzyki tworzą się bez powodowania symptomów choroby dekompresyjnej. Stosujemy modele dekompresyjne, by ograniczyć tworzenie się pęcherzyków do poziomu, na którym nie powodują choroby dekompresyjnej, a jak dotąd żaden model dekompresyjny nie bierze pod uwagę indywidualnych różnic fizjologicznych. Bez względu na to, czy nurek jest młodszy czy starszy, szczuplejszy czy „z brzuszkiem”, czy jest kobietą czy mężczyzną, model przewiduje dokładnie ten sam wzorzec absorpcji i eliminacji azotu podczas realizacji danego profilu nurkowego. (Niektóre komputery nurkowe i oprogramowanie do obliczania dekompresji pozwalają na zwiększenie poziomu konserwatyzmu, lecz nic w modelu nie określa takiej potrzeby, ani korzyści z takiego postępowania)

Dlatego możemy ufać modelom dekompresyjnym tylko do takiego stopnia, w jakim zostały przetestowane, a ich przewidywania porównane z wynikami rzeczywistych nurkowań odbytych przez ludzi. Modele Haldane’owskie działają bardzo dobrze... w określonych granicach. Jak omówimy wkrótce, problemy zaczynają się wtedy, gdy próbujemy stosować modele dekompresyjne w sytuacjach, w których nie zostały przetestowane.

Ilustracja 2 przedstawia model Haldane’owski. Każda kolumna reprezentuje kompartment, z jego półokresem podanym poniżej. Wysokości kolumn przedstawiają wartości dopuszczalnego nasycenia azotem danego kompartmentu. Na przykład, najwyższe dopuszczalne nasycenie azotem ma przedział 5-minutowy - odpowiada ono głębokości 27 metrów. Kolejne kompartmenty o dłuższych półokresach posiadają odpowiednio coraz niższe dopuszczalne nasycenia.

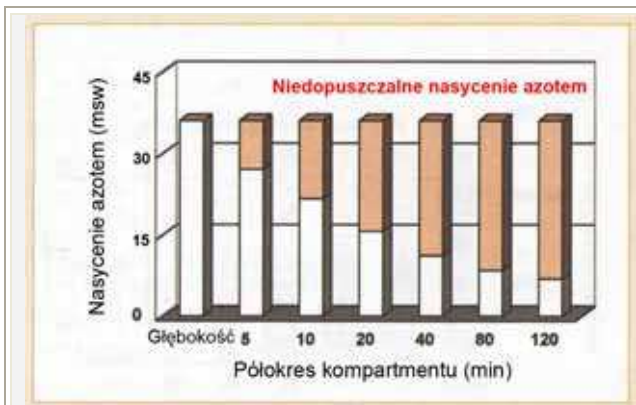
Patrząc na ilustrację 2 zauważysz, że najniższe dopuszczalne nasycenie (kompartmentu 120-minutowego) odpowiada głębokości 6 metrów. Oznacza to, że według tego modelu nie istnieje limit dla głębokości mniejszych niż 6 metrów - dlatego, że na głębokościach mniejszych niż 6 metrów nasycenie azotem nigdy nie może przekroczyć wartości dopuszczalnej dla któregośkolwiek z kompartmentów, bez względu na czas nurkowania.

Pomyśl o dopuszczalnym nasyceniu azotem każdego z przedziałów tkankowych jako o maksymalnej głębokości, na jakiej ten przedział może pozostać przez nieograniczony czas, i ciągle pozwalać na wynurzenie. Innymi słowy, dopuszczalne nasycenie azotem każdego przedziału jest równe głębokości, na jakiej osiągnąłby on saturację. Wynika z tego, że na każdej głębokości mniejszej od dopuszczalnego nasycenia azotem dla jakiegokolwiek kompartmentu, dopuszczalny czas nurkowania byłby nieograniczony, gdyż żaden z przedziałów nie osiągnąłby nigdy nasycenia krytycznego.

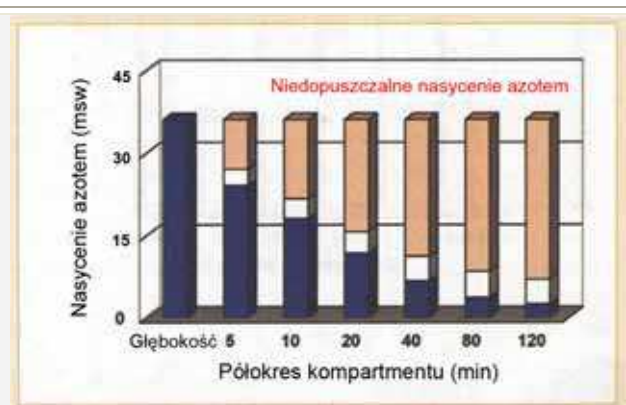
Według modelu przedstawionego na ilustracji 2, gdybyś pozostał na głębokości 5,5 metra przez 12 godzin, wszystkie kompartmenty uległyby nasyceniu do poziomu odpowiadającego tej głębokości. Ale wciąż pozostawałbyś w granicach dopuszczalnego nasycenia azotem, które umożliwiłoby wynurzenie bez wykonywania przystanków dekompresyjnych. Gdyby jednak nasz model posiadał kompartmenty o jeszcze dłuższych półokresach i jeszcze niższych dopuszczalnych wartościach nasycenia, głębokość na której

możnaby przebywać bez ograniczeń byłaby może jeszcze mniejsza, i wynosiła na przykład 4,5 metra. Jednak podczas testów, ponad 100 nurków wystawiono na ciśnienie odpowiadające głębokości 6,3 metra przez 48 godzin, a następnie wynurzone. Chociaż wykryto u nich znaczne ilości niemych pęcherzyków, nie wystąpił ani jeden przypadek choroby dekompresyjnej.

Teoria dekompresji w praktyce

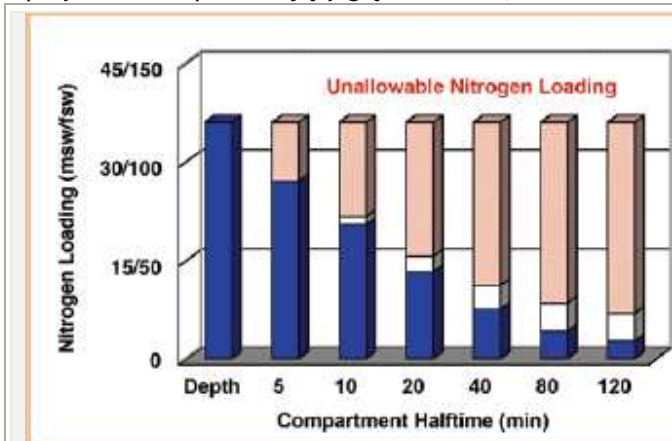


Ilustracja 3. Model na początku nurkowania na głębokość 36 metrów. Żaden z kompartmentów nie zaabsorbował jeszcze azotu.

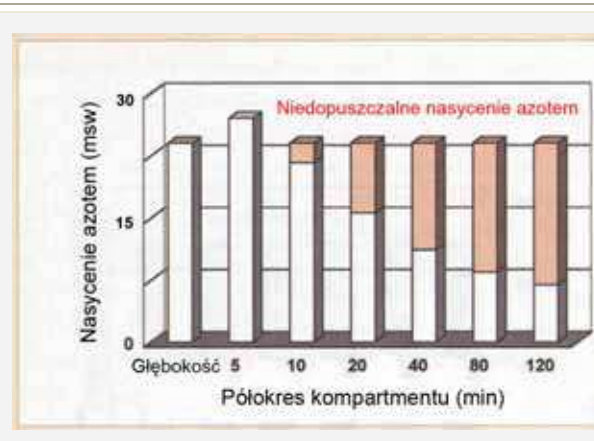


Ilustracja 4. Nasycenie kompartmentów azotem po 10 minutach na głębokości 36 metrów.

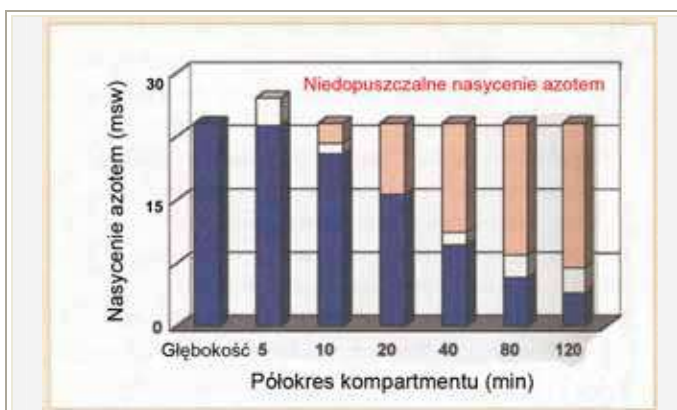
Spójrzmy teraz co się stanie, gdy wybierzemy się z naszym modelem dekompresyjnym na nurkowanie. Zanurzyłeś się właśnie bezpośrednio na głębokość 36 metrów, co zostało przedstawione przez kolumnę po lewej stronie wykresu na ilustracji 3. Być może będzie ci łatwiej to sobie wyobrazić, gdy pomyślisz o głębokości jako o zbiorniku połączonym przez zawory z każdym z przedziałów. 5-minutowy kompartment ma największy zawór i napęlnia się najszybciej, zaś 120-minutowy kompartment ma zawór najmniejszy, napęlnia się zatem najwolniej. Jak wiesz, jeśli jednak pozostaniesz na tej głębokości przez odpowiednio długi czas, to ostatecznie każdy z przedziałów osiągnie ten sam poziom co „zbiornik”, czyli w tym przykładzie odpowiadający głębokości 36,6 metra.



Ilustracja 5. Trzydzieści minut na głębokości 36 metrów. Kompartament 5-minutowy jako pierwszy osiągnął dopuszczalne nasycenie azotem



Ilustracja 6. Model na początku nurkowania na 24 metry. Zauważ, że kolumna głębokości jest krótsza niż przedział 5-minutowy. Oznacza to, że na głębokości 24 metrów przedział 5-minutowy nigdy nie może osiągnąć dopuszczalnego nasycenia azotem



Ilustracja 7. 20-minutowy kompartyment jako pierwszy osiąga limit, co czyni go kompartymentem kontrolującym nurkowanie na głębokość 24 metrów

Nurkując rekreacyjnie, nie zostaniesz pod wodą tak długo. Musisz zakończyć nurkowanie zanim którykolwiek z przedziałów osiągnie swoje dopuszczalne nasycenie azotem. Ponieważ dopuszczalne nasycenie każdego z przedziałów odpowiada głębokości 30 metrów lub mniejszej, ilustracja 3 przedstawia czerwoną strefę niedopuszczalnych wartości nasycenia azotem dla poszczególnych przedziałów. Jeśli nasycenie azotem któregoś z przedziałów tkankowych osiągnie niedozwolony poziom, przekroczysz limity bezdekompresyjne i będziesz musiał wykonać przystanek dekompresyjny przed wynurzeniem. Po pobycie na głębokości 36 metrów przez 10 minut, model dekompresyjny będzie wyglądał tak, jak przedstawiono to na ilustracji 4. Przedziały są częściowo wypełnione, lecz w tym momencie nie możemy powiedzieć, który z przedziałów będzie ostatecznie kontrolował czas denny. Chociaż 5-minutowy przedział wypełnia się najszybciej, ma on też najwyższą wartość dopuszczalnego nasycenia azotem. Zauważ, że 10-minutowy przedział osiągnął nasycenie odpowiadające głębokości 18 metrów - połowę nasycenia docelowego, jako że czas denny zrównał się z jego półokresem.

Na ilustracji 5, osiągnąłeś limit bezdekompresyjny wynoszący 13 minut, i widzimy, że to nurkowanie kontrolowane jest przez kompartyment 5-minutowy - on jako pierwszy osiągnął dopuszczalne nasycenie azotem. Podczas danego nurkowania, kompartyment kontrolujący to ten, który decyduje, co zgodnie z modelem będziesz musiał zrobić. Podczas nurkowania bezdekompresyjnego jest nim ten przedział tkankowy, który jako pierwszy osiągnie dopuszczalne nasycenie azotem. Podczas nurkowania dekompresyjnego jest nim ten kompartyment, który jako pierwszy zmusi cię do wykonania przystanku i usunięcia części azotu, zanim zaczniesz kontynuować wynurzenie.

Zazwyczaj podczas nurkowań na głębokości większe od 30 metrów to 5-minutowy kompartyment kontroluje nurkowanie bezdekompresyjne. Wolniejsze przedziały tkankowe mają większe znaczenie podczas płytszych nurkowań. Dla przykładu, przeanalizujemy nurkowanie na głębokość 24 metrów, przedstawione na ilustracji 6. Zauważ, że dla przedziału 5-minutowego kolumna głębokości jest krótsza od kolumny dopuszczalnego nasycenia azotem. Oznacza to, że kompartyment 5-minutowy nigdy nie osiągnie swojego dopuszczalnego nasycenia podczas nurkowania na 24 metry, bez względu na czas pobytu na tej głębokości. W praktyce, jeśli ograniczymy nasze nurkowanie do głębokości wynoszących 24 metry lub mniej, możemy całkowicie usunąć przedział 5-minutowy z modelu.

Na tej głębokości, przedział 10-minutowy jest najszybszym z kompartymentów które mogą osiągnąć dopuszczalne nasycenie azotem, chociaż z ilustracji 7 wynika, że to przedział 20-minutowy kontroluje nurkowanie na głębokość 24 metrów, i jako pierwszy osiąga dopuszczalne nasycenie.

Wiesz już więcej na temat działania Haldane'owskich modeli dekompresyjnych niż większość nurków. Przejdziemy teraz do omówienia przewidywań modelu dla nurkowań wielopoziomowych, powtórzeniowych, wielodniowych, dekompresyjnych, na wzbogaconym powietrzu i na trimiksie. Najpierw spojrzymy na tabele nurkowe i ich działanie, oraz na ich podobieństwa i różnice do komputerów nurkowych w zastosowaniu modeli dekompresyjnych.

Nurkowanie powtórzeniowe

Gdyby nurkowanie rekreacyjne ograniczone było do bezdekompresyjnych nurkowań na stałą głębokość, nie potrzebowalibyśmy modeli dekompresyjnych - nawet wspomnianego na początku rozdziału hipotetycznego modelu „kostkowego”. Moglibyśmy wtedy eksperymentalnie ustalić dopuszczalny czas bezdekompresyjny i zapamiętać go. Ponieważ jednak nie możemy w praktyczny sposób przeanalizować każdego istniejącego profilu w nurkowaniu wielopoziomowym, powtórzeniowym i dekompresyjnym, modelowanie dekompresji

jest konieczne jeśli chcemy umożliwić sobie wykonywanie takich nurkowań. Zarówno tabele, jak i komputery nurkowe wymagają stosowania modeli dekompresyjnych.

Doktor Michael Powell nasłuchuje uważnie, lecz w słuchawkach słychać niewiele. Jest rok 1987, i Powell bada ochotników po nurkowaniach testowych w Institute of Applied Physiology and Medicine, przy pomocy dopplerowskiego przepływomierza ultradźwiękowego, który wykrywa pęcherzyki w organizmach nurków znacznie poniżej poziomów wskazujących na niedopuszczalne ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej.

Podobnie jak u Andrew Catto 80 lat wcześniej, u tych nurków testowych powinny były wystąpić „krzywiki” - przynajmniej zgodnie z tabelami nurkowymi US Navy. Ale nie tylko nie zdradzali symptomów DCS, lecz nawet rzadko kiedy występowały u nich nieme pęcherzyki. Nowa hipoteza dr Raymonda Rogersa wydaje się prawdziwa. Kompartymen o półokresie krótszym niż ten używany przez US Navy kontroluje bezdekompresyjne nurkowania powtórzeniowe. Jest to duży krok naprzód w zastosowaniu teorii dekompresji w nurkowaniu rekreacyjnym.

