





---

Jacek Dziewicki, Tadeusz P. Żarski

**Nurkowanie jako forma turystyki kwalifikowanej  
Zagrożenia zdrowia nurków**

Wyższa Szkoła Kultury Fizycznej i Turystyki im. Haliny Konopackiej w  
Pruszkowie

PRUSZKÓW 2007

---

© Jacek Dziewicki, Tadeusz P. Żarski

Recenzent naukowy: dr Edward Samoraj

Redaktor: mgr Justyna Mazurek

Opracowanie graficzne i skład elektroniczny: mgr Marcin Bartkowski

ISBN 978-83-923121-3-0

Wydawca:

Wydawnictwo Naukowe WSKFiT

05-800 Pruszków, ul. Staszica 1

Tel. (22) 759-55-36

e-mail [wydawnictwo@wskfit.pl](mailto:wydawnictwo@wskfit.pl)

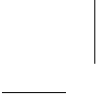
[www.wskfit.edu.pl](http://www.wskfit.edu.pl)

Druk i oprawa: SOWA - druk na życzenie

[www.sowadruk.pl](http://www.sowadruk.pl) tel.022/431-81-40

---

Pracę tę poświęcam pamięci mojego Taty  
i dedykuję Ewie.  
Jacek Dziewicki



---

SPIS TREŚCI:

<b>Wstęp</b>	10
<b>Rozdział I</b>	
1. Rodzaje i formy turystyki	12
1.1 Turyzm i turystyka	12
1.2 Turystyka aktywna	13
1.3 Turystyka kwalifikowana	14
1.4 Nurkowanie jako forma turystyki kwalifikowanej	16
1.4.1 Zarys historyczny	16
1.4.2 Organizacje nurkowe w Polsce i na Świecie	17
<b>Rozdział II</b>	
2. Warunki i prawa fizyczne związane z nurkowaniem. Czynniki fizyczne oddziałujące na organizm nurka	22
2.1 Podstawowe zasady bezpiecznego nurkowania	22
2.2 Środowisko wodne a środowisko lądowe warunki fizyczne	22
2.3 Definicje, jednostki i prawa gazowe	24
2.3.1 Ciśnienie atmosferyczne, hydrostatyczne i całkowite podstawowe jednostki	24
2.3.2 Prawa gazowe	25
2.4 Fizjologiczne aspekty nurkowania	37
2.4.1 Układ krążenia	38
2.4.1.1 Krew i mechanizm wymiany gazowej	39
2.4.1.2 Naczynia krwionośne	44
2.4.1.3 Serce	45
2.4.2 Układ oddechowy	48
2.4.2.1 Górne drogi oddechowe	50
2.4.2.1.1 Jama nosowa	50
2.4.2.1.2 Gardło	50
2.4.2.2 Dolne drogi oddechowe	51
2.4.2.2.1 Krtań	51
2.4.2.2.2 Tchawica	51
2.4.2.2.3 Oskrzela główne	52
2.4.2.2.4 Płuca	52
2.4.2.2.5 Opłucna	54

---

2.4.2.2.6 Mechanizm oddychania	54
2.4.3 Budowa i funkcje ucha	55
2.4.3.1 Ucho zewnętrzne	56
2.4.3.2 Ucho środkowe	57
2.4.3.3 Ucho wewnętrzne	57
2.4.4.4 Funkcje narządu słuchu	58
2.5 Rola gazów w nurkowaniu	58
2.5.1 Azot - gaz obojętny	59
2.5.1.1 Narkoza azotowa	59
2.5.1.2 Rozpuszczalność azotu w tkankach	60
2.5.2 Tlen	60
2.5.3 Dwutlenek węgla	61
2.5.4 Tlenek węgla	62
2.5.5 Inne gazy	62
2.6 Podsumowanie	63

### **Rozdział III**

3. Urazy i choroby nurkowe patofizjologia nurkowania	64
3.0 Wstęp	64
3.1 Geneza urazów ciśnieniowych	64
3.1.1 Uraz ciśnieniowy płuc	65
3.1.1.1 Uraz ciśnieniowy mięszu płucnego	67
3.1.1.2 Uraz ciśnieniowy pęcherzyków płucnych w okolicy oskrzeli	67
3.1.1.3 Uraz ciśnieniowy opłucnej	67
3.1.1.4 Zatory gazowe	68
3.1.1.5 Uraz ciśnieniowy płuc - podsumowanie	69
3.1.2 Uraz ciśnieniowy ucha	70
3.1.3 Uraz ciśnieniowy zatok	73
3.1.4 Uraz ciśnieniowy twarzy	75
3.1.5 Uraz ciśnieniowy zęba	75
3.1.6 Uraz ciśnieniowy przewodu pokarmowego	76
3.1.7 Uraz ciśnieniowy skóry	76
3.1.8 Podsumowanie urazów ciśnieniowych	77
3.2 Choroba ciśnieniowa (dekompresyjna)	77
3.2.1 Ogólna charakterystyka choroby ciśnieniowej	77
3.2.2 Tabele dekompresyjne	78
3.2.3 Rodzaje i objawy choroby dekompresyjnej	81



---

3.2.3.1 Objawy skórne (typ I)	82
3.2.3.2 Objawy stawowo-mięśniowe (typ I)	82
3.2.3.3 Objawy płucne (typ II)	82
3.2.3.4 Objawy sercowe (typ II)	82
3.2.3.5 Objawy neurologiczne (typ II)	83
3.2.3.6 Jałowa martwica kości (typ IV)	83
3.2.4 Podsumowanie choroby ciśnieniowej	83
3.3 Niedotlenienie (hipoksja)	85
3.4 Wychłodzenie organizmu (hipotermia)	86
3.5 Przegrzanie organizmu (hipotermia)	88
3.6 Utonięcie	89
3.7 Podsumowanie	91
<b>Podsumowanie</b>	92
<b>Literatura</b>	94
<b>Spis ryciny</b>	96
<b>Spis tabel</b>	97
<b>Załącznik nr 1: Rozporządzenie Ministra Sportu</b>	98

---

## **Wstęp**

Celem tego opracowania jest przedstawienie zagrożeń dla życia i zdrowia turysty wynikających z uprawiania turystyki nurkowej. Problematyka chorób i urazów nurkowych przedstawiona jest z perspektywy fizjopatologii nurkowania, czyli zmian funkcji fizjologicznych, zachodzących w organizmie człowieka pod wpływem czynników biologicznych i fizycznych typowych dla środowiska wodnego. Na wstępie omówione zostały wybrane pojęcia i definicje turystyki, turystyki aktywnej i turystyki kwalifikowanej, w tym także nurkowania jako jednej z form turystyki kwalifikowanej. Przedstawiona została pokrótce historia i rozwój nurkowania zarówno w kraju, jak i zagranicą. Przytoczone zostały również regulacje prawne dotyczące uprawiania płetwonurkowania w Polsce. Drugi rozdział poświęcony jest wybranym aspektom związanym z bezpieczeństwem podczas uprawiania turystyki nurkowej. Rozdział składa się z czterech części. Pierwsza część dotyczy omówienia specyfiki środowiska wodnego, z którym nierozłącznie związane jest nurkowanie. Druga część rozdziału poświęcona jest prawom fizycznym działającym w środowisku wodnym i ich ogromnemu znaczeniu dla zdrowia, a często i życia nurka. Trzecia część rozdziału przedstawia budowę anatomiczną najważniejszych z punktu widzenia patofizjologii nurkowania układów i narządów człowieka: układu krążenia, układu oddechowego i narządu słuchu. Ostatnia część rozdziału omawia rolę gazów, ich zachowanie i wpływ na organizm nurka w warunkach podwyższonego ciśnienia. Trzeci rozdział poświęcony jest w całości chorobom i urazom nurkowym. Omówione zostały patogenеза, przebieg i następstwa szeregu chorób nurkowych, dotyczących głównie układu krążenia, układu oddechowego, i narządu słuchu. Rozdział rozpoczyna się opisem różnego rodzaju urazów ciśnieniowych. Następna część poświęcona została chorobie dekompresyjnej, zwanej także chorobą ciśnieniową lub kesonową. Kolejna część rozdziału omawia zagadnienia związane z hipoksją, hipotermią i hipertermią. Kończącą część rozdziału poświęcono omówieniu zjawiska utonięcia jako następstwa wielu urazów i chorób nurkowych, a zarazem głównej przyczyny śmierci nurków. Uwagi końcowe dotyczące problematyki przedstawionej w poszczególnych rozdziałach zostały zebrane i przedstawione w ostatniej części pracy -

---

podsumowaniu.

Mamy nadzieję, że przedstawione poniżej informacje będą przydatne przy podejmowaniu decyzji o zajęciu się uprawianiem turystyki nurkowej. Nie ma drugiej dziedziny ludzkiej aktywności fizycznej, która byłaby w stanie zaoferować podobną różnorodność wrażeń jak nurkowanie. Relaks i wytchnienie, możliwość obserwacji zadziwiającego bogactwa podwodnej flory i fauny jest udziałem tylko tych, którzy posiadają rzetelną wiedzę teoretyczną i doświadczenie praktyczne zdobywane często latami. Nurkowanie jest bardzo ekscytującym, podnoszącym poziom adrenaliny rodzajem turystyki kwalifikowanej. Kwalifikowanej to znaczy, że jest to zajęcie wymagające szczególnej wiedzy dotyczącej procedur bezpiecznego jego uprawiania. Wykonywane poprawnie, przy stosowaniu właściwych technik jest bezpieczne. Niebezpieczeństwo pojawia się, gdy nie przestrzegana jest ustalona strategia bezpieczeństwa. Chcieliśmy te zagrożenia i sposoby ich uniknięcia przyszłym adeptom nurkowania przybliżyć.

Autorzy

---

# Rozdział I

## 1. Rodzaje i formy turystyki

### 1.1 Turyzm i turystyka

Istnieje wiele definicji pojęcia turystyka. Jednak, jak się wydaje, w dalszym ciągu nie ma definicji, która zawierałaby wszystkie aspekty dotyczące tego zjawiska. Fakt ten jest bezpośrednio związany z tym, że turystykę jako naukę interdyscyplinarną można definiować na różne sposoby, w zależności od potrzeb. Ekonomista stworzy definicję na potrzeby ekonomii, geograf na potrzeby geografii, a socjolog na potrzeby socjologii.

Termin turystyka pochodzi od angielskiego słowa *tourism*. Obecnie słownik Cambridge definiuje *tourism* jako „the business of providing services such as transport, places to stay or entertainment for people who are on holidays” (Cambridge Advanced Learner's Dictionary, 2003) czyli w tłumaczeniu własnym to: “przedsięwzięcie komercyjne polegające na zapewnianiu usług takich jak transport, zakwaterowanie oraz rozrywka, ludziom przebywającym na wakacjach”. Definicja ta na przestrzeni wieków, zmieniła swoje znaczenie. Początkowo słowo *tourism* oznaczało tylko podróżowanie. Obecnie uznaje się, że pojęcie turystyka, które stało się kalką językową od angielskiego słowa *tourism*, jest pojęciem zdecydowanie szerszym niż pojęcie turystyka i obejmuje społeczno-kulturowe, gospodarcze, prawno-polityczne, przyrodnicze i przestrzenne uwarunkowania, przebieg i następstwa turystyki (Kowalczyk, 2002). Także definicja turystyki określana przez autorów zarówno polskich, jak i zagranicznych na przestrzeni dziesięcioleci zmieniła swoje znaczenie. Przykładem wczesnych definicji może być zapis opublikowany w połowie XIX wieku przez E. Littrę w Encyklopedii Francuskiej pod hasłem turystyka, który mówi, że turystyka jest podróżowaniem z ciekawości i dla zabicia czasu (Rut, 2002). Zdecydowanie bardziej współczesną definicję turystyki zaproponował w 1973 roku Przeclawski: (1977) definiując ją jako: „całokształt zjawisk ruchliwości przestrzennej, związanych z dobrowolną, czasową zmianą miejsca pobytu, rytmu i środowiska życia, oraz wejściem w styczność osobistą ze środowiskiem odwiedzanym (przyrodniczym, kulturowym bądź osobistym)”. Jeszcze inaczej

---

turystyka została zdefiniowana przez Światową Organizację Turystyki (WTO) działająca przy ONZ. Została ona określona jako: „(...) ogół czynności osób, które podróżują i przebywają w celach wypoczynkowych, służbowych lub innych, nie dłużej niż rok bez przerwy, poza swoim codziennym otoczeniem, z wyłączeniem wyjazdów, w których głównym celem jest działalność zarobkowa wynagradzana w odwiedzanej miejscowości” (Terminologia turystyczna, 1995). Można zatem stwierdzić, że mimo rozwoju turystyki, a za tym również transformacji samej definicji, jedno na pewno się nie zmienia: turystyka jest w dalszym ciągu ściśle związana z człowiekiem i jego wypoczynkiem.

## **1.2 Turystyka aktywna**

Wraz z rozwojem cywilizacji, nauki i techniki, turysta otrzymuje coraz nowsze narzędzia, umożliwiające mu nie tylko aktywny wypoczynek, ale również przemieszczanie się w dowolny zakątek kuli ziemskiej w coraz krótszym czasie. Dziedzina turystyki ściśle związaną z wykorzystaniem zdobyczy techniki przez turystów i czynnym wypoczynkiem jest turystyka aktywna. Według Andrejuk (1998) jest to forma turystyki, w której głównym lub ważnym elementem wyjazdu niezależnie od czasu trwania działalności turystycznej jest podejmowanie szczególnego rodzaju aktywności rekreacyjnej lub hobbystycznej. Cechą wyróżniającą tę formę turystyki jest ruch wykorzystujący specyficzne warunki, do których zaliczyć należy:

### 1. Walory przyrodnicze takie jak:

- a) atrakcyjny, urozmaicony krajobraz itd.
- b) dostęp do rzek, jezior, wybrzeża itd.
- c) teren zalesiony, bagienny, górski itd.

### 2. Infrastrukturę specjalistyczną:

- a) wytyczone trasy i ścieżki piesze, rowerowe, konne, edukacyjne itp.
- b) dostępne, oznaczone szlaki i akweny wodne itp.
- c) możliwość wypożyczenia koni, łódek, żaglówek, kajaków, motorówek, rowerów i innego sprzętu niezbędnego do korzystania z aktywnego wypoczynku lub infrastruktura umożliwiająca wykorzystania własnego sprzętu.

---

3. Bazy noclegowe wraz z infrastrukturą:

- a) drogi dojazdowe, parkingi i dostępność komunikacji publicznej.
- b) bazy noclegowe o odpowiednim standardzie, wyposażone w urządzenia umożliwiające wypoczynek sportowy i rekreacyjny.

4. Działania lokalnych punktów informacji turystycznej:

- a) promowanie aktywnego spędzanie czasu wolnego na danym terenie
- b) informacja o imprezach kulturalnych, sportowych i rekreacyjnych
- c) materiały promocyjne (ulotki, foldery, mapy itp.)

Niewątpliwie turystyka aktywna wychodzi naprzeciw oczekiwaniom współczesnych turystów. Jej dynamiczny rozwój wiąże się z rosnącym zapotrzebowaniem na zdrowy urlop, w którego skład wchodzi różnego rodzaju aktywności fizyczne ukierunkowane na podtrzymanie zdrowia zarówno fizycznego, jak i psychicznego, wzbogacone o elementy edukacyjne. Uczestnicy tej szeroko pojętej formy turystyki charakteryzują się dobrą sprawnością fizyczną, posiadają i doskonałą umiejętność korzystania z niezbędnego ekwipunku i sprzętu rekreacyjnego.

### **1.3 Turystyka kwalifikowana**

Jedną z form turystyki aktywnej, w której szczególne znaczenie ma wysoka sprawność fizyczna oraz umiejętne posługiwanie się, często bardzo zaawansowanym technicznie, sprzętem specjalistycznym jest turystyka kwalifikowana. Według Łobożewicza (1999), specjalisty i autorytetu w tej dziedzinie, „Turystyka kwalifikowana jest najwyższą formą specjalizacji turystycznej w wybranej dyscyplinie; jej uprawianie wymaga specjalistycznego przygotowania psychofizycznego, zahartowania na trudy, umiejętności zachowania się w terenie i w obiektach turystycznych, a w niektórych przypadkach potwierdzonej przez właściwe organizacje lub instytucje umiejętności posługiwania się sprzętem turystycznym, głównie lokomocyjnym. Turystyka kwalifikowana najbardziej zbliża człowieka do przyrody i tym samym najbardziej regeneruje jego siły psychofizyczne. To najdoskonalsza forma świadomie i celowo uprawianej turystyki”. Możemy zatem powiedzieć, iż turystyka kwalifikowana łączy w sobie cechy sportu, rekreacji i edukacji. Jest naturalnym regeneratorem, a nawet rehabilitantem stanu psychofizycznego człowieka poprzez jego bezpośredni kontakt zarówno z przyrodą,

---

jak i z kulturą innych społeczności. Pozwala wyzwolić, na co dzień skrywane, emocje. Niewątpliwie zawiera w sobie elementy edukacyjne i poznawcze, zmuszając turystę do aktywności intelektualnej i poszerzania horyzontów. Temu wszystkiemu sprzyjają częste zmiany miejsc odwiedzanych przez turystów i konieczność poznawania odwiedzanego regionu. Coraz większa dostępność tej formy wypoczynku jest możliwa dzięki dynamicznie rozwijającemu się przemysłowi turystycznemu i okołoturystycznemu. Zaletą turystyki kwalifikowanej jest możliwość znalezienia wśród jej dyscyplin najróżniejszych form wypoczynku w zależności od indywidualnych upodobań i zasobów finansowych turysty.

Uważamy, że można wyróżnić następujące formy turystyki kwalifikowanej:

#### I. W okresie wiosna-jesień

##### 1. na lądzie

###### a) piesza

- nizinna
- górską
- na terenach trudno dostępnych np. bagna, skałki, grotty, jaskinie, itp.....

###### b) rowerowa

- nizinna (szosowa i terenowa)
- górską

###### c) motorowa

- szosowa
- terenowa

###### d) inne, nie wymienione wcześniej

##### 2. w wodzie

###### a) kajakowa

- nizinna
- górską

###### b) żeglarska

- śródlądowa
- morską

- 
- c) motorowodna
    - śródlądowa
    - morska
  - d) podwodna
  - e) inne, nie wymienione wcześniej

### 3. W powietrzu

- a) szybownictwo
- b) lotniarstwo i podobne
- c) spadochroniarstwo
- d) inne, nie wymienione wcześniej

## II. W okresie zimy

### 1. na lądzie lub zamrzniętych akwenach wodnych

- a) piesza
  - nizinna
  - górską
- b) rowerowa głównie nizinna
- c) narciarska
  - nizinna
  - górską
- d) motorowa
- e) inne, nie wymienione wcześniej

### 2. w wodzie

- a) podwodna
- b) podlodowa

## 1.4 Nurkowanie jako forma turystyki kwalifikowanej

### 1.4.1 Zarys historyczny

Jedną z najciekawszych, fascynujących i zarazem tajemniczych form turystyki kwalifikowanej jest pletwonurkowanie, które zaliczane jest do turystyki podwodnej. Człowiek od dawna zafascynowany był tym, co nieznane, a w szczególności eksploracją świata podwodnego, który będąc w zasięgu ręki był



---

jednocześnie niedostępny. Szczególną rolę w umożliwieniu odkrycia podwodnych głębin mieli Francuzi: Jacques Yves Cousteau znany badacz, podróżnik, odkrywca i pionier płetwonurkowania i Yves Gagman. Skonstruowali oni w latach czterdziestych XX wieku aparat nurkowy umożliwiający swobodne przebywanie pod wodą. Dzięki temu wynalazkowi człowiek mógł realnie myśleć o wkroczeniu w nieznaną świat środowiska podwodnego. W latach pięćdziesiątych XX wieku dzięki udoskonalonej konstrukcji aparatu oddechowego, swobodne przebywanie pod wodą stało się faktem. Nurkowanie w swojej pierwotnej postaci było bardzo kosztowne i dlatego dostępne było głównie dla naukowców, badaczy, wojska i zawodowych nurków wykonujących prace podwodne. Z biegiem czasu dynamiczny rozwój cywilizacji, nauki, techniki, a także medycyny umożliwił uprawianie nurkowania przeciętnemu turyście. Mimo to, do dnia dzisiejszego panuje niesłuszny pogląd, że jest to droga i elitarna forma spędzania czasu wolnego.

#### **1.4.2 Organizacje nurkowe w Polsce i na świecie**

Powszechny dostęp do płetwonurkowania spowodował konieczność wprowadzenia regulacji prawnych, jak również powstania krajowych i międzynarodowych organizacji nurkowych. Celem powstających organizacji i stowarzyszeń zrzeszających nurków i płetwonurków było zainteresowanie i rozpowszechnienie wśród opinii publicznej, niedostępnych wcześniej walorów świata podwodnego. Rozpoczęto również szkolenia płetwonurków w celu poprawienia ich bezpieczeństwa, a tym samym ochrony zdrowia i życia osób nurkujących. Najstarszą organizacją nurkową o zasięgu międzynarodowym założoną w 1959 roku w Monako jest CMAS (Confederation Mondiale des Activits Subaquatiques), a jej pierwszym prezydentem został J. Y. Cousteau. Innymi organizacjami nurkowymi o zasięgu globalnym są PADI (Professional Association of Diving Instructors) zrzeszające instruktorów płetwonurkowania, SSI (Scuba Schools International) i wiele innych o nieco mniejszym zasięgu działania.

W Polsce powstały dwie organizacje, które przyczyniły się do rozpowszechnienia płetwonurkowania. Pierwszą z nich była Liga Przyjaciół Żołnierza (LPŻ), która powstała w 1950 roku. W 1962 roku LPŻ przekształcona została w Ligę Obrony Kraju

---

(LOK); początkowo zajmującą się szkoleniem płetwonurków i instruktorów na potrzeby wojska, a obecnie szkoleniem głównie osób cywilnych. Drugą organizacją działającą w Polsce była Komisja Turystyki Podwodnej Polskiego Towarzystwa Turystyczno-Krajoznawczego (KTP PTTK), powstała w 1956 roku, przemianowana w 1972 roku na Komisję Działalności Podwodnej Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Turystyczno-Krajoznawczego (KDP ZG PTTK), szkoląca swoich adeptów w systemie CMAS od 1959 roku, czyli od początku powstania CMAS. Działalność organizacji zarówno krajowych, jak i międzynarodowych, pozwoliła usystematyzować i kontrolować szkolenie poprzez wprowadzenie nauczania etapowego, na bazie własnych programów szkoleniowych. Każdy etap szkolenia płetwonurka zakończony jest egzaminem zarówno praktycznym, jak i teoretycznym. Płetwonurek, który ukończył szkolenie na danym poziomie, otrzymuje odpowiednie, adekwatne do swojego wykształcenia, zaświadczenie potwierdzające zdobyte umiejętności. Uprawnienia takie określają przede wszystkim, do jakiej głębokości płetwonurek może się zanurzyć i na jakich warunkach.

Uprawianie turystyki nurkowej w niektórych państwach, w tym również w Polsce, regulowane jest normami prawa wewnętrznego. Od 7 maja 2002 roku obowiązuje Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie uprawiania płetwonurkowania (Dz. U. z dnia 8 czerwca 2002 r.). Rozporządzenie to w sposób bardzo jasny i czytelny określa definicję płetwonurkowania, wymogi i sposób uzyskiwania kwalifikacji, jak i uprawnienia wynikające z ich posiadania, zasady nadawania, zawieszania i cofania uprawnień oraz szczególne zasady bezpieczeństwa obowiązujące przy uprawianiu płetwonurkowania. W § 2. rozporządzenia, prawodawca definiuje pojęcie płetwonurkowania jako: „pływanie pod wodą, z wykorzystaniem aparatu oddechowego i płetw, w celach sportowych lub rekreacyjnych, z zastosowaniem dodatkowego wyposażenia zgodnie z przepisami bezpieczeństwa, a także regulaminu zawodów w przypadku płetwonurkowania sportowego”. A zatem, płetwonurek to człowiek, który swobodnie porusza się pod wodą przy pomocy płetw, oddycha za pośrednictwem niezależnego źródła mieszaniny oddechowej aparatu oddechowego, składającego się ze zbiornika (butli) wypełnionego sprężoną mieszaniną oddechową (najczęściej sprężonym powietrzem) i automatu przekazującego nurkowi mieszaninę

---

oddechową do jamy ustnej. Jak można zauważyć, płetwonurek jest pod wodą całkowicie niezależny: może poruszać się swobodnie zarówno w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej. Jedynym ograniczeniem, jak się pozornie wydaje, z jakim podwodny turysta musi się liczyć, jest ilość mieszanki oddechowej i czas przebywania pod wodą. W załączniku nr 5 ww. aktu normatywnego sformułowano zamieszczone poniżej szczególne zasady bezpieczeństwa obowiązujące przy uprawianiu płetwonurkowania :

1. Maksymalna głębokość nurkowania z wykorzystaniem powietrza jako mieszanki oddechowej wynosi 50 m.
2. Przy stosowaniu mieszanin oddechowych innych niż powietrze ciśnienie cząstkowe tlenu nie może przekraczać 0,16 Mpa.
3. Uprawianie płetwonurkowania odbywa się z zachowaniem zasad profilaktyki wypadków i chorób nurkowych.
4. Osoby uprawiające płetwonurkowanie są obowiązane posiadać zaświadczenie lekarskie o braku przeciwwskazań do uprawiania płetwonurkowania.
5. Do obowiązków osoby kierującej nurkowaniem należy zaplanowanie nurkowania, z uwzględnieniem zasad bezpieczeństwa, oraz jego wykonanie zgodnie z posiadaną wiedzą i odpowiednią praktyką nurkową.
6. Planowanie nurkowania odbywa się z określeniem sposobu bezpiecznego wejścia do wody oraz powrotu po zakończeniu nurkowania.
7. Przed rozpoczęciem nurkowania należy ustalić: sposób porozumiewania się sygnałami nurkowymi oraz procedurę ratunkowo-ewakuacyjną obowiązującą w przypadku wystąpienia zagrożenia.
8. Podstawowym obowiązkiem organizatora zajęć szkoleniowych na basenie i na wodach otwartych jest zapewnienie bezpieczeństwa osobom szkolonym.
9. Miejsce prowadzenia zajęć szkoleniowych wyposaża się w sprzęt pierwszej pomocy, sprawny technicznie, z możliwością stosowania tlenu o minimalnym zapasie 1.500 l, oraz pisemną procedurę postępowania w sytuacji zagrożenia życia lub zdrowia płetwonurka.
10. Wszelkie zajęcia szkoleniowe na basenie i na wodach otwartych są

---

prowadzone pod nadzorem trenera lub instruktora, o kwalifikacjach uprawniających do prowadzenia płetwonurkowania, a ćwiczenia wykonywane pod wodą - w bezpośredniej jego obecności.

W dniu 17 sierpnia 2006 r. zostało wydane nowe Rozporządzenie Ministra Sportu w sprawie zasad bezpieczeństwa przy uprawianiu płetwonurkowania, które zamieszczamy w załącznikach.

Ze względu na swoją niepowtarzalność, turystyka nurkowa zasługuje na miano jednej z najciekawszych i najbardziej fascynujących form turystyki kwalifikowanej. Jej dynamiczny rozwój jest możliwy głównie dzięki rozwojowi nauki, techniki i medycyny. Turystyka nurkowa to obecnie z jednej strony aktywny wypoczynek, zaś z drugiej, bardzo dobrze rozwijający się przemysł o zasięgu globalnym. Człowiek w epoce „turystyfikacji świata” (Przeclawski, 1997) ma dostęp do różnorodnych form spędzania czasu wolnego i wypoczynku, w tym również do eksploracji głębin. Mimo tak gwałtownej ekspansji człowieka, do całkowitego podboju świata podwodnego jest jeszcze bardzo daleko. Ludzie są już w stanie oglądać i badać nawet najgłębsze miejsca na ziemi, takie jak Rów Mariański, znajdujący się na Oceanie Spokojnym, którego głębokość to blisko 11 000 metrów. Jednak badania te są możliwe głównie za pośrednictwem bardzo drogich robotów podwodnych. Co ciekawe rów ten został zdobyty przez człowieka tylko raz, w 1960 roku przez amerykański batyskaf Trieste, na pokładzie którego byli dwaj śmiałkowie: Don Walsh i Jacques Piccard. Dynamiczny rozwój turystyki aktywnej i kwalifikowanej powoduje, że turyści mogą nareszcie, przy coraz mniejszych nakładach finansowych, realizować odwieczne marzenia związane z przygodą, odkrywaniem tego, co niedostępne, czy po prostu aktywnie spędzać wolny czas. Sprzyja temu również uprawianie turystyki nurkowej. Jednakże oprócz niewątpliwych zalet związanych z uprawianiem tej formy turystyki kwalifikowanej, należy liczyć się z niebezpieczeństwami czyhającymi na nurka. Zagrożenia te mogą być różnorakie: począwszy od nurkowania bez odpowiednich kwalifikacji, poprzez nurkowanie w niebezpiecznych miejscach, w nieodpowiednim sprzęcie, czy zagrożenia ze strony fauny i flory, aż do problemów wynikających z załamania mechanizmów adaptacji fizjologicznej czyli prowadzących do patologicznych efektów nurkowania.

---

W następnych rozdziałach omówione zostaną ogólne zasady bezpiecznego nurkowania, podstawowe prawa fizyczne i gazowe, którym poddawane jest ciało nurka podczas nurkowania oraz poruszone zostaną wybrane aspekty fizjologii człowieka. Dalsza część pracy poświęcona została zagadnieniom związanym z patologią nurkowania, czyli stanami chorobowymi mogącymi wystąpić podczas nurkowania, bezpośrednio po jego zakończeniu lub w jego skutek, będącymi następstwem lekceważenia zasad bezpiecznego nurkowania lub błędów wynikających z niedostatecznej wiedzy nurkowej.

---

## Rozdział II

### **2. Warunki i prawa fizyczne związane z nurkowaniem. Czynniki fizyczne oddziałujące na organizm nurka**

#### **2.1 Podstawowe zasady bezpiecznego nurkowania**

Człowiek już od dawien dawna marzył o podboju świata podwodnego. Ten trudno dostępny obszar do dziś skrywa wiele tajemnic zarówno historycznych, jak i biologicznych. To jeden z ważniejszych powodów, dla których turystyka nurkowa pod koniec XX wieku zaczęła się tak dynamicznie rozwijać. Ale rozwój turystyki nurkowej czy podwodnej nie byłby możliwy, gdyby nie rozwój techniki, dzięki której człowiek mógł poruszać się i przebywać pod wodą samodzielnie, swobodnie, a zarazem bezpiecznie. Jednakże bezpieczeństwo to nie tylko dobry i niezawodny sprzęt, ale również świadomość zagrożeń zdrowotnych, związanych z wkroczeniem w obce nam ludziom środowisko wodne, do funkcjonowania w którym, człowiek nie jest zbyt dobrze przystosowany.

Nurkowanie to bardzo ciekawy, aktywny i fascynujący sposób spędzania czasu wolnego. Jednak, aby uprawianie turystyki nurkowej było bezpieczne, uczestnik musi posiadać bardzo dużą wiedzę w zakresie specyfiki środowiska wodnego, w którym przebywa. Niezbędna jest również znajomość praw fizycznych działających w tym środowisku nie tylko na ciało nurka, ale również na mieszaninę oddechową, z której nurek w danym momencie korzysta. Przydatna okazuje się także wiedza z zakresu medycyny, biologii, fizyki, psychologii, ratownictwa nurkowego i udzielania pierwszej pomocy. Można zatem powiedzieć, że uprawianie turystyki nurkowej to nie tylko mile spędzony czas nad i pod wodą, ale również, często wielokrotnie dłuższy, czas poświęcony na czynności przygotowawcze, w tym również ciągłe kształcenie się w tej dziedzinie. Należy pamiętać, że człowiek wspierany przez najnowsze osiągnięcia techniki w dalszym ciągu jest intruzem w środowisku wodnym.

#### **2.2 Środowisko wodne a środowisko lądowe warunki fizyczne**

Na powierzchni człowiek ma do czynienia ze stabilnymi warunkami, to znaczy: oddycha powietrzem, które jest mieszaniną gazów (w uproszczeniu): tlenu (ok. 21%), azotu (ok. 78%) i innych składników (ok. 1%), na które oddziałuje:

---

względnie stałe ciśnienie atmosferyczne, wynoszące około 950 do 1050 hPa (ok. 1 Atm.) i temperatura wahająca się od - 50°C do + 50°C, w zależności od miejsca na kuli ziemskiej. W tych warunkach człowiek dobrze widzi, słyszy, czuje, porusza się z dużą swobodą i łatwością, co umożliwia mu wykonywanie najróżniejszych, często bardzo skomplikowanych motorycznie, czynności i prac. Środowisko wodne nie jest już tak przyjazne. Występują tu, może nie aż tak duże jak na powierzchni, wahania temperatur (od 0°C do 35°C), powodujące jednak zdecydowanie szybsze wychładzanie organizmu człowieka, mimo iż ciało nurka zabezpieczają różnego rodzaju skafandry nurkowe. Dostęp do mieszaniny oddechowej jest ograniczony pojemnością butli, a skład mieszaniny (w nurkowaniach turystycznych najczęściej sprężone powietrze) nie jest obojętny na działanie ciśnienia hydrostatycznego, które zmienia się o 1 atmosferę co 10 m. głębokości. Obydwa podstawowe składniki powietrza - tlen (O<sub>2</sub>) i azot (N<sub>2</sub>), poddane działaniu wysokiego ciśnienia stają się zagrożeniem dla życia nurka. Również odbiór bodźców zewnętrznych jest zakłócony. Płetwonurek pod wodą gorzej widzi, ponieważ obraz widziany jest zniekształcony w wyniku załamania się i rozpraszania światła oraz ograniczenia jego rozchodzenia się w środowisku wodnym. Poza tym przejrzystość wody, choćby najczystszej, jest mniejsza niż przejrzystość powietrza. Dla odmiany, w wodzie nurek lepiej słyszy, gdyż dźwięk w wodzie rozchodzi się ponad czterokrotnie szybciej. Paradoksalnie pogarsza to identyfikację zarówno samego dźwięku, jak i kierunku, z którego dźwięk ten dochodzi. Spowodowane jest to nieprzystosowaniem ucha ludzkiego do odbioru dźwięków w wodzie. Pod wodą człowiek pozbawiony jest również zmysłu powonienia. Także inne czynności i zadania wykonywane bez kłopotu na powierzchni, w środowisku wodnym okazują się trudne do wykonania lub wręcz niewykonalne. Jednak mimo tych wszystkich utrudnień człowiek przejawia nieodparte pragnienie eksploracji głębin i z chęcią podejmuje wyzwanie, którego efektem są nowe i niepowtarzalne wrażenia. Ale aby przyszły turysta nurkowy swobodnie i bezpiecznie przebywał pod wodą, konieczne jest zapoznanie się z kilkoma podstawowymi wiadomościami do których zaliczyć należy:

- a) podstawowe definicje określające ciśnienie, jego rodzaje i jednostki
- b) prawa fizyczne działające na ciało nurka i jego przestrzeń gazową

- c) zasady działania i funkcjonowania organizmu człowieka i wpływ zmieniającego się ciśnienia na prawidłowe jego funkcjonowanie
- d) rodzaje i charakterystykę gazów, z którymi nurek ma bezpośredni kontakt pod wodą, ich zachowanie pod wpływem działania podwyższonego ciśnienia oraz bezpośredni wpływ na organizm człowieka

## 2.3 Definicje, jednostki i prawa gazowe

### 2.3.1 Ciśnienie atmosferyczne, hydrostatyczne i całkowite podstawowe jednostki

Czynnikiem określającym stan gazów lub ich mieszanin jest ciśnienie, które słownik języka polskiego definiuje jako: „wielkość fizyczną równą stosunkowi siły działającej prostopadle na daną powierzchnię - do wielkości tej powierzchni”. Z tego wynika, że ciśnienie atmosferyczne jest to: „ciśnienie (nacisk), jakie wywiera powietrze atmosferyczne na wszystkie znajdujące się w nim przedmioty”, natomiast ciśnienie hydrostatyczne to: „ciśnienie wywierane przez słup wody o określonym ciężarze i wysokości na jednostkę powierzchni” (Słownik języka polskiego, 2002). Wartość ciśnienia hydrostatycznego działającego na ciało zanurzone w wodzie jest wprost proporcjonalna do zmieniającej się głębokości zanurzonego ciała i zwiększa się o 1 atmosferę na każde 10 metrów słupa wody. Ciśnienie całkowite, któremu poddane jest ciało nurka jest więc sumą ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia hydrostatycznego. Dla łatwiejszego obliczenia ciśnienia występującego na danej głębokości przyjęto umownie, że ciśnienie atmosferyczne panujące na poziomie morza jest równe 1000 hPa, czyli 1 atmosferę. Rozważmy to na następującym przykładzie:

#### Przykład

Jeżeli nurek rozpoczął nurkowanie w akwenu będącym na poziomie morza (umowne ciśnienie atmosferyczne 1000 hPa czyli 1 atmosfera [atm]) i zanurkował na głębokość maksymalną 16 metrów, to na osiągniętej głębokości działa na niego ciśnienie całkowite wynoszące: 1,6 atm. ciśnienia hydrostatycznego + 1 atm ciśnienia atmosferycznego, co daje nam wartość ciśnienia całkowitego 2,6 atm.

Podstawową jednostką ciśnienia w układzie SI jest Pascal (Pa). Jednak w turystyce



nurkowej jednostkę tą wykorzystuje się głównie przy obsłudze urządzeń wymagających badań technicznych, takich jak sprężarki do napełniania butli nurkowych lub komory dekompresyjne. Najczęściej używanymi jednostkami ciśnienia są:

1 atmosfera fizyczna (atm) = 101 325 Pa = 1013,25 hPa = 0,1013 MPa

1 atmosfera techniczna (at) = 98 066,5 Pa = 980,66 hPa = 0,098 MPa

1 bar (bar) = 100 000 Pa = 1000 hPa = 0,1 MPa

Dodatkowym pojęciem określającym wartość ciśnienia w stosunku do próżni jest ciśnienie absolutne, które określone za pomocą jednostki ciśnienia technicznego oznaczone zostało symbolem ata. Na potrzeby przeprowadzania łatwiejszych i mniej skomplikowanych obliczeń w nurkowaniu przyjęto umownie, że różne jednostki ciśnienia są równe 0,1 MPa (megapascal) to znaczy:

0,1 MPa = 1000 hPa = 100 000 Pa = 1 bar = 1 atm = 1 at = 1 ata.

W urządzeniach mierzących głębokość nurkowania najczęściej stosowane jednostki to: atmosfera techniczna (at) lub bar (bar).

### 2.3.2 Prawa gazowe

Ze względu na duże różnice ciśnień, na których działanie narażony jest nurek i ich wpływ zarówno na procesy zachodzące w organizmie człowieka, jak i na zachowanie się gazów będących składnikami mieszaniny oddechowej, konieczne jest zapoznanie się z kilkoma podstawowymi prawami fizycznymi do których zaliczyć należy:

#### 1. Prawo Boyle'a-Mariotte'a

Prawo Boyle'a-Mariotte'a zostało odkryte w XVII w. niezależnie od siebie przez dwóch naukowców. W 1662 r. irlandzki naukowiec Robert Boyle'a jako pierwszy ogłosił odkrycie prawa dotyczącego zachowania się gazu doskonałego w warunkach przemiany izotermicznej. Zaledwie 14 lat później, niezależnie od R. Boyle'a swoje odkrycie ogłosił francuski naukowiec Edme Mariotte. Na podstawie wyników badań obydwu naukowców zostało sformułowane prawo które stanowi, że:

*Ciśnienie danej masy gazu ( $p$ ) jest odwrotnie proporcjonalne do zajmowanej objętości ( $V$ ) w danej temperaturze ( $T$ ).*

Oznacza to, że:

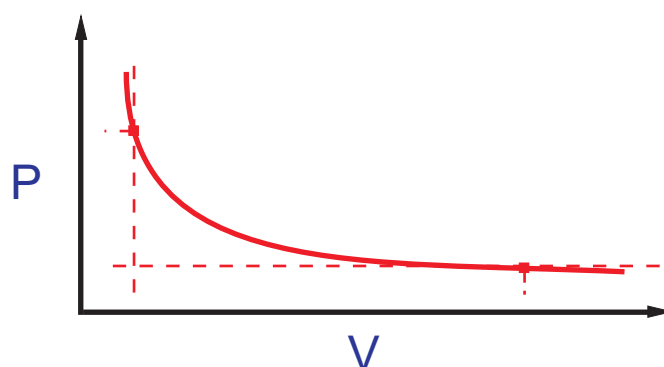
Iloczyn objętości ( $V$ ) i ciśnienia ( $p$ ) gazu w danej temperaturze ( $T$ ) jest wartością stałą. A zatem, prawo to jest niezmiernie ważne dla pętlwonurka. Wynika z niego, że w danej temperaturze  $T$  (w naszym przypadku temperatura wody), wraz ze wzrostem ciśnienia  $p$  (czyli wraz z zanurzeniem się na coraz większą głębokość), objętość danego gazu  $V$  będzie się zmniejszać, a w wyniku spadku ciśnienia  $p$  (czyli na skutek wynurzenia się pętlwonurka), objętość danego gazu  $V$  będzie ulegać zwiększeniu.

W formie matematycznej prawo to można przedstawić następujący sposób:

$$P \cdot V = \text{constans}$$

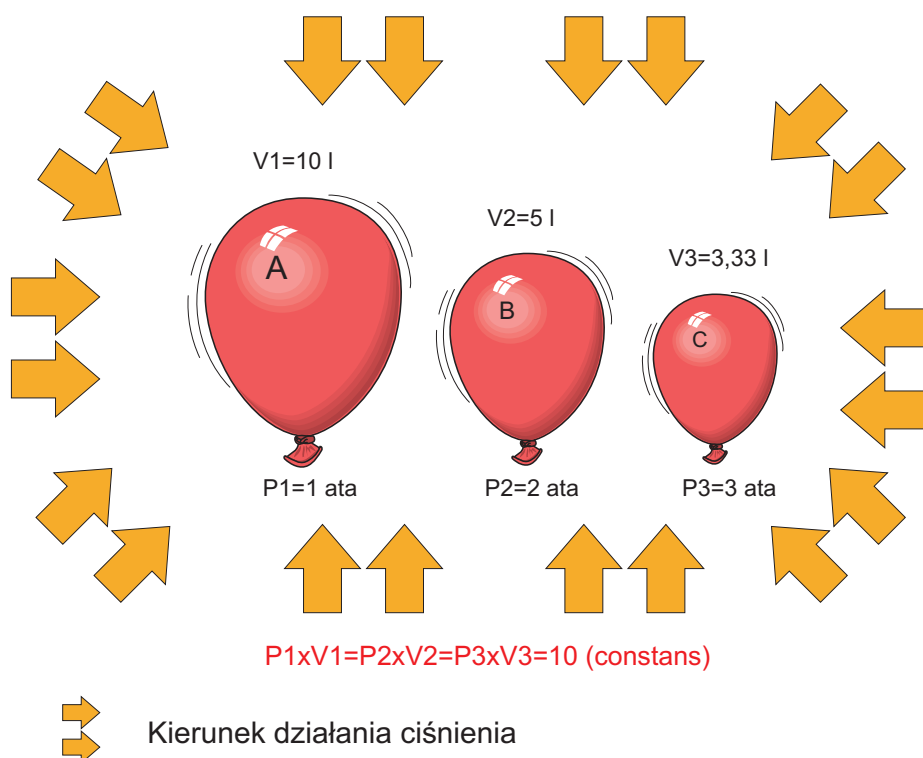
lub gdy temperatura ( $T$ ) jest wartością stałą wzór przyjmuje postać uproszczoną i wyrażony jest jako:

$$V \sim 1 : p.$$



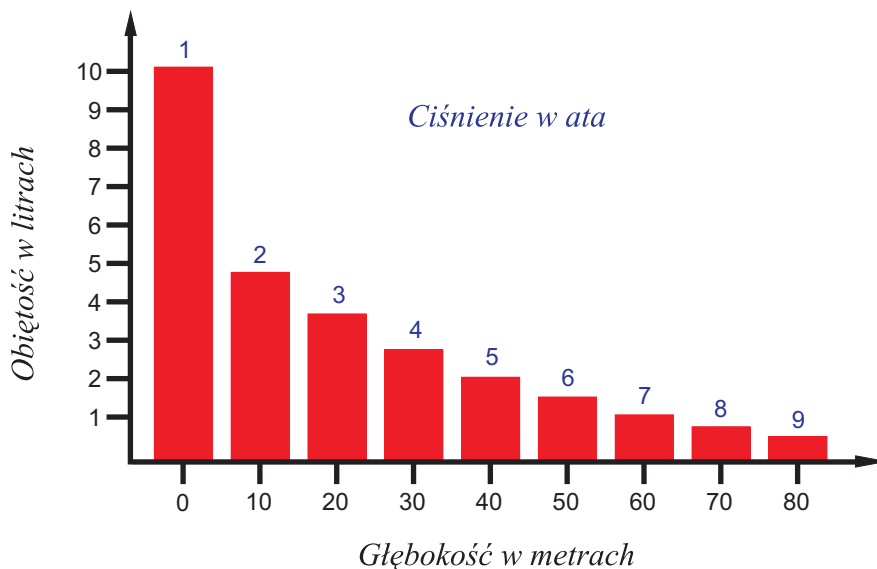
Ryc. 1 Wykres - Prawo Boyle'a-Marriotte'a

### Przykład



### **Ryc. 2 Zmiana objętości gazów wg prawa Boyle'a-Mariotte'a**

Wyobraźmy sobie pojemnik, który na powierzchni przy ciśnieniu atmosferycznym ok. 1 atm. napełnimy 10 litrami powietrza, zamkniemy go i zanurzymy na głębokość 10 metrów (ciśnienie na głębokości 10 m wynosi: 1 atm ciśnienia atmosferycznego + 1 atm ciśnienia hydrostatycznego = 2 atm ciśnienia całkowitego) objętość gazu w pojemniku, na który działa ciśnienie 2 atmosfer zmniejszy się o połowę i wyniesie 5 litrów. Natomiast, jeżeli ten sam pojemnik zanurzymy jeszcze głębiej na głębokość 20 metrów (ciśnienie na głębokości 20 m. wynosi: 1 atm ciśnienia atmosferycznego + 2 atm ciśnienie hydrostatycznego = 3 atmosfery ciśnienia całkowitego) okaże się, że objętość gazu w pojemniku wynosi 3,33 litra.



**Ryc. 3 Zmiany objętości gazu zgodne z prawem Boyle'a-Mariotte'a**

Przeciwną sytuację będziemy obserwować, jeżeli na głębokości 20 metrów (ciśnienie całkowite 3 atm) napełnimy pojemnik 3,33 litra powietrza, zamkniemy go i rozpoczniemy wynurzenie na powierzchnię. Wraz ze zmianą głębokości zaobserwujemy, że objętość gazu w pojemniku zwiększa się i na 10 metrach głębokości (ciśnienie 2 atm) wyniesie 5 litrów, a na powierzchni (ciśnienie 1 atm) objętość gazu będzie wynosiła 10 litrów. Ten przykład łatwo przenieść na grunt rzeczywisty. Jeżeli zamiast pojemnika będziemy mieli do czynienia z płucami nurka, to zobaczymy, że o ile w przypadku, gdy nurek napełni płuca powietrzem atmosferycznym na powierzchni, zanurzy się i ponownie wynurzy (nie oddychając pod wodą z alternatywnego źródła powietrza np. z aparatu nurkowego) - jego płucom nie zagraża żadne niebezpieczeństwo, o tyle w drugim przypadku, jeżeli nurek w całości napełni płuca powietrzem, które ma w butli, na głębokości 20 metrów i rozpocznie wynurzenie z zatrzymanym oddechem, jego płuca z pewnością zostaną rozerwane w wyniku wzrostu objętości znajdującego się w tym narządzie powietrza. Warto zwrócić przy tej okazji uwagę na jeszcze jedną zależność wynikającą z omawianego przykładu: zmiana objętości pojemnika pomiędzy 10 a 20 metrem była

zdecydowanie mniejsza niż między 10 metrem a powierzchnią wody. Wynika z tego, że największe zagrożenie dla nurka przy gwałtownym czy awaryjnym wynurzeniu ma miejsce na ostatnich 10 metrach przed powierzchnią wody lub też, że zagrożenie to wzrasta wraz ze zmniejszającą się głębokością (z wynurzeniem). Zależność ta ma ogromne znaczenie w przypadku awaryjnego lub niespodziewanego, nagłego wynurzenia. Opanowanie odruchu wstrzymywania oddechu w takiej sytuacji wymaga od nurka zarówno odpowiedniej wiedzy, jak i specjalnego wyszkolenia. Omówione przykłady w jednoznaczny sposób przedstawiają mechanizm powstawania urazu ciśnieniowego płuc w organizmie człowieka. Prawo to ma również zastosowanie przy omawianiu innych urazów ciśnieniowych, na które może być narażony uczestnik płetwonurkowania i dlatego zależności z niego wynikające omówione zostaną również w następnym rozdziale.

## **2. Prawo Gay-Lussaca**

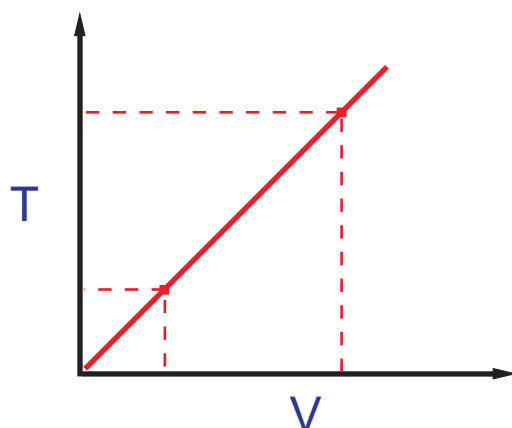
Prawo znane pod nazwą prawa Gay-Lussaca pierwotnie odkrył w 1787 roku francuski uczony Jaques Alexandre Charles, ale właściwie sformułował je w 1802 roku profesor École Polytechnique, francuski fizyk i chemik, Louis Joseph Gay-Lussac. Prawo Gay-Lussaca jest kolejnym z praw dotyczących zachowania się gazu doskonałego podczas zmiany jego stanu. Dotyczy ono przemiany izobarycznej (stałe ciśnienie) takiego gazu i brzmi następująco:

*Objętość danej masy gazu ( $V$ ) znajdującego się pod stałym ciśnieniem ( $p$ ) zmienia się wprost proporcjonalnie do temperatury wyrażonej w skali bezwzględnej ( $T$ ),*

kiedy ciśnienie ( $p$ ) jest wartością stałą wzór przyjmuje postać uproszczoną:

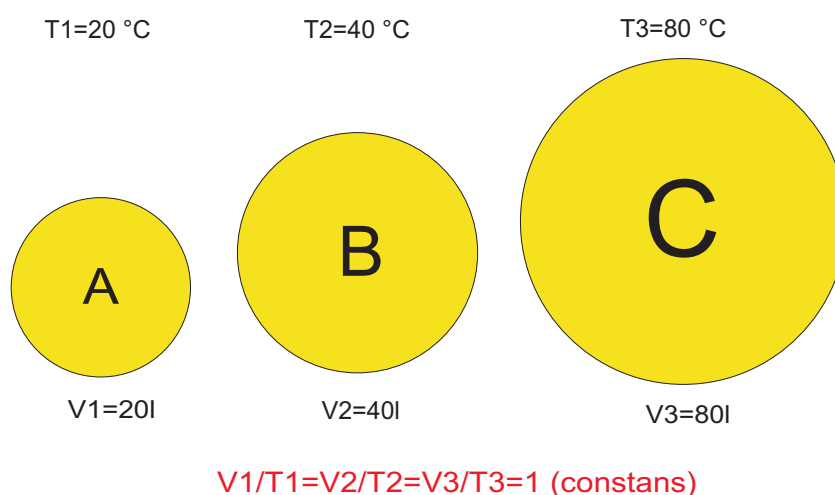
$$V_1 : T_1 = V_2 : T_2, \text{ gdzie } p = \text{constans}$$

Oznacza to, że wraz ze wzrostem temperatury gazu, na który działa stałe ciśnienie, wprost proporcjonalnie rośnie jego objętość, a wraz ze spadkiem temperatury gazu, na który działa stałe ciśnienie, objętość jego wprost proporcjonalnie maleje.