W poprzedniej części przeanalizowaliśmy wiele nurkowań bezdekompresyjnych, rozważaliśmy półokresy różnych kompartymenów i wartości dopuszczalnego nasycenia azotem. Gdybyśmy dodali do modelu wartości nasycenia dopuszczalne na przystankach dekompresyjnych (to tylko sześć dodatkowych wartości), moglibyśmy odtworzyć całe Standardowe Tabele Dekompresyjne US Navy do Nurkowania na Powietrzu (US Navy Standard Air Decompression Tables). Później omówimy nurkowania dekompresyjne, lecz na razie zajmijmy się czymś lepiej znanym większości nurków: nurkowaniami powtórzeniowymi.

Nurkowania powtórzeniowe - podejście us navy

Gdy zastanowimy się nad nurkowaniami powtórzeniowymi, konieczność stosowania modeli dekompresyjnych stanie się oczywista. Wyobraź sobie dylematy konstruktora tabel nurkowych, który musi ustalić bezpieczne limity nurkowania powtórzeniowego bez znajomości szczegółów pierwszego nurkowania. Istnieją niezliczone kombinacje głębokości i czasu trwania pierwszego nurkowania oraz długości przerwy powierzchniowej, a stopień trudności zadania rośnie z beznadziejnego do kompletnie niemożliwego jeśli próbujemy wyliczyć parametry dwóch lub więcej nurkowań powtórzeniowych. W zależności od dokładnych parametrów pierwszego nurkowania, którykolwiek z przedziałów w modelu może kontrolować nurkowanie powtórzeniowe, lecz nie ma możliwości dowiedzenia się z wyprzedzeniem, który to kompartymen. Podczas tworzenia pierwszych tabel dla nurkowań powtórzeniowych w latach 50., US Navy rozwiązało problem korzystając z prostej, lecz eleganckiej metody. Uznali, że najgorszą sytuacją dla nurka odbywającego nurkowanie powtórzeniowe, na przykład powtórzeniowe nurkowanie dekompresyjne, byłoby gdyby to najwolniejszy z kompartymenów (przedział 120-minutowy w ich wersji modelu) kontrolował nurkowanie powtórzeniowe. Dlatego wszystkie Tabele Nurkowań Powtórzeniowych US Navy, włącznie z literami oznaczającymi grupy powtórzeniowe, tabelą przeliczania przerw powierzchniowych oraz tabelą czasów zalegania azotu, wyliczone są w oparciu o tempo eliminacji azotu z przedziału 120-minutowego. Chociaż traktujemy nurkowanie powtórzeniowe jako coś oczywistego w nurkowaniu sportowym, to gdy US Navy po raz pierwszy opublikowała swoje Tabele Nurkowań Powtórzeniowych, był to znaczący krok naprzód. Wcześniej, czasy denne wielokrotnych nurkowań były po prostu dodawane do siebie - przez co drugie lub trzecie nurkowanie danego dnia były znacznie skrócone, lub nakładały obowiązek odbywania długiej dekompresji. US Navy z powodzeniem przetestowało swoje Tabele Nurkowań Powtórzeniowych, i w 1956 zostały one oficjalnie zatwierdzone do stosowania we flocie.

Nurkowania powtórzeniowe - podejście DSAT

Przez mniej więcej trzy dekady, Tabele Nurkowe US Navy stanowiły punkt odniesienia względem prawidłowego nurkowania powtórzeniowego. Jednak w 1987 dr Micheal Powell z Institute of Applied Physiology and Medicine (IAPM) w Seattle w stanie Washington rozpoczął serię nowych eksperymentów hiperbarycznych. Testował nową hipotezę dotyczącą nurkowania powtórzeniowego, która miała stać się podstawą Planera Nurkowań Rekreacyjnych (Recreational Dive Planner - RDP) skonstruowanego przez DSAT (Diving Science and Technology), a rozpowszechnianego przez PADI.

Pomysł narodził się w głowie dr Raya Rogersa, który wnioskował, że ponieważ nurkowie rekreacyjni często nurkują znacznie inaczej od nurków marynarki, to być może inny zestaw tabel nurkowych byłby dla nich bardziej odpowiedni. Przede wszystkim, Rogers proponował, że nurkowania powtórzeniowe dla nurków rekreacyjnych, mieszczących się w limitach bezdekompresyjnych krótszych niż dozwolone w tabelach US

Navy, mogłyby się opierać o szybszy, 60-minutowy półokres. Oznaczało to, że limity bezdekompresyjne nurków powtórzeniowych dla nurków rekreacyjnych korzystających z RDP wyliczane były przy założeniu szybszej eliminacji azotu na powierzchni - co oznaczałoby dłuższe nurkowanie dozwolone po określonej przerwie powierzchniowej, lub krótszą wymaganą przerwę powierzchniową dla umożliwienia danego nurkowania.

Bez wchodzenia w obliczenia teoretyczne, sam możesz ocenić korzyści wynikające z zastosowania teorii Rogersa: korzystając z Tabeli Nurków Powtórzeniowych US Navy, zaplanuj nurkowanie powtórzeniowe na określonej głębokości, po dowolnym pierwszym nurkowaniu i przerwie powierzchniowej. Sprawdź w tabeli czas zalegania azotu (Residual Nitrogen Time - RNT) dla nurkowania powtórzeniowego, i wydłuż czas przerwy powierzchniowej o dwie godziny. Generalnie, stwierdzisz, że RNT obniża się do mniej więcej połowy wartości wyjściowej. Na przykład, do przejścia z grupy powtórzeniowej G do D w tabeli US Navy potrzeba mniej więcej dwóch godzin, i w tym czasie na głębokości 30 metrów w Tabeli Nurków Powtórzeniowych US Navy nastąpi redukcja RNT z 26 minut do 14 minut.

Teraz wykonaj to samo ćwiczenie z RDP. Stwierdzisz, że wymagana przerwa powierzchniowa do obniżenia RNT o połowę wyniesie godzinę, a nie dwie. Aby porównać z wcześniejszym przykładem, w ciągu godziny następuje przejście z grupy powtórzeniowej H do grupy B, a na głębokości 30 metrów RNT obniży się z 12 minut do 6 minut.

Wypróbuj swoje własne przykłady, lecz pamiętaj, by do porównania używać RNT, ponieważ różne czasy bezdekompresyjne na dwóch tabelach mogą wprowadzić zamieszanie. W niektórych przykładach widać to wyraźniej niż w innych, ale ogólnym wnioskiem jest, że przerwy powierzchniowe zgodne z hipotezą Rogersa są mniej więcej o połowę krótsze niż wymagane przez US Navy. Można powiedzieć, że każda hipoteza skracająca czas wymaganej przerwy powierzchniowej o połowę może być nazwana rewolucyjną... o ile działa. Jak stwierdziliśmy wcześniej, można ufać modelowi dekompresyjnemu tylko jeśli sprawdza się podczas rzeczywistych nurkowań.

Z całym szacunkiem do obliczeń Rogersa, DSAT zastosował się do tej filozofii i zdecydował się przetestować nowy model. Eksperymenty mające na celu wypróbowanie RDP zostały przeprowadzone w IAPM pod przewodnictwem dr Powella. Na dane testowe złożyły się 2943 nurkowania, częściowo w wodzie, częściowo zaś symulowane w komorach ciśnieniowych; przy pomocy detektora Dopplera, wszyscy nurkowie byli badani, czy w ich krwiobiegu nie powstają pęcherzyki.

Tylko w 301 z tych nurkowań wykryto mierzalną ilość pęcherzyków, i wystąpił zaledwie jeden przypadek choroby dekompresyjnej - zatem ryzyko DCS wyniosło zaledwie 0,03%. Testy przeprowadzone były w powtarzalnych i dokładnie kontrolowanych warunkach, i bezsprzecznie zakończyły się powodzeniem. Potwierdziły, że nawet jeśli model Rogersa wydawał się radykalny, to miał jedną wielką zaletę - działał. Jako dodatek do testów hipotezy Rogersa dotyczącej nurkowań powtórzeniowych, badania DSAT potwierdziły też wcześniejsze odkrycia Karla Hugginsa z University of Michigan, który wcześniej na mniejszą skalę przeprowadził testy dotyczące nurkowania wielopoziomowego. Dzięki temu, eksperymenty DSAT stanowiły pierwszy niezaprzeczalny dowód, że nurkowanie wielopoziomowe i nowe, bardziej liberalne nurkowanie powtórzeniowe mogą być bezpiecznie łączone.

RDP - Planer Nurków Rekreacyjnych

Pojawienie się Planera Nurków Rekreacyjnych (Recreational Dive Planner - RDP) stanowiło ważny krok w planowaniu nurkowań bezdekompresyjnych. Jego debiut poprzedziły trzy lata przygotowań, rozpoczętych od badań nad harmonogramami nurkowań specyficznymi dla nurków rekreacyjnych. Było to pierwsze zaplanowane na dużą skalę przedsięwzięcie nastawione na bezdekompresyjne nurkowania rekreacyjne. Tabele RDP wprowadziły trzy podstawowe modyfikacje, które usunęły większość trudności jakie mieli nurkowie rekreacyjni stosujący tabele US Navy - które przez szereg lat w wielu częściach świata były praktycznie jedynymi w powszechnym użyciu.

Po pierwsze, w RDP zmieniono kompartment kontrolujący przerwy powierzchniowe na lepiej dostosowany do nurków rekreacyjnych. Poprzednio używany przedział tkankowy był dostosowany do nurków dekompresyjnych prowadzonych przez nurków wojskowych i komercyjnych. Po drugie, zwiększono liczbę grup powtórzeniowych dla zwiększenia precyzji i usunięcia niepotrzebnych kar czasowych wynikających z zaokrąglania, a po trzecie zwiększono konserwatyzm przy określaniu maksymalnego dopuszczalnego nasycenia azotem.

Lepiej dobrany półokres - Nurkowanie rekreacyjne definiuje się jako takie, przy którym nie przekracza się limitów bezdekompresyjnych ani głębokości 40 metrów podczas nurkowania na powietrzu, lub głębokości na której ciśnienie parcjalne tlenu wynosi 1,4 bara podczas nurkowania na wzbogaconym powietrzu. Przy tych ograniczeniach, teoretyczne tkanki o długich półokresach (tkanki wolne) nie zbliżają się do limitów

saturacji. Praktycznie jest zatem stosować pólkresy używane dla obliczania przerw powierzchniowych inne niż te stosowane w tabelach US Navy.

Tabele US Navy wyliczały przerwy powierzchniowe na podstawie kompartimentu o 120-minutowym pólkresie, jak najbardziej poprawnie przy planowaniu wojskowych nurkowań dekompresyjnych - ze względu na wysoki poziom azotu w tkankach nurka po nurkowaniu wymagającym wykonywania przystanków dekompresyjnych. Jednak dla zastosowania przez osoby odbywające wyłącznie nurkowania bezdekompresyjne (rekreacyjne), wybór przedziału o tak długim pólkresie wiązałby się z niepotrzebnymi ograniczeniami.

Prowadząc dokładne analizy komputerowe, dr Raymond Rogers, twórca RDP, poszukiwał pólkresu, który wyliczałby czas przerwy powierzchniowej odpowiednio dla nurków rekreacyjnych. Stwierdził, że 40-minutowe pólkresy byłyby odpowiednie dla niemal wszystkich rozsądnych profili nurkowań bezdekompresyjnych. Jednak niewielka część profili, głównie te zawierające wielokrotne, długie i płytkie (poniżej 15m) nurkowania, wymagałyby pólkresów dłuższych niż 40 minut. Dla zwiększenia bezpieczeństwa, model RDP został oparty o kompartiment o 60-minutowym pólkresie, który zapewnia bezpieczeństwo podczas odbywania ogromnej większości profili bezdekompresyjnych, i jedynie nieznacznie skraca czasy nurkowań powtórzeniowych w stosunku do modelu opartego na przedziale 40-minutowym. Pozostaje niewiele profili - bardzo długich, płytkich nurkowań bezdekompresyjnych, które mogłyby być kontrolowane przez kompartymenty o pólkresach dłuższych niż 60 minut. Model RDP rozwiązał ten problem przez dodanie dwóch zasad - reguł WX i YZ, ponieważ wybranie przedziału o jeszcze dłuższym pólkresie niepotrzebnie skracałoby wszystkie nurkowania powtórzeniowe, tylko dla uwzględniania profili rzadko stosowanych w rzeczywistych sytuacjach nurkowych.

Więcej grup powtórzeniowych - Dla nurkowań bezdekompresyjnych, tabele US Navy wprowadzały 14 grup ciśnieniowych jako odzwierciedlenia ilości azotu zalegającego w tkankach po nurkowaniu. W RDP zwiększono tę ilość do 26, eliminując przez to niepotrzebne zaokrąglenia w obliczeniach czasu odsycania podczas przerwy powierzchniowej.

Więcej konserwatyzmu - Choć użycie 60-minutowego przedziału zwiększa czasy nurkowań powtórzeniowych, to w porównaniu z tabelami US Navy, w RDP zmniejszono maksymalne poziomy azotu dopuszczalne w tkankach teoretycznych. Skraca to czas bezdekompresyjny pierwszego nurkowania w porównaniu z tabelami US Navy, i jest zgodne z zaleceniami lekarzy, by nurkowie rekreacyjni stosowali limity bardziej konserwatywne niż nurkowie wojskowi i komercyjni. Obecnie, te obniżone limity stały się niemal standardem w społeczności nurkowej.

Zatem, w zależności od profilu nurkowania, RDP skraca pierwsze nurkowanie, ale w mniejszym stopniu ogranicza nurkowania powtórzeniowe, ponieważ oparcie wyliczeń eliminacji azotu z organizmu o przedział 60-minutowy pozwala na skrócenie przerwy powierzchniowej mniej więcej o połowę w stosunku do wyliczeń opartych o kompartiment 120-minutowy, jak w tabelach US Navy. W rezultacie, podczas kolejnych nurkowań nurek stosujący RDP nadrabia z nawiązką skrócony czas pierwszego nurkowania (w stosunku do czasu dozwolonego przez tabele US Navy), przez cały czas pozostając w bardziej konserwatywnych limitach poziomu azotu. Od momentu wprowadzenia RDP, producenci sprzętu wypuścili na rynek dziesiątki typów komputerów. Prawie wszystkie opierają się o bardziej konserwatywne poziomy nasycenia tkanek, i stosują bardziej odpowiednie przedziały przy wyliczaniu nurkowań powtórzeniowych.

W porównaniu z tabelami US Navy, dla nurka rekreacyjnego wyraźne są korzyści ze stosowania tabel RDP - używanie 60-minutowego przedziału dla obliczeń eliminacji azotu, i większej ilości grup powtórzeniowych. Przy nurkowaniu z użyciem tabel US Navy, przeciętne nurkowanie kończyło się w jednej z grup powtórzeniowych E do H. Dla tych nurkowań, zazwyczaj potrzeba było około 45 minut dla zmniejszenia grupy o jedną - i uwzględnienia tym samym eliminacji azotu podczas przerwy powierzchniowej, półtorej godziny dla zmniejszenia o dwie grupy, i ponad dwóch godzin dla zmniejszenia o trzy grupy. Tymczasem w trakcie wielu wyjazdów nurkowych pomiędzy nurkowaniami mija mniej niż dwie godziny, a na jednodniowych rejsach czarterowych, czas przerwy powierzchniowej jest często krótszy niż 45 minut. RDP znacznie szybciej przyznaje „punkty” za czas spędzony na powierzchni. Korzystający z RDP nurek zazwyczaj zmienia grupy powtórzeniowe co 4 do 5 minut. Po typowym nurkowaniu i przerwie powierzchniowej trwającej 30 minut, nurek zmienia 5 do 8 grup powtórzeniowych. Ma to szczególne znaczenie podczas planowania więcej niż dwóch nurkowań. Nurkowania powtórzeniowe zabronione przez tabele US Navy nie tylko stają się możliwe przy wykorzystaniu RDP, ale także mają rozsądne czasy denne.

	tabele US Navy	RDP	tabele US Navy	RDP
	Czas	Czas	Grupa	Grupa

	bezdekompresyjny	bezdekompresyjny	powtórzeniowa	powtórzeniowa
Nurkowanie I				
Głębokość 24 metry	40 minut	30 minut		
Rzeczywisty czas dennej	30 minut		G	R
Przerwa powierzchniowa	30 minut		J	K
Nurkowanie II				
Głębokość 18 metrów	16 minut	26 minut	J	R
Rzeczywisty czas dennej	15 minut		J	K
Przerwa powierzchniowa	30 minut			
Nurkowanie III				
Głębokość 18 metrów	niedozwolone	26 minut		

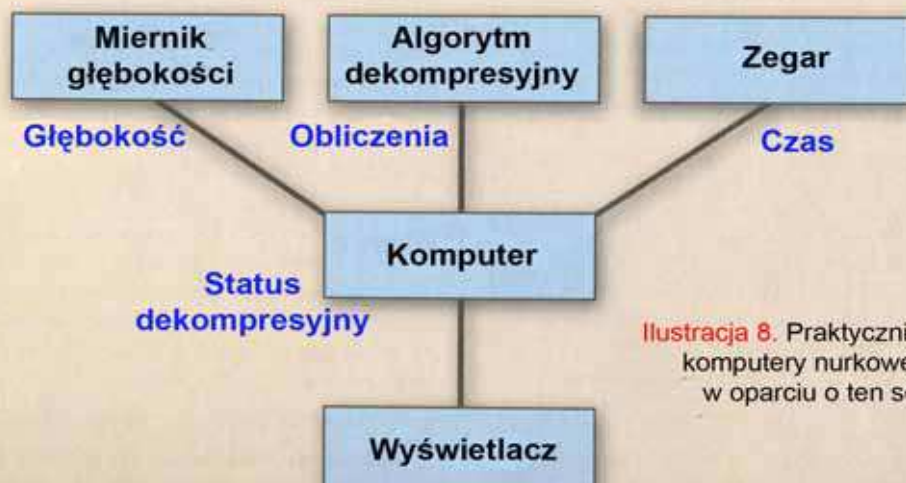
Nazywa się Hannes Keller, jest młodym szwajcarskim matematykiem i nauczycielem inżynierii, zafascynowanym nurkowaniem. Chciałby skonstruować specjalne tabele, które umożliwiłyby nurkom schodzenie na głębokości większe niż 305 metrów - ale ma problem. Musiałby spędzić dostojnie tysiące godzin nad obliczeniami; a ponieważ jest rok 1958, komputery są rzadkie i bardzo drogie. Ale Keller jest pewny siebie: odwiedza biuro IBM w Zurichu i odważnie prosi o przyznanie darmowego czasu komputerowego na realizację swojego projektu. IBM ofiaruje mu cztery godziny, które Keller wykorzystuje do skonstruowania ponad 400 tabel, sięgających do głębokości 396 metrów. Gdyby prowadził obliczenia ręcznie, potrzebowałby na to ponad dwóch lat.

Cztery lata później, Keller z powodzeniem nurkuje na głębokość 330 metrów koło wyspy Catalina u wybrzeży Kalifornii, korzystając ze swoich tabel dla mieszanek gazowych. Jego prace, choć nie bezpośrednio użyteczne dla nurkowania rekreacyjnego, stanowiły ważny krok w rozwoju tabel nurkowych: udowodniły przydatność komputerów. Ich prędkość wkrótce uwolni twórców tabel od żmudnych obliczeń, redukując dni obliczeń do minut. Ale w 1958 roku zapewne nawet Keller nie wyobrażał sobie dnia, w którym noszone przez nurków komputery będą generowały indywidualne profile dekompresyjne podczas nurkowania - a niektóre będą uwzględniać zmiany siedmiu lub więcej mieszanek gazowych podczas nurkowania

Komputery nurkowe



Komputery nurkowe stały się nieodłącznym elementem wyposażenia dla większości nurków, tak że rzadko na łodzi safari można spotkać nurka bez jednego z nich.



Ilustracja 8. Praktycznie, wszystkie komputery nurkowe działają w oparciu o ten schemat

Komputery nurkowe stały się nieodłącznym elementem wyposażenia dla większości nurków, tak że rzadko na łodzi safari można spotkać nurka bez jednego z nich.

Określenie „komputer nurkowy” jest jednym z kilku, które stosowane były przez społeczność nurkową przez ponad dekadę - oprócz takich jak decompression meter, decompression computer, deco-meter i wielu innych. Podczas przeprowadzonych w 1988 roku warsztatów Amerykańskiej Akademii Nauk Podwodnych (The American Academy of Underwater Sciences - AAUS) poświęconych komputerom nurkowym, zebrano co najmniej 22 nazwy i akronimy używane do opisu tego urządzenia. Jednak ostatecznie uczestnicy warsztatów zgodzili się na określenie „komputer nurkowy” - dive computer, które zostało powszechnie przyjęte.

W momencie pisania tego podręcznika, w Ameryce Północnej sprzedawano kilkanaście modeli komputerów nurkowych, a na świecie dostępnych było wiele innych modeli. Występowały one w niesłychanej różnorodności kształtów i rozmiarów, ale wszystkie były odmianami podstawowego urządzenia przedstawionego na Ilustracji 8.

Komputer nurkowy dysponuje dwoma „zmysłami” - głębokości i czasu, oraz posiada wyświetlacz (najczęściej ciekłokrystaliczny - LCD) na którym nurek może odczytywać informacje. Komputery nurkowe, tak jak wszystkie komputery, dokonują obliczeń i przeliczają liczby bardzo dokładnie i szybko, lecz nie mogłyby wiele zdziałać bez informacji na temat sposobu dokonywania obliczeń! Ta informacja dostarczana jest w formie modelu dekompresyjnego (w dalszym tekście - algorytmu) zaprogramowanego w komputerze.

Model dekompresyjny objaśnia komputerowi, co ma zrobić z danymi dostarczonymi z detektorów głębokości i czasu.

W nurkowaniu rekreacyjnym, podstawową rolą komputerów jest informowanie nurka, kiedy zbliża się - lub osiąga - limit bezdekompresyjny, tak żeby mógł on zmieścić się w tym limicie. Wszystkie komputery wyświetlają głębokość, pozostały czas bezdekompresyjny, i czas dotychczasowego nurkowania. Oprócz tych podstawowych informacji, komputery nurkowe podają szereg dodatkowych informacji - innych niemal w każdym z dostępnych komputerów nurkowych (bardziej szczegółowo omówionych w Rozdziale III).

Możliwe jest używanie komputerów do planowania nurkowania - przez przewijanie czasów bezdekompresyjnych na różnych głębokościach przed nurkowaniem lub w czasie przerwy powierzchniowej; jednak tylko niektóre komputery nurkowe umożliwiają planowanie nurkowań wielopoziomowych lub serii nurkowań powtórzeniowych. Zatem do takiego planowania ciągle będziesz musiał użyć tabel nurkowych (lub oprogramowania dekompresyjnego do laptopa/komputera stacjonarnego, zwłaszcza jeśli jesteś nurkiem technicznym).

Jeśli przekroczysz limit bezdekompresyjny, większość komputerów wyświetli głębokość pierwszego przystanku dekompresyjnego oraz czas wymaganej dekompresji. W komputerach przeznaczonych przede wszystkim dla nurków rekreacyjnych ta funkcja jest zwykle bardzo uproszczona - wystarczająca zaledwie do doprowadzenia cię na powierzchnię jeśli omyłkowo przekroczysz limity. Komputery nurkowe przeznaczone dla nurków technicznych dostarczają bardziej szczegółowe informacje dotyczące dekompresji.

Obecnie niemal wszystkie komputery nurkowe posiadają jakiś rodzaj wskaźnika tempa wynurzenia - wizualny, dźwiękowy, lub oba jednocześnie. Do informacji wyświetlanych opcjonalnie należy głębokość maksymalna oraz całkowity czas dennej, co jest szczególnie przydatne wtedy, gdy jesteś oczekiwany na łodzi o konkretnej godzinie. Niektóre komputery mierzą ciśnienie w butli, i oprócz czasu pozostałego do osiągnięcia limitu bezdekompresyjnego podają, na ile czasu wystarczy ci powietrza.

Coraz większa liczba komputerów nurkowych może być używana z wzbogaconym powietrzem - nitroksen, co wiąże się z podawaniem przez nie limitów dotyczących ciśnienia parcjalnego tlenu (PO₂). Zazwyczaj, PO₂ jest wyświetlane, tak żebyś mógł pozostać w przyjetych granicach (np. 1,4 bara) i uniknąć poważnych problemów wynikających z toksyczności tlenu - co omówiono wcześniej. Wreszcie, większość nurków od czasu do czasu styka się z problemem latania po nurkowaniu, zdarza się też nurkowanie na wysokości - i komputery nurkowe także są tutaj pomocne. Wkrótce omówimy te zagadnienia bardziej szczegółowo. Przy wszystkich tych opcjach, charakterystykach i możliwościach należy pamiętać o jednej rzeczy podczas używania komputera. Podobnie jak tabele nurkowe, jego obliczenia opierają się o modele teoretyczne, którym możemy ufać tylko wtedy, gdy są przetestowane podczas rzeczywistych nurkowań. Komputery nurkowe mogą wykonywać obliczenia na podstawie modelu w sposób bardziej elastyczny niż zostało to zrobione w tabeli, ale sam model nie jest bardziej wiarygodny w formie elektronicznej niż w formie drukowanej.

Jak na razie, komputery nurkowe nie mierzą żadnych parametrów fizycznych w twoim ciele - one tylko mierzą głębokość, odczytują czas i przeliczają uzyskane dane. Chociaż mogą eliminować niepotrzebne zaokrąglanie i wydłużać czas nurkowania przez dokładne śledzenie twojego profilu, opierają się na dokładnie tych samych zasadach dotyczących nurkowania powtórzeniowego, wielopoziomowego i dekompresyjnego, co tabele nurkowe.

Limity bezdekompresyjne

Pewien kardiolog bierze udział w konferencji „Człowiek na morzu” w Seattle w stanie Waszyngton, w późnych latach 60. Zainteresowany jest ssakami morskimi, a nie człowiekiem czy chorobą dekompresyjną. Jednak zwyczajna rozmowa miała zupełnie zmienić bieg jego kariery, a nauce o dekompresji dać potężne narzędzie, którego tak potrzebowała.

Nazywa się dr Merrill Spencer, i prowadził badania nad użyciem dopplerowskiego ultradźwiękowego przepływomietru do opisu krążenia krwi w organizmie. Rozmowa z fizjologiem nurkowania schodzi na temat pęcherzyków, a Spencer wzmiąkuje, że podczas kalibracji dopplerowskiego przepływomietru stwierdził, że pęcherzyki przepływające przez plastikowe rurki są łatwo wykrywalne. Implikacje tego co powiedział są ogromne: dopplerowski przepływomierz może wykrywać pęcherzyki w ludzkim układzie krwionośnym! To jest przełom o którym marzyli naukowcy zajmujący się medycyną hiperbaryczną.

W ciągu kilku miesięcy Spencer rozpoczął eksperymenty hiperbaryczne. Jego doświadczenia z przepływomierzem potwierdziły to, co przewidywano od lat: pęcherzyki mogą się tworzyć w ludzkim ciele w ilościach mniejszych niż te, które powodują chorobę dekompresyjną. Spencer określa te nie

powodujące objawów pęcherzyki jako „pęcherzyki nieme”, silent bubbles. W ciągu dziesięciu lat, nazwisko Spencer stanie się niemal synonimowe dla dopplerowskiego przepływomierza ultradźwiękowego, niemych pęcherzyków i badań nad dekompresją

Limitom bezdekompresyjnym dotyczącym nurków rekreacyjnych poświęcono trzy duże eksperymenty, przeprowadzone przez Spencera (1976), Thalmanna (1984) oraz Powella, Spencera i Rogersa (1987). Dr Merrill Spencer z Institute of Applied Physiology and Medicine badał detektorem Dopplera nurków nurkujących aż do limitów bezdekompresyjnych tabel US Navy, i poszukiwał u nich oznak choroby dekompresyjnej. Każdy z kolejnych testowanych przez niego profili skutkował wystąpieniem dużej ilości niemych pęcherzyków, i przynajmniej jednym przypadkiem choroby dekompresyjnej.

18 metrów przez 60 minut

21 metrów przez 50 minut

8 metrów przez 720 minut

Jedynym zmierzonym przez niego przykładem czasu dennego przekraczającym limity tabel US Navy było 45,7 metra przez 10 minut. Badania Spencera wskazywały, że konserwatywne korzystanie z tabel nurkowych (już wtedy zalecane przez większość organizacji szkoleniowych) rzeczywiście było potrzebne. Spencer proponował skrócenie limitów bezdekompresyjnych dla nurków rekreacyjnych, chociaż w tym czasie jeszcze nie zweryfikowano niezależnie jego badań.

Komandor Edward Thalmann z Jednostki Nurkowania Eksperymentalnego US Navy przeprowadził w 1984 roku badania, które na pierwszy rzut oka przeczyły wnioskowi Spencera. Ponieważ testy Spencera przeprowadzone były na ograniczonej liczbie nurków, badania Thalmanna wprowadziły nieco zamieszania odnośnie stosownych limitów bezdekompresyjnych. Thalmann dążył do wydłużenia limitów bezdekompresyjnych US Navy, i wykonał pomiary podczas 107 nurkowań, bez wystąpienia żadnych przypadków DCS:

18 metrów przez 66 minut

30 metrów przez 30 minut

37 metrów przez 24 minuty

45 metrów przez 14 minut

Jednak dokładniejsza analiza raportu Thalmanna wydaje się wyjaśniać pozorne sprzeczności. Podczas jego eksperymentów, wykonywany był krótki przystanek dekompresyjny na głębokości 3 metrów - a czas spędzony na tych przystankach nie został zanotowany; można zatem uznać, że były to raczej nurkowania dekompresyjne. W każdym razie, problemem jest to, że ciężko precyzyjnie określić „właściwe” limity bezdekompresyjne.

Wyniki uzyskane przez Thalmanna wskazują, że jeśli występowanie klinicznych objawów DCS jest jedynym sposobem diagnozy (Thalmann nie stosował detektora Dopplera do oceny stanu nurków), to znacznie ważniejsze jest to, co nie działa, niż to, co może działać czasami. Dobrą analogią jest przejazd samochodem na czerwonym świetle z prędkością 160 km/h: czasem może się to udać, co jednak nie kwalifikuje takiego postępowania jako racjonalnego.

Omówione wcześniej testy prowadzone przez dr Michaela Powella były pierwszymi, które w sposób naukowy zweryfikowały wyniki uzyskane przez Spencera. Powell analizował profile o skróconych czasach bezdekompresyjnych, bardzo zbliżonych do tych zaproponowanych przez Spencera. Ograniczenia te odpowiadały w przybliżeniu zmniejszeniu o 3 metry głębokości z tabel US Navy, i wyniosły np. 20 minut na głębokości 30 metrów, 25 minut na głębokości 27 metrów, i tak dalej. Jak wspomniano wcześniej, w tych badaniach sporadycznie stwierdzano więcej niż tylko drobne ilości pęcherzyków.

Co model dekompresyjny stanowi w związku z „właściwymi” czasami bezdekompresyjnymi? Nic. Jak wspomniano wcześniej, żaden istniejący model ludzkiej fizjologii nie może przewidzieć limitów bezdekompresyjnych. Muszą być one ustalane eksperymentalnie, i tylko modele dekompresyjne skonstruowane w oparciu o tak uzyskane dane mogą być stosowane w rozmaitych sytuacjach nurkowych. Jedynie przewidywania, które podczas testów prowadzonych w kontrolowanych warunkach okazały się zapewniać akceptowalny, minimalny poziom ryzyka, mogą być stosowane do planowania rzeczywistych nurkowań, i dlatego musimy się odwoływać do bazy danych wyników testów Spencera i Powella.

Nurkowanie wielopoziomowe

Są lata 50., 60., 70. lub wcześnie 80. i nurek - jakkolwiek nurek - ostrożnie opada na głębokość 30 metrów, na której limit bezdekompresyjny US Navy wynosi 25 minut. Po 10 minutach, wypytywa na

głębokość 18 metrów, później na 15 metrów, wreszcie na 12 metrów. Pozostałe 15 minut przemija błyskawicznie, i nurek z ociąganiem wynurza się, zmuszony do tego przez nieelastyczność limitu bezdekompresyjnego. Czuje się oszukany. Na głębokości 12 metrów jego organizm absorbuje azot powoli, lecz gdyby został na 30 metrach, dozwolony czas jego nurkowania byłby taki sam. Musi być jakaś możliwość brania pod uwagę czasu spędzonego na mniejszej głębokości i wydłużenia czasu całkowitego nurkowania!