Ryc. 4 Wykres - Prawo Gay-Lussaca

Przykład



Ryc. 5 Zmiana objętości gazu pod wpływem zmiany temperatury

### 3. Prawo Charlesa

Autorem kolejnego prawa dotyczącego przemiany izochorycznej gazu doskonałego był francuski badacz, Jaques Alexandre Charles, który był również autorem pierwotnego sformułowania prawa Gay-Lucassa. Prawo Charlesa, odkryte pod XVIII wieku, ma następujące brzmienie:

Ciśnienie ( $p$ ) określonej masy gazu w danej objętości ( $V$ ) jest wprost proporcjonalne do jego temperatury bezwzględnej ( $T$ ),

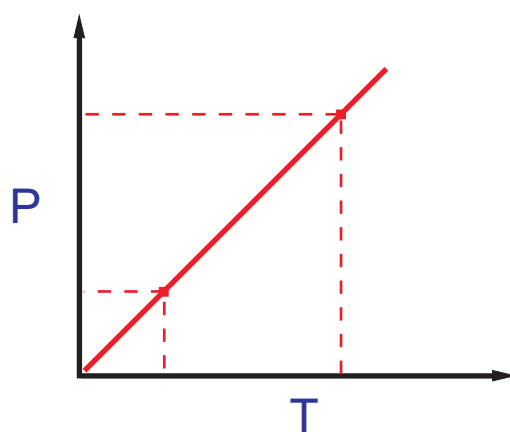
Prawo Charlesa możemy wyrazić wzorem:

$$p = \beta \cdot V \cdot T$$

gdzie współczynnik ściśliwości  $\beta = 1/273,15 = 0,00366$

lub gdy objętość ( $V$ ) jest wartością stałą wzór przyjmie postać uproszczoną

$$p_1 : p_2 = T_1 : T_2, V = \text{constans}$$



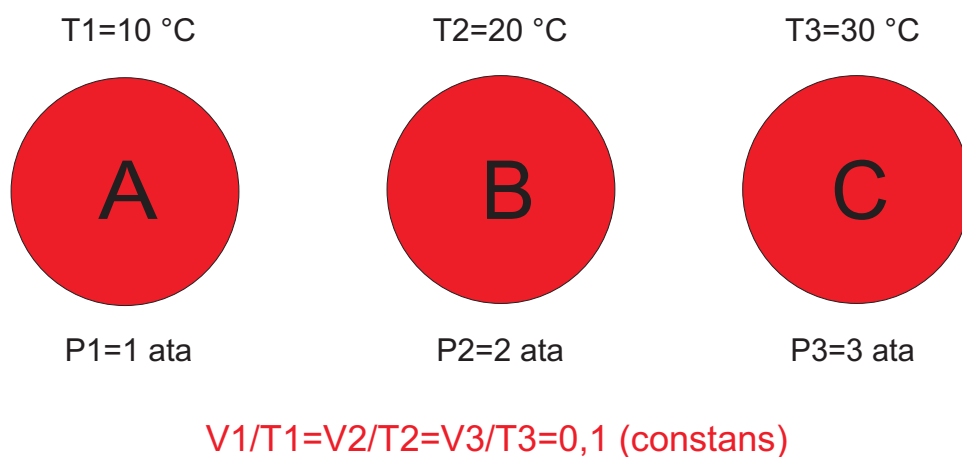
#### Ryc. 6 Wykres - Prawo Charlesa

Oznacza to, że określona masa gazu zamknięta w naczyniu, pod wpływem zmiany temperatury, zmieni swoje ciśnienie zwiększy lub zmniejszy wprost proporcjonalnie o stałą wynoszącą  $1/273,15$  na każdy stopień Celsjusza lub Kelwina.

#### Przykład

Prawo Charlesa ma znaczenie praktyczne w nurkowaniu, między innymi, przy napełnianiu butli i planowaniu nurkowania. W przypadku gdy butla nurkowa zostaje naładowana do pełna w temperaturze 20 stopni Celsjusza, zaś nurek wchodzi z taką butlą do wody o temperaturze 10 stopni Celsjusza, ciśnienie gazu w butli pod wpływem zmiany temperatury znacznie spada. Dlatego też przy planowaniu głębokich nurkowań, butlę nurkową ładuje się w specjalnym basenie napełnionym

zimną wodą, tak aby po rozpoczęciu nurkowania w zimnej wodzie straty ciśnienia w butli były jak najmniejsze.



Ryc. 7 Prawo Charlesa

#### 4. Prawo ciśnień cząstkowych (Daltona)

Prawo Daltona zostało odkryte w 1803 roku przez brytyjskiego fizyka i chemika, profesora uniwersytetu w Oksfordzie, Johna Daltona, znanego również jako autora pierwszego naukowego opracowania na temat choroby polegającej na nierozróżnianiu barw, nazwanej od jego nazwiska daltonizmem. Prawo Daltona stwierdza, że:

*Ciśnienie wywierane przez mieszaninę gazów jest równe sumie ciśnień parcjalnych wywieranych przez każdy składnik tej mieszaniny umieszczony osobno w tych samych warunkach objętości i temperatury.*

Z prawa Daltona wynika, że całkowite ciśnienie mieszaniny gazów lub par jest równe sumie ciśnień cząstkowych składników mieszaniny, czyli sumie ciśnień, jakie wywierałyby każdy ze składników mieszaniny, gdyby sam wypełniał całą objętość zajmowaną przez mieszaninę. Prawo to jest spełnione ściśle dla gazów doskonałych.



W formie matematycznej można je wyrazić jako:

$$P = \sum_{i=1}^k p_i$$

gdzie:

P - ciśnienie w mieszaninie k- składnikowej (objętość V i temperatura T)

$p_i$  - ciśnienie cząstkowe (parcjalne) składnika „i” (objętość V i temperatura T)

w uproszczeniu wzór można przedstawić jako :  $P(c) = P(1) + P(2) + \dots + P(n)$

#### Przykład

Jak wiemy, powietrze składa się z 78,09% azotu, 20,95% tlenu, 0,03% dwutlenku węgla i w około 0,93% z gazów szlachetnych, głównie argonu. Jeżeli na mieszaninę tą będzie działać na powierzchni ciśnienie wielkości 1 bar, to ciśnienia parcjalne (cząstkowe) gazów tworzących powietrze rozłożone zostanie w takich samych proporcjach, co ich skład procentowy. Oznacza to, że ciśnienie parcjalne azotu będzie wynosiło 0,781 bara, ciśnienie parcjalne tlenu 0,209 bara, dwutlenku węgla 0,0003 bara, a pozostałych gazów szlachetnych 0,009 bara. Zależności te w miarę wzrostu ciśnienia przedstawia poniższa tabela:

Gazy wchodzące w skład powietrza azot -78,09 %, tlen - 20,95%, dwutlenek węgla 0,03%, gazy szlachetne - 0,93%	Ciśnienie całkowite Głębokość zanurzenia				
	1bar 0 m	2 bar 10 m	3 bary 20 m	4 bary 30 m	5 barów 40 m
Azot N2	0,781	1,562	2,343	3,124	3,905
Tlen O2	0,209	0,419	0,628	0,838	1,047
Dwutlenek węgla CO2	0,0003	0,0006	0,0009	0,0012	0,0015
Gazy szlachetne głównie Ar	0,009	0,018	0,027	0,037	0,046

**Tabela 1 Ciśnienie parcjalne poszczególnych składników gazowych powietrza przy zmiennym ciśnieniu całkowitym i odpowiadającym mu zanurzeniu**

---

Prawo to ma szczególne zastosowanie w odniesieniu, między innymi do toksycznego działania gazów mogących oddziaływać na płuwonurka i dlatego zależności z niego wynikające szczegółowo omówione zostaną w następnym rozdziale.

### **5. Prawo Henry'ego**

Prawo to zostało odkryte w 1801 roku przez brytyjskiego chemika i lekarza, profesora renomowanych uniwersytetów brytyjskich i australijskich, sir Williama Henry'ego. Prawo Henry'ego brzmi następująco:

*Ciśnienie gazu rozpuszczonego w cieczy jest równe ciśnieniu gazu znajdującego się nad tą cieczą.*

Stosuje się ono tylko do tych gazów, które nie reagują z rozpuszczalnikiem. Prawo to opisuje zależność ilości (objętości)  $V$  gazu rozpuszczonego w jednostce masy lub objętości cieczy od ciśnienia tego gazu,  $p$ . Zapis matematyczny tych zależności przedstawia poniższe równanie:

$$V = K_H(T)p$$

gdzie:

$K_H(T)$  jest stałą Henry'ego zależną od układu gaz-ciecz i temperatury.

Oznacza to, że wraz ze wzrostem ciśnienia gazu będącego w bezpośrednim kontakcie z cieczą, poprawia się rozpuszczalność tego gazu w cieczy, a w przypadku spadku ciśnienia gazu nad cieczą, gaz wcześniej rozpuszczony w cieczy pod wpływem zwiększającego się ciśnienia, zacznie się uwalniać. Wytrącanie gazu z cieczy będzie zachodziło tym gwałtowniej, im gwałtowniej nastąpi spadek ciśnienia gazu bezpośrednio nad cieczą.

#### Przykład:

Jeżeli otworzymy butelkę z napojem nasyconym gazem (np.  $\text{CO}_2$ ), wraz ze spadkiem ciśnienia, w tym wypadku odkręceniem korka, możemy zaobserwować gwałtownie uwalniający się gaz, który może nawet spowodować wyparcie cieczy z butelki (np. w przypadku szampana lub wstrząśniętych napojów gazowanych).

Zmiany ciśnienia powodują określone konsekwencje. Nasycenie cieczy gazem zwiększa się, kiedy ciśnienie rośnie, zaś kiedy ciśnienie spada nadmiar gazu musi się uwolnić. Gaz ten wydziela się z cieczy pod postacią pęcherzyków gazowych. Mechanizm ten ma olbrzymie znaczenie w nurkowaniu, ponieważ odpowiada za

genezę choroby dekompresyjnej, czyli uwalnianie się pęcherzyków azotu do krwi.

## 6. Prawo podziału Nernsta

Prawo podziału Nernsta albo krótko prawo podziału mówi:

*W określonej temperaturze stosunek stężeń substancji rozpuszczonej w dwóch sąsiadujących substancjach jest wartością stałą.*

Określa ono sposób, w jaki dowolna substancja chemiczna ulega podziałowi pomiędzy dwie oddzielone od siebie, ale pozostające w kontakcie fazy objętościowe (ośrodki). Układy, w których może zaistnieć równowaga podziałowa (rodzaj równowagi dynamicznej), to np. gazy lub pary rozdzielone membraną półprzepuszczalną, gaz i ciecz oraz dwie cieczce nie mieszające się lub oddzielone membraną. Jest to stan rzeczy identyczny do mającego miejsce w organizmie człowieka podczas wymiany gazowej między krwią a tkankami (błoną pęcherzyków płucnych, czy komórkową). Krew transportuje nie tylko tlen i dwutlenek węgla, ale wszystkie gazy, które znajdują się w płucach. Rozprowadza te gazy do wszystkich tkanek organizmu do czasu ustalenia się równowagi między krwią a tkanką. Stan równowagi opisuje właśnie prawo podziału Nernsta, z którego wynika, że jeżeli do układu zawierającego dwie nie mieszające się cieczce dodamy substancję, która się w nich rozpuszcza (gaz), to stosunek stężeń substancji rozpuszczonej w obu cieczkach będzie wartością stałą w określonej temperaturze.

Prawo podziału Nernsta wyraża się wzorem:

$$K_{X(12)} = [X]_1 : [X]_2$$

gdzie:

$K_{X(12)}$  - stała podziału substancji „X” pomiędzy fazy „1” i „2” (zwana też współczynnikiem podziału),  $[X]_1$  - stężenie substancji „X” w fazie „1” i  $[X]_2$  - stężenie substancji „X” w fazie „2”.

Dla łatwo rozpuszczalnych gazów wchłanianie jest liniowo zależne od rozpuszczalności. Na ogół współczynnik podziału między tkanki i gaz jest liniowo skorelowany ze współczynnikami podziału fazowego tłuszcz-gaz i krew-gaz, co pozwala oszacować wartość tego współczynnika. Niemniej zależność między absorpcją w płucach i stężeniem w powietrzu może okazać się nieliniową, jak zauważono w przypadku gazów trudno rozpuszczalnych w wodzie. W fizjologii

---

nurkowania stosuje się współczynniki ustalone dla fazy wodnej (krew) i fazy organicznej (tkanki) przy temperaturze 37°C. Im współczynnik podziału tłuszcz/woda jest mniejszy, tym stan równowagi jest szybciej osiągnięty. Współczynnik podziału tłuszcz/woda dla poszczególnych gazów wynosi: tlen (O<sub>2</sub>)-4,86, azot (N<sub>2</sub>)-5,2, hel (He)-1,7. Wynika z tego następujący wniosek: saturacja (nasylenie) i desaturacja (odsycenie) tkanek helem nastąpią znacznie szybciej niż azotem. Na czas, w którym osiągnięty zostanie stan równowagi mają wpływ także szybkość dyfuzji, ciśnienie i temperatura, a przede wszystkim rodzaj tkanek. Prawo to w połączeniu z prawem Henry'ego ma praktyczne znaczenie dla zrozumienia procesów nasycania (saturacji) i odsycania (desaturacji) tkanek podczas nurkowania i wynurzania się, a także stosowania mieszanin. Trzeba również zdawać sobie sprawę z faktu, że zjawiska opisane powyższymi prawami nie mają prostego, bezpośredniego odniesienia do warunków panujących w organizmie nurka. Istnieje bowiem istotne zróżnicowanie co do szybkości i zdolności saturacji i desaturacji poszczególnych tkanek: Po zakończeniu nurkowania nie wszystkie tkanki są w jednakowym stopniu odsycone. Przy ponownym zanurzaniu się musimy mieć świadomość, że „powolne” tkanki startują z początkowym ciśnieniem nasycenia większym niż przy pierwszym nurkowaniu. W takim wypadku musimy więc posługiwać się tabelami wielokrotnego nurkowania. Tabelami opracowanymi dla pierwszego nurkowania możemy się posłużyć jedynie w przypadku około 24 godzinnej przerwy pomiędzy nurkowaniami. Ze względu na przesylenie „powolnych” tkanek nie możemy bezpośrednio po nurkowaniu podróżować samolotem, gdyż na typowych wysokościach lotu ciśnienie otoczenia jest znacznie niższe niż na poziomie morza. Tabele dekompresyjne na ogół określają czas po którym można takie podróże odbywać (Bühlman i wsp.1986 wg Bednarek 2007, <http://www.nurkomania.pl>). Zapoznanie się z omawianymi powyżej, podstawowymi prawami fizyki gazów, zrozumienie zależności przez nie opisanych i wykorzystanie ich w praktyce jest konieczne, aby bezpiecznie uprawiać turystykę nurkową. W dalszej części pracy, poświęconej chorobom i urazom nurkowym przedstawimy praktyczne skutki wynikające z działania omawianych w tym rozdziale praw.

---

## 2.4 Fizjologiczne aspekty nurkowania

Zrozumienie potencjalnych zagrożeń dla zdrowia wynikających z uprawiania płetwonurkowania nie jest możliwe bez podstawowych informacji z zakresu biologii, w której skład wchodzi anatomia i fizjologia. Anatomia jest „nauką o budowie i kształcie żywego ustroju” (Bochenek i wsp. 2002). Dziedziną anatomii, której celem jest zrozumienie budowy organizmu człowieka jest antropotomia. Drugą nauką, wchodzącą w skład biologii, „która dąży do poznania czynności ustroju i jego narządów” (Bochenek i wsp. 2002) jest fizjologia. Ponieważ płetwonurek przebywa w środowisku wodnym, które zupełnie inaczej oddziałuje na człowieka warto zapoznać się z podstawowymi funkcjami życiowymi organizmu i zmianami w nim zachodzącymi na skutek działania wysokich ciśnień. Jak już wcześniej wspomniano na ciało nurka zanurzonego w wodzie działa ciśnienie hydrostatyczne, które zwiększa się lub zmniejsza o 1 atmosferę co 10 metrów głębokości, w zależności od zanurzenia lub wynurzenia. Oprócz działania ciśnień na sprawność działania organizmu płetwonurka wpływ mają takie czynniki jak:

- a) czas, który nurek spędził pod wodą i maksymalna głębokość zanurzenia,
- b) temperatura wody i związana z tym łatwość wychłodzenia organizmu,
- c) zwiększony wysiłek fizyczny związany np. z poruszaniem się i pokonywaniem prądów wodnych,
- d) stres związany z przebywaniem w obcym środowisku.

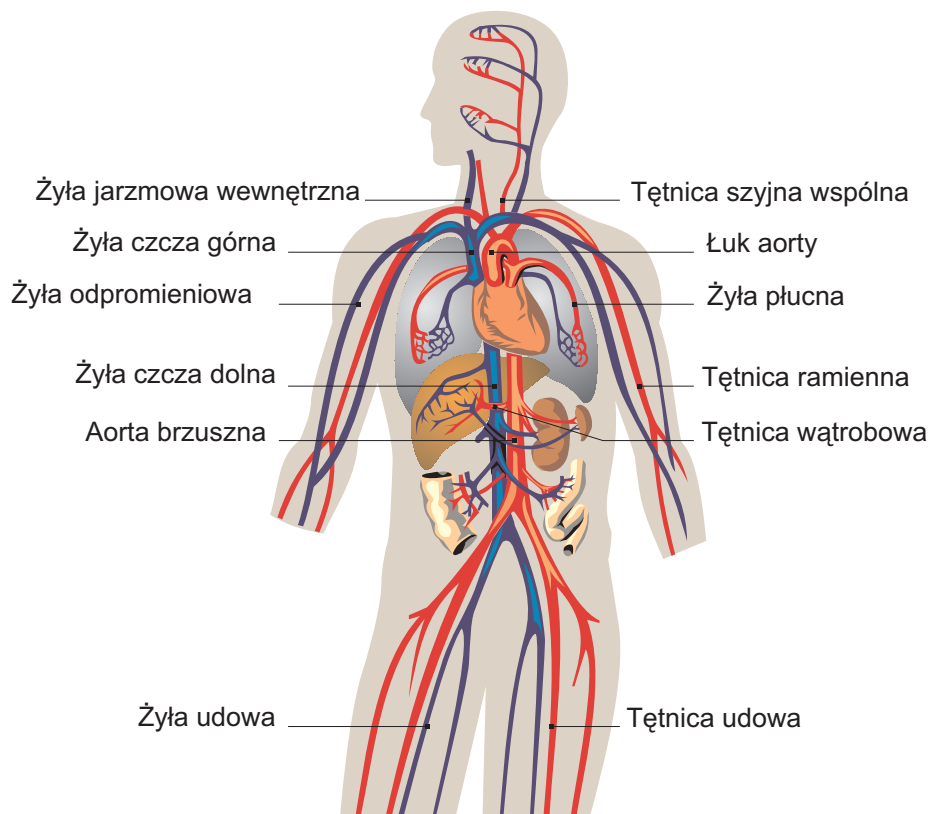
Do układów najbardziej narażonych na niebezpieczeństwo w organizmie płetwonurka zaliczyć należy: układ krążenia i układ oddechowy. Poznanie podstawowych informacji dotyczących anatomii i fizjologii układu krążenia pozwoli na lepsze zrozumienie zagrożenia związanego z chorobą dekompresyjną, będącą jedną z groźniejszych chorób związanych z turystyką nurkową. Natomiast poznanie budowy i funkcji układu oddechowego jest niezbędne, aby poznać genezę urazów ciśnieniowych najczęściej występujących podczas uprawiania turystyki nurkowej. W tym rozdziale zostanie również przedstawiony zarys budowy i funkcji narządu słuchu. Narząd ten jest w dużym stopniu narażony na działanie zmieniającego się w trakcie nurkowania ciśnienia. Z tego powodu, urazy ciśnieniowe ucha należą do najczęstszych przypadłości nurkowych. W zdecydowanie mniejszym stopniu

---

narażone na niebezpieczeństwo są układy: nerwowy, pokarmowy i wydalniczy chociaż wpływ nurkowania na te układy, a szczególnie na ośrodkowy układ nerwowy jest także przedmiotem fizjopatologii nurkowania.

#### **2.4.1 Układ krążenia**

Organizm ludzki to zespół komórek, tkanek i narządów, który do prawidłowego funkcjonowania potrzebuje niezbędnych substancji odżywczych, pozwalających na prawidłowe jego funkcjonowanie. W każdej sekundzie życia organizmu w jego komórkach zachodzą różnego rodzaju procesy niezbędne do życia, takie jak: wymiana gazowa czy proces spalania. Układem odpowiadającym za bezpośrednie dostarczenie do komórek zarówno tlenu jak i substancji odżywczych i odprowadzenie z nich produktów przemiany materii jest układ krążenia. Innymi funkcjami układu krążenia są funkcje odpornościowo-obronne i termoregulacyjne. Jest to jeden z najważniejszych układów w organizmie człowieka składający się z serca i naczyń krwionośnych - tętnic, żył i naczyń włosowatych, które mogą funkcjonować dzięki płynącej w nich krwi (Bochenek i wsp. 2002, Sylwanowicz i wsp., 1980, Krzyżak, 1998, Vilee, 2000).



**Ryc. 8 Układ krwionośny człowieka**

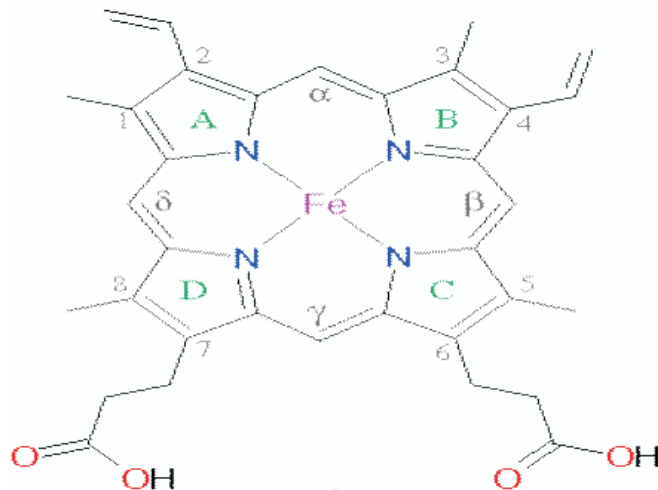
#### **2.4.1.1 Krew i mechanizm wymiany gazowej**

Krew to płynna, lepka, nieprzezroczysta tkanka łączna, o słodkawej woni i delikatnie słonym smaku. Swój żywoczerwony kolor krew zawdzięcza hemoglobinie znajdującej się w czerwonych krwinkach. Intensywność barwy krwi uzależniona jest od zawartości tlenu. Jaśniejszą barwą charakteryzuje się krew utlenowana tętnicza, natomiast barwą ciemniejszą, niekiedy prawie granatową, charakteryzuje się krew żylna obfitująca w dwutlenek węgla. W skład krwi wchodzi elementy morfotyczne, to jest krwinki czerwone (erytrocyty), krwinki białe (leukocyty), płytki krwi (trombocyty), stanowiące około 45% objętości krwi, oraz płynne osocze, stanowiące pozostałe 55% krwi. Do najważniejszych zadań krwi należą:

- a) transport tlenu i składników pokarmowych do komórek,

- b) usuwanie z komórek produktów odpadowych, przemiany materii oraz dwutlenku węgla,
- c) transport witamin i hormonów,
- d) regulacja zawartości kwasów, zasad i wody w komórkach,
- e) funkcje termoregulacyjne,
- f) funkcje obronne organizmu,
- g) wyrównywanie ciśnienia osmotycznego w tkankach,
- h) zapobieganie wynaczynieniu poprzez zdolność krzepnięcia,
- i) utrzymanie homeostazy.