Ta sytuacja powtarza się u setek nurków i podczas setek zanurzeń, nurkowanie za nurkowaniem, przez 35 lat. Nurkowie komercyjni opracowują metodę ekstrapolowania czasów z tabel US Navy, tak by brać pod uwagę wolniejszą absorpcję azotu na mniejszych głębokościach. Pierwsze nie-elektroniczne „deko-metry” usiłują odwzorować absorpcję azotu przez ciało, i biorą pod uwagę czas spędzony płyciej. Inni nurkowie wydłużają czasy „na oko”. Pomimo intuicyjnej świadomości że nurkowanie wielopoziomowe musi być możliwe, musi upłynąć prawie 35 lat, zanim przewidywania zostaną podparte badaniami, testami i analizą statystyczną

Jak napisano wcześniej, gdybyś odbywał tylko jedno nurkowanie bezdekompresyjne dziennie, i każdorazowo na tę samą głębokość, to nie potrzebowałbyś właściwie ani tabel nurkowych, ani komputera nurkowego. Jeśli odbywałbyś nurkowania powtórzeniowe, ograniczając czas twoich nurkowań do czasów zestawionych w tabeli nurkowej dla najgłębszego punktu twojego profilu, potrzebujesz wprawdzie tabel nurkowych, lecz wciąż mógłbyś się obyć bez komputera nurkowego. Komputer nurkowy oszczędza ci nieco roboty, ale jeśli nie przeszkadza ci ograniczanie czasu nurkowania do limitów bezdekompresyjnych wyliczonych dla jednej, maksymalnej głębokości, to praktycznie jedyną korzyścią wynikającą z posiadania komputera jest wyliczanie czasu bezdekompresyjnego w oparciu o twoją rzeczywistą głębokość, a nie o głębokość zaokrągloną w górę, do następnej wartości występującej w tabeli.

Jeśli jednak chcesz zaplanować i przeprowadzić rzeczywiste nurkowanie wielopoziomowe, komputer nurkowy jest praktycznie niezbędny. Wprawdzie możesz zaplanować nurkowanie wielopoziomowe z kołową wersją RDP - The Wheel, jednak komputer zapewnia znacznie większą elastyczność i wydłużenie czasu nurkowania. Wprowadzenie komputerów nurkowych zrewolucjonizowało nurkowanie, a najważniejszą częścią tej rewolucji było właśnie umożliwienie odbywania nurkowań wielopoziomowych.

Nurkowanie wielopoziomowe jest sposobem bezpiecznego wydłużania czasu dennego znacznie powyżej limitów bezdekompresyjnych dla największej głębokości. Na poziomie modelu, wygląda następująco: przypuśćmy, że pierwsze nurkowanie zamierzasz odbyć na głębokość 36,5 metra. W trybie planowania, twój komputer wyświetla, że bezdekompresyjny czas nurkowania na tej głębokości wynosi 10 minut. Rozpoczynasz nurkowanie, schodzisz na zaplanowaną głębokość, i po 10 minutach twój komputer sygnalizuje, że czas bezdekompresyjny dobiegł końca (w przykładzie dochodzimy do limitów, aby wyraźniej zademonstrować metodę, a nie dlatego że jest to dobry pomysł!). Pozostały czas bezdekompresyjny wynosi 0, i twój komputer sygnalizuje - przez migotanie cyfr na wyświetlaczu, pojawiające się strzałki, sygnały dźwiękowe itd. - że musisz rozpocząć wynurzanie, bo w przeciwnym wypadku będziesz musiał wykonać przystanek bezdekompresyjny.

Rozpoczynasz wynurzanie, lecz na głębokości około 24 metrów zachodzi ważna zmiana. Czas bezdekompresyjny nie wynosi już 0; zaczyna się wydłużać, a im płycej się znajdujesz, tym więcej czasu ci pozostaje.

Nie usunąłeś z organizmu azotu - w każdym razie, nie była to znacząca ilość. Wydłużenie czasu wynika ze funkcjonowania modelu. Wcześniej dowiedziałeś się, że 5-minutowy kompartment kontrolował czas denny na głębokości 36,5 metra. Jednak na głębokości 24 metrów 5-minutowy kompartment nie odgrywa już więcej roli - nie może osiągnąć dopuszczalnego nasycenia azotem. Na mniejszych głębokościach, to wolniejsze przedziały kontrolują czas denny.

W miarę wynurzania, przedziały kontrolujące ulegają zamianie na coraz wolniejsze, ponieważ wynurzasz się ponad głębokości, na których kolejne kompartmenty szybsze mogą osiągnąć dopuszczalne nasycenie azotem. Ponieważ te wolniejsze przedziały nie osiągnęły jeszcze dopuszczalnych limitów, czas bezdekompresyjny ulega wydłużeniu. Jeśli będziesz kontynuować powolne wynurzanie przez cały czas nurkowania, twoje nurkowanie na głębokość 36,5 metra może w rzeczywistości trwać ponad 60 minut, i wreszcie zmuszony będziesz do wynurzenia z powodu wyczerpania powietrza, a nie z powodu wykorzystania całości czasu bezdekompresyjnego.

Brzmi to świetnie, ale czy jest bezpieczne? Raz jeszcze, wszystkie modele bezdekompresyjne wymagają weryfikacji. Gdy na początku lat 80. komputery nurkowe po raz pierwszy pojawiły się w użyciu, dr Carl Edmonds miał wątpliwości odnośnie nurkowania wielopoziomowego: "Nie było przeprowadzonych wystarczających testów, potwierdzających tę koncepcję". Wówczas miał właściwie rację. Karl Huggins

przeprowadził ograniczone (choć uwieńczone powodzeniem) testy w roku 1983, ale dopiero w 1987 testy Powella, dotyczące 3000 ekspozycji w różnych kombinacjach nurkowań wielopoziomowych i powtórzeniowych, doprowadziły do uzyskania wyników ostatecznie uwiarygadniających koncepcje nurkowań wielopoziomowych i powtórzeniowych. Od tego czasu, nurkowanie wielopoziomowe stało się podstawowym rodzajem nurkowania rekreacyjnego, i miliony nurków wielopoziomowych wykonywane są każdego roku - co nie skutkuje znaczącym wzrostem ilości przypadków choroby dekompresyjnej. Bez wątplenia, nurkowanie wielopoziomowe jest wiarygodną i sprawdzoną koncepcją.

Dawniej nurkowie próbowali stosować tabele US Navy do planowania nurkowań wielopoziomowych. Traktowano każdą głębokość jak nurkowanie, a późniejszy pobyt na mniejszej głębokości jako nurkowanie powtórzeniowe bez przerwy powierzchniowej. Problem z tym podejściem polegał na tym, że mogłoby prowadzić do odbywania nurkowań znacznie wykraczających poza przetestowane profile, a nawet powyżej poziomów dozwolonych przez model dekompresyjny. Wynika to z faktu, że „powtarzanie się” - repetting up, jak nazywane było to podejście, nie zawsze brało pod uwagę nasycenie azotem nowego przedziału kontrolującego.

Jedynym wyjątkiem jest The Wheel - kołowa wersja DSAT-owskiego Planera Nurkowań Rekreacyjnych, rozpowszechniana przez PADI. Podstawowym celem testowania profili wielopoziomowych przez Powella była weryfikacja kołowej wersji RDP, której forma doprowadziła do uproszczenia planowania nurkowań wielopoziomowych, jak również korzystania z innych funkcji Planera, w porównaniu z tabelami konwencjonalnymi. Jednak ani DSAT, ani PADI nie utrzymują, że The Wheel może stanowić substytut komputera nurkowego. Choć kołowa wersja RDP umożliwia planowanie nurkowań wielopoziomowych, nie może precyzyjnie śledzić twojego profilu tak jak komputer; nie jest też równie wygodna. Choć nurkowanie powinno przebiegać z większej głębokości do mniejszej, komputer nurkowy może prowadzić obliczenia przy powrocie na większą głębokość; The Wheel nie ma takiej możliwości.

Mimo to, możliwość planowania nurkowań wielopoziomowych przez The Wheel sprawia, że jest ono dogodne jako urządzenie zapasowe. W razie awarii komputera podczas kosztownego wyjazdu nurkowego, lepsze jest ograniczone i mniej dogodne nurkowanie wielopoziomowe niż żadne. Kołowa wersja RDP jest też świetnym narzędziem do planowania nurkowań z komputerem, ponieważ jest najłatwiejszym sposobem szacowania, ile czasu można pozostać na danej głębokości podczas odbywania nurkowania wielopoziomowego.

Istnieje wygodna zasada przybliżonego wyliczania ekwiwalentnego czasu azotu (equivalent nitrogen time - ENT) na drugiej głębokości podczas dwupoziomowego, pojedynczego nurkowania. Po prostu, pomnóż czas na pierwszej głębokości przez tę głębokość, i następnie podziel przez drugą głębokość. Możesz stosować tę metodę do planowania nurkowania z komputerem jeśli nie masz The Wheel, lecz nie do stosowania innego typu tabeli do planowania nurkowań wielopoziomowych.

$$ENT2 = (D1 \times T1) \div D2$$

Na przykład, wyobraź sobie że chcesz spędzić 20 minut na głębokości 30 metrów, a następnie wynurzyć się do głębokości 15 metrów. ENT dla tego przykładu wyniesie 40 minut: $(20 \times 30) \div 15 = 40$. Następnie odejmij wyliczony ENT od limitu bezdekompresyjnego dla drugiej głębokości. Limit bezdekompresyjny dla głębokości 15 metrów wynosi 80 minut. $80 - 40 = 40$, zatem możemy liczyć na dodatkowe 40 minut czasu bezdekompresyjnego na drugiej głębokości.

Jeśli ty i twój partner korzystacie z różnych typów komputerów, możecie zauważyć, że podczas wynurzania komputery podają wam różne czasy bezdekompresyjne na różnych głębokościach. Nie licząc drobnych różnic w głębokościach na jakich byliście, różne dopuszczalne czasy bezdekompresyjne zależą od ustawień modelu samego komputera. Komputer, który podaje krótsze czasy bezdekompresyjne podczas planowania, będzie też podawał krótsze czasy podczas samego nurkowania - przy założeniu, że pozostałe parametry są takie same.

Nurkowanie powtórzeniowe

Jedną z różnic między nurkami rekreacyjnymi a wojskowymi (oprócz, oczywiście, celu samego nurkowania!) jest to, że nurkowie rekreacyjni często wykonują nurkowania powtórzeniowe, podczas gdy nurkowanie militarne często wymaga odbywania dekompresji, ale rzadziej - konieczności wykonywania więcej niż jednego zanurzenia dziennie. Nurkowanie techniczne często wymaga odbywania dekompresji, a nieraz są to dekompresyjne nurkowania powtórzeniowe - jest to ważne zagadnienie, którym zajmujemy się wkrótce.

Jest maj 1942 roku, i pancernik HMS Queen Mary pozostaje na powierzchni tylko dzięki czujności

strażników portowych. Okręt był jednym z wielu celów włoskich pływonurków wojskowych, dosiadających „torped” - zasilanych przez akumulatory pojazdów podwodnych, z odłączanymi głowicami wybuchowymi, które miały być mocowane do burt statków. Tym razem Royal Navy powstrzymuje włoskich sabotażystów, lecz inne okręty mają mniej szczęścia. Oficerowie sztabu Royal Navy są wściekli - jednak reagują poprawnie: „Jeśli mogą Włosi, możemy i my!” Powstają plany utworzenia jednostek Royal Navy zajmujących się podwodnym sabotażem. Są jednak problemy. Nurkowie muszą być samodzielni, a chociaż w tym czasie we Francji J. Y. Cousteau eksperymentuje nad automatami o obiegu otwartym, to nie istnieją one w Wielkiej Brytanii w okresie Drugiej Wojny Światowej. Co więcej, nurkowie muszą być w stanie nurkować i wynurzać się wielokrotnie w ciągu dnia. Po raz pierwszy, nurkowania powtórzeniowe są operacyjną koniecznością. Royal Navy potrzebuje pomocy, i zwraca się do osoby o zasłużonym nazwisku - profesora J.R.S. Haldane’a, syna Johna Scotta Haldane’a.

Brak jest czasu na wynalezienie sprzętu do oddychania powietrzem lub nowych tabel, dlatego Royal Navy adaptuje systemy służące do ucieczek z łodzi podwodnych. Nurkowie będą oddychać czystym tlenem. Profesor Haldane, prowadzący wcześniej badania nad wydostawaniem się z łodzi podwodnych, dostrzega, że jest to zarówno przekleństwo, jak i błogosławieństwo. Oddychanie czystym tlenem eliminuje ryzyko choroby dekompresyjnej - nie ma azotu, nie ma „krzywików”. Jednak z drugiej strony, czysty tlen może być toksyczny pod wodą na głębokościach tak niedużych jak 6 metrów, jednak musi być stosowany na głębokościach dochodzących do 18 metrów. Jest to znacznie bardziej niebezpieczne niż nurkowanie na powietrzu - ale trwa wojna...

Eksperymenty Haldane’a prowadzą do opisania operacyjnych ograniczeń wynikających ze stosowania tlenu, i Royal Navy wysłała pływonurków wojskowych przeciwko flocie państw Osi. Jednak chociaż sprostano wymaganiom na okres wojny, to problem z nurkowaniami powtórzeniowymi na powietrzu nie został rozwiązany, lecz ominięty. Techniki nurkowań powtórzeniowych zostaną zbadane i wprowadzone dopiero dziesięć lat później przez US Navy

Oczywiście, nurkowanie powtórzeniowe jest ważną częścią nurkowania rekreacyjnego, a wobec rosnącej popularności wielodniowych rejsów safari częste są wielokrotne nurkowania powtórzeniowe. Nie jest też niczym wyjątkowym odbywanie trzech, czterech, a nawet sześciu czy siedmiu nurkowań z rzędu. Dlatego istotne jest określenie granicy pomiędzy bezpieczeństwem i ryzykiem, oraz między zweryfikowanymi i niesprawdzonymi praktykami nurkowymi. Jak zawsze, liczy się to, co sprawdza się w praktyce - podczas rzeczywistych nurkowań.

Zacznijmy od dwóch płytkich nurkowań zbadanych przez Powella, które mogłyby reprezentować typowe południowe nurkowanie z łodzi czarterowej, popularne w większości tropikalnych destynacji i w wielu rejonach umiarkowanych.

16,8 metra przez 65 minut
57 minut przerwy powierzchniowej
16,8 metra przez 43 minuty
Całkowity czas denny - 108 minut

Używając Planera Nurkowań Rekreacyjnych - Tabeli bądź eRDP, potraktowałbyś te nurkowania jako odbywające się na głębokość 18 metrów, z czasem bezdekompresyjnym wynoszącym 55 i grupą ciśnieniową po wynurzeniu W. Po przerwie powierzchniowej trwającej 57 minut, nastąpi przejście do grupy ciśnieniowej I, i twój limit bezdekompresyjny byłby ograniczony do 30 minut, tak że całkowity czas denny wyniósłby 85 minut. Jest to przykład, jak komputer nurkowy - lub wersja kołowa RDP, The Wheel - demonstruje swoją przydatność poprzez dodanie nawet 23 minut do czasu dennego przez uniknięcie niepotrzebnych zaokrągleń.

Te dane demonstrują, że modele Haldane’owskie są zbieżne z wynikami badań przeprowadzanych na żywych nurkach podczas nurkowań płytkich, nie przekraczających 18 metrów.

Powell testował także profile powtórzeniowe, reprezentujące głębsze nurkowania rekreacyjne, częste w wielu tropikalnych rejonach świata:

40 metrów przez 12 minut
43 minuty przerwy powierzchniowej
27 metrów przez 16 minut
Całkowity czas denny - 28 minut

Zgodnie z RDP - Tabelą, pierwsze nurkowanie byłoby ograniczone do 10 minut, a po 43-minutowej przerwie powierzchniowej grupa ciśnieniowa wyniosłaby C. Pozwoliłoby to na spędzenie pełnych 16 minut na

głębokości 27 metrów, tak że całkowity czas denny byłby tylko o dwie minuty krótszy od testowanego przez Powella.