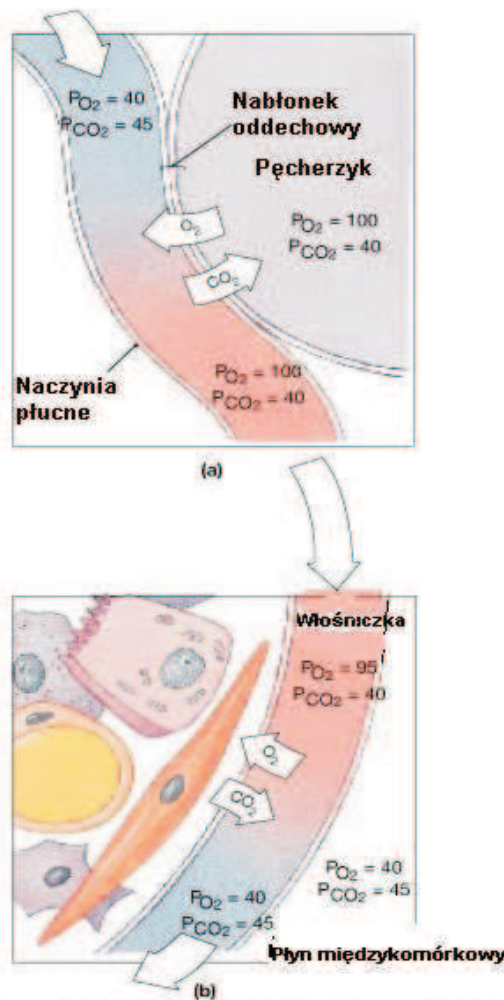
Krwinki czerwone (erytrocyty) zawierają hemoglobinę, składającą się z białka (globiny) i czterech cząsteczek hemu, (wzór poniżej), będącą jednocześnie barwnikiem krwi.



**Ryc. 9 Schemat budowy barwnika krwi (hemoglobiny)**

Hemoglobina posiada zdolność łączenia się i transportu tlenu do komórek, w postaci nietrwałego wiązania zwanego oksyhemoglobina, dzięki obecności centralnie położonego w strukturze hemu atomu dwuwartościowego żelaza, z którym tlen tworzy nietrwałe wiązanie ulegające rozpadowi w tkankach. Wymianę gazową w pęcherzykach płucnych i w komórkach tkanek ciała przedstawia poniższa rycina.

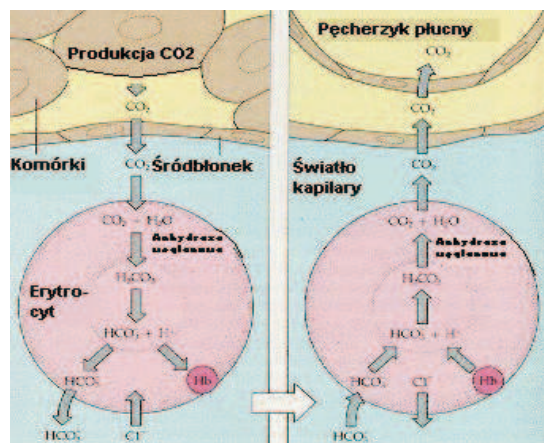




**Rola zmiennego ciśnienia parcjalnego tlenu i dwutlenku węgla w wymianie gazowej w płucach (a) i w tkankach obwodowych (b)**

### Ryc. 10 Wymiana gazowa w płucach i tkankach obwodowych

Po odtransportowaniu tlenu do komórek odtlenowana hemoglobina łączy się z niewielką ilością dwutlenku węgla (ok. 20%). Odbywa się to przy pomocy enzymu zawartego w erytrocytach, noszącego nazwę anhidrazy węglanowej. Anhidraza węglanowa posiada zdolność przekształcania dwutlenku węgla w jony wodorowęglanowe, tworząc nietrwały związek zwany karbaminohemoglobina.



**Ryc. 11 Transport i usuwanie dwutlenku węgla z tkanek i płuc**

Część jonów wodorowęglanowych pozostaje w erytrocytach, a reszta dyfunduje do osocza. Po przedostaniu się do pęcherzyków płucnych karbaminohemoglobina rozpada się, oddając w ten sposób dwutlenek węgla. Pozostały dwutlenek węgla (ok. 80%) transportowany jest w osoczu w formie węglanowej, z czego większość, to jest około 70%, stanowią jony wodorowęglanowe. Bardzo ważną rolą hemoglobiny jest zdolność utrzymania we krwi stałego, lekko zasadowego pH, niezbędnego do prawidłowego funkcjonowania komórek. Różnica pH krwi utlenowanej (tętnicznej) i krwi odtlenowanej żylniej dzięki hemoglobinie różni się zaledwie o kilka setnych.

Krwinki białe, czyli leukocyty, krążą we krwi w ilości od 4 tys. do 10 tys. w 1 mililitrze. Krew człowieka zawiera pięć rodzajów krwinek białych (leukocytów). W znaczący sposób różnią się one od krwinek czerwonych. Nie posiadają one hemoglobiny, są bezbarwne i posiadają zdolność przemieszczania się, w tym również pod prąd krwi. Posiadają zdolność przenikania przez ściany naczyń krwionośnych i przedostawania się do tkanek. Leukocytów jest także zdecydowanie mniej we krwi niż erytrocytów. Jest to niejednorodna grupa obejmująca granulocyty, limfocyty i monocyty.

Granulocyty dzielą się z kolei na obojętnochłonne (jest ich najwięcej), kwasochłonne i zasadochłonne (to najmniej liczna grupa). Nazwa pochodzi od sposobu barwienia się tych komórek. Granulocyty obojętnochłonne (neutrofile) są najważniejszymi

---

"policjantami" naszego ustroju, pożerają (fagocytują) i trawią niepożądanych intruzów (głównie bakterie). Granulocyty kwasochłonne (eozynofile) niszczą obce białka, ich liczba wzrasta znacznie w chorobach alergicznych i pasożytniczych. Granulocyty zasadochłonne (bazofile) wydzielają heparynę - czynnik powstrzymujący krzepnięcie krwi.

Limfocyty to kolejna grupa białych krwinek. Pochodzą z różnych narządów (szpik, grasica, węzły chłonne, śledziona) i dzielą się na różne grupy. Zasadniczym podziałem jest ten na limfocyty T i B. Pierwsze odpowiadają za reakcje odpornościowe typu komórkowego, czyli takie, w których uczestniczą całe komórki. Limfocyty B z kolei są odpowiedzialne za tworzenie przeciwciał (reakcje odpornościowe typu humoralnego), ważnego oręża w walce z drobnoustrojami. Limfocyty T nie są jednorodną grupą, dzielą się na szereg podtypów, spośród których najważniejsze są: limfocyty TH (pomagające, to właśnie one są celem ataku wirusa HIV), limfocyty TS (supresorowe, czyli hamujące reakcje odpornościowe) oraz TC (cytotoksyczne). Następną grupą białych ciałek są monocyty; po przejściu z krwi do tkanek stają się makrofagami, "pożerającymi" znaczną liczbę bakterii i martwych tkanek, wytwarzając ponadto interferon.

Płytki krwi (trombocyty) biorą udział przede wszystkim w procesie krzepnięcia krwi. Dzięki dużej zawartości substancji obkurczającej, zwanej serotoniną, płytki krwi potrafią przylgnąć do uszkodzonej ściany naczynia zmniejszając krwawienie. Posiadają one zdolność regeneracji uszkodzonych tkanek i utrzymania homeostazy.

Osocze krwi składa się z wody (90-92%), substancji organicznych i nieorganicznych (8-10%). Substancjami organicznymi w osoczu są głównie białka, w których skład wchodzi: albuminy, globuliny i fibrynogen, i substancje pozabiałkowe, takie jak: węglowodany, produkty przemiany materii białek, hemu i tlenu, kwasu moczowego i kreatyniny. Inną grupę organiczną osocza stanowią: cholesterol, trójglicerydy, witaminy rozpuszczalne w tłuszczach - A, D, E i K, wolne kwasy tłuszczowe, fosfolipidy i hormony. Do substancji nieorganicznych zaliczyć należy: jony potasowe, sodowe, chlorkowe, magnezowe, węglanowe, wapnia, a także rozpuszczone gazy. Substancje te wraz z hemoglobina zawartą w erytrocytach pełnią również rolę bufora, odpowiedzialnego za utrzymanie odpowiedniego odczynu pH

---

we krwi i w komórkach ciała. Ważną rolą osocza jest transport substancji odżywczych, pobranych z przewodu pokarmowego, do komórek i odprowadzanie produktów przemiany materii, w tym również dwutlenku węgla, do odpowiednich narządów odpowiedzialnych za ich wydalenie z organizmu. Składniki osocza biorą także czynny udział w utrzymaniu homeostazy w ustroju.

#### **2.4.1.2 Naczynia krwionośne**

Zarówno tętnice, jak i żyły służą w organizmie do przewodzenia krwi. „Tętnicami nazywa się wszystkie naczynia, które bez względu na fizjologiczny skład krwi prowadzą krew z serca do narządów ciała”, natomiast „żyłami nazywa się naczynia, które odprowadzają krew z narządów do serca, również niezależnie od fizjologicznego składu krążącej w nich krwi” (Bochenek i wsp.. 2002). Wychodzące z serca tętnice są bardzo grube. Im dalej od serca, tym stają się coraz węższe, przechodząc stopniowo w tętniczki i bardzo cienkie naczynia włosowate (kapilary). W bardzo delikatnej sieci naczyń włosowatych oplatających gęsto tkanki organizmu, przepływ krwi staje się bardzo wolny, co korzystnie wpływa na wymianę gazową zachodzącą w komórkach i wymianę substancji odżywczych na produkty przemiany materii. Następnie sieć naczyń włosowatych staje się coraz rzadsza tworząc naczynia zawłosowate, przechodzące stopniowo w małe naczynia żyłne zwane żyłkami. Zbliżając się do serca żyły stają się coraz grubsze, aż stają się żyłami dużymi, łączącymi się bezpośrednio z sercem. Ze względu na większe ciśnienie krwi w tętnicach, ich ściany są grubsze i bardziej sprężyste niż w żyłach. Budowa ścian żył, w przeciwieństwie do budowy ścian tętnic, nie zależy od ciśnienia krwi, lecz od rodzaju tkanki bezpośrednio je otaczającej. Krew żylna (odtlenowana) charakteryzuje się ciemniejszą barwą, a krew tętnicza (utlenowana) jaśniejszą.

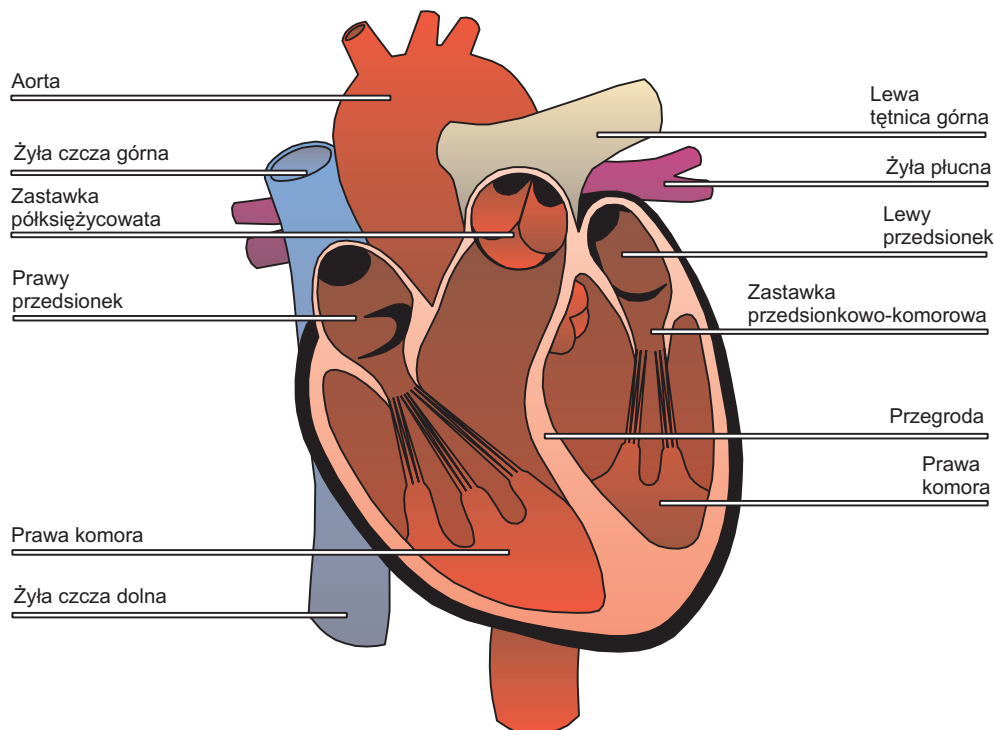
#### **2.4.1.3 Serce**

Serce jest to narząd centralny układu naczyniowego, zawieszony na dużych pniach naczyniowych wewnątrz klatki piersiowej człowieka, pełniący funkcję pompy ssąco-tłoczącej. Kształt serca przypomina odwrócony stożek. Serce zbudowane jest z mięśni poprzecznie prążkowanych o swoistej budowie, podtrzymywanych pasmami tkanki łącznej. Mięśnie te różnią się od mięśni szkieletowych, gdyż ich działanie jest

---

automatyczne i niezależne od woli człowieka, tak jak w przypadku mięśni gładkich. W przeciwieństwie do włókien szkieletowych, mięśnie te tworzą rozwidlenia, którymi łączą się z innymi sąsiadującymi włóknami, tworząc układ komórek mięśniowych serca. W miejscach łączenia włókien występują charakterystyczne granice międzykomórkowe, w postaci podwójnych poprzecznych błonek, zwanych wstawkami. Mięsień sercowy otoczony jest workiem osierdziowym, zbudowanym z części zewnętrznej, osierdzia włóknistego i części przylegającej do serca, nasierdzia. Przestrzeń pomiędzy osierdziem włóknistym a nasierdziem nosi nazwę jamy osierdziowej i wypełniona jest płynem. Zadaniem płynu osierdziowego jest redukcja tarcia powstającego w czasie pracy serca.

Zadaniem serca jest pobieranie ubogiej w tlen krwi krążącej w ustroju (tak zwanym dużym obiegu), aby następnie wtłoczyć ją do płuc (mały obieg płucny), skąd krew bogata w tlen zostaje przepompowana do tętnic i naczyń włosowatych, aby zaopatrzyć cały organizm w tlen. W skład serca wchodzi: dwie komory - prawa i lewa, dwa przedsionki - prawy i lewy, żyły główne - górna i dolna, cztery (rzadziej trzy) żyły płucne, tętnica główna (aorta), pień płucny, mięsień sercowy i zastawki: tętnicy płucnej, aorty, trójdzielną i dwudzielną (zwana też mitralną).



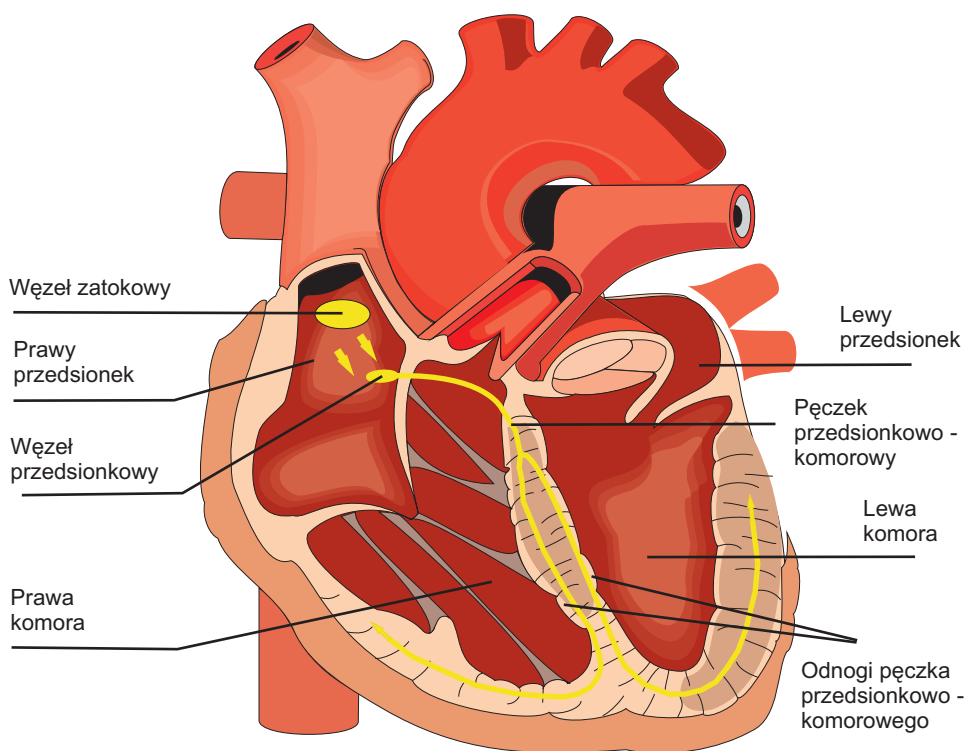
**Ryc. 12 Schemat budowy serca**

Serce można również przedstawić jako dwie połowy – lewą i prawą. Prawe serce, składające się z prawego przedsionka i prawej komory, tłoczy krew żylną, ubogą w tlen, pobraną z żył organizmu do płucnego (małego) obiegu, skąd natleniona krew trafia żyłami płucnymi do lewego przedsionka. Serce lewe, składające się z lewego przedsionka i lewej komory, tłoczy bogatą w tlen krew z płuc do tętnic (dużego obiegu) i sieci naczyń włosowatych. W naczyniach włosowatych na skutek różnicy ciśnień między krwią transportującą tlen a ciśnieniem komórek bogatych w dwutlenek węgla następuje wymiana gazowa. Hemoglobina oddaje cząsteczki tlenu i pobiera dwutlenek węgla. Odtlenowana krew, bogata w dwutlenek węgla i produkty przemiany materii, z naczyń włosowatych trafia do układu żylnego, a stąd do prawego przedsionka.

Obie części serca przedzielone są przegrodami: międzyprzedsionkową i międzykomorową. Odpowiedni kierunek przepływu krwi w sercu zapewniają zastawki, których zadaniem jest niedopuszczenie do cofnięcia się krwi z wielkich

tętnic do komór i przedsionków, a także z komór do przedsionków. Krążenie krwi w organizmie człowieka jest możliwe dzięki pracy serca, polegającej na prawie równoczesnych skurczach i rozkurczach najpierw przedsionków, a potem komór serca. W momencie, gdy przedsionki serca wypełniane są krwią, na skutek skurczu, komory serca opróżniają się. Następnie w wyniku rozkurczania komór następuje zasysanie krwi i komory serca wypełniają się krwią z przedsionków.

Praca serca jest możliwa dzięki zdolności do wytwarzania własnych pobudzeń. Bodźce powodujące skurcze powstają we włóknach przewodzących serca, zwanych włóknami Purkiniego, rozmieszczonych w charakterystyczny sposób. Największą zdolność depolaryzacji komórek posiada węzeł zatokowo-przedsionkowy. Węzeł ten najszybciej wytwarza bodźce i przesyła je za pośrednictwem układu bodźczo-przewodzącego, początkowo pobudzając przedsionki, a następnie komory.



**Ryc. 13 Układ bodźczo-przewodzący**

---

W ten sposób węzeł zatokowo-przedsionkowy narzuca sercu swój rytm pracy, powodując jego skurcz. W przypadku uszkodzenia węzła zatokowo-przedsionkowego jego rolę przejmuje węzeł przedsionkowo-komorowy znajdujący się w przegrodzie międzykomorowej.

Proces kurczenia i rozkurczania serca zachodzi w organizmie człowieka w czasie spoczynku przeciętnie od 60 do 80 razy na minutę. W czasie jednego skurczu, serce przeciętnego człowieka wyrzuca od 70 do 80 mililitrów krwi. Wielkość ta nazywana została objętością wyrzutową serca. Jeżeli objętość wyrzutową serca pomnożymy przez ilość skurczów serca wykonanych w ciągu jednej minuty, otrzymamy objętość minutową serca, czyli ilość krwi przetoczonej w organizmie w czasie jednej minuty. Wartość ta u przeciętnego, dorosłego mężczyzny w spoczynku waha się od 4 do 6 litrów krwi, natomiast w czasie ciężkiej pracy lub uprawiania sportu może być nawet pięciokrotnie większa.

Do wymiany krwi nasyconej tlenem, w krew ubogą w tlen, ale bogatą w dwutlenek węgla i produkty przemiany materii, dochodzi w naczyniach włosowatych. Krew nasycona tlenem dostarczana jest z lewej komory serca, poprzez aortę, do naczyń włosowatych za pośrednictwem tętnic, a po wymianie gazowej odprowadzana jest z powrotem do prawego przedsionka serca za pośrednictwem żył. Z prawego przedsionka krew przetoczona zostaje do prawej komory i poprzez pień płucny, z którego poprzez tętnice płucne krew zostaje rozprowadzona do naczyń włosowatych w płucach, gdzie zachodzi wymiana dwutlenku węgla na tlen. Następnie utlenowana krew żyłami płucnymi trafia do lewego przedsionka.

#### **2.4.2 Układ oddechowy**

Drugim ważnym układem w organizmie człowieka, którego znajomość jest konieczna, aby bezpiecznie uprawiać turystykę podwodną, jest układ oddechowy. Odpowiada on za wymianę gazową w organizmie, polegającą na pobieraniu tlenu z otoczenia i oddawaniu do otoczenia dwutlenku węgla (Bochenek i in., 1998, tom II, Sylwanowicz i in., 1980, Krzyżak, 1998). Tlen zawarty w powietrzu jest niezbędny do produkcji energii potrzebnej do funkcjonowania organizmu człowieka.

Układ oddechowy składa się z wielu skomplikowanych narządów mających różne zadania, które razem stanowią sprawnie funkcjonujący system. Dzieli się on na górne



i dolne drogi oddechowe.

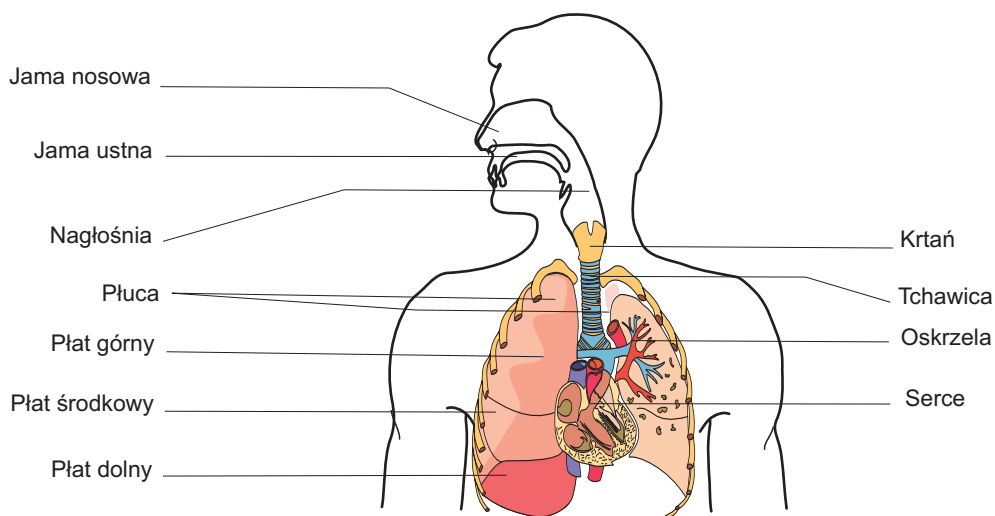
W skład górnych dróg oddechowych wchodzi:

- jama nosowa
- gardło

Do dolnych dróg oddechowych zaliczamy:

- krtań,
- tchawicę,
- oskrzela i oskrzeliki
- płuca

Układ ten ze względu na występujące wolne przestrzenie gazowe jest szczególnie narażony na różnego rodzaju urazy ciśnieniowe, które są najczęstszą przyczyną wypadków nurkowych.



**Ryc. 14 Schemat układu oddechowego**

---

### **2.4.2.1 Górne drogi oddechowe**

#### **2.4.2.1.1 Jama nosowa**

Jama nosowa jest podzielona na dwie połowy za pomocą przegrody nosa. Każda z połówek jamy nosowej dzieli się na trzy przewody nosowe: przewód nosowy dolny, górny i wspólny. Od tyłu przewody nosowe łączą się z przewodem nosowo-gardłowym, który poprzez nozdrza tylne otwiera się do części nosowej gardła. Jama nosowa łączy się również z wypełnionymi powietrzem zatokami przynosowymi (zatoką klinową, szczękową i czołową). Drożność tego połączenia jest jednym z podstawowych warunków umożliwiających uprawianie pływania.

Jama nosowa pełni dwie podstawowe funkcje. Górna część jamy nosowej pełni funkcję węchową. Pozostała część jamy nosowej pełni funkcję oddechową. Powietrze, które dostaje się do organizmu poprzez jamę nosową, zostaje oczyszczone z kurzu w części przedsionkowej wyposażonej w system filtrów. System ten składa się z krótkich grubych włosów pełniących rolę filtra wstępnego, oraz wilgotnej błony śluzowej, która przechwytyje mniejsze zanieczyszczenia. Odpowiada ona również za ogrzanie i nawilżenie wdychanego powietrza.

W trakcie nurkowania powietrze podawane jest do organizmu za pośrednictwem ust przez jamę gardła, co powoduje, że nie przechodzi przez omawiany wcześniej filtr, nie jest ogrzane i nawilżone, co dodatkowo stwarza dyskomfort dla nurka.

#### **2.4.2.1.2 Gardło**

Jama gardła dzieli się na trzy części: górną nosową (jama nosowo-gardłowa), środkową ustną i dolną krtaniową. Część nosowa gardła należy wyłącznie do układu oddechowego, część krtaniowa wyłącznie do układu pokarmowego, zaś część ustna jest wspólna dla układu oddechowego i układu pokarmowego. Gardło ma szereg otworów łączących je z jamami sąsiednimi. Dwa nozdrza tylne łączą gardło z jamą nosową, cieśń gardzieli z jamą ustną, wejście do krtani z krtanią, a ujścia trąbek słuchowych z jamą bębenkową. Ku dołowi gardło przechodzi w przełyk.

Aby możliwe było wyrównanie ciśnienia podczas nurkowania, połączenie trąbek słuchowych z jamą bębenkową i gardłem musi być drożne. W przeciwnym razie u nurka może wystąpić uraz ciśnieniowy ucha.

W części ustnej gardła następuje skrzyżowanie drogi oddechowej z drogą

---

pokarmową. Istnieją specjalne mechanizmy, które zabezpieczają prawidłowe funkcjonowanie obu dróg. Dzięki nim rzadko w warunkach pełnego zdrowia zdarza się, by fragmenty pożywienia trafiły do niżej położonych odcinków dróg oddechowych: krtani i tchawicy. Ochrona dróg oddechowych przed zachłyśnięciem jest szczególnie ważna wtedy, gdy człowiek śpi i nie sprawuje świadomie kontroli nad swoim ciałem. Również podczas nurkowania zachłyśnięcie wodą bądź śliną jest bardzo niebezpieczne: może ono spowodować nawet utonięcie. W celu zabezpieczenia dolnych dróg oddechowych gardło jest wyposażone w warstwę mięśni tworzących zwieracze i dźwigacze gardła. Ich zadaniem jest przede wszystkim połykanie przyjętych pokarmów i zamknięcia dróg oddechowych w czasie połykania.

#### **2.4.2.2 Dolne drogi oddechowe**

##### **2.4.2.2.1 Krtień**

Droga oddechowa prowadzi z jamy gardła do krtani. Od dołu krtień łączy się z tchawicą. Krtień jest również narządem głosu, zbudowanym z chrząstek połączonych ze sobą za pomocą więzadeł i mięśni. Dzięki temu systemowi połączeń międzychrząstkowych krtień jest narządem mocnym i zwartym, ale jednocześnie posiadającym pewną ruchomość potrzebną do kształtowania głosu.

Wnętrze krtani dzieli się na trzy części: przedsionek krtani, głośnię i jamę podgłośniową. Przedsionek krtani łączy się z gardłem. Głośnia jest najwęższą częścią krtani, miejscem powstawania głosu - znajdują się w niej fałdy głosowe, zwane również strunami głosowymi. Dolna część krtani, jama podgłośniowa przechodzi bezpośrednio w tchawicę.

##### **2.4.2.2.2 Tchawica**

Tchawica przechodzi do wnętrza klatki piersiowej, gdzie dzieli się na dwa oskrzela główne. Tchawica ma kształt nieco spłaszczonej, sprężystej rury, która składa się z dwóch części - szyjnej i piersiowej. W części szyjnej tchawica przylega do przełyku, zaś w części dolnej odcinka szyjnego objęta jest przez tarczycę. Część piersiowa zaczyna się poniżej otworu górnego klatki piersiowej i kończy się rozdwojeniem tchawicy na dwa oskrzela.

---

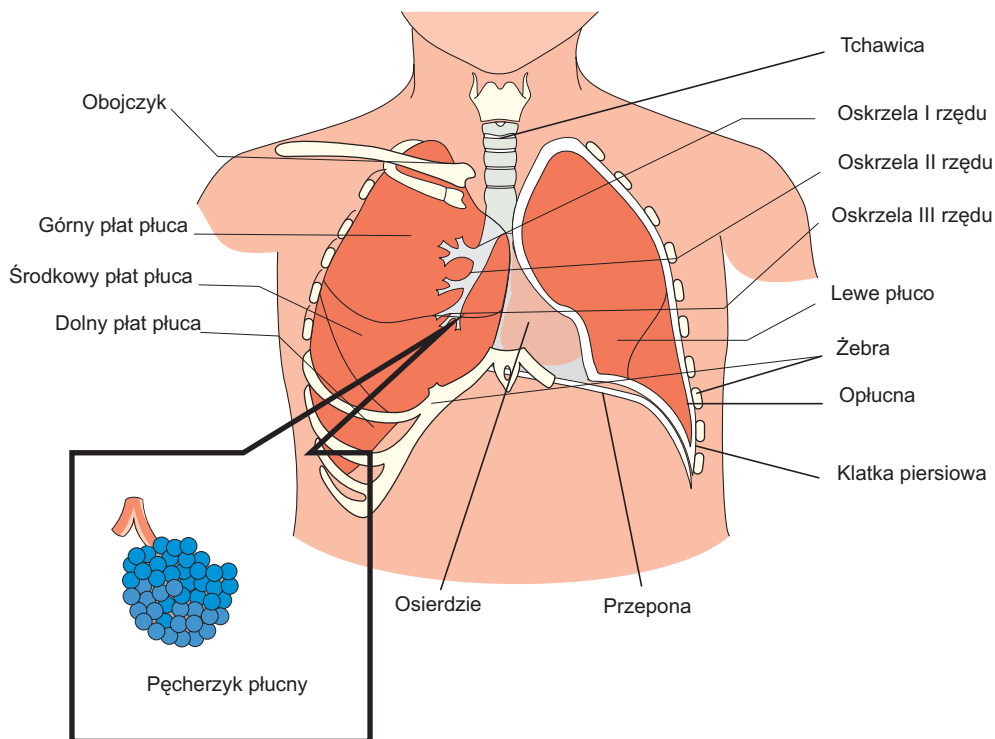
#### **2.4.2.2.3 Oskrzela główne**

Tchawica w części dolnej dzieli się na dwa oskrzela główne, które rozchodzą się pod kątem 90 stopni. Oskrzele prawe leży niejako w przedłużeniu tchawicy. Jest ono grubsze, krótsze i przebiega bardziej pionowo. Oskrzele główne lewe jest cieńsze, dłuższe i biegnie bardziej poziomo. Z tego powodu ciała obce, które dostają się do tchawicy trafiają najczęściej do oskrzela prawego.

Budowa ściany oskrzeli jest podobna do budowy ściany tchawicy. Oskrzela zbudowane są z podkowiastych chrząstek połączonych więzadłami, zaś część tylną stanowi ściana błoniasta. Błona śluzowa pokrywająca wewnątrz oskrzeli pokryta jest nabłonkiem wielorzędowym migawkowym, zawierającym gruczoły wydzielające śluz i płyn surowiczy. Oskrzela główne prawe i lewe dzielą się na coraz drobniejsze odgałęzienia dochodzące do pęcherzyków płucnych

#### **2.4.2.2.4 Płuca**

Płuca są narządem oddechowym odpowiedzialnym za wymianę gazową. Wypełniają całą klatkę piersiową, oprócz jej centralnej części - śródpiersia, w którym znajduje się serce, duże naczynia krwionośne, tchawica, przełyk i tarczyca. Płuca są parzystym, właściwym narządem oddechowym, w którym zachodzi proces wymiany tlenu i dwutlenku węgla pomiędzy krwią a powietrzem. Są mało elastyczne i bardzo słabo unerwione.



**Ryc. 15 Schemat budowy płuc**

Płuca przypominają kształtem zaokrąglone u góry stożki. Każde płuco posiada górną część, zwaną szczytem i dolną, zwaną podstawą. Podstawa oparta jest na przeponie, a zaokrąglony szczyt sięga do pierwszego żebra i do obojczyka. Oba płuca różnią się między sobą: płuco lewe jest dłuższe i węższe od prawego, gdyż na pewnej przestrzeni, w miejscu zwanym wyciskiem sercowym, przylega do serca. Następną różnicą jest różna ilość płatów w każdym z płuc. Prawe płuco posiada trzy płaty (górnny, środkowy i dolny), natomiast lewe składa się z dwóch płatów (górnego i dolnego). Każdy z płatów dzieli się na oddzielne jednostki czynnościowe, zwane segmentami oskrzelowo-płucnymi, do których prowadzą oskrzela segmentowe. Na końcu każdego oskrzela znajdują się woreczki posiadające uwypuklenia, zwane pęcherzykami płucnymi. Pęcherzyki otacza gęsta sieć naczyń krwionośnych, a ich ściany zbudowane są z jednej cienkiej warstwy komórek. Liczba pęcherzyków

---

płucnych jest ogromna i wynosi około 300 milionów, tworząc około 100 m<sup>2</sup> powierzchni oddechowej. Wymiana gazów między krwią a powietrzem odbywa się przez ściany pęcherzyków płucnych, gdzie ma miejsce ostatnia faza oddychania zewnętrznego (przedtkankowego).

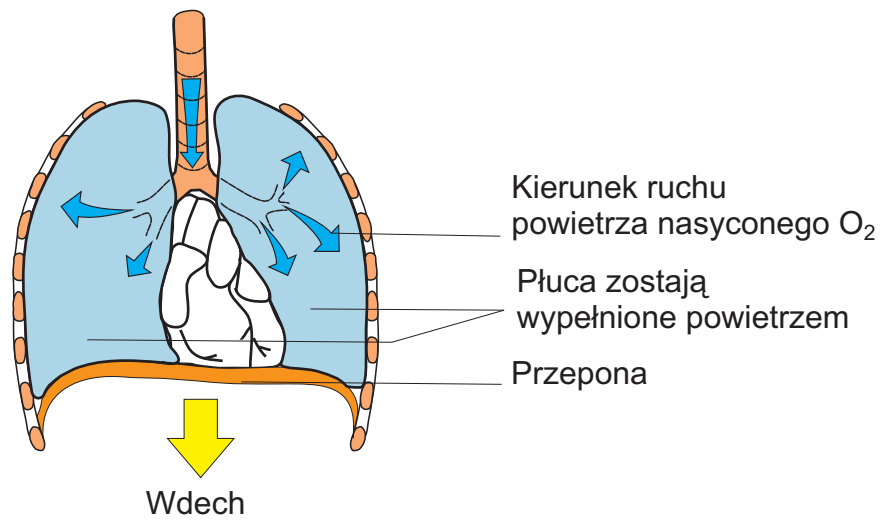
#### **2.4.2.2.5 Opłucna**

Opłucna jest to podwójna (dwublaszkowa) błona surowicza z przestrzenią opłucnową wewnątrz, oddzielającą płuca od klatki piersiowej. W jamie opłucnowej, znajdującej się między opłucną ścienną a opłucną płucną, występuje niewielka ilość płynu surowiczego, którego zadaniem jest zmniejszanie tarcia w czasie ruchów oddechowych płuc. Opłucna płucna ściśle przylega do tkanki płuca wnikając do szczelin międzypłatowych. W jamie opłucnej panuje ciśnienie niższe od atmosferycznego, a ponieważ płuca wypełnia powietrze pod ciśnieniem atmosferycznym, płuca są rozdęte i przylegają do ścian klatki piersiowej. W przypadku, gdy, na przykład z powodu urazu ciśnieniowego płuc, do jamy opłucnowej dostanie się powietrze, następuje wyrównanie ciśnienia i zapadnięcie się płuc nazywane odmą.

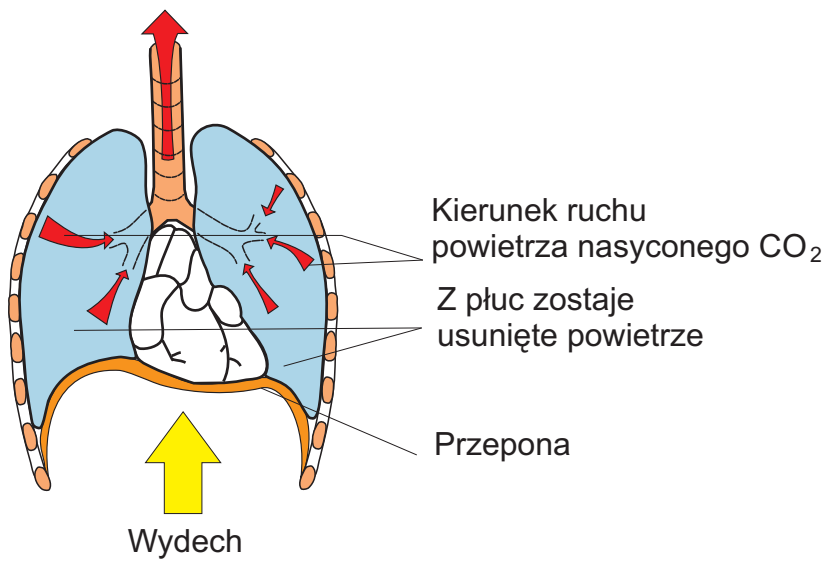
#### **2.4.2.2.6 Mechanizm oddychania**

Powietrze przedostaje się do płuc dzięki różnicy ciśnień, która wytwarza się podczas wdechu pomiędzy pęcherzykami płucnymi a jamą ustną. Wskutek rozszerzenia klatki piersiowej, ciśnienie w jej wnętrzu jest niższe od ciśnienia atmosferycznego. Wytworzenie się podciśnienia jest możliwe dzięki klatce piersiowej, która w czasie wdechu rozszerza się szybciej niż płuca. Powietrze jest zasysane do drzewa oskrzelowego. Płuca podążają za klatką piersiową dzięki niewielkiej ilości płynu znajdującej się w jamie opłucnej.

Głównym mięśniem oddechowym jest przepona, oddzielająca klatkę piersiową od jamy brzusznej. Inne mięśnie oddechowe mają mniejsze znaczenie i są uruchamiane dopiero w czasie większego wysiłku. Wdech jest czynną fazą oddychania zewnętrznego, zaś wydech - bierną. Poszerzona podczas wdechu klatka piersiowa i płuca powracają do swoich wyjściowych rozmiarów dzięki zjawisku odkształcenia sprężystego.



**Ryc. 16 Mechanizm oddychania - wdech**

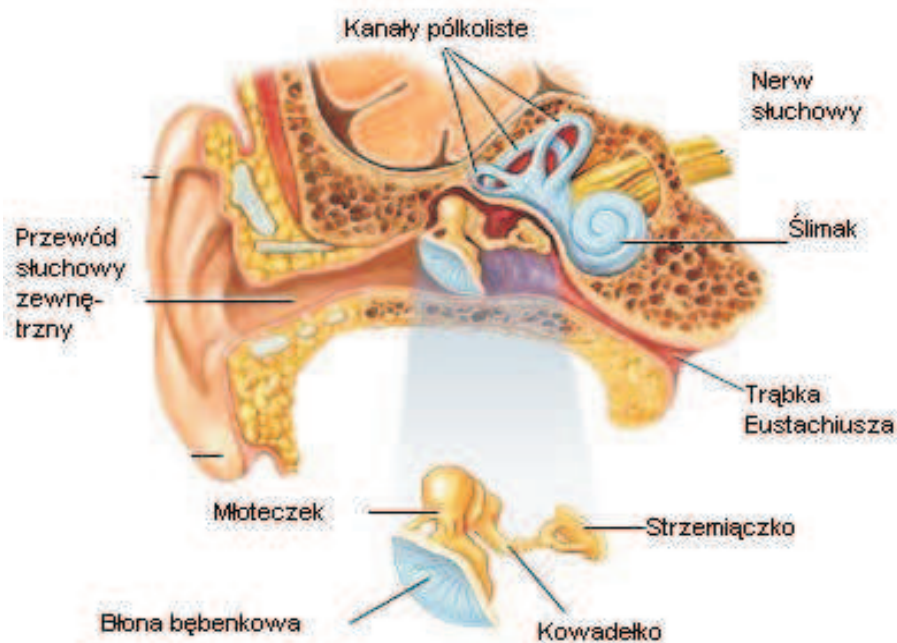


**Ryc. 17 Mechanizm oddychania - wydech**

W spoczynku człowiek oddycha z częstotliwością 12 - 14 wdechów na minutę. Z każdym wdechem wprowadza do płuc około 500 mililitrów powietrza. Oznacza to, że w ciągu minuty wprowadza do płuc 6 litrów powietrza. Natomiast podczas najbardziej napiętego wdechu (na przykład w czasie ciężkiej pracy fizycznej) do płuc można wprowadzić nawet ok. 2500 - 3000 ml powietrza.

### 2.4.3 Budowa i funkcje ucha

Ucho jest częścią odbiorczą narządu słuchu, składającą się z: ucha zewnętrznego, środkowego i wewnętrznego (Bochenek i wsp. 2002, Krzyżak,



Ryc. 18 Schemat budowy ucha

#### 2.4.3.1 Ucho zewnętrzne

Ucho zewnętrzne składa się z małżowiny usznej i prowadzącego głębiej zewnętrznego kanału usznego zwanego również przewodem słuchowym, zamkniętego błoną bębenkową. Błona bębenkowa stanowi granicę między uchem zewnętrznym a uchem środkowym. Ma ona kształt owalny. Zbudowana jest z włókien tkanki łącznej, przebiegającej okrężnie i promienisto, dzięki czemu przy zachowaniu



---

dużej elastyczności posiada dużą odporność i zdolność do regeneracji.

#### **2.4.3.2 Ucho środkowe**

Najbardziej istotną częścią aparatu przewodzącego dźwięk jest ucho środkowe, wraz z błoną bębenkową. W skład ucha środkowego wchodzi: jama bębenkowa, trąbka słuchowa Eustachiusza, jama sutkowata i komórki sulkowate. Za błoną bębenkową znajduje się jama kostna, zwana bębenkową. W jamie bębenkowej, wypełnionej powietrzem za pośrednictwem trąbki słuchowej Eustachiusza, będącej łącznikiem z jamą gardła, znajdują się kosteczki słuchowe: młoteczek - zrosnięty z błoną bębenkową, kowadełko i strzemiączko połączone ze sobą stawem. Kostki te odpowiadają za przenoszenie drgań błony bębenkowej na ucho wewnętrzne. W jamie bębenkowej znajduje się również narząd równowagi, zwany błędnikiem. Dzięki położonemu w uchu środkowym błędnikowi człowiek może kontrolować pozycję swojego ciała w przestrzeni. Bez tego narządu niemożliwe byłoby sprawne poruszanie się. Receptory związane ze zmysłem równowagi umiejscowione są w strukturach znajdujących się w uchu wewnętrznym człowieka, przez co są one anatomicznie powiązane ze zmysłem słuchu.

Trąbka Eustachiusza jest kanałem łączącym jamę bębenkową ucha środkowego z częścią nosową gardła. Służy ona do wyrównywania ciśnień po obu stronach błony bębenkowej. Na jednym z końców trąbki słuchowej (od strony gardła) znajduje się zastawka otwierająca się w czasie ziewania, połykania oraz w czasie nagłych zmian wysokości. Zadaniem zastawki jest wyrównanie ciśnienia panującego wewnątrz ucha i ciśnienia atmosferycznego. Ma to zapobiegać ewentualnemu pękaniu błony bębenkowej. Od sprawności trąbki Eustachiusza i panującego w niej ciśnienia, zależą warunki akustyczne w jamie bębenkowej. Jej sprawność jest również niezwykle ważna podczas nurkowania. Niedrożność kanałów powietrznych uniemożliwia wyrównanie ciśnienia zewnętrznego z ciśnieniem panującym wewnątrz ucha, a to z kolei uniemożliwia nurkowanie.

#### **2.4.3.3 Ucho wewnętrzne**

Ucho wewnętrzne składa się z szeregu połączonych ze sobą jam i kanałów tworzących błędnik kostny. Znajduje się w nim większa przestrzeń, zwana przedsionkiem, kanały półkoliste i ślimak, wypełnione płynem zwanym endolimfą.

Ruch endolimfy wywołuje podrażnienie zakończeń nerwu przedsionkowo-ślimakowego w błędniku, a w następstwie, powstanie wrażeń słuchowych lub zmiany równowagi. W ślimaku znajduje się najważniejsza część narządu słuchu, tzw. narząd Cortiego, wyposażony w receptory słuchowe tworzącą błonę podstawową.

#### 2.4.4.4 Funkcje narządu słuchu

Uszy mają struktury służące zarówno do wykrywania fal głosowych, jak i do kontroli równowagi i obrotów. Bodźce akustyczne, zwane dźwiękami, tworzone są przez fale powietrza wywołane przez przedmioty drgające. Receptory słuchowe, które znajdują się w części wewnętrznej ucha, reagują na bodźce, w wyniku czego powstają słabe impulsy elektryczne przenoszone przez nerwy słuchowe do ośrodka nerwowego. Wszystko to dzieje się w zamkniętej przestrzeni powietrznej, zgodnie z zasadami akustyki, mechaniki i hydrodynamiki.

#### 2.5 Rola gazów w nurkowaniu

Nurkowanie turystyczne polega na swobodnym poruszaniu się pod wodą za pomocą płetw, podczas którego nurek oddycha za pomocą alternatywnego źródła mieszaniny oddechowej. Najczęściej używaną mieszaniną oddechową w turystyce nurkowej jest sprężone powietrze. Powietrze jest to mieszanina gazów, która na poziomie morza (czyli pod ciśnieniem 1000 hPa) ma następujący skład:

Rodzaj gazu	Symbol chemiczny	Zawartość w powietrzu (%)	Ciśnienie parcjalne (ata)
Azot	N <sub>2</sub>	78,09	0,7809
Tlen	O <sub>2</sub>	20,95	0,2095
Dwutlenek węgla	CO <sub>2</sub>	0,03	0,0003
Argon, Neon, Hel, Wodór, Ksenon, Metan, Krypton, pod tlenek azotu, Ozon, Radon	Ar, Ne, He, H <sub>2</sub> , Xe, CH <sub>4</sub> , Kr, N <sub>2</sub> O, O <sub>3</sub> , Rn	0,93	0,0093
RAZEM		100	1,000

**Tabela 2 Skład powietrza podział ze względu na zawartość procentową i ciśnienie parcjalne**

---

Do najważniejszych gazów zawartych w powietrzu należą: azot (N<sub>2</sub>), tlen (O<sub>2</sub>) i dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>). Inne gazy obecne w powietrzu, ze względu na śladową ilość, nie mają znaczącego wpływu na organizm nurka. Jednak oprócz gazów zawartych w powietrzu, w turystyce nurkowej możemy spotkać się jeszcze z gazami, które mogą, choć nie powinny, dostać się do butli nurkowej w wyniku wadliwie działającej sprężarki napełniającej butle nurkowe. Do gazów tych zaliczyć należy: tlenek węgla (CO), parę wodną, węglowodory, tlenki i opary oleju. (Krzyżak, 1998, Macke i wsp., 2000, [www.nurkowanie.pl](http://www.nurkowanie.pl)).

### **2.5.1 Azot - gaz obojętny**

Gazami obojętnymi nazywamy gazy, „które wywierają biologiczne działanie bez zmiany swojej struktury chemicznej lub bez zmieniania struktury chemicznej innych substancji” (Krzyżak, 1998). Do gazów obojętnych zaliczyć należy: azot, hel, argon, neon, krypton, ksenon, podtlenek azotu i wiele innych. Niektóre gazy obojętne, jednak wykazują działania narkotyczne pod wpływem działania podwyższonego ciśnienia. Azot (N<sub>2</sub>) to podstawowy składnik powietrza atmosferycznego. Jest on gazem fizjologicznie obojętnym, bezbarwnym, bezwonnym i nie posiadającym smaku. Jednak poddany działaniu podwyższonego ciśnienia staje się dla płetwonurka bardzo groźny.

#### **2.5.1.1 Narkoza azotowa**

Jednym z powodów ograniczenia głębokości zanurzenia w nurkowaniach turystycznych z wykorzystaniem sprężonego powietrza lub mieszanin azotowo-tlenowych (nitroksów) jest narkotyczne działanie azotu. Wzrastające ciśnienie gazu powoduje, iż nabiera on właściwości narkotycznych oddziałując na ośrodkowy układ nerwowy płetwonurka, co może spowodować narkozę azotową zwana również wśród nurków ekstazą głębin (Krzyżak, 1998, [www.nurkowanie.pl](http://www.nurkowanie.pl)). Działanie narkotyczne azotu obserwuje się w zależności od indywidualnych predyspozycji nurka na różnych głębokościach, jednak przyjmuje się, że u wszystkich nurków występuje ono od 30 metrów głębokości i nasila się wraz z zanurzeniem, ustępując wraz ze zmniejszeniem głębokości.

Stan narkozy azotowej charakteryzuje się spowolnieniem procesów

---

myślowych oraz upośledzeniem koordynacji nerwowo-mięśniowej. Mogą wystąpić zaburzenia świadomości, osobowości i emocjonalne, jak również utrata świadomości. Narastające wraz z głębokością objawy narkozy azotowej przypominają pogłębiający się stan upojenia alkoholowego. Towarzyszy temu nadmierna pewność siebie. Powoduje to upośledzenie umiejętności właściwej oceny sytuacji, zarówno swojej, jak i partnera. Ignorowanie sygnałów ostrzegawczych wysyłanych przez organizm może doprowadzić do podejmowania błędnych decyzji i w rezultacie utonięcia. Niestety, wystąpienie narkozy azotowej nie musi być poprzedzone żadnymi objawami. Czynnikiem zwiększającym podatność na narkotyczne działanie azotu są: ogólne zmęczenie, ciężka praca fizyczna zarówno przed, jak i w trakcie nurkowania, nadmierne pobudzenie, brak doświadczenia, zbyt mała widoczność, wychłodzenie, alkohol i leki uspokajające oraz niski poziom inteligencji. Osobę pod wpływem narkozy azotowej trzeba zabezpieczyć przed utonięciem poprzez uniemożliwienie zachowań irracjonalnych oraz stopniowe wyprowadzenie na powierzchnię, gdzie objawy narkozy azotowej powinny całkowicie ustąpić.