Te dane ukazują, że modele Haldane’owskie są zbieżne z wynikami badań przeprowadzanych na żywych nurkach podczas głębokich nurkowań (od 18 do 40 m).

Patrząc na te dane, zauważasz, że czasy są równe lub nieznacznie przekraczają limity modelu. Jest to odchylenie od normalnych zaleceń (nie zbliżania się do limitów), jednak te nurkowania testowe przeprowadzane były w kontrolowanych warunkach, z możliwą natychmiastową rekompresją. Celem takich nurkowań testowych jest zbadanie modelu, więc idealne nurkowania odbywają się aż do samych limitów. Również profile tych nurkowań są „kwadratowe”, czyli badane osoby spędzają cały czas na maksymalnej głębokości. Jest to odejście od profili typowych nurkowań rekreacyjnych, gdzie na maksymalnej głębokości spędza się zaledwie część czasu.

Inny harmonogram nurkowań powtórzeniowych, przetestowany przez Royal Navy, okazał się całkowicie nieskuteczny:

45 metrów przez 5 minut
60 minuty przerwy powierzchniowej
45 metrów przez 5 minut
60 minuty przerwy powierzchniowej
45 metrów przez 5 minut

Royal Navy przeprowadzała te nurkowania w ciepłej wodzie na otwartym oceanie. U jednego z nurków już po drugim nurkowaniu wystąpiły objawy poważnej, wymagającej rekompresji choroby dekompresyjnej. Po trzecim nurkowaniu, wielu nurków narzekało na bóle odpowiadające Typowi I DCS.

Oczywiście, te nurkowania wykraczają poza zalecane limity rekreacyjne wynoszące 40 metrów - która była największą głębokością zbadaną przez Powella. Dodatkowo, podczas tych nurkowań nie były wykonywane przystanki bezpieczeństwa, których RDP wymaga na głębokości 5 m przez 3 minuty.

Chociaż wprowadzenie przystanków bezpieczeństwa mogłoby spowodować różnicę w tym badaniu, te nurkowania są przykładem tego, co nie okazało się skuteczne. Odbywanie głębokich, powtórzeniowych nurkowań bezdekompresyjnych z krótkimi przerwami powierzchniowymi okazało się być bardzo ryzykowne, i powinno być unikane, nawet jeśli niektóre komputery (zwłaszcza starsze modele) na nie pozwalają. Jest to wyraźna wskazówka, że modele Haldane’owskie, choć wiarygodne i użyteczne w przetestowanych granicach, mimo wszystko nie są modelami doskonałymi. Możemy im ufać tylko jeśli sprawdzają się podczas rzeczywistych nurkowań. Zaś komputery, jako urządzenia matematyczne, pokazują nam tylko wyliczenia danego modelu w danych sytuacjach.

Do pewnego stopnia, komputery nurkowe mogą zapewniać bezpieczeństwo nawet jeśli ktoś wykracza poza sprawdzone granice - lecz nie oznacza to, że takie nurkowania są akceptowalne. Raczej uważa się, że w podobnych sytuacjach model niedoskonały jest lepszy od braku jakiegokolwiek modelu. Chociaż dzisiejsze komputery używają coraz bardziej wyrafinowanych metod obliczeniowych, tak by umożliwić nam pozostawanie w akceptowalnych, sprawdzonych granicach, wyłącznie naszą odpowiedzialnością jest stosowanie komputerów w naszych głowach podczas użytkowania komputerów na naszych nadgarstkach.

Wzbogacone powietrze - nitroks

Wyobraź sobie, że nurkowanie rekreacyjne byłoby możliwe już w XVII wieku. Rozmowa dwóch nurków rekreacyjnych planujących nurkowanie na nitroksie i używających stosowanych wówczas określić naukowych, mogłaby wyglądać tak:

Jacob: Na jakiej mieszance będziesz dziś nurkować?

Charles: Wziąłem 40% ogniste powietrze i resztę zepsutego powietrza. Wiesz, nasyconego flogistonem.

Jacob: Czy to nie to samo co 40% deflogistonowane powietrze?

Charles: Oczywiście, tylko że ja nie potrafię tego wymówić.

Gdyby dyskusja ta odbyła się 100 lat później, wiedzieliby już, że flogiston nie istnieje, ogniste powietrze i powietrze deflogistonowane to tlen, zaś powietrze zepsute lub flogistonowane to azot.

Wzbogacone powietrze, czyli nitroks (zapisywany też jako EANx) stał się popularny wśród nurków rekreacyjnych. Wzrost popularności rebreaterów o obiegu zamkniętym i półzamkniętym sprawił, że nitroks zaczął być używany jeszcze częściej. Zmiany zawartości azotu wprowadzają nową zmienną do modeli dekompresyjnych.

Jeśli zignorujesz gazy śladowe (co można zrobić do celów modelowania dekompresji), powietrze składa się w 21% z tlenu i w 79% z azotu. Z punktu widzenia modeli Haldane’owskich, tylko azot ma znaczenie.

Badania wykazały, że rozpuszczony tlen - w granicach ekspozycji, o których dowiedziałeś się wcześniej -

nie przyczynia się do występowania DCS, gdyż twoje ciało metabolizuje go albo w inny sposób zużywa. Oznacza to, że jeśli do powietrza dodamy tlen i tym samym obniżymy zawartość azotu, to zgodnie z modelami Haldane’owskimi powinniśmy mieć wydłużone czasy bezdekompresyjne na danej głębokości w porównaniu z takim samym nurkowaniem na powietrzu. Im więcej tlenu i mniej azotu, tym więcej masz czasu na danej głębokości - chociaż teraz musisz wziąć pod uwagę ekspozycję tlenową, tak jak dowiedziałeś się wcześniej.

Aby używać modeli Haldane’owskich skonstruowanych do nurkowania na powietrzu z nitrokiem, musisz wprowadzić poprawkę na PN2. Aby to zrobić, po prostu stosujesz Prawo Daltona dotyczące ciśnień parcjalnych (więcej w Części IV) i odszukujesz głębokość, na której powietrze ma takie samo ciśnienie parcjalne N₂ jak wzbogacone powietrze którego używasz na rzeczywistej głębokości. Ponieważ EANx zawiera mniej niż 79% azotu, ta równoważna głębokość powietrzna (Equivalent Air Depth - EAD) jest mniejsza niż głębokość rzeczywista.

Matematycznie, możesz łatwo wyliczyć EAD stosując formułę opartą na Prawie Daltona:

Error! Objects cannot be created from editing field codes.

We wzorze tym, EAD to równoważna głębokość powietrzna, FO₂ - zawartość procentowa tlenu w postaci ułamka dziesiętnego (np. 36% to 0,36), zaś D - rzeczywista głębokość.

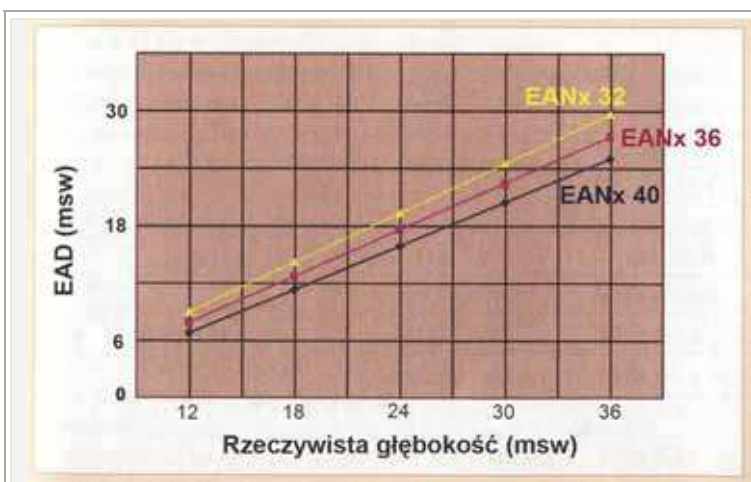
Jak widać na ilustracji 9, dla wartości FO₂ = 0,36 (EANx36, czyli mieszanka zawierająca 36% tlenu, 64% azotu), EAD dla głębokości 28 metrów wynosi ok. 20 metrów, i w związku z tym czas bezdekompresyjny na tej głębokości wydłuża się z 25 minut do 40 minut, co jest znaczącą zmianą. Jednak, jak pamiętasz, w grę wchodzi też inne względy bezpieczeństwa. Nurkując na nitroksie 36, osiągasz PO₂ równe 1,4 bara na głębokości 28 metrów; ze względu na ryzyko toksyczności tlenowej (opisane wcześniej) jest to maksymalna głębokość na jaką możesz zejść na tej mieszance.

Naukowiec aż do końca...

Antoine Lavoisier przyczynił się do obalenia teorii flogistonowej dzięki odkryciu tlenu i (to może rzecz o szerszym znaczeniu) prawa zachowania masy. Te kamienie milowe w rozwoju nauki wpływają na nas każdego dnia.

Niestety, Antoine był nie tylko naukowcem, ale także poborcą podatków. Osoby wykonujące ten zawód nigdy nie były popularne i doceniane, jednak we Francji schyłku XVIII wieku było to szczególnie wyraźne. W 1794 roku Lavoisier został stracony na gilotynie, i tuż po tym przeprowadził swój ostatni eksperyment. Kazał swojemu asystentowi patrzeć na swoje oczy: po oddzieleniu głowy od tułowia Lavoisier zamierzał mrugać tak długo jak to możliwe, tak by udowodnić, że śmierć na gilotynie nie jest natychmiastowa. Asystent doliczył się trzynastu mrugnięć zanim naukowiec zamknął oczy po raz ostatni

Do tego wydłużenia czasu bezdekompresyjnego podczas nurkowania na EANx nie wliczają się korzyści wynikające z nurkowania wielopoziomowego bądź powtórzeniowego. Używając nitroksu i komputera nitroksowego, zazwyczaj będziesz kończyć nurkowanie z powodu zużycia powietrza w butli, nie zaś z powodu zbliżania się do limitów bezdekompresyjnych. Także wykonując serię nurkowań zorientujesz się, że czasy nurkowań powtórzeniowych są znacznie dłuższe, ponieważ gromadzisz w tkankach mniej azotu. Korzyści ze stosowania nitroksu są jasne. Dochodzimy jednak do podstawowego problemu podczas omawiania modeli dekompresyjnych: możemy ufać modelowi tylko jeśli jego wiarygodność została potwierdzona podczas nurkowań testowych. Stosowanie EAD do powietrznych modeli dekompresyjnych wygląda świetnie na papierze lub w komputerze, ale czy sprawdziło się podczas rzeczywistych nurkowań?



Ilustracja 9. Ekwiwalentne głębokości powietrzne dla trzech mieszanek nitroksowych.

Pamiętaj, że ze względu na ryzyko toksyczności tlenowej maksymalne PO₂ wynosi 1,4 bara, zatem największa głębokość, na jakiej może być używany EANx40 to 25 metrów, EANx36 - 28 metrów, a EANx32 - 33 metry (przyp. tłum.)

Odpowiedź brzmi „tak, bez żadnych wątpliwości”. J.B.S. Haldane zademonstrował koncepcję zastosowania wartości EAD (procedurę, a nie nazwę) w latach 40., a nitroks był używany przez nurków naukowych na długo przed tym, nim stał się popularny wśród nurków rekreacyjnych. Dostłownie miliony nurkowań zostały odbyte na nitroksie, zarówno pojedynczych, wielokrotnych, jak i wielopoziomowych (również dekompresyjnych - ale o tym wkrótce), i panuje zgoda co do tego, że modele Haldane’owskie można stosować równie bezpiecznie podczas nurkowań na nitroksie, jak podczas nurkowania na zwykłym powietrzu.

Nurkowanie wielodniowe (np na safari nurkowym)

Powietrze z sykiem napływa do komory hiperbarycznej. Czwórka ochotników wyrównuje ciśnienie w uszach, i stara się uniknąć przegrzania, podczas gdy temperatura wzrasta wraz z ciśnieniem - w ciągu kilku sekund z początkowych 15°C do 32°C. Wskaźnik głębokości zatrzymuje się na 27 metrach. Jest to pierwsze nurkowanie pierwszego dnia uciążliwej, wielodniowej serii nurkowań powtórzeniowych. Przez następne sześć dni, ci ochotnicy będą wykonywać po cztery nurkowania dziennie, praktycznie spędzając cały tydzień w 5,5-metrowej, zatłoczonej puszczy.

Eksperymenty prowadzi dr Michael Powell, który niecałe dwa lata wcześniej testował model stworzony przez DSAT. Teraz, pod koniec roku 1988, często dyskutowany jest problem, czy pod koniec wielodniowej serii nurkowań powtórzeniowych profile uważane za bezpieczne staną się bardziej ryzykowne. DSAT, PADI, DAN i Powell zamierzają to rozstrzygnąć.

W 1989 roku zakończono eksperymenty. Wyniki doświadczeń były jasne: z wykonywaniem czterech nurkowań dziennie przez sześć kolejnych dni nie wiąże się żadne istotne ryzyko. Podobnie, praktyka nurkowa nie wykazała zwiększonej częstości DCS w takich warunkach. Jednak nawet dzisiaj problem nurkowania wielodniowego nie jest dokładnie zbadany naukowo - choć DAN i inne organizacje nieustannie gromadzą dane na ten temat. Podczas nurkowania wielodniowego zaleca się zatem ostrożność - nie dlatego, że istnieje zagrożenie, lecz dlatego, że zbyt mało wiemy

Żadna tabela nurkowa nie bierze pod uwagę nurkowań odbytych poprzedniego dnia, a zwłaszcza podczas wielu kolejnych dni. 12 godzin od zakończenia nurkowania, tabele klasyfikują cię jako „czystego” i na żadnej głębokości nie skracają twoich limitów bezdekompresyjnych. Do lat 80., żaden z powszechnie stosowanych modeli Haldane’owskich nie uwzględniał kompartmentów o półokresach wystarczająco długich, by wpłynąć na profil nurkowania po upływie 12 godzin.

Wątpliwości dotyczące wiarygodności modeli dekompresyjnych podczas nurkowania wielodniowego po raz pierwszy pojawiły się w latach 80. Zadawano pytanie, czy azot może się akumulować podczas wielu następujących po sobie nurkowań przeprowadzonych w ciągu kilku dni. Istnieją dowody, że może - i wiele z obecnie stosowanych komputerów posiada kompartmenty o półokresach dłuższych niż 480 minut, a w związku z tym pamięć wykraczającą poza okres 12 godzin.

Czy przynosi to jakiegokolwiek mierzalne korzyści nurkom rekreacyjnym? Jako że komputer nurkowy może mieć niemal nieograniczoną pamięć, spójrzmy, co taki komputer może oferować.

Aby zbadać tą teorię, użyjemy HALa, najdoskonalszego komputera nurkowego (nazwanego oczywiście od Haldane’a). Niestety, HAL istnieje tylko w komputerach osobistych, za to posiada 1530 kompartamentów o półokresach od 6 sekund do 24 godzin. Wartości dopuszczalnego nasycenia azotem zostały zaczerpnięte z formuły Spencera opartej o dane empiryczne, w związku z czym HAL przewiduje limity bezdekompresyjne zgodne z danymi testowymi oraz wartościami Planera Nurków Rekreacyjnych (RDP). Bez wchodzenia w nużące szczegóły dotyczące obliczeń, spojrzmy jak HAL wyliczy twoje limity bezdekompresyjne podczas kolejnych dni nurkowania bezdekompresyjnego.

Po pierwsze, musimy określić, jaki harmonogram nurkowania wielodniowego spowoduje maksymalne nasycenia azotem, a w związku z tym wywrze największy wpływ na twoje nurkowania kolejnego dnia. Chociaż w sensie praktycznym niełatwo ułożyć taki harmonogram, jest łatwe w sensie matematycznym - możemy przyjąć taki hipotetyczny harmonogram nurkowania, który spowoduje osiągnięcie dopuszczalnych wartości nasycenia azotem we wszystkich tkankach teoretycznych po zakończeniu dnia nurkowego (lub jednego z kolejnych dni). Chociaż jest mało prawdopodobne, by taki harmonogram istniał w rzeczywistości, żadna kombinacja nurków wielodniowych nie może spowodować niczego więcej - zakładając, że pozostaniemy w granicach limitów bezdekompresyjnych wyznaczanych przez model.