#### **2.5.1.2 Rozpuszczalność azotu w tkankach**

Drugim niepożądanym działaniem azotu jest jego łatwość rozpuszczania się we krwi. Podczas zanurzania (zgodnie z prawem Henry'ego) pod wpływem wzrostu ciśnienia poprawia się rozpuszczalność gazu w cieczy, natomiast przy wynurzaniu, azot, który został rozpuszczony we krwi i dostał się do tkanek, uwalnia się. Dlatego należy zachować szczególną ostrożność podczas wynurzania. Prędkość wynurzenia nurka nie powinno przekraczać 10 metrów na minutę, nurek powinien stosować się do zaleceń tabel dekompresyjnych i nie przekraczać czasu nurkowania bezdekompresyjnego. Zaleca się również wykonanie przystanku dekompresyjnego tak zwanego przystanku bezpieczeństwa na głębokości 3 do 5 metrów przez 3 minuty, aby dodatkowo umożliwić usunięcie nadmiaru azotu. Nie zastosowanie się do omówionych zasad może zakończyć się chorobą dekompresyjną zwaną również chorobą ciśnieniową lub chorobą kesonową.

#### **2.5.2 Tlen**

Tlen (O<sub>2</sub>) jest jedynym składnikiem powietrza atmosferycznego niezbędnym

---

do życia i prawidłowego funkcjonowania organizmu. Zawsze występuje w mieszaninach oddechowych. W środowisku naturalnym gaz ten jest bezbarwny, bezwonny i nie posiada smaku. Jednak w trakcie płetwonurkowania, tlen pod wpływem wzrastającego ciśnienia parcjalnego (zwiększającej się głębokości) staje się toksyczny, co może doprowadzić do drgawek, utraty przytomności i śmierci (Krzyżak, 1998, Macke i in., 2000, Dąbrowski, 2005). Rozróżniamy dwa rodzaje zatrucia tlenem: postać ostrą (mózgową), tzw. efekt Paula Berta oraz postać przewlekłą płucną, tzw. efekt Lorrain-Smitha. Przy efekcie mózgowego zatrucia tlenem następują drgawki tlenowe, utrata przytomności i krótkotrwałe okresy bezdechu. Często objawy te występują nagle, bez żadnych sygnałów ostrzegawczych. Wystąpienie tych objawów pod wodą najczęściej prowadzi do śmierci przez utonięcie. Do objawów przewlekłych zaliczamy łaskotanie za mostkiem, uczucie pieczenia, gnienienia i bólu w klatce piersiowej nasilające się przy wdechu, napady suchego kaszlu, zaburzenia oddechu oraz wtórne infekcje dróg oddechowych, wraz z ich stopniowym uszkodzeniem. Najpoważniejszą konsekwencją przewlekłego zatrucia tlenem jest redukcja pojemności życiowej płuc. Choć tlen jest gazem niezbędnym do życia i ratującym życie, pod wpływem zwiększonego ciśnienia staje się silnie toksycznym gazem, uszkadzającym lub niszczącym wszystkie żywe komórki.

Bezpieczną granicę toksyczności tlenu w nurkowaniu rekreacyjnym i sportowym określono na 1,4 ata ciśnienia parcjalnego. Ciśnienie parcjalne tlenu w powietrzu atmosferycznym wynosi 0,21 ata, a zatem pozwala to na bezpieczne nurkowanie przy użyciu sprężonego powietrza do głębokości 56 metrów ( $1,4 \text{ ata} : 0,21 \text{ ata} = 6,66 \text{ ata}$  ciśnienie panujące na głębokości 56 metrów). W przypadku dekompresji wykonywanej przy użyciu czystego tlenu dopuszczalne ciśnienie parcjalne wynosi 1,6 ata, co oznacza możliwość oddychania pod wodą czystym tlenem do głębokości 6 metrów.

### **2.5.3 Dwutlenek węgla**

Dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>) to gaz powstający w organizmie człowieka w wyniku przemiany materii i spalania, wydalany przez płuca przy wydechu. Jego stężenie w organizmie jest kontrolowane przez chemoreceptory. W naturalnym

---

środkowisku gaz ten jest bezbarwny, bezwonny, bez smaku, nie jest toksyczny, a jego zawartość w powietrzu wynosi około 0,03 %. W organizmie człowieka pełni funkcję pobudzającą proces oddechowy (Krzyżak, 1998, Macke i in., 2000, Dąbrowski, 2005).

Pod wpływem podwyższonego ciśnienia dwutlenek węgla staje się kwaśny w smaku i zapachu, wzrasta również jego toksyczne działanie. Nadmierne stężenie dwutlenku węgla może powodować bóle głowy, duszności związane z niedotlenieniem, drgawki, utratę przytomności i śmierć. Najczęstszą przyczyną zatrucia dwutlenkiem węgla jest przedostanie się do butli nurkowej zanieczyszczonego powietrza wskutek wadliwie działającej lub nieumiejętnie obsługiwanej sprężarki. Drugą przyczyną zatrucia dwutlenkiem węgla jest zbyt płytkie i szybkie oddychanie w trakcie nurkowania, uniemożliwiające wydalenie nadmiaru gazu.

#### **2.5.4 Tlenek węgla**

Tlenek węgla (CO) jest gazem bardzo niebezpiecznym, nawet w małym stężeniu. Jest to gaz bezbarwny i bezwonny. Jego podstawowe działanie polega na wyparciu tlenu z hemoglobiny i trwałe połączenie się z nią tworząc karboksyhemoglobinę. Zatrucie tlenkiem węgla powoduje bardzo ciężkie niedotlenienie tkanek objawiające się: bólami i zawrotami głowy, bólami brzucha, nudnościami i wymiotami (Dąbrowski, 2005, Krzyżak, 1998, Macke i in., 2000). W następnej fazie można zaobserwować zaburzenia ruchu i zaburzenia pracy ośrodkowego układu nerwowego, powodujące uniemożliwienie oddychania i śmierć. Najczęstszą przyczyną zatrucia jest, tak jak w przypadku zatrucia dwutlenkiem węgla, oddychanie zanieczyszczonym sprężonym powietrzem. Jednakże zatrucia tlenkiem węgla należą do rzadkości.

#### **2.5.5 Inne gazy**

Węglowodory, tlenki i opary oleju mogą stwarzać zagrożenie dla nurka oddychającego pod wodą zanieczyszczonym powietrzem. Zostaje ono najczęściej zanieczyszczone w wyniku wadliwie działającej sprężarki napełniającej butle nurkowe (Macke i in., 2000, Krzyżak, 1998). Działanie tych substancji jest bardzo różne i uzależnione od ich stężenia w mieszaninie oddechowej. Dlatego bardzo ważne

---

jest, aby napełnianie butli odbywało się tylko w specjalnie do tego przystosowanych punktach.

Para wodna jest gazem, który w naturalny sposób występuje w powietrzu. W czasie nurkowania wilgotność powietrza ma bardzo duże znaczenie. Mała zawartość pary wodnej w powietrzu powoduje uczucie wysychania śluzówki, co może powodować nadmierne wydzielanie śliny w trakcie nurkowania, natomiast zbyt duża wilgotność może spowodować zamarznięcie aparatu oddechowego.

## **2.6 Podsumowanie**

Choć turystyka nurkowa umożliwia przeżycie nowych, niepowtarzalnych doznań, to nie należy lekceważyć i zapominać o zagrożeniach z nią związanych. Ceną za wstęp do świata podwodnego jest wielogodzinne przygotowywanie się do nurkowania, zgłębianie i zrozumienie praw fizyki, chemii, anatomii i fizjologii. Wymaga również ciągłego doskonalenia techniki nurkowania. Wiedza, którą nurek powinien zdobyć i posiadać, pomaga mu nie tylko w poznawaniu i eksploracji podwodnego świata, ale również, a może przede wszystkim, w sytuacjach kryzysowych ratuje życie. Dlatego bardzo ważne jest, aby jak najwięcej dowiedzieć się o zagrożeniach związanych z uprawianiem tej formy turystyki kwalifikowanej.

Celem następnego rozdziału jest szczegółowe opisanie najczęściej występujących chorób i urazów związanych z płetwonurkowaniem, jak również mechanizmów ich powstawania.

---

## Rozdział III

### 1. Urazy i choroby nurkowe patofizjologia nurkowania

#### 3.0 Wstęp

Zasadnicza różnica między środowiskiem wodnym, a naturalnym środowiskiem człowieka powoduje, że niektóre zagrożenia dla zdrowia i życia wydają się oczywiste. Każda osoba przebywająca w wodzie zdaje sobie sprawę z groźby utonięcia, skurczu mięśni czy zwykłego zachłyśnięcia. Jednak przebywanie pod wodą wiąże się z wieloma dodatkowymi zagrożeniami. Nurek wyposażony w odpowiedni ekwipunek często lekceważy swoje gorsze samopoczucie, niekorzystne warunki biometeorologiczne, czy możliwość awarii swojego sprzętu. A te, pozornie błahe, czynniki są najczęstszą przyczyną poważnych wypadków nurkowych, skutkujących urazami i chorobami nurkowymi. Wśród nich można wyróżnić: urazy ciśnieniowe, chorobę dekompresyjną, zatrucia spowodowane toksycznym działaniem gazów, utonięcie, hipotermię czy hipertermię. Rozdział ten poświęcony jest dokładnemu omówieniu genezy i przebiegu chorób i urazów nurkowych wymienionych powyżej.

#### 3.1 Geneza urazów ciśnieniowych

W organizmie człowieka występuje kilka przestrzeni powietrznych. Są to przede wszystkim płuca wraz z układem oddechowym, narząd słuchu i zatoki, układ pokarmowy, ale również przestrzeń w masce nurka. W każdej z tych przestrzeni może wystąpić uraz ciśnieniowy. Aby nurkowanie było w ogóle możliwe, we wszystkich przestrzeniach powietrznych nurka musi dochodzić do wyrównania ciśnienia w stosunku do ciśnienia otoczenia. Jeżeli ten warunek nie zostanie spełniony, zgodnie z działaniem omówionego wcześniej prawa Boyle'a-Mariote'a, może wystąpić uraz ciśnieniowy, zwany również barotrauma. Uraz ciśnieniowy (barotrauma) jest to uszkodzenie tkanek spowodowane zmianami objętości gazu w przestrzeniach powietrznych ciała lub z powodu zmian ciśnienia otaczającego podczas zanurzania i wynurzania” (Krzyżak, 1998). Najczęściej do urazów ciśnieniowych dochodzi podczas wynurzania, na ostatnich 10 metrach głębokości (zob. Prawo Boyle'a-

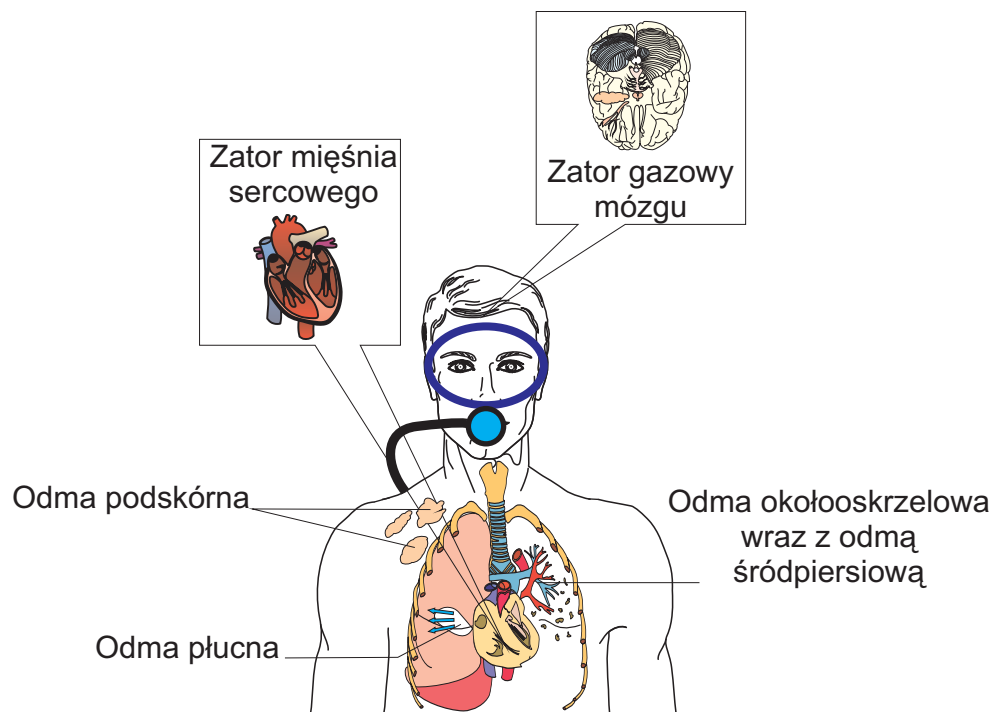


---

Mariotte'a). Czynnikiem wywołującym urazy ciśnieniowe jest zawsze niewyrównanie ciśnienia w danej przestrzeni powietrznej względem ciśnienia otaczającego. Do wyrównania ciśnienia może dojść tylko wtedy, gdy przewody bądź kanały łączące przestrzenie gazowe z otoczeniem są drożne.

### **3.1.1 Uraz ciśnieniowy płuc**

Do najgroźniejszych dla życia nurka urazów ciśnieniowych zaliczyć należy uraz ciśnieniowy płuc (Krzyżak, 1998, Macke i in., 2000, Dąbrowski, 2005). Występuje on w płucach nurka najczęściej podczas wynurzania i „polega na uszkodzeniu mięszu płucnego spowodowanego przez nagły lub nie kontrolowany wzrost ciśnienia mieszaniny oddechowej w drogach oddechowych w stosunku do ciśnienia otaczającego” (Krzyżak, 1998). Opłucna i ściany pęcherzyków płucnych nie są elastyczne i przy różnicy ciśnienia rzędu 0,1-0,2 ata., a zatem na odcinku 1 do 2 m. wynurzania z zatrzymanym oddechem zaczynają pękać. Pęcherzyki płucne oplecione gęstą siecią naczyń na skutek pęknięcia włączane są do światła naczyń krwionośnych, tworząc zatory gazowe. Jeżeli gaz przedostanie się poza światło naczyń, w przestrzeń między pęcherzyki płucne, automatycznie następuje rozerwanie opłucnej. W wyniku uszkodzenia opłucnej wystąpić może odma opłucnowa, podskórna lub odma śródpiersiowa. Następuje wówczas zaburzenie naturalnego podciśnienia płuc niezbędnego do wykonywania pracy oddechowej i zapadnięcie płuca. W przestrzeni opłucnowej zaczyna zbierać się krew. Funkcje oddechowe zostają bardzo mocno upośledzone, a wymiana gazowa w dużej mierze utrudniona. W takim przypadku zagrożenie życia może być bardzo duże. Zależy ono głównie od rodzaju uszkodzenia ważnych dla funkcji życiowych obszarów w mózgu na skutek przemieszczających się wraz z krwią zatorów gazowych, ucisku gazu na serce, wewnętrznego krwotoku, wyłączenia z pracy znacznej powierzchni płuc, jak również ciężkiego wstrząsu występującego zawsze w czasie uszkodzenia płuc.



**Ryc. 19** Możliwe następstwa urazu ciśnieniowego płuc

Uraz ciśnieniowy płuc występuje najczęściej podczas zbyt szybkiego, awaryjnego lub niekontrolowanego wynurzenia, głównie na ostatnich dziesięciu metrach przed powierzchnią. Najczęstszą przyczyną powstawania urazu ciśnieniowego płuc jest między innymi:

- a) zbyt szybkie wynurzenie się na powierzchnię, tak zwane awaryjne, często na skutek uszkodzenia automatu oddechowego, kamizelki ratunkowo-wypornościowej lub suchego skafandra, któremu towarzyszy zatrzymanie oddechu,
- b) wynurzenie się pletwonurka z zatrzymanym oddechem na skutek nieprawidłowej techniki wynurzania lub niedrożności górnych dróg oddechowych,
- c) nieumiejętne wyważenie pletwonurka i nagłe wyparcie go na powierzchnię podczas wynurzania, któremu w wyniku stresu towarzyszy również wstrzymanie oddechu (przeważnie na ostatnich 10 metrach).

Jeżeli zaistnieje takie lub podobne zdarzenie, uszkodzonego nurka należy traktować jako potencjalnego chorego i obserwować czy nie występują u niego

---

objawy urazu ciśnieniowego płuc. Objawy takie różnią się między sobą i w dużej mierze zależą od rodzaju urazu.

#### **3.1.1.1 Uraz ciśnieniowy miąższu płucnego**

I tak przy uszkodzeniu miąższu płucnego najczęściej pojawiają się następujące objawy:

- kaszel i krwioplucie,
- krótki i szybki oddech,
- bóle w czasie oddychania,
- duszności,
- szaro-błady kolor skóry sinica.

#### **3.1.1.2 Uraz ciśnieniowy pęcherzyków płucnych w okolicy oskrzeli**

Gdy dojdzie do uszkodzenia pęcherzyków płucnych w okolicy oskrzeli, następuje przemieszczenie się powietrza w okolice klatki piersiowej, co powoduje powstanie odmy śródpiersiowej. W niektórych przypadkach powietrze może przedostać się do jamy brzusznej i worka osierdziowego, utrudniając w ten sposób pracę serca. Powietrze, któremu udało się przedostać do śródpiersia, uciska nerwy, krtań a czasami nawet i serce. Uraz taki najczęściej charakteryzuje się następującymi objawami:

- ból w klatce piersiowej, promieniujący do lewej ręki, szyi i karku, któremu towarzyszy ucisk za mostkiem,
- skrócenie oddechu i zaburzenia połykania,
- chrypka, często ze zmianami brzmienia głosu,
- uczucie ucisku w gardle,
- wyczuwalne pod skórą trzeszczenie pęcherzyków gazu, w górnej części klatki piersiowej i ramion.

#### **3.1.1.3 Uraz ciśnieniowy opłucnej**

W przypadku uszkodzenia opłucnej, powietrze przedostaje się pomiędzy płuco a ścianę klatki piersiowej, powodując odmě opłucnową i w wyniku wyrównania ciśnienia - zapadnięcie się płuca. Istnieje również niebezpieczeństwo powstania

---

odmy wentylowej. W uszkodzonym płucu tworzy się wówczas zastawka uniemożliwiająca prawidłowy przepływ powietrza i powodująca wzrost ciśnienia wewnątrz klatki piersiowej. Z każdym oddechem następuje coraz większy ucisk na serce i duże naczynia, powodujący przemieszczenie tych narządów w kierunku zdrowego płuca. W efekcie powoduje to nieprawidłową pracę zarówno układu oddechowego jak i układu krążenia. Nieudzielenie w tym przypadku szybkiej pomocy może zakończyć się śmiercią. Objawy tego rodzaju urazu ciśnieniowego mogą wystąpić zarówno bezpośrednio po wystąpieniu urazu, kiedy nurek przebywa jeszcze w wodzie jak i nawet kilka godzin po urazie. Zależy to głównie od rozległości urazu. Jednak objawy są zawsze podobne i łatwe do rozpoznania. Zaliczają się do nich:

- ⇒ krótki i silny ból w klatce piersiowej w momencie wystąpienia urazu,
- ⇒ niesymetryczny wygląd klatki piersiowej,
- ⇒ krótki i szybki oddech,
- ⇒ lęk i duszność,
- ⇒ szybkie i słabe tętno,
- ⇒ gwałtowny spadek ciśnienia tętniczego krwi,
- ⇒ szaro-błady kolor skóry, sinica,
- ⇒ zaburzenia pracy układów: krążenia i oddychania,
- ⇒ zgon.

#### **3.1.1.4 Zatory gazowe**

Równie groźny w skutkach może być uraz ciśnieniowy płuc, którego efektem jest wtłoczenie pod ciśnieniem cząsteczek powietrza do układu krążenia, za pośrednictwem którego przemieszczają się one do serca, a dalej do mózgu. Skutki tej wędrowki mogą być bardzo różne i trudne do przewidzenia. Cząsteczki gazu mogą spowodować zarówno niewielkie uszkodzenia naczyń krwionośnych, jak i zakłócić pracę serca, spowodować zator w tętnicach wieńcowych, tętnicach mózgu, a w skrajnych przypadkach śmierć.

Pierwszymi objawami zatorów tętnicznych są zazwyczaj drgawki lub zatrzymanie oddechu spowodowane zablokowaniem wielkich tętnic poprzez rozprężające się

---

cząsteczki gazu. W skrajnych przypadkach zator gazowy może spowodować zatrzymanie krążenia krwi. Brak krążenia powoduje niedotlenienie zarówno naczyń mózgowych, jak i wieńcowych, czego wynikiem jest śmierć. Jarosław Krzyżak, wybitny specjalista w dziedzinie patofizjologii nurkowania, w książce pt. „Medycyna dla nurków. Fizjopatologia nurkowania”, dokonał następującego podziału objawów zatorów powietrznych wywołanych urazem ciśnieniowym płuc (Krzyżak, 1998).

Objawy zatorów powietrznych w naczyniach mózgowych (są podobne do objawów udaru mózgu):

- bóle głowy,
- drgawki,
- zaburzenia czucia (drętwienia lub mrowienia),
- niedowłady i porażenia mięśni,
- zaburzenia wzroku, słuchu i mowy,
- zaburzenia równowagi i koordynacji ruchowej,
- porażenia ośrodków mózgowych (krążenia, oddychania),
- zaburzenia psychiczne,
- utrata przytomności,
- zgon.

Objawy zatorów powietrznych w naczyniach wieńcowych serca (są podobne do objawów zawału serca):

- bóle w klatce piersiowej za mostkiem promieniujące do lewej kończyny górnej, szyi, karku, żuchwy,
- szybkie i słabo wyczuwalne tętno,
- spadek ciśnienia tętniczego krwi,
- zaburzenie rytmu serca,
- objawy wstrząsu sercowopochodnego,
- zatrzymanie pracy serca.

#### **3.1.1.5 Uraz ciśnieniowy płuc - podsumowanie**

Rozpoznanie objawów urazu ciśnieniowego płuc bywa niekiedy trudne, ponieważ mogą one wystąpić od razu lub być rozłożone w czasie. Mogą także

---

wystąpić wszystkie razem lub w różnych konfiguracjach. Jednak należy pamiętać, że: **nie występuje pojęcie lekkiego urazu ciśnieniowego płuc!** Z tego właśnie powodu do urazu ciśnieniowego płuc należy zawsze podchodzić bardzo poważnie i potrafić go rozpoznać. Zlekceważenie początkowych, na pierwszy rzut oka niegroźnych objawów, takich jak kaszel czy krwioplucie może zakończyć się nawet śmiercią osoby poszkodowanej.

W przypadku stwierdzenia, iż mamy do czynienia z urazem ciśnieniowym płuc, a chory jest przytomny, należy podać mu do oddychania czysty tlen medyczny, przy pomocy możliwie najbardziej szczelnej maski, czyli zastosować pierwszą pomoc tlenową (PPT). Chorego należy ułożyć w pozycji bezpiecznej (na lewym boku), zabezpieczyć przed utratą ciepła, podać dwie polopiryny, jedną tabletkę relanium oraz podać do picia od 0,5 do 1 litra ciepłej herbaty. Należy jak najszybciej powiadomić pogotowie ratunkowe, zwracając szczególną uwagę na poinformowanie, iż poszkodowany jest ofiarą wypadku nurkowego. Tak zabezpieczony chory jest należycie przygotowany do natychmiastowego przetransportowania do najbliższej komory dekompresyjnej gdzie zostanie udzielona poszkodowanemu fachowa pomoc lekarska.

Jeżeli osoba jest nieprzytomna, nie wolno podawać jej żadnych płynów, ani leków doustnych. Jeżeli u osoby ratowanej nie stwierdziliśmy tętna i brak jest oddechu rozpoczynamy natychmiast reanimację.

W przypadku urazu ciśnieniowego, na efekt końcowy udzielonej pomocy najważniejszy wpływ ma czas, w którym udzielona zostanie pierwsza pomoc tlenowa oraz czas dostarczenia poszkodowanego do ośrodka leczenia hiperbarycznego. Dlatego też wskazane i uzasadnione jest przetransportowanie chorego do komory dekompresyjnej możliwie najszybszym środkiem transportu, ze śmigłowcem włącznie.