Założmy, że ten najgorszy z możliwych (z punktu widzenia skrócenia czasów bezdekompresyjnych) scenariusz doprowadził do maksymalnego nasycenia azotem wszystkich kompartamentów HALa pewnego dnia o godzinie 19:00. Rankiem następnego dnia - o godzinie 7:00, po upływie 12 godzin - korzystając z ogromnej pamięci i mocy obliczeniowej HALa, przeglądamy czasy bezdekompresyjne na różnych głębokościach. Przewidywania HALa będą następujące (kolumna „Kolejny dzień” w tabeli poniżej) - zestawiono je razem z przewidywaniami limitów bezdekompresyjnych pierwszego „czystego” dnia („Pierwszy dzień”), czyli z wartościami nasycenia azotem przedziałów wynoszącymi 0.

Głębokość (m)	Limity bezdekompresyjne	
	Kolejny dzień	Pierwszy dzień
3	14:07 h	30:55 h
6	4:23 h	7:58 h
9	2:36 h	3:36 h
12	1:51 h	2:03 h
15	1:19 h	1:19 h
18	0:55 h	0:55 h

Model dekompresyjny HALa zachowuje informację o poprzednich nurkowaniach nawet do sześciu dni. Jednak zgodnie z przedstawionymi powyżej obliczeniami, nawet w najgorszej sytuacji - przy założeniu maksymalnego nasycenia azotem wszystkich kompartamentów przed rozpoczęciem 12-godzinnej przerwy powierzchniowej - po przerwie brak jakichkolwiek różnic dla głębokości większych niż 12 metrów. Przyczyną tej pozornej niezgodności jest to, że choć niektóre kompartamenty mają długą „pamięć”, to także reagują bardzo powoli. Na przykład, gdybyś polegał wyłącznie na kompartmencie 480-minutowym, to na głębokości 36 metrów twój czas bezdekompresyjny wyniósłby 79 minut (oczywiście, z tego właśnie powodu model ma wiele tkanek teoretycznych).

Na mniejszych głębokościach, HAL znacznie skraca czas bezdekompresyjny. Jednak te czasy i tak znacznie wykraczają poza limity jakiegokolwiek praktycznego nurkowania bezdekompresyjnego, rekreacyjnego lub nie. Podczas nurkowania wielopoziomowego, twój komputer może pokazywać skrócony czas bezdekompresyjny podczas płytszej części nurkowania, jednak wciąż pozostanie go na tyle dużo, że będziesz ograniczony przez ilość gazu, a nie przez model dekompresyjny. Najwolniejsze kompartamenty mogą w większym stopniu wpływać na czasy nurków dekompresyjnych nurków technicznych lub komercyjnych, jednak ponieważ ich tempo nasycania azotem jest tak małe, nie wpływają znacząco także na rzeczywiste nurkowania dekompresyjne.

Jeżeli przyszłe badania pokażą, że nurkowanie wielodniowe wiąże się z mierzalnym wzrostem ryzyka, będzie to wymagało wprowadzenia odpowiednich zmian do modeli dekompresyjnych. Wynika to z tego, że żaden komputer nie jest w stanie dokładnie przewidzieć rzeczywistych ograniczeń wynikających z nurkowania wielodniowego, bez względu na jego moc obliczeniową lub ilość przedziałów w stosowanym modelu.

Testy prowadzone przez Powella wykazały, że nurkowanie wielodniowe jest akceptowalnym stopniu bezpieczne - i co roku korzystają z tego tysiące nurków na całym świecie. Jednak powinniśmy brać pod uwagę, że modele Haldane’owskie nie zawsze dokładnie przewidują skutki profili dekompresyjnych, i dlatego nurkować konserwatywnie. Podczas nurkowania unikaj zbliżania się do limitów bezdekompresyjnych, a po wielu dniach intensywnego nurkowania wykonaj jednodniową przerwę.

Procedury wynurzania

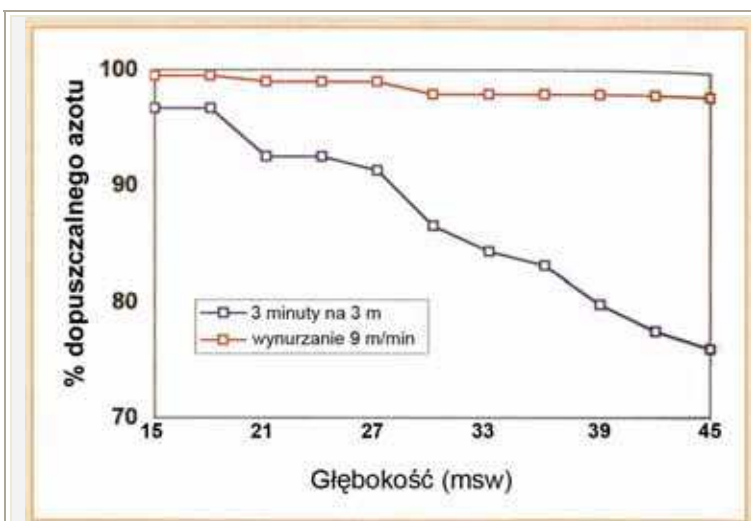
W połowie lat 50. w Jednostce Nurkowania Eksperymentalnego w Waszyngtonie toczy się zażarta dyskusja. Trwa spotkanie nurków US Navy z naukowcami konstruującymi tabele US Navy, pod przewodnictwem Maino des Granges’a, a głównym tematem sporu jest tempo wynurzania, które będzie zastosowane w nowych tabelach. Komandor Doug Fane, reprezentujący podwodną jednostkę dywersyjną US Navy, jest zdecydowany: prędkość wynurzania 7,6 metra na minutę, użyta podczas konstrukcji wcześniejszych tabel, jest zdecydowanie zbyt wolna dla jego nurków. Upiera się, że nowa prędkość wynurzania powinna wynosić przynajmniej 30 metrów na minutę. Sprzeciwia się temu ekipa nurków klasycznych: osiągnięcie takiego tempa wynurzania byłoby absolutnie niemożliwe dla wyciągarki wydobywającej na powierzchnię obciążonego nurka w ciężkim skafandrze i hełmie. Ostatecznie, strony idą na kompromis, i ustalają pośrednie tempo wynurzania, które odtąd wynosić będzie 18 metrów na minutę. Dla tej wartości przeprowadzono wszystkie obliczenia i testy. Ta wartość zostanie też „odziedziczona” przez nurków rekreacyjnych, którzy będą się do niej stosować przez trzy dekady

W rozdziale tym omówione są dwa potencjalnie groźne stany bezpośrednio związane z wynurzaniem - embolię gazową i chorobę dekompresyjną. Oba wynikają z obecności pęcherzyków gazu w organizmie, ale pęcherzyki te mogą mieć różne pochodzenie. Embolia gazowa (AGE) powstaje na skutek urazu ciśnieniowego płuc, zaś do choroby dekompresyjnej (DCS) dochodzi wtedy, gdy gaz obojętny wydziela się z roztworu i formuje pęcherzyki w tkankach i w naczyniach krwionośnych.

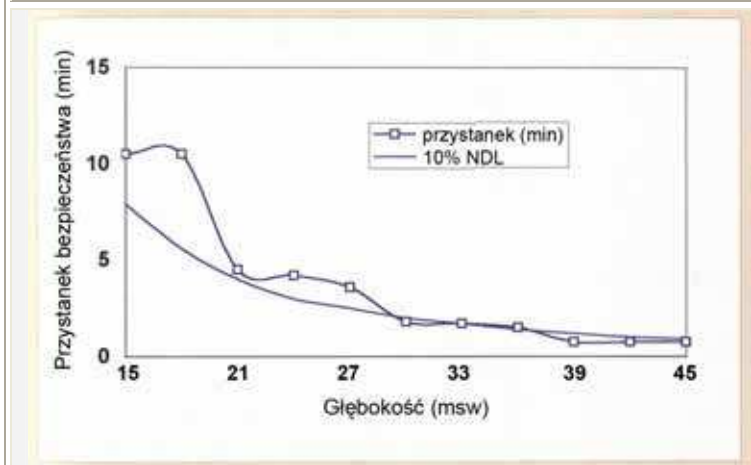
Na procedurę wynurzania składają się trzy odrębne zagadnienia. Pierwszym jest rozpoczęcie wynurzania, które dla nurka rekreacyjnego zaczyna się najpóźniej w momencie osiągnięcia limitu bezdekompresyjnego. Drugim - przystanek bezpieczeństwa, wykonywany na niewielkiej głębokości przez określony czas. Trzecie zagadnienie to tempo wynurzania. Zatem rozważając zapobieganie AGE i DCS, powinniśmy skupić się na skróceniu czasów bezdekompresyjnych, na przystankach bezpieczeństwa, oraz na zmniejszeniu tempa wynurzania.



Ilustracja 10. Wyniki eksperymentów Andrew Pilmanisa dotyczących przystanków bezpieczeństwa. Stosowanie przystanków znacznie zmniejsza ilość pęcherzyków wykrywalnych detektorem Dopplera



Ilustracja 11. Zmniejszenie nasycenia azotem po odbyciu przystanku bezpieczeństwa w porównaniu ze zmniejszeniem prędkości wynurzenia do 9 metrów na minutę



Ilustracja 12. Związek pomiędzy głębokością a długością przystanku bezpieczeństwa wymaganą do zmniejszenia nasycenia azotem kompartymentu kontrolującego do 90% wartości dopuszczalnej

Czy skrócone czasy bezdekompresyjne są istotnym elementem procedury wynurzenia? Eksperymenty Spencera i Powella zasługują na uznanie przez społeczność nurkową, i takie stanowisko zajęły praktycznie wszystkie organizacje szkoleniowe i większość producentów komputerów nurkowych. Nie ma danych wskazujących na istotne korzyści, które możnaby uzyskać poprzez dalsze skracanie limitów bezdekompresyjnych.

Natomiast przystanki bezpieczeństwa są zupełnie inną sprawą. Przystanek bezpieczeństwa to przystanek dekompresyjny, który nie jest wymagany ani przez tabelę, ani przez komputer nurkowy, gdyż wykonujący go nurek mieści się w granicach limitów bezdekompresyjnych modelu. Powinienes włączać przystanki bezpieczeństwa w procedurę wynurzenia jako dodatkowe zabezpieczenie.

W 1975 roku, Andy Pilmanis wykazał korzyści wynikające ze stosowania przystanków bezpieczeństwa w trakcie testów prowadzonych w USC Hyperbaric Chamber na wyspie Catalina, u wybrzeży Kalifornii. Chociaż jego testy z użyciem detektora Dopplera były prowadzone na ograniczonej liczbie ochotników, wyniki były jednoznaczne - jak widać na ilustracji 10. Po nurkowaniu na głębokość 30 metrów przez 25 minut (do limitów bezdekompresyjnych tabel US Navy), wykonanie trwającego zaledwie 2 minuty przystanku na głębokości 3 metrów spowodowało pięciokrotne zmniejszenie ilości wykrywalnych pęcherzyków, zaś wykonanie 5-minutowego przystanku sprawiło, że stały się one niemal niewykrywalne. Te ograniczone dane były pierwszymi wskazującymi na korzyści wynikające ze stosowania przystanków bezpieczeństwa jako standardowej procedury podczas wynurzenia. W 1995, Uguccioni z zespołem opublikowali wyniki eksperymentu, mającego na celu ocenę wpływu przystanku bezpieczeństwa na ilość wykrywalnych pęcherzyków po przeprowadzonych na wodach otwartych trwających 28 minut nurkowaniach nitroksowych na głębokość 30 metrów. Pięćdziesięciu nurków wykonało po dwa nurkowania, podczas jednego zatrzymując się na 3 minuty na głębokości 6 metrów, a podczas drugiego wynurzając się bezpośrednio na powierzchnię. Bez przystanku bezpieczeństwa, u 42 z nich (84%) wykryto pęcherzyki, natomiast po odbyciu

przystanku pęcherzyki wykryto u 18%. Te dane potwierdzają znaczenie stosowania przystanków jako standardowej procedury podczas wynurzania.

Często divemasterzy nalegają, by nurkowie powracali na łódź z co najmniej 35 barami powietrza w butlach. Jest to dobrą praktyką, mającą na celu zapobieżenie wypadkom powodowanym przez nagłe wyczerpanie zapasu powietrza. Jednak w wielu sytuacjach wydawałoby się, że zasada ta powinna zostać zamieniona na „nigdy nie wynurzaj się do przystanku bezpieczeństwa z mniej niż 35 barami, lecz nie powracaj na łódź z więcej niż 7 barami” - lub coś w tym rodzaju. Nie oznacza to oczywiście, że powinieneś ignorować pozostawianie odpowiedniej rezerwy powietrza w butli na wynurzenie w złych warunkach lub w prądzie, ale że powinieneś planować pozostawienie zapasu powietrza na wykonanie przystanku bezpieczeństwa podczas planowania nurkowania. Posiadanie odpowiedniej rezerwy powietrza na odnalezienie łodzi jest bezwzględnie koniecznością, i powinieneś zaplanować pozostawienie w butli odpowiedniej ilości powietrza na bezpieczne wynurzenie - a dodatkowo rezerwy. Jeśli jednak odnalazłeś łódź i warunki wynurzania są dobre, a zużyłeś więcej gazu niż planowałeś lecz wciąż masz w butli 35 bar lub więcej, często bardziej sensowne jest zużycie części gazu na wykonanie kilkuminutowego przystanku na głębokości 3-6 metrów niż wynurzenie z rezerwą, ale bez wykonania przystanku.

Określanie „prawidłowego” tempa wynurzania jest bardziej skomplikowaną sprawą. Zastanówmy się najpierw, jak tempo wynurzania wpływa na nurkowanie bezdekompresyjne i model Haldane’owski. Intuicyjnie wyczuwamy, że prawdopodobieństwo urazu ciśnieniowego płuc maleje wraz z tempem wynurzania, ponieważ wolniejsze tempo pozostawia nurkowi więcej czasu na reakcję na dyskomfort wynikający z przepętnienia płuc, lub po prostu na wznowienie oddychania - może bez zdania sobie sprawy z bliskości zagrożenia.

Jednak z drugiej strony, 30 lat doświadczeń US Navy w połączeniu ze starannie przeprowadzonymi i monitorowanymi eksperymentami Powella, Spencera, Thalmanna i wielu innych badaczy doprowadziło do wniosków, że przy normalnym oddychaniu tempo wynurzania wynoszące 18 metrów na minutę pozwala z dużą pewnością unikać urazu ciśnieniowego - o ile nie występują określone problemy zdrowotne, takie jak choroba czy uszkodzenie płuc. Jeśli to rozumowanie jest poprawne - a nie ma powodów, by twierdzić inaczej - to wolniejsze tempo wynurzania może być usprawiedliwione tylko wpływem na zapobieganie DCS. Inaczej niż było w przypadku urazów ciśnieniowych, intuicja nie pomaga przy próbach oceny efektu zmniejszenia tempa wynurzania na zachowanie azotu w kompartmentach, zgodnie z modelami Haldane’owskimi. Na szczęście, możemy użyć HALA do porównania trzech różnych procedur wynurzania: bezpośrednie wynurzenie na powierzchnię z prędkością 18 metrów na minutę zmniejszone tempo wynurzania, wynoszące 9 metrów na minutę

wynurzenie z prędkością 18 metrów na minutę, z 3-minutowym przystankiem na głębokości 5 metrów. Zgodnie z HALem, zmniejszenie tempa wynurzania z 18 metrów do 9 metrów na minutę rzeczywiście przyczyniło się do zmniejszenia nasycenia azotem wszystkich tkanek, oprócz tych najwolniejszych. Jednak redukcja ta była stosunkowo mało istotna, a zupełnie nieznaczna w porównaniu z redukcją po wykonaniu 3-minutowego przystanku na głębokości 5 metrów. Podczas nurkowania do limitów bezdekompresyjnych, według HALa, największa korzyść wynikająca ze zmniejszenia tempa wynurzania z 18 do 9 metrów odpowiada niecałej minucie przystanku wykonanego na głębokości 5 metrów.