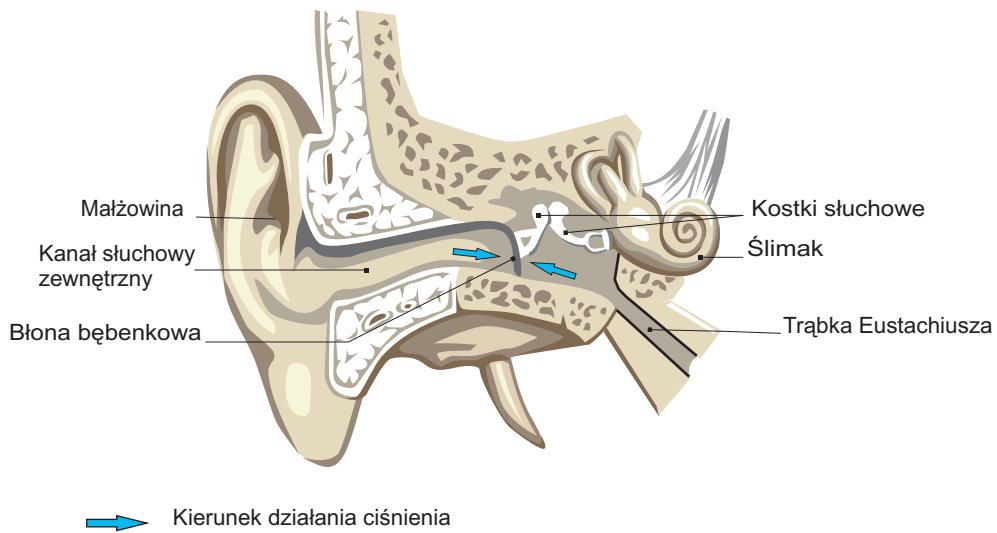
### **3.1.2 Uraz ciśnieniowy ucha**

Uraz ciśnieniowy ucha jest jednym z najczęstszych urazów występujących u nurków (Krzyżak, 1998, Macke i in., 2000, Dąbrowski, 2005). Na pierwszy rzut oka uraz ten nie zagraża życiu nurka. Jednak odnotowane są przypadki, kiedy uraz

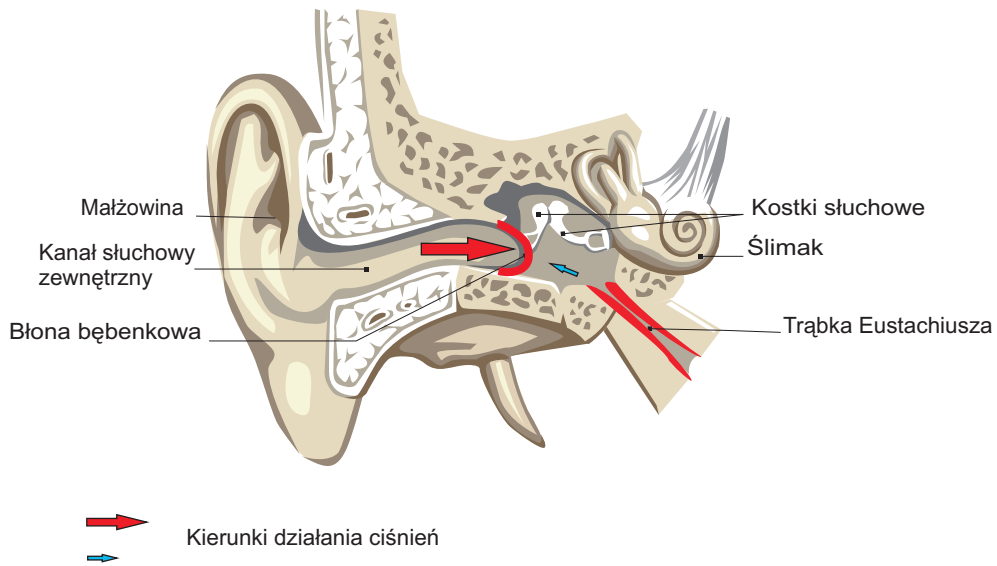
---

ciśnieniowy był przyczyną utonięcia, szczególnie samotnego nurka, na skutek utraty poczucia kierunku i równowagi.

Każdy, kto kiedykolwiek zanurkował choćby w basenie, odczuwał lekki ból w uszach. Jest to właśnie związane z różnicą ciśnień pomiędzy uchem zewnętrznym a środkowym i wewnętrznym, które oddzielone są od ucha zewnętrznego błoną bębenkową. Ciśnienie hydrostatyczne naciska na błonę bębenkową, powodując jej wygięcie i naprężenie. Na skutek zanurzania się głębiej błona bębenkowa ulegnie uszkodzeniu (perforacji). Tak więc uraz ciśnieniowy może wystąpić nie tylko u nurka oddychającego z aparatu nurkowego, ale również u zwykłego uczestnika kąpieli w basenie, rzece, jeziorze czy morzu, który zanurkuje na tyle głęboko by błona bębenkowa została wepchnięta do środka i uszkodzona. W przypadku płetwonurka problem jest bardziej złożony, gdyż o ile przy zanurzeniu nurek kontroluje wyrównanie ciśnienia, to przy wynurzeniu na skutek, na przykład, niedrożności kanału słuchowego wewnętrznego może również wystąpić perforacja błony bębenkowej. Wówczas, wraz ze zmniejszającą się głębokością, nacisk na błonę bębenkową w uchu środkowym staje się coraz większy i wypycha ją na zewnątrz aż do momentu wyrównania ciśnienia (najczęściej na skutek perforacji). W wyniku uszkodzenia błony bębenkowej zimna woda o temperaturze nawet 4 °C dostaje się poprzez ucho zewnętrzne i ucho środkowe do ucha wewnętrznego, w którym panuje temperatura ok. 37 °C. Na skutek dużej różnicy temperatur następuje zaburzenia pracy narządu równowagi i utracenie jego funkcji.



**Ryc. 20 Ucho - stan przed urazem**



**Ryc. 21 Ucho - mechanizm powstawania urazu ciśnieniowego**



---

Objawia się to najczęściej zawrotami głowy, utratą orientacji, nudnościami i wymiotami. Doświadczony nurk bez zastanowienia rozpocznie w takiej sytuacji wynurzenie, kierując się tam gdzie płyną bąble wydychanego przez niego powietrza. Często kierunek ten jest sprzeczny z sygnałami otrzymywanymi z mózgu, ale należy pamiętać, że prawa fizyki nie kłamią.

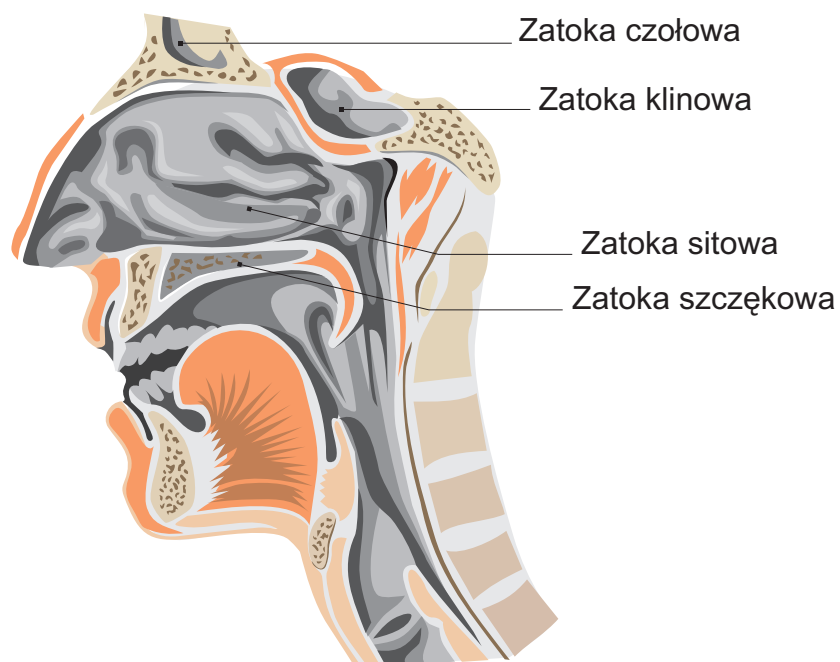
Aby zapobiec wystąpieniu urazu ciśnieniowego ucha należy wyrównać ciśnienie panujące po dwóch stronach błony bębenkowej. W tym celu możemy:

- przełknąć ślinę,
- poruszać żuchwą na boki,
- przełknąć ślinę przy zamkniętym nosie (manewr Toynbee),
- spróbować wydmuchać powietrze nosem jednocześnie zatykając go (manewr Valsalvy najczęściej wykonywany)

Jeżeli w żaden sposób nie uda nam się wyrównać ciśnienia podczas zanurzania i czujemy ból w uchu lub uszach, należy nieco się wynurzyć i spróbować ponownie wyrównać ciśnienie. Jeżeli w dalszym ciągu nie udało nam się wyrównać ciśnienia, niezwłocznie należy przerwać nurkowanie. W żadnym wypadku nie wolno nurkować osobom przeziębionym lub zakatarzonym, gdyż wtedy następuje zatkanie trąbki Eustachiusza i prawidłowe wyrównanie ciśnienia w uchu nie jest w ogóle możliwe. Nastąpić ono może wtedy tylko poprzez perforację błony bębenkowej. Jak już wcześniej wspomniano, błona bębenkowa posiada zdolność regeneracji, dlatego samo uszkodzenie błony bębenkowej nie powoduje uszczerbku na zdrowiu nurka.

### **3.1.3 Uraz ciśnieniowy zatok**

W kościach twarzoczaszki człowieka znajduje się układ przestrzeni powietrznych połączonych wąskimi kanałami z jamą nosową. Są to zatoki przynosowe: czołowe, sitowe, szczękowe i klinowe.



### Ryc. 22 Rozmieszczenie zatok przynosowych

Najczęściej do urazu ciśnieniowego dochodzi w zatokach czołowych i szczękowych (Krzyżak, 1998, Macke i in., 2000, Dąbrowski, 2005). Zasada powstawania urazu ciśnieniowego zatok jest zbliżona do zasady urazu ciśnieniowego ucha. Różnica polega na tym, że wyrównanie ciśnienia w zatokach odbywa się samoistnie i bez udziału nurka. Wraz z zanurzeniem (czyli wzrostem ciśnienia hydrostatycznego), na skutek niedrożności zatok może nastąpić uszkodzenie tkanek i krwotok. Zazwyczaj jednak niedrożność zatok objawia się bardzo silnym i zwiększającym się wraz z głębokością bólem głowy, który uniemożliwia kontynuowanie nurkowania.

Uraz ciśnieniowy zatok może występować zarówno przy zanurzeniu, jak i przy wynurzeniu. Jeżeli zatoki są niedrożne przy próbie zanurzenia, należy niezwłocznie przerwać nurkowanie. Sytuacja komplikuje się nieco, jeżeli płetwonurek zdecydował się nurkować mimo, na przykład, lekkiego (jak się wydawało) nieżyty nosa, a podczas

---

wynurzania ciśnienie nie może zostać wyrównane w skutek zatkania kanałów powietrznych przez obrzęk błony śluzowej. Następstwa takiej decyzji są bardzo nieprzyjemne. Nurk nie jest w stanie wyrównać ciśnienia w zatokach. Podczas wynurzania przy nasilającym się bólu głowy, może dojść do rozerwania tkanek i naczyń, co w efekcie może spowodować krwotok, zakażenie i zapalenie zatok. Przyczynami niedrożności zatok najczęściej są: przewlekłe przeziębienie, stan zapalny błony śluzowej zatok lub nosa, obrzęk alergiczny, polipy nosa lub zatok, bądź znaczne skrzywienie przegrody nosowej. Dlatego też w ramach badań kwalifikujących dla pływaczy wymagane jest badanie laryngologiczne.

#### **3.1.4 Uraz ciśnieniowy twarzy**

Maska nurka tworzy dodatkową, sztuczną przestrzeń powietrzną oddziałującą na nurka. Przestrzeń ta podlega tym samym prawom fizyki, co przestrzeń wewnątrz organizmu. W tym przypadku podciśnienie tworzące się w masce pod wpływem zmiany ciśnienia w trakcie zanurzania zasysa gałkę oczną, jak również oddziałuje na naczynia krwionośne, skórę twarzy i błony śluzowe, zwłaszcza nosa (Krzyżak, 1998, Macke i in., 2000, Dąbrowski, 2005). W efekcie może dojść do krwiaków, pęknięcia naczyń krwionośnych, obrzęku tkanek miękkich, krwawienia z nosa czy wynaczynienia do gałki ocznej. W skrajnych przypadkach na skutek urazu ciśnieniowego twarzy może dojść do uszkodzenia wzroku. Dlatego też nurk co kilka wydechów przez ustnik automatu powinien wykonać wydech przez nos, wyrównując w ten sposób ciśnienie w swojej masce. Z tego też powodu, pływaczowi nie wolno nurkować w okularkach pływackich, ponieważ byłby pozbawiony możliwości wyrównania ciśnienia w przestrzeniach powietrznych oddziałujących bezpośrednio na gałki oczne.

#### **3.1.5 Uraz ciśnieniowy zęba**

Do rzadziej spotykanych urazów ciśnieniowych zaliczyć możemy uraz ciśnieniowy zęba (Krzyżak, 1998, Macke i in., 2000, Dąbrowski, 2005). Porównać go można do „eksplozji” zęba. Występuje wówczas, gdy ząb zostanie nieprawidłowo zaplombowany, tzn. między plombą a powierzchnią zęba pozostaną niewielkie szczeliny wypełnione powietrzem, umożliwiające bardzo powolny przepływ

---

powietrza w obie strony. W takim przypadku powietrze znajdujące się w szczelinie podlega sprężeniu podczas zanurzania, a następnie rozpręża się podczas wynurzenia. Zgodnie z prawem Boyle'a Mariotte'a powietrze wypełniające przestrzeń powietrzne zęba, przy wynurzaniu, gwałtownie zwiększa swoją objętość, co powoduje wypchnięcie plomby i uszkodzenie ścianek zęba.

Częstszym zjawiskiem występującym podczas nurkowania jest ból zębów pojawiający się szczególnie w okolicy chorych lub martwych zębów, często z ropniami okołokorzeniowymi. Dlatego też nurek powinien zwrócić szczególną uwagę na stan i higienę swojego uzębienia.

### **3.1.6 Uraz ciśnieniowy przewodu pokarmowego**

Uraz ten występuje niezmiernie rzadko, najczęściej u początkujących nurków, którzy w wyniku rozkojarzenia i małego lub wręcz żadnego doświadczenia nurkowego lekceważą podstawowe zasady płetwonurkowania (Krzyżak, 1998, Mountain, 1997). Przyczyną urazu ciśnieniowego przewodu pokarmowego jest nadmiar gazów w przewodzie pokarmowym spowodowany spożyciem bezpośrednio przed nurkowaniem posiłku gazotwórczego lub napojów gazowanych. Inną przyczyną obecności gazu w przewodzie pokarmowym może być połykanie powietrza w trakcie oddychania pod wodą.

Podczas wynurzenia nadmiar gazu będący w przewodzie pokarmowym rozpręża się zgodnie z prawem Boyle'a-Mariotte'a powodując: wzdęcia, nudności, kolki, a czasem wymioty. Zazwyczaj jednak organizm usuwa nadmiar gazu przez usta powodując intensywne odbijanie lub przez jelito grube i odbył. W skrajnych przypadkach, przy niemożności usunięcia gazu z organizmu może wystąpić pęknięcie jelita i zapalenie otrzewnej. W wyniku nadmiaru gazu w żołądku może również dojść do zablokowania przepony, co uniemożliwia oddychanie. Dzieje się tak w trakcie wynurzenia w wyniku ucisku rozprężającego się gazu na przeponę.

### **3.1.7 Uraz ciśnieniowy skóry**

Uraz ciśnieniowy skóry jest urazem, który w żaden sposób nie zagraża życiu i zdrowiu nurka (Krzyżak, 1998). Bardzo często nurek nie zdaje sobie sprawy z odniesionego urazu. Powstaje on w skafandrach nurkowych źle dopasowanych do

---

ciała nurka (najczęściej są to skafandry za duże). Działanie tego urazu przypomina trochę działanie baniek leczniczych. Podczas zanurzenia w skafandrze tworzy się kieszeń powietrzna, w której w wyniku braku możliwości wyrównania ciśnienia, tworzy się podciśnienie. Kieszeń, tworząca swoistą bańkę, zasysa ciało nurka powodując wystąpienie na jego skórze niegroźnych siniaków.

### **3.1.8 Podsumowanie urazów ciśnieniowych**

Przedstawione powyżej mechanizmy powstawania urazów ciśnieniowych pokazują, jak ważna jest znajomość praw dotyczących zmian ciśnienia podczas nurkowania. Nurek świadomy zagrożeń, na które może być narażony, przede wszystkim nie spowoduje sytuacji zagrażającej jego zdrowiu i życiu. W przypadku awarii sprzętu znajomość, między innymi, praw gazowych umożliwi bezpieczne wynurzenie nawet z dużej głębokości. Przykładem może służyć zastosowanie prawa Boyle'a-Mariotte'a podczas wynurzania awaryjnego. Jeżeli w trakcie nurkowania na głębokości, na przykład 30 metrów, nastąpi awaria aparatu oddechowego, nurek może spokojnie bez paniki rozpocząć wynurzenie. Zgodnie ze wspomnianym prawem wraz ze zmniejszającym się ciśnieniem oddziałującym na gaz, zwiększa się jego objętość. A zatem nurek który nabrał powietrza na głębokości 30 metrów musi tylko pamiętać o powolnym i systematycznym wydychaniu powietrza w trakcie wynurzania, ponieważ proporcjonalnie do zmiany głębokości, powietrza w płucach nurka będzie przybywać.

## **3.2 Choroba ciśnieniowa (dekompresyjna)**

### **3.2.1 Ogólna charakterystyka choroby ciśnieniowej**

Choroba ciśnieniowa, często mylona z urazem ciśnieniowym, jest to: „zespół objawów, do którego dochodzi z powodu pojawienia się w organizmie mikropęcherzyków gazu, pochodzących z desaturacji płynów ustrojowych i tkanek, który rozpuścił się tam na skutek długiego przebywania nurka pod zwiększonym ciśnieniem (Olszański, 1999, za Bennett i in., 1993a, Boussuges i in., 1998, Hallenbeck i in., 1973, Ito i in., 1999, Nishi i in., 1981, Pitki i in., 1999). Należy zwrócić uwagę, że definicja choroby nie dotyczy tylko nurków przebywających w

---

wodzie, dotyczy również osób, które poddane są działaniu zwiększonego ciśnienia. Jest to bardzo ważne, ponieważ to nie obecność wody, a działanie podwyższonego ciśnienia otoczenia wpływa na łatwość rozpuszczania się gazu w tkankach (zob. prawo Henry'ego). Schorzenie to dotyczy głównie osób nurkujących, ze względu na duże różnice ciśnień przy stosunkowo niedużej różnicy głębokości. Coraz większa dostępność tej formy turystyki powoduje, że chorobę dekompresyjną utożsamia się tylko z nurkowaniem. Ale warto wiedzieć, że jest to również choroba występująca u lotników i pracowników kesonów.

### **3.2.2 Tabele dekompresyjne**

W płynach i tkankach nurka podczas nurkowania zachodzi proces saturacji, czyli rozpuszczania gazu. Omawiany proces w aspekcie uprawiania turystyki nurkowej, czyli nurkowania do maksymalnej głębokości 50 metrów, przy użyciu sprężonego powietrza lub mieszanin azotowo-tlenowych - nitroksów, dotyczy głównie rozpuszczania azotu w tkankach i krwi. Rozpuszczalność gazu w tkankach i krwi zależy od dwóch czynników: panującego ciśnienia otoczenia, czyli głębokości, na której nurek się znajduje i czasu nurkowania. Ponieważ w organizmie pętlwonurka dochodzi do rozpuszczenia azotu (saturacji), a proces ten postępuje o wiele szybciej niż proces usunięcia z organizmu jego cząsteczek (desaturacji), opracowano tak zwane tabele dekompresyjne. Tabele te określają przede wszystkim, w jakim czasie i do jakiej głębokości nurek może się zanurzyć, aby nie musiał wykonywać dekompresji, czyli przystanku w celu umożliwienia wysycenia nadmiaru azotu rozpuszczonego w jego tkankach i krwi. Tabele określają również czas i głębokość, na której należy wykonać przystanek dekompresyjny, w przypadku przekroczenia dopuszczalnego czasu nurkowania bezdekompresyjnego. Nurkowania turystyczne z założenia mają się odbywać w takim czasie i na taką głębokość, aby nie było konieczności wykonywania przystanków dekompresyjnych. Jednak mimo to zaleca się, aby niezależnie od czasu nurkowania i wskazań tabeli dekompresyjnej, zawsze podczas wynurzania, robić 3-minutowy, tak zwany przystanek bezpieczeństwa na głębokości 3 do 5 metrów.

Głębokość (m) Czas bez. (min)	Przystanki (m)		Grupy powrotzeń
	6	3	
<b>9</b> 653'	20		B
	40		C
	80		D
	120		E
<b>12</b> 192'	15		B
	30		C
	45		D
	60		E
	90		F
<b>15</b> 99'	15		C
	30		D
	45		E
	60		F
	90		G
<b>18</b> 65'	10		B
	20		C
	30		D
	40		E
	60		F
	70	2	G
	80	6	G
	90	12	G
<b>21</b> 40'	10		B
	20		D
	30		E
	40		F
	50	2	F
	55	4	G
	60	8	G
	65	10	G
	70	14	G
75	18	G	
<b>24</b> 27'	10		C
	20		D
	30	1	E
	40	3	F
	45	6	F
	50	10	G
	55	13	G
	60	18	G
	65	1	22
70	3	25	G
75	5	27	G

Głębokość (m) Czas bez. (min)	Przystanki (m)			Grupy powrotzeń	
	9	6	3		
<b>27</b> 21'	10			C	
	20			D	
	25		1	E	
	30		3	F	
	35		5	F	
	40		8	F	
	45	1	12	F	
	50	2	16	G	
	55	4	20	G	
	60	6	24	G	
<b>30</b> 17'	10			C	
	15			D	
	20		1	D	
	25		3	E	
	30	1	5	F	
	35	2	8	F	
	40	3	13	G	
	45	5	17	G	
	50	7	22	G	
	55	10	26	G	
	60	1	13	28	G
<b>33</b> 15'	5			B	
	10			C	
	15			D	
	20		3	E	
	25	1	5	F	
	30	3	7	F	
	35	4	13	G	
	40	1	5	18	G
	45	2	8	23	G
50	3	11	27	G	
<b>36</b> 9'	5			B	
	10		1	C	
	15		2	D	
	20	1	4	E	
	25	3	6	F	
	30	1	4	11	G
	35	2	6	16	G
	40	3	8	23	G
45	5	11	27	G	

Głębokość (m) Czas bez. (min)	Przystanki (m)				Grupy powrotzeń	
	12	9	6	3		
<b>39</b> 7'	5				C	
	10			1	D	
	15			4	E	
	20		3	4	F	
	25	1	4	8	G	
	30	3	5	14	G	
	35	1	3	8	21	G
	40	1	5	11	26	G
	<b>42</b> 6'	5				C
		10			1	D
15			1	4	E	
20		1	3	6	F	
25		3	4	12	G	
30		1	4	6	18	G
35		2	5	10	25	G
<b>45</b> 5'	3				B	
	6			1	D	
	9			1	E	
	12			4	E	
	15		3	4	E	
	18	1	4	5	F	
	21	3	4	9	G	
	24	1	3	5	14	G
	27	2	3	6	18	G
	30	3	4	8	23	G
<b>48</b> 4'	3				C	
	6			1	D	
	9			2	E	
	12		1	4	E	
	15		4	5	F	
	18	2	4	7	F	
	21	1	3	5	12	F
	24	2	4	5	17	G
27	3	4	8	22	G	
<b>51</b> 4'	3				C	
	6			1	D	
	9			3	E	
	12		3	4	F	
	15	2	4	5	F	
	18	4	4	9	F	
	21	2	4	5	15	G

Tabela dekompresyjna Bühlmann/Hahn 0-250m n.p.m.

Prędkość wynurzania 10m/min

Tabela 3 Tabela wynurzenia (dekompresyjna) Bühlmann/Hahn - awers

Głębokość (m) Czas bez. (min)	Czas (min)	Przystanki (m)					Grupy powtórzeń
		15	12	9	6	3	
<b>54</b> 3'	6					1	D
	9				1	4	E
	12				4	4	F
	15			3	4	7	F
	18		2	3	5	12	F
21	1	3	3	7	17	G	
<b>57</b> 3'	6					1	D
	9				2	4	E
	12			2	3	5	E
	15		1	3	4	9	F
	18		3	4	5	15	F
21	2	3	4	8	21	G	
<b>60</b> 3'	6					3	D
	9				3	4	E
	12			3	4	5	F
	15		2	4	4	12	F
	18	1	3	4	6	17	F
21	3	3	5	9	24	G	
<b>63</b> 2'	6					4	E
	9			1	3	4	F
	12		1	3	4	7	F
	15	1	3	3	5	14	G
	18	3	3	4	8	21	G

Tabela przerw na powierzchni i zanurzeń powtórných

		Przerwa na powierzchni (godz.min) ✈️						
Grupy powtórzeń	G	0.25	0.45	1.00	1.15	1.40	2.10	12.0
	F		0.20	0.30	0.45	1.15	1.30	8.00
	E			0.10	0.15	0.25	0.45	4.00
	D				0.10	0.15	0.30	3.00
	C					0.10	0.25	3.00
	B						0.20	2.00

**PROCEDURA DEKOMPRESYJNA PO WYNURZENIU AWARYJNYM**

- Przebywać na powierzchni wody nie dłużej niż 3 minuty.
- Zanurzyć się ponownie i w ciągu 2 minut osiągnąć głębokość równą 1/2 głębokości poprzedniego nurkowania.
- Przebywać na tej głębokości 5 minut.
- Wynurzyć się stosując dekompresję wyznaczoną z Tabeli Bühlmann/Hahn dla maksymalnej głębokości przerwane nurkowania i dla czasu pobytu na tej głębokości zwiększonego o 10 minut.