Jeśli ten wynik wyda ci się zastanawiający, spojrz na niego w inny sposób: zmniejszenie tempa wynurzania o połowę w przybliżeniu odpowiada wykonaniu przystanku w połowie głębokości, z której zaczyna się wynurzenie, o długości równej wydłużeniu czasu wynurzania. W naszym przykładzie (wynurzania z głębokości 18 metrów), redukcja prędkości do 9 metrów na minutę odpowiada wykonaniu 1-minutowego przystanku na głębokości 9 metrów. Nasycenie azotem kompartmentów nie zostanie znacznie zmniejszone - jest to zarówno głębiej, jak i krócej niż 3-minutowy przystanek na 5 metrach.

Należy zauważyć, że chociaż wykonanie 3-minutowego przystanku bezpieczeństwa na głębokości 5 metrów jest zawsze bardziej efektywnym sposobem dekompresji niż tylko zmniejszenie prędkości wynurzania, nie jest jednak bardzo skuteczne podczas nurkowania na mniejsze głębokości (jak widać na ilustracji 11).

Zastosowanie którejkolwiek z procedur pozwala na zmniejszenie nasycenia azotem o nie więcej niż 5% po nurkowaniu do limitów bezdekompresyjnych na głębokość mniejszą niż mniej więcej 18 metrów.

Zgodnie z naszą wiedzą o modelach Haldane’owskich, podczas nurkowań na głębokości większe niż około 30 metrów nurkowanie kontroluje kompartment 5-minutowy. Dzięki krótkiemu półokresowi, szybko pozbywa się on azotu podczas przystanku bezpieczeństwa. Jednak na mniejszych głębokościach nurkowanie kontrolowane jest przez coraz to wolniejsze kompartmenty, i dlatego 3-minutowy przystanek bezpieczeństwa staje się coraz mniej efektywny.

Możemy spojrzeć na problem z innej strony, i użyć modelu do uzyskania odpowiedzi na pytanie, jak długi przystanek bezpieczeństwa należy wykonać, by zmniejszyć nasycenie azotem kompartmentu

kontrolującego do 90% limitu bezdekompresyjnego. Jak widać na ilustracji 12, istnieje zależność pomiędzy głębokością a tak wyliczoną długością przystanku bezpieczeństwa. Przystanek trwający zaledwie 1 minutę po nurkowaniu bezdekompresyjnym na głębokość 46 metrów dość skutecznie zmniejsza nasycenie kompartmentu kontrolującego, ale potrzeba więcej niż 10 minut dla osiągnięcia takiego samego rezultatu po nurkowaniu do limitów bezdekompresyjnych na głębokość 12 metrów. Na ilustracji 12 pokazano także krzywą przedstawiającą 10% czasu bezdekompresyjnego, która w przybliżeniu, choć niedoskonale, odzwierciedla długość wymaganego przystanku bezpieczeństwa. Pamiętając że jest to czysto teoretyczne przybliżenie, możemy założyć, że idealny przystanek bezpieczeństwa powinien być większą z wartości: 3 minuty lub 10% czasu dennego.

Generalnie, modele Haldane’owskie nie zakładają żadnej określonej prędkości wynurzania, i brak danych wskazujących, że stosowanie prędkości mniejszych niż 18 metrów przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa - ze względu na dekompresję lub urazy ciśnieniowe. Jednak konserwatyzm jest zawsze zalecany - i obecnie kładzie się coraz większy nacisk na wynurzanie z prędkością mniejszą niż 18 metrów na minutę. Jest to przydatne jako sposób przekonywania nurków do kontrolowania tempa wynurzania. Powinienes traktować 18 metrów na minutę (albo wartość podawaną przez komputer) jako maksymalne dopuszczalne tempo wynurzania.

Należy też podkreślić różnice pomiędzy tabelami i komputerami przy włączaniu prędkości wynurzania do modeli Haldane’owskich. Tabela (zarówno RDP, jak i stworzona przy użyciu specjalnego oprogramowania do planowania dekompresji) zakłada, że będziesz się wynurzać z przepisaną prędkością. Jeśli przekroczysz tę prędkość znajdując się blisko limitów bezdekompresyjnych, to możesz przekroczyć dopuszczane przez model nasycenie azotem.

W ograniczonym zakresie, komputer nurkowy może dostosowywać swoje limity bezdekompresyjne do twojego tempa wynurzania dzięki temu, że bez przerwy odświeża model. Praktycznie wszystkie produkowane obecnie komputery nurkowe wymagają wynurzania z prędkością mniejszą niż 18 metrów na minutę, i będą sygnalizować dźwiękowo lub wizualnie przekroczenie tej prędkości. W niektórych komputerach dopuszczalne tempo wynurzania zależy od głębokości, i spada w miarę wynurzania nawet do 6 metrów na minutę. Niektóre modele dekompresyjne skracają pozostały czas bezdekompresyjny w razie znacznego przekroczenia przepisanego tempa wynurzania.

Trzeba wspomnieć, że w nurkowaniu technicznym i komercyjnym, zwłaszcza z użyciem helu, prędkość wynurzania może mieć duże znaczenie. Hel dyfunduje szybciej niż azot, i dlatego podczas nurkowania z jego użyciem obowiązują inne zasady i założenia. Z praktyki nurkowej wynika, że 9 metrów na minutę jest dobrą maksymalną prędkością wynurzania po nurkowaniu na trimiksie lub helioksie.

Warto też wiedzieć o nowych modelach dekompresyjnych, tak zwanych „modelach pęcherzykowych” (bubble models), które w odróżnieniu od modeli Haldane’owskich próbują przewidzieć tworzenie się i zachowanie pęcherzyków w organizmie. Modele te mogą być szczególnie przydatne dla nurków dekompresyjnych. Według większości z nich, jeśli jesteś nasycony gazem obojętnym w stopniu wymagającym odbycia dekompresji, to tempo wynurzania zaczyna mieć większe znaczenie. W przyszłości, takie modele mogą także pomóc w ulepszeniu procedur wynurzania.

Nurkowanie dekompresyjne

Nie tak dawno temu, nurkowania wymagające odbywania przystanków dekompresyjnych były tematem tabu w społeczności nurków sportowych. Wzrost popularności nurkowania technicznego uczynił je „akceptowalnymi”, chociaż dla nurków rekreacyjnych dekompresja powinna pozostać procedurą stosowaną tylko w sytuacjach awaryjnych.

„...Jeżeli pracujesz na dobrze zaopatrzonej łodzi nurkowej, będziesz mieć do dyspozycji „windę”. W przeciwnym wypadku, spuszcza ją ci w dół wiadro umocowane na linie. Siadasz okrakiem na wiadrze, z liną pomiędzy nogami, i pozwalasz im utrzymywać cię na odpowiedniej głębokości i regulować twoją dekompresję...”

Jest to opis nurkowania dekompresyjnego z książki Toma Eadie’go, nurka US Navy, pt. „Lubię nurkowanie” (I like diving) wydanej w 1929 roku

Aby wyliczyć harmonogramy dekompresyjne, potrzebujemy dodatkowego zestawu zmiennych oprócz dopuszczalnego nasycenia azotem na powierzchni - czyli wartości maksymalnego nasycenia na głębokościach wymaganych przystanków dekompresyjnych. Jeśli jesteśmy nurkami technicznymi lub komercyjnymi i nurkujemy na mieszankach zawierających hel, musimy także dobrać pólkresy i wartości

dopuszczalnego nasycenia tak, by były właściwe dla helu. Gdy dokonamy tych zmian, model będzie działać w taki sam sposób jak ten, który już poznaliśmy.

Wyobraź sobie, na przykład, że nurkujesz na powietrzu przez 20 minut na głębokość 46 metrów. Po takim nurkowaniu przekroczone zostają dopuszczalne nasycenia wszystkich kompartmentów o półokresach krótszych niż 60 minut. Nie możesz oczywiście wynurzyć się bezpośrednio na powierzchnię, ale w miarę wynurzania osiągniesz maksymalne dopuszczalne nasycenie na danej głębokości dla jednego z przedziałów. Przedział ten staje się kompartmentem kontrolującym (w danym momencie), i musisz pozostać na danej głębokości do chwili, gdy z przedziału usunięta zostanie dostateczna ilość azotu, by wynurzyć się do następnego przystanku. Gdy tak wynurzasz się od przystanku do przystanku, kompartmentami kontrolującymi kolejno stają się przedziały o coraz dłuższych półokresach (coraz wolniejsze), i dlatego na kolejnych przystankach należy spędzać coraz więcej czasu.



Chociaż nurkowie techniczni często używają powietrza podczas dennej części nurkowania dekompresyjnego, dekompresję odbywają na nitroksie bądź czystym tlenie

Zgodnie z tabelami US Navy, twoje 20-minutowe nurkowanie na głębokość 46 metrów będzie wymagało wykonania 2-minutowego przystanku na głębokości 6 metrów, i 7-minutowego przystanku na głębokości 3 metrów. Przez lata, tabele US Navy były najczęściej używanymi do planowania nurkowania dekompresyjnego, podobnie jak do planowania nurkowań bezdekompresyjnych. US Navy przetestowało je podczas nurkowań eksperymentalnych w latach 50., i uzyskane wyniki potwierdziły ich użyteczność podczas ograniczonego planowania nurkowań dekompresyjnych na powietrzu.

Użyte powyżej słowo „ograniczonego” wynika z ostrożności: w niektórych przypadkach, profile dekompresyjne dopuszczalne według tabel US Navy i modelu okazały się niewiarygodne.

W 1986 roku, Thalmann z powodzeniem testował tabele US Navy dla ekspozycji trwającej przez 60 minut na głębokości 30 metrów, ale stwierdził, że 60-minutowe nurkowania na głębokość 36 metrów skutkowały wystąpieniem 1 przypadku choroby dekompresyjnej na 20 nurkowań, nawet gdy wykonywano przystanki dekompresyjne odpowiadające 70-minutowemu nurkowaniu. Dla 40-minutowego nurkowania na głębokość 45 metrów, nawet 1,6-krotne wydłużenie całkowitego czasu dekompresji nie pozwoliło całkowicie wyeliminować zagrożenia DCS. Thalmann ostatecznie uznał 60 minut na 30 metrach i 30 minut na 45 metrach za najdłuższe dopuszczalne czasy denne podczas nurkowania na powietrzu.

Thalmann testował także trzy zestawy nurkowań powtórzeniowych, każdy złożony z dwóch nurkowań na głębokości 30 metrów lub 45 metrów. Testy te doprowadziły do wystąpienia 6 przypadków choroby dekompresyjnej po zaledwie 32 nurkowaniach, mimo wydłużenia czasów dekompresji w stosunku do wymaganych przez tabele o 63% do 83%.

Te ograniczone dane wykazały, że w niektórych sytuacjach modele Haldane’owskie nie są w stanie wyliczyć wiarygodnych harmonogramów dla powtórzeniowych nurkowań dekompresyjnych na powietrzu. Wydaje się, że w miarę odchodzenia od limitów bedekompresyjnych model staje się coraz mniej wiarygodny - zwłaszcza podczas nurkowań powtórzeniowych. Dla nurkowań dekompresyjnych na powietrzu lub nitroksie, dane te podkreślają znaczenie konserwatywnego postępowania: jeśli podczas nurkowania musiałeś wykonać awaryjną dekompresję, powinno to być ostatnie nurkowanie tego dnia.

Teraz spójrzmy na nurkowanie techniczne, które na pierwszy rzut oka pozornie przeczą tym zasadom i potwierdzającym je danym. Nurkowie techniczni odbywają nurkowania wyraźnie bardziej agresywne niż te testowane przez Thalmanna, i często wykonują dekompresyjne nurkowania powtórzeniowe. Chociaż jednak

częstość DCS jest nieco wyższa wśród nurków technicznych niż wśród rekreacyjnych, nie zbliża się nawet do wartości uzyskanych w eksperymentach Thalmanna.

Powodem tej pozornej sprzeczności jest to, że nurkowie techniczni używają często innych gazów niż powietrze do odbywania nurkowań dekompresyjnych, nie stosują tabel US Navy, i coraz częściej stosują procedury nie-Haldane’owskie podczas planowania i odbywania dekompresji. Wszystkie one, zgodnie z praktyką, zmniejszają ryzyko wystąpienia choroby dekompresyjnej.

Chociaż nurkowie techniczni często używają powietrza podczas najgłębszej części nurkowania dekompresyjnego, odbywają dekompresję na nitroksach bądź czystym tlenie. W tym celu przetaczają gazy oddechowe w miarę wynurzania (pamiętasz, że muszą utrzymywać ciśnienie parcjale tlenu poniżej wartości 1,6 bara podczas dekompresji). Takie postępowanie znacząco zmniejsza czas dekompresji, ponieważ to zewnętrzne ciśnienie określa tempo powstawania pęcherzyków, lecz gradient ciśnień parcjalnych determinuje tempo odsycania kompartmentów. Jest to szczególnie wyraźne podczas oddychania czystym tlenem, który może być używany już na głębokości 6 metrów (tam PO₂ wynosi 1,6 bara).

Równoważna Głębokość Powietrzna (EAD) dla tlenu wynosi -10 metrów - bez względu na rzeczywistą głębokość. W związku z tym, nurek techniczny oddychający tlenem na głębokości 6 metrów usuwa azot szybciej niż gdyby znajdował się na powierzchni, ale dzięki pozostawianiu na głębokości 6 metrów formowanie pęcherzyków w jego tkankach jest zminimalizowane. Taka procedura znacząco skraca wymagany czas dekompresji. A jak stwierdził R.W. Hamilton, uznany autorytet w dziedzinie modelowania dekompresji, „Krótsza dekompresja jest bezpieczniejszą dekompresją”. Nurkowie techniczni stosują takie same procedury podczas nurkowania na mieszkankach zawierających hel.

Nurkowie techniczni nie używają (a przynajmniej używają bardzo rzadko) tabel dekompresyjnych US Navy; właściwie, rzadko używają jakichkolwiek drukowanych tabel. Popularnym trendem w nurkowaniu technicznym jest stosowanie oprogramowania do planowania dekompresji, które może być używane do tworzenia indywidualnych tabel dla planowanej głębokości i konkretnych mieszanek gazowych. Mogą używać tych tabel jednocześnie z komputerem nurkowym przeznaczonym do nurkowań technicznych, pozwalającym na zamienianie gazów w trakcie nurkowania. Zarówno oprogramowanie do komputerów osobistych, jak i programy stosowane w komputerach nurkowych, stosują dopuszczalne wartości nasycenia wyraźnie niższe od tych stosowanych w Standardowych Tabelach Powietrznych US Navy. Dzięki temu, planowane harmonogramy dekompresji są znacznie bardziej konserwatywne - przy zachowaniu tych samych wartości pozostałych parametrów.

Wreszcie, nurkowie techniczni stosują takie procedury podczas planowania harmonogramów dekompresyjnych, które nie są przewidziane przez modele Haldane’owskie. Na przykład, często wykonują przystanki dekompresyjne znacznie głębiej niż wymagają tego modele Haldane’owskie, ponieważ najnowsze, pęcherzykowe modele dekompresyjne sugerują, że takie postępowanie znacznie zwiększa efektywność dekompresji (zwłaszcza podczas nurkowania na mieszkankach zawierających hel). Dodatkowo, nurkowie techniczni regularnie przedłużają jeden lub dwa ostatnie przystanki dekompresyjne, a potem kontynuują oddychanie tlenem na powierzchni. Takie postępowanie wydaje się przyczyniać do utrzymania akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa technicznego nurkowania dekompresyjnego.

Nurkowanie na wysokości i latanie po nurkowaniu

Chociaż zagadnienia nurkowania na wysokości i latania po nurkowaniu cieszyły się ostatnio sporym zainteresowaniem społeczności nurkowej, nie są to nowe problemy dla ekspertów zajmujących się dekompresją. Oba zagadnienia były rozpatrywane od lat 50., kiedy US Navy opublikowało swoje tabele. Nurkowanie na wysokości i latanie po nurkowaniu, chociaż nie identyczne, mają wspólną cechę - należy brać przy nich pod uwagę obniżone ciśnienie atmosferyczne. Podczas nurkowania na wysokości, nurkowanie zaczyna się i kończy w strefie obniżonego ciśnienia atmosferycznego. Podczas latania po nurkowaniu, niedługo po wynurzeniu na powierzchnię następuje dalsze obniżenie ciśnienia atmosferycznego, poniżej wartości wyjściowej.