Głębokość powtórnego nurkowania (m)	Zwiększenie czasu podstawowego (min)						
	9	305	211	116	75	56	25
12	111	81	57	33	24	19	
15	88	61	42	28	19	16	
18	69	44	34	25	17	14	
21	54	37	28	23	15	12	
24	44	30	24	20	13	11	
27	37	26	21	18	12	10	
30	31	22	19	16	10	9	
33	27	20	17	14	9	8	
36	24	18	15	13	8	7	
39	21	16	14	11	8	7	
42	19	15	12	10	7	6	
45	18	14	11	9	6	6	
48	16	13	11	8	6	6	
51	15	12	10	7	5	5	
54	14	11	9	7	5	5	
57	13	10	9	6	5	5	
60	12	10	8	6	4	4	
63	12	10	8	6	4	4	

Tabela 4 Tabela wynurzenia (dekompresyjna) Bühlmann/Hahn rewers



### 3.2.3 Rodzaje i objawy choroby dekompresyjnej

Choroba ciśnieniowa jest to niezwykle groźna choroba, polegająca na niekontrolowanym uwalnianiu się pęcherzyków gazu, w trakcie gwałtownego obniżenia ciśnienia. Pęcherzyki te wcześniej pod wpływem zwiększającego się ciśnienia (czyli podczas zanurzenia) zostały rozpuszczone we krwi (Krzyżak, 1998, Macke i in., 2000, Dąbrowski, 2005, Mountain, 1997). Wynika z tego, że podstawowym czynnikiem wywołującym większość objawów choroby są uwalniane się cząsteczki gazu. Wystąpienie objawów w dużej mierze zależy od ilości i wielkości uwolnionych pęcherzyków. „W ponad 50 % przypadków choroby ciśnieniowej objawy występują w ciągu 1 godziny po nurkowaniu, a w 90 % w ciągu 6 godzin po nurkowaniu” (Krzyżak, 1998). Do bardzo rzadkich zalicza się wypadki, kiedy objawy choroby dekompresyjnej występują zaraz po, lub jeszcze w trakcie nurkowania, a także po 24 godzinach od wyjścia z wody.

Chorobę ciśnieniową możemy podzielić na wiele różnych sposobów. Jednym z nich jest zaproponowanym przez Bruce'a Wienke (za: Krzyżak, 1998), podział na następujące typy choroby dekompresyjnej:

1. Choroba dekompresyjna typu I postać lekka charakteryzująca się bólami stawowo-mięśniowymi, zwanymi z angielskiego bends oraz zmianami Skórnymi.
2. Choroba dekompresyjna typu II postać ciężka charakteryzująca się:
  - objawami choroby typu I,
  - objawami krążeniowo-płucnymi, charakteryzującymi się bólami zamostkowymi, dusznością i obrzękiem płuc,
  - objawami neurologicznymi, charakteryzującymi się zaburzeniami czucia i niedowładem.
3. Choroba dekompresyjna typu III będąca postacią przedsionkową, której cechą charakterystyczną jest uszkodzenie ucha wewnętrznego. Występuje ona zwykle po nurkowaniach przekraczających 300 metrów.
4. Choroba dekompresyjna typu IV to jałowa martwica kości lub przewlekła choroba ciśnieniowa, będąca późnym następstwem nurkowania.

Podział ten jest bardzo prosty i czytelny, uwzględniający zarazem wszystkie aspekty

---

choroby ciśnieniowej. W nurkowaniach turystycznych możemy zaobserwować dwa pierwsze typy urazów ciśnieniowych i niezwykle rzadko czwarty.

#### **3.2.3.1 Objawy skórne (typ I)**

Do najczęstszych lekkich objawów choroby dekompresyjnej zaliczyć należy swędzenie rąk i nóg, miejscowe zaczerwienienia skóry, a w przypadkach nieco poważniejszych białe, czerwone i niebieskie plamy na ciele nazywane skórą marmurkową, którym towarzyszą okresowe obrzęki skóry. Objawy takie nie wymagają leczenia i ustępują samoistnie po kilku dniach.

#### **3.2.3.2 Objawy stawowo-mięśniowe (typ I)**

Drugim pod względem częstości występowania objawem choroby ciśnieniowej są bóle mięśni, ścięgien i okolic dużych stawów, takich jak staw barkowy, biodrowy, kolanowy czy łokciowy. Zdarzają się, choć niezmiernie rzadko, bóle w dwóch stawach jednocześnie, ale występują one wtedy zawsze po tej samej stronie ciała. Bóle te mogą być bardzo dotkliwe i nasilają się w trakcie poruszania stawem. W takim przypadku należy udać się do lekarza w celu podjęcia odpowiedniego leczenia.

#### **3.2.3.3 Objawy płucne (typ II)**

Pęcherzyki azotu wraz z krwią przedostają się do płuc, gdzie mniejsze pęcherzyki ulegają wymianie gazowej i za pomocą wydechu wydalone są z organizmu człowieka, natomiast większe powodują zatkanie naczyń tętniczych, co nieuchronnie prowadzi do zaburzeń czynności płuc. Jednym z podstawowych objawów płucnych jest uczucie duszności, zwane również chokes, któremu towarzyszy szybki, płytki oddech, ból w klatce piersiowej i napadowy, suchy kaszel.

#### **3.2.3.4 Objawy sercowe (typ II)**

Pęcherzyki, którym udało się przedostać do naczyń wieńcowych, mogą spowodować zator lub zawał mięśnia sercowego i w następstwie tego śmierć. Objawy niedotlenienia serca są identyczne, jak omawiane wcześniej objawy zatorów gazowych w naczyniach wieńcowych, występujących na skutek urazu ciśnieniowego

---

płuc. Należy pamiętać, że zatorom gazowym występującym w naczyniach wieńcowych, zawsze towarzyszy wstrząs i bezpośrednie zagrożenie życia.

#### **3.2.3.5 Objawy neurologiczne (typ II)**

Objawy neurologiczne wywołane chorobą dekompresyjną przeważnie dotyczą uszkodzenia rdzenia kręgowego lub mózgowia. Zdarza się również, że uszkodzeniu ulegają obydwie części ośrodkowego układu nerwowego. Powodem tego jest przedostanie się cząsteczek azotu do naczyń krwionośnych rdzenia i mózgu, i utworzenie w nich zatorów. Objawy neurologiczne choroby ciśnieniowej wywołane uszkodzeniem rdzenia kręgowego są następujące: zaburzenia oddechu, często połączone z opasającym bólem w okolicy brzucha, drętwienie, osłabienie i omdlenie, zaburzenia czucia i niedowład kończyn dolnych lub też ich porażenie. Wystąpić może również porażenie pęcherza moczowego i odbytnicy uniemożliwiające wypróżnienie. Natomiast objawy neurologiczne choroby ciśnieniowej wywołane uszkodzeniem mózgowia charakteryzują się: bólem głowy, zwykle na skutek obrzęku mózgu, a w zależności od miejsca wystąpienia zatorów mogą pojawiać się: drętwienia, mrowienia, zaburzenia czucia, wzroku słuchu i mowy, porażenia mięśni twarzy, kończyn lub jednej z połów ciała, zaburzenia osobowości, drgawki i utrata przytomności.

#### **3.2.3.6 Jałowa martwica kości (typ IV)**

Jałowa martwica kości jest odległym następstwem niedostatecznych dekompresji lub choroby ciśnieniowej (Krzyżak, 1998). Bardzo rzadko występuje u pletwonurków amatorów, czyli u turystów nurkowych. W skutek zablokowania naczyń krwionośnych kości, następuje stopniowe obumieranie kości i zahamowanie jej naturalnych procesów samonaprawczych.

#### **3.2.4 Podsumowanie choroby ciśnieniowej**

Choroba dekompresyjna charakteryzuje się stopniowo postępującymi objawami. Nielezione, nawet te najłżejsze objawy choroby dekompresyjnej, ustępują bardzo powoli. Należy pamiętać, że im szybciej zaobserwujemy objawy choroby ciśnieniowej, tym poważniejszy przebieg będzie ona miała. Niestety na zachorowanie

---

narażeni są wszyscy nurkowie, bez względu na staż nurkowy. Jednak nurek świadomy zagrożenia, zastosuje wszelkie możliwe zasady bezpiecznego nurkowania, aby wykluczyć lub zminimalizować zagrożenie związane z tą chorobą. A już na pewno nie dopuści do jej ciężkiej postaci. Zasady postępowania określone zostały przez Egstroma, Hamiltona, Langa, Sheffielda i Vanna (Krzyżak, 1998) i ujęte są w następujących punktach:

1. Wynurzaj się z prędkością 10m/min., lub nawet wolniej.
2. Ogranicz liczbę nurkowań w ciągu jednego dnia do trzech, nie przekraczających głębokości 30 m.
3. Unikaj wielodniowych, wielopoziomowych lub wielokrotnych nurkowań na coraz większe głębokości.
4. Przed lotem samolotem odczekaj:
  - 12 godzin po płytkim lekkim nurkowaniu;
  - 24 godziny po nurkowaniu głębszym, wymagającym przystanków dekompresyjnych, dwukrotnym w jednym dniu, po wysiłku pod wodą;
  - 48 godzin po głębokich wielodniowych powtarzanych nurkowaniach dekompresyjnych.
5. Unikaj częstych wynurzeń do powierzchni oraz krótkich nurkowań powtarzanych z przerwą krótszą od 1 godziny.
6. Dla wielokrotnych nurkowań w ciągu jednego dnia zaleca się przerwy na powierzchni dłuższe niż 1 godzina.
7. Dla wszystkich nurkowań wskazane są przystanki bezpieczeństwa przez 2-4 min. W strefie głębokości 3-7m. Szczególnie wskazane są podczas powtarzalnych i wielodniowych nurkowań na głębokości w granicach 30 m.
8. Nie nurkuj na wysokościach powyżej 3000 m n.p.m., stosując standardowe tabele dekompresyjne lub ich ekstrapolacje.
9. Zawsze nurkuj ostrożnie, pamiętając, że tabele dekompresyjne i komputery nurkowe nie zabezpieczają przed chorobą ciśnieniową.

Powyższe zasady, które opracowane zostały w Amerykańskiej Akademii Nauk Podwodnych i Divers Alert Network, stosowane są z powodzeniem przez większość

---

organizacji nurkowych na całym świecie. Jeśli jednak u nurka wystąpią objawy choroby dekompresyjnej, należy podać mu do oddychania stuprocentowy tlen i jak najszybciej przetransportować go do najbliższego ośrodka hiperbarycznego. Jedynym skutecznym sposobem leczenia choroby dekompresyjnej jest tzw. rekompresja lecznicza, która polega na umieszczeniu chorego w komorze hiperbarycznej i zwiększeniu ciśnienia do wartości określonej w tabelach rekompresji leczniczej. Powoduje to szybkie i trwałe usunięcie pęcherzyków gazowych, które ponownie rozpuszczają się we krwi. Następnie chory zostaje poddany stopniowej i powolnej dekompresji leczniczej, określonej w tabelach dekompresji leczniczej. Celem dekompresji jest desaturacja, czyli usunięcie z organizmu chorego nadmiaru gazu.

### **3.3 Niedotlenienie (hipoksja)**

Kolejnym zagrożeniem związanym z nurkowaniem jest niedotlenienie (Krzyżak, 1998). Niedotlenienie jest to stan, w którym w komórkach organizmu występuje zbyt niska zawartość tlenu. Występujące zbyt długo niedotlenienie doprowadza do stanu głodu tlenowego w organizmie (anoksji). Nawet kilkuminutowy niedobór tlenu powoduje śmierć większości komórek; do komórek najbardziej wrażliwych na niedotlenienie zaliczyć należy komórki mózgowia. Podczas nurkowania najczęstszą przyczyną niedotlenienia są:

- zatrzymanie oddechu,
- niedostateczna ilość czynnika oddechowego, lub jego brak,
- niedostateczna ilość tlenu w mieszaninie oddechowej,
- niedrożność dróg oddechowych spowodowana utratą przytomności, zalaniem dróg oddechowych wodą lub wymiocinami,
- znaczne uszkodzenie pęcherzyków płucnych,
- zatrucie tlenkiem węgla.

Podczas oddychania mieszaniną oddechową zawierającą mniej niż 20 procent tlenu, nurek odczuwa jego brak jedynie podczas wynurzania. Dzieje się tak, ponieważ podczas zanurzania wraz z głębokością wzrasta ciśnienie parcjalne tlenu. Natomiast podczas wynurzania wraz ze zmniejszającą się głębokością, ciśnienie parcjalne tlenu maleje, co może spowodować niedotlenienie i nagłą utratę świadomości przed

---

osiągnięciem powierzchni.

Przy powolnym zmniejszaniu się zawartości tlenu w mieszaninie oddechowej pojawiają się u nurka następujące objawy:

- przyśpieszenie oddechu i tętna,
- uczucie gorąca,
- zawroty głowy,
- mdłości,
- pulsowanie w skroniach,
- obniżenie sprawności intelektualnej,
- zaburzenia świadomości,
- drżenie i/lub kurcze mięśni,
- drgawki padaczkowopodobne.

Natomiast przy gwałtownym niedoborze tlenu następuje nagła utrata przytomności bez jakichkolwiek objawów ostrzegawczych. Jest to bardzo niebezpieczne, ponieważ w rezultacie następuje aspiracja wody i utonięcie.

### **3.4 Wychłodzenie organizmu (hipotermia)**

Podczas nurkowania nurek przebywa w środowisku wodnym, którego temperatura jest zawsze niższa od temperatury ciała. Ponieważ przewodnictwo cieplne wody jest dwudziestokrotnie większe od przewodnictwa cieplnego powietrza, nurek narażony jest na dużo szybsze wychłodzenie organizmu. Hipotermia jest to „spadek temperatury ciała poniżej wartości fizjologicznej, spowodowany zaburzeniem pracy systemu regulacji temperatury ciała lub zbyt szybkim odbieraniem ciepła od organizmu w stosunku do zdolności jego wytwarzania” (Dąbrowski, 2005). Czynnikiem zwiększającym ryzyko wychłodzenia podczas nurkowania są:

- a) wcześniejsze wychłodzenie organizmu (przed nurkowaniem),
- b) spożycie alkoholu,
- c) brak snu lub zmęczenie,
- d) użycie nieodpowiedniego zabezpieczenia w stosunku do temperatury wody (Skafander nurkowy niedostosowany do temperatury wody),
- e) brak należytej ochrony termicznej głowy, stóp i dłoni podczas nurkowania.

---

Aby zapobiec wychłodzeniu następującemu po nurkowaniu należy pamiętać o dokładnym wysuszeniu się, przebraniu w suche, ciepłe ubranie, włożeniu ciepłej czapki (niezależnie od pory roku). Nurkowi z objawami wychłodzenia należy podać gorące płyny bezalkoholowe i chronić przed dalszą utratą ciepła.

Ze względu na objawy, hipotermię możemy podzielić na 3 stopnie (Krzyżak, 1998):

1. postać łagodna spadek temperatury ciała o 2 stopnie Celsjusza:
  - uczucie zimna, marznięcia i towarzyszące im dreszcze,
  - drętwienie kończyn upośledzające koordynację ruchową, utrudniające pływanie i obsługę sprzętu zarówno własnego, jak i partnera,
  - skurcze mięśni,
  - zaburzenia mowy i pamięci,
  - zmiany ciśnienia krwi,
  - diureza nerkowa
2. postać umiarkowana spadek temperatury ciała o 3-4 stopnie Celsjusza:
  - osłabienie siły mięśni i narastające ich sztywnienie,
  - ból wychłodzonych kończyn,
  - brak wrażliwości na bodźce,
  - zaburzenia świadomości,
  - osłabienie siły woli, apatia, niezdolność do działań mogących ratować życie,
  - zwolnienie pracy serca, arytmia, obniżenie ciśnienia krwi
3. postać ciężka - spadek temperatury ciała poniżej 30 stopni Celsjusza:
  - bezwładność i utrata przytomności,
  - ledwie wyczuwalny puls i oddech,
  - brak jakichkolwiek reakcji na ból,
  - zanik reakcji źrenic na światło (spowodowane niedotlenieniem mózgu).

Aby nie dopuścić do hipotermii nurek powinien zwrócić szczególną uwagę na temperaturę wody, czas przebywania pod wodą oraz odpowiednie zabezpieczenie się przed wychłodzeniem. Przy wystąpieniu pierwszych objawów wychłodzenia należy niezwłocznie przerwać nurkowanie i zachowując szczególną ostrożność rozpocząć wynurzanie. Doprowadzenie do wystąpienia objawów hipotermii drugiego stopnia

grozi nurkowi utonięciem. Przy objawach trzeciego stopnia niedoświadczony ratownik może pomylić ciężką hipotermię ze zgonem i nie udzielając pierwszej pomocy doprowadzić do śmierci nurka.

### **3.5 Przegrzanie organizmu (hipertermia)**

Hipertermia nurka występuje stosunkowo rzadko. Jest to „stan organizmu polegający na zwiększeniu temperatury wewnętrznej ciała powyżej wartości fizjologicznych” (Dąbrowski, 2005). W nurkowaniu przegrzanie następuje na skutek utrudnionego odprowadzania ciepła lub zaburzenia pracy mechanizmów termoregulacyjnych w warunkach wysokiej temperatury otoczenia. Do przegrzania nurka dochodzi najczęściej na skutek przebywania w skafandrze w upalny dzień, połączonego z nadmierną ekspozycją słoneczną. Zdarza się tak, na przykład, podczas nurkowania z łodzi, kiedy to nurek musi dużo wcześniej przebrać się w skafander nurkowy i przebywać na słońcu aż do momentu dotarcia do wyznaczonego miejsca nurkowania. Przegrzanie nurka może również nastąpić w wodzie wskutek niedostosowania skafandra nurkowego do czynników takich jak temperatura wody, czas nurkowania, intensywność wysiłku fizycznego pod wodą. Osoby o mniejszej ilości tkanki tłuszczowej i lepszej kondycji fizycznej są w mniejszym stopniu podatne na przegrzanie. Ryzyko hipertermii zmniejsza również picie odpowiedniej ilości płynów niegazowanych, zarówno przed, jak i po nurkowaniu. W miarę narastania przegrzania mogą wystąpić następujące objawy:

- a) przyspieszenie i oddechu i nasilone pocenie się,
- b) uczucie pragnienia i suchości w ustach,
- c) ogólne osłabienie i uczucie duszności,
- d) bóle, zawroty głowy, mroczki przed oczami,
- e) nudności i wymioty,
- f) zmniejszenie ilości oddawanego moczu lub zatrzymanie oddawania moczu,
- g) zaburzenia świadomości, dezorientacja, zachowanie nieadekwatne do Sytuacji,
- h) znaczne przyspieszenie i spłycenie oddechu i towarzyszący mu słaby puls,
- i) rozszerzenie źrenic,
- j) utrata przytomności, możliwe drgawki, zgon.



---

Objawy hipertermii, choć z pozoru niegroźne, mogą doprowadzić nawet do utonięcia nurka. Dlatego też nurek powinien unikać sytuacji mogących doprowadzić do przegrzania organizmu, a w przypadku stwierdzenia pierwszych objawów zrezygnować z dalszego nurkowania. Po wynurzeniu, należy jak najszybciej zdjąć choremu skafander, położyć go w miejscu osłoniętym od słońca (optymalnie w temperaturze pokojowej) oraz stosować chłodne okłady na całe ciało (zbyt zimne okłady doprowadzić mogą do wstrząsu termicznego). Przegrzanemu nurkowi należy również podać chłodne płyny.

### 3.6 Utonięcie

Do najczęstszych przyczyn zgonu wśród nurków należy utonięcie. Utonięcie jest to „rodzaj gwałtownego uduszenia, w wyniku zalania wodą górnych dróg oddechowych i ciężkich zaburzeń w gospodarce elektrolitowej organizmu po przedostaniu się wody do układu krążenia” (Dąbrowski, 2005). Utonięcia nie należy mylić z utopieniem: utopienie „oznacza opadnięcie na dno zwłok ludzkich, gdy zgon nastąpił przed dostaniem się wody do dróg oddechowych” (Krzyżak, 1998).

Rozróżnia się pięć okresów procesu utonięcia (Krzyżak, 1998):

1. okres I (trwa do kilkunastu sekund). Na skutek nagłego kontaktu ciała ludzkiego z wodą występują:
  - szybki i gwałtowny oddech,
  - gwałtowne ruchy, pozornie pomagające utrzymać się na powierzchni,
  - przedostanie się niewielkiej ilości wody do górnych dróg oddechowych, powodujące krztuszenie się i kaszel.
2. okres II (trwa od kilkunastu sekund do nawet kilku minut):
  - świadoma walka o utrzymanie powietrza w płucach (wstrzymanie oddechu),
  - kończy się w momencie kiedy tonący zmuszony jest wykonać Wdech w wodzie.
3. okres III (trwa od jednej do trzech minut)
  - głębokie wdechy tonącego, powodujące aspirację wody do płuc,
  - przedostanie się wody do żołądka,
  - drgawki,

- 
- utrata przytomności.
4. okres IV (trwa kilkadziesiąt sekund):
- samoistne zatrzymanie oddechu.
5. okres V (trwa poniżej jednej minuty):
- drgawki i prężenia mięśni,
  - nieskoordynowane ruchy oddechowe klatki piersiowej,
  - zatrzymanie czynności serca,
  - śmierć tonącego.

Najczęstszą przyczyną utonięcia nurka jest utrata przytomności na skutek:

- a) zatrucia gazami (tlenkiem węgla, dwutlenkiem węgla, tlenem i azotem),
- b) choroby ciśnieniowej,
- c) urazu ciśnieniowego płuc.

Innymi, niezależnymi od utraty przytomności przyczynami utonięcia mogą być:

- a) niedostateczna wiedza nurkowa,
- b) nieumiejętne posługiwanie się sprzętem,
- c) nurkowanie w niesprawnym lub niedostosowanym do warunków nurkowania sprzęcie,
- d) wyczerpanie zapasów mieszaniny oddechowej w butli nurka,
- e) przeciążenie nurka,
- f) panika i stres,
- g) uwięzienie pod wodą (sieci, wraki, jaskinie),
- h) nurkowanie pod wpływem alkoholu lub innych środków odurzających,
- i) brawura w nurkowaniu.

Ze względu na możliwość odratowania osoby tonącej rozróżniamy następujące pojęcia tonięcia: tonięcia w ciepłej wodzie (temperatura powyżej 21 stopni Celsjusza), tonięcia w zimnej wodzie (temperatura poniżej 21 stopni Celsjusza) oraz tonięcia w bardzo zimnej wodzie (poniżej 5 stopni Celsjusza). Szanse na odratowanie osoby tonącej są odwrotnie proporcjonalne do temperatury wody: im wyższa temperatura wody, tym mniejsza szansa na uratowanie.

Innym stosowanym podziałem jest podział na utonięcia w słonej wodzie i w słodkiej wodzie. Utonięcie w słodkiej wodzie skutkuje łatwym przedostaniem się wody

---

wypełniającej płuca do naczyń krwionośnych, co powoduje rozcieńczenie krwi i zaburzenia elektrolitowe. W rezultacie następuje zaburzenie rytmu serca, niedotlenienie i śmierć. Na skutek wypełnienia płuc słoną wodą następuje łatwe przechodzenie osocza krwi z układu krążenia do pęcherzyków płucnych. Konsekwencją tego jest zagęszczenie krwi, powodujące niewydolność krążenia, oraz ciężki obrzęk płuc, co prowadzi do niedotlenienia i śmierci.

W przypadku, gdy mamy do czynienia z tonącym nurkiem należy jak najszybciej wyciągnąć go z wody, a jeżeli zachodzi taka potrzeba, rozpocząć reanimację krążeniowo-oddechową już w wodzie. Po wyciągnięciu na brzeg, należy kontynuować reanimację do momentu przywrócenia akcji oddechowej i pracy serca. Oddychającemu samodzielnie poszkodowanemu należy podać do oddychania stuprocentowy tlen i zapewnić niezbędną pomoc lekarską. Każdy tonący, nawet jeśli odzyskał przytomność, musi pozostać pod opieką lekarską przynajmniej przez 24 godziny od wypadku. W tym okresie wystąpić mogą powikłania doprowadzające do trwałej utraty zdrowia lub nawet śmierci (tzw. wtórne utonięcie). Najczęściej jest to konsekwencją tzw. prawie utonięcia (z angielskiego *near drowning*), czyli odratowania po częściowym lub całkowitym zalaniu płuc wodą, przedostaniu się jej do układu krążenia i tym samym zaburzeniu gospodarki elektrolitowej organizmu.

### **3.7 Podsumowanie**

Przedstawione w rozdziale zagadnienia dotyczące zagrożeń związanych z uprawianiem turystyki nurkowej, pokazują jak ważną rolę w tej dziedzinie turystyki kwalifikowanej odgrywa znajomość chorób, zagrożeń i ich następstw. Człowiek nie zdający sobie sprawy z zagrożeń związanych z nurkowaniem, jest zagrożeniem nie tylko dla siebie, ale również dla swojego partnera, z którym nurkuje. Znajomość chorób i zagrożeń związanych z uprawianiem nurkowania pozwala również zapobiegać ciężkim wypadkom nurkowym. Wiedza na temat mechanizmów powstawania urazów oraz znajomość objawów chorób nurkowych pozwalają również dostrzec ich pierwsze objawy i podjąć odpowiednie działania zapobiegające ich pogłębieniu. Dlatego tak ważne jest, aby każda osoba nurkująca stale rozwijała swoją wiedzę teoretyczną i praktyczną nie tylko w zakresie techniki nurkowania, ale również chorób i zagrożeń nurkowych.

---

## Podsumowanie

Człowiek już od dawien dawna marzył o lataniu, wyprawach w kosmos, zdobywaniu największych szczytów na kuli ziemskiej i podboju morskich głębin. Jak dotąd środowisko wodne w największym stopniu przeciwstawia się marzeniom człowieka. Z roku na rok dynamiczny rozwój nauki i techniki przybliżyła ludzkość do zrealizowania tych marzeń. Rozwój turystyki nurkowej jest ściśle związany z rozwojem myśli technicznej. Na początku było to bardzo elitarne hobby, jednak wraz z upływem czasu, dzięki udoskonaleniu sprzętu i obniżeniem kosztów jego produkcji, zajęcie to przerodziło się w popularną formę turystyki kwalifikowanej uprawianą obecnie przez miliony ludzi na całym świecie.

Jednak nurkowanie to nie tylko realizacja marzeń, ale również bardzo realne zagrożenia