Trwa Druga Wojna Światowa, i bardzo wielu z walczących żołnierzy Aliantów cierpi na chorobę dekompresyjną niemal codziennie. Jednak to, co byłoby uznane za kryzys w czasie pokoju, w czasie wojny jest traktowane za ledwie jako niedogodność: operacje są kontynuowane bez względu na „krzywiki”. Co może zaskakiwać, poszkodowani żołnierze nie są nurkami. To lotnicy.

Bombowce i eskortujące je myśliwce, przekraczające Kanał La Manche w złowrogich grupach, nie są hermetyczne, jednak nad wrogim terytorium przelatują na wysokościach przekraczających 9100 metrów. Powód jest jeden - niemiecka artyleria przeciwlotnicza nie są w stanie dokładnie celować do samolotów

na tej wysokości. Początkowo uważano, że załogi samolotów cierpią z powodu anoksji, czyli zbyt małej ilości tlenu; jednak systemy podawania tlenu nie zlikwidowały wszystkich objawów związanych z przebywaniem na dużych wysokościach.

Do końca wojny, Alianci odbędą setki misji. Oprócz powodowania ogromnych zniszczeń, loty te przyczynią się do uzyskania ogromnej ilości danych dotyczących przypadków choroby dekompresyjnej. W 1945 roku w oparciu o te dane dr Behnke napisał pracę, w której po raz pierwszy porównał przypadki choroby dekompresyjnej podczas latania na dużych wysokościach z do tych spotykanych u nurków

Haldane skonstruował swój model w oparciu o dane dotyczące nurkowania na poziomie morza - było to logiczne podejście, zważywszy, że większość nurkowań Royal Navy odbywała się w morzu. Jak napisano wcześniej, model zakładał, że nurek wynurzy się i po wynurzeniu pozostanie pod ciśnieniem pełnej atmosfery. Dopuszczalne wartości nasycenia azotem wyliczone zostały przy założeniu określonego maksymalnego gradientu ciśnień pomiędzy ciśnieniem azotu w tkankach ciała a ciśnieniem atmosferycznym. Pobyt na wysokości, gdzie następuje spadek ciśnienia w powietrzu otaczającym nurka, stwarza konieczność obniżenia wartości dopuszczalnego nasycenia azotem, a tym samym skróceniu ulegają czasy nurkowań bezdekompresyjnych.

Nurkowanie na wysokości

Korzystając z tabel nurkowych, wprowadzamy poprawkę na wysokość nad poziomem morza korzystając ze specjalnych dodatkowych tabel, które umożliwiają przeliczenie rzeczywistych głębokości podczas nurkowania na wysokości na głębokości teoretyczne, które można użyć do tabel przeznaczonych do nurkowania na poziomie morza. Najlepszym podejściem teoretycznym do nurkowania na wysokości jest stosowanie tak zwanych „Poprawek Krzyżowych” (Cross Corrections), wprowadzonych w 1970 roku i używanych do dziś. Metoda polega na wyliczeniu głębokości równoważnej, podobnej do wartości EAD (Równoważna Głębokość Powietrzna - Equivalent Air Depth), wyliczanej podczas nurkowania na nitroksie. Jednak w tym przypadku głębokość teoretyczna na wysokości jest większa niż głębokość rzeczywista. Możesz skorzystać z tabel, albo użyć poniższej formuły:

Głębokość teoretyczna = Głębokość rzeczywista ÷ Ciśnienie na wysokości

Na przykład, na głębokości 1829 metrów ciśnienie atmosferyczne spada z 1 bara na poziomie morza do 0,8 bara. Aby wprowadzić Poprawkę Krzyżową, wyliczamy głębokość teoretyczną korzystając z wzoru powyżej. Na przykład, dla głębokości 24 metrów głębokość ekwiwalentna na tej wysokości wyniesie:

$$24 \text{ m} \div 0,8 = 30 \text{ m}$$

Nasz czas bezdekompresyjny dla głębokości 24 metrów na wysokości 1829 metrów został obniżony z 30 do 20 minut.

Poprawka Krzyżowa nie została dokładnie zbadana w kontrolowanych warunkach, ale jej przydatność, nie potwierdzona w laboratorium, sprawdziła się w praktyce. Nurkowie stosowali Poprawkę Krzyżową przez prawie cztery dziesięciolecia, i nigdy nie pojawiły się poważniejsze wątpliwości co do jej przydatności. Należy jednak być ostrożnym, ponieważ mimo sprawdzenia się Poprawki Krzyżowej w konserwatywnym planowaniu nurkowań bezdekompresyjnych, niewiele jest danych poświęconych innym jej zastosowaniom.

Latanie po nurkowaniu

Latanie po nurkowaniu jest częste wśród nurków podróżujących po świecie, i jest zagadnieniem cieszącym się sporym zainteresowaniem. Wytyczne DAN zalecają po nurkowaniu bezdekompresyjnym co najmniej 12-godzinną przerwę przed lotem, podczas którego ciśnienie w kabinie nie będzie niższe niż na wysokości 2400 metrów, albo przed przejazdem przez góry o tej wysokości. Po nurkowaniach wymagających przystanków dekompresyjnych, czas wymaganej przerwy wzrasta do 24 godzin lub więcej.

Dr Richard Vann z Duke University badał ten problem eksperymentalnie. Przeanalizował ponad 800 przypadków ekspozycji bliskich limitom RDP. Przy przerwach powierzchniowych trwających krócej niż 12 godzin, u badanych osób wystąpiło 40 przypadków DCS - zatem prawdopodobieństwo choroby wyniosło 5%. Dodatkowo, nurkowania powtórzeniowe stwarzały konieczność wydłużenia przerwy przed lotem, tak by ryzyko stało się akceptowalne. Dobrą wiadomością jest, że choroba dekompresyjna nie wystąpiła w żadnym przypadku, gdy przerwa powierzchniowa przed lotem trwała powyżej 17 godzin. Nieco później, badania US Navy wskazały, że rzeczywiste zanurzenie i aktywność fizyczna (dr Vann prowadził doświadczenia w

komorach ciśnieniowych, na ochotnikach w spoczynku) mogą stwarzać konieczność wydłużenia przerwy powierzchniowej przed lotem - chociaż nie zostało to potwierdzone.

Jeśli jesteś nurkiem podróżującym drogą lotniczą, albo musisz przejechać przez góry, podczas planowania nurkowań powinieneś uwzględnić aktualne zalecenia dotyczące latania przed nurkowaniem. Wyobraź sobie, że nurkujesz ostatniego dnia rejsu safari. Powinieneś zakończyć nurkowanie przed południem, tak by przeznaczyć popołudnie na suszenie i pakowanie sprzętu. Nawet jeśli wylatujesz następnego dnia o 8:00 rano, twoja przerwa powierzchniowa wyniesie 18 godzin - co jest zgodne z wnioskami z eksperymentów Vanna i aktualnymi rekomendacjami dotyczącymi przerwy powierzchniowej przed lotem. Nurkowanie nocne na dzień przed lotem nie jest dobrym pomysłem, chyba że twój lot następnego dnia odbędzie się po południu.

Ponieważ latanie po nurkowaniu jest zagadnieniem aktywnie badanym, pozostawaj na bieżąco z wynikami najnowszych badań i zaleceniami oraz stosuj je podczas planowania nurkowań.

Przyszłość

Jest rok 2050. Scott i Frank, dwaj doświadczeni nurkowie techniczni, wynurzają się po rutynowym nurkowaniu na 330 metrów. Nagle na wyświetlaczu w masce Scotta miga ostrzegawcze światelko, a kobiecy głos komputera informuje go o wykryciu problemów podczas dekompresji.

„Co się dzieje?” - pyta Frank przez interkom.

„Beata mówi, że nanity wariują. Wykrywają pęcherzyki w moich naczyniach.”

„To niedobrze. Jakie są zalecenia?”

„Czekaj chwilę.” - Scott wciska przycisk w komputerze swojego rebreathera, i po chwili odczytuje zalecaną procedurę na wyświetlaczu maski. Ponaglany przez komputer, wybiera opcję ZATWIERDŹ. „Wracamy na 100 metrów” - mówi do Franka - „Nanity jak dotąd rozbiły pęcherzyki, ale na wszelki wypadek Beata zaraz podniesie stężenie O₂ w mojej mieszance. Chce żebym wziął leki przeciwtoksyczne, tak żeby mnie nie uderzyło. Jak na razie, nie potrzebuję kortykosteroidów. W każdym razie, czeka nas dodatkowo jakaś godzinka na deco.”

„Nie ma sprawy” - stwierdza Frank - „Na szczęście załadowałem do terminala dodatkowy film, więc nie będziemy się nudzić. Daj tylko znać załodze, że będziemy później.”

Modele Haldane’owskie są zdecydowanie najczęściej stosowanymi spośród wszystkich modeli dekompresyjnych, jednak oczywiście istnieją także inne modele. Było wiele prób opracowania modeli opartych o teorie inne niż te zaproponowane przez Haldane’a. Jednym z najwcześniejszych - model dyfuzyjny zaproponowany przez Hemplemana - został użyty do skonstruowania tabel Royal Navy w roku 1969. W 1977 Hills rozbudował ten model. Z kolei Kidd i Stubbs w 1962 roku skonstruowali urządzenie do wyliczania dekompresji oparte na przedziałach ułożonych seryjnie, a nie niezależnych, jak u Haldane’a. W modelu Kidda-Stubbsa przedziały wypełniane są kolejno, jeden za drugim, a nie równolegle i niezależnie od siebie - jak w modelu Haldane’a. Chociaż skonstruowane przez nich urządzenie do wyliczania dekompresji nigdy się nie przyjęło, to teoretyczne podejście jest wciąż stosowane w Kanadzie, w tabelach nurkowych DCIEM.

Jak jednak już wiesz, przyszłość prawdopodobnie należy do modeli opierających się na przewidywaniach wystąpienia fazy gazowej - pęcherzyków. Wielokrotnie, choć z różnym powodzeniem, próbowano modelować wpływ pęcherzyków na dekompresję. Yount (1979) opracował Model Zmiennej Przepuszczalności (Variable Permeability Model, VPM) i stosował go do określania ryzyka wystąpienia choroby dekompresyjnej u szczurów i u ludzi. W 1991 roku, Gernhardt (który później został astronautą, i pracował nad problemami dekompresyjnymi podczas lotów kosmicznych) stworzył model bubble index, który skutecznie przewidywał wyniki nurkowań z dużej bazy danych firmy Comex dotyczących nurkowań komercyjnych.

Ostatnio, Weinke wprowadził algorytm RGBM (Reduced Gradient Bubble Model), który został zastosowany w wielu komputerach nurkowych. Chociaż zredukowane gradienty opierają się na obliczeniach wzrostu pęcherzyków, na przykład podczas prowadzenia nurkowań o odwróconych profilach, odbywania nurkowań powtórzeniowych i wynurzania z dużymi prędkościami, to w praktycznych zastosowaniach model RGBM jest właściwie zmodyfikowanym modelem Haldane’a, z wartościami dopuszczalnego nasycenia azotem dostosowanymi do przewidywań modelu RGBM.

W przyszłości, spodziewamy się modeli opracowanych na podstawie badań nad fizjologią człowieka, i opierających się o prawa fizyki newtonowskiej, a nie dopasowujących się tylko do danych

eksperymentalnych. Możemy też oczekiwać podejść, które matematycznie opisują dane eksperymentalne, ale są znacznie bardziej złożone i elastyczne niż model Haldane’a.

Duże są oczekiwania w stosunku do nanomedycyny; szczególnie rozważane jest opracowanie mikroskopijnych, skomputeryzowanych urządzeń zwanych nanitami (nanytes), wszczepianych do krwiobiegu. Takie urządzenia umożliwiłyby bezpośrednie monitorowanie procesów zachodzących w twoim ciele, umożliwiając modyfikowanie profilu nurkowego zanim dojdzie do choroby dekompresyjnej. Również, chociaż rekompresja jest standardowym sposobem leczenia choroby dekompresyjnej, opracowano eksperymentalne procedury leczenia z zastosowaniem farmaceutyków. Może to oznaczać, że w przyszłości leki stosowane w razie choroby dekompresyjnej - albo prewencyjnie, dla jej zapobieżenia - będą standardową częścią twojej apteczki pierwszej pomocy.

To, co dzisiaj brzmi jak science-fiction, może wcale nie być aż tak odległe. Wiele nurkujących dzisiaj osób pamięta przewidywania ekspertów, że stworzenie praktycznych komputerów nurkowych jest niemożliwe - i w tamtym czasie mieli oni rację. W każdym razie, miejmy nadzieję, że wkrótce doczekamy się realistycznych modeli dekompresyjnych opartych na badaniach nad ludzką fizjologią. Oczekując na jego pojawienie, korzystać będziemy z błyskotliwości Haldane’a.

Divers Alert Network (DAN): jego rola w badaniach problemów i fizjologii nurkowania

Jako organizacja zajmująca się bezpieczeństwem i zdrowiem osób nurkujących rekreacyjnie, istniejący od 1981 Divers Alert Network (DAN) świadczy społeczności nurkowej szeroki zakres usług. Należy do nich utrzymywanie działającego przez całą dobę telefonu alarmowego w razie wypadków nurkowych, telefonicznej informacji dotyczącej medycyny nurkowania, udzielanie wsparcia finansowego i prowadzenie programów szkoleniowych dla komór dekompresyjnych, oraz prowadzenie różnorodnych programów badawczych w Centrum Medycznym Duke University (USA). Poza Stanami, DAN posiada również biura na całym świecie, w tym w Japonii, Australii i Nowej Zelandii, Południowej Afryce i Europie. DAN wytworzył również serię niedrogich zestawów pierwszej pomocy tlenowej w razie wypadków nurkowych, i opracował programy nauczania ich obsługi.

W zakres działalności DAN wchodzi również analiza wypadków nurkowych i zbieranie danych dotyczących śmiertelności wśród nurków. DAN bierze udział w leczeniu większości urazów odniesionych przez nurków rekreacyjnych i technicznych na całym świecie, i monitoruje komory dekompresyjne celem określenia ilości leczonych przypadków choroby dekompresyjnej i innych urazów nurkowych, oraz analizuje czynniki mające wpływ na te wypadki. Zebrane dane są udostępniane społeczności nurkowej - od nurków rekreacyjnych do naukowców i lekarzy medycyny zajmujących się problematyką nurkową. Informacje te pomagają lekarzom w śledzeniu trendów dotyczących rodzajów urazów nurkowych, analizie ich objawów oraz skuteczności leczenia. Wyniki badań i wnioski publikowane są w roczniku „Report on Diving Accidents and Fatalities” oraz w „Project Dive Exploration”.

Zgodnie ze statystykami DAN, w ciągu ostatnich 10 lat całkowita liczba nagłych wypadków nurkowych lekko wzrosła. Jednak liczba próśb o konsultację, kierowanych do linii informacyjnej DAN, wzrasta znacząco każdego roku. W 1995 roku, Sekcja Medyczna DAN odebrała ponad 14,000 zapytań. Zarząd DAN wiąże wzrost zainteresowania z wzrastającą liczbą członków DAN oraz szerszej wiedzy o tej usłudze. Sekcja Badawcza DAN prowadzi szereg badań, które mogą nieść bezpośrednie korzyści nurkom rekreacyjnym. Między innymi, w ramach projektu Project Dive Exploration gromadzone są rzeczywiste profile nurkowe, ściągane z komputerów noszonych przez nurków. DAN wykorzystuje te dane do poszukiwania odpowiedzi na szereg ważnych pytań, dotyczących między innymi wpływu starzenia na nurkowanie, choroby morskiej, czy urazów ciśnieniowych ucha.

Informacje na temat DAN i jego usług dostępne są pod numerem telefonu (001) 800-446-2671, albo na stronie <http://www.diversalertnetwork.org>. Aby dowiedzieć się więcej o badaniach prowadzonych przez Sekcję Naukową DAN, odwiedź stronę <http://www.diversalertnetwork.org/research>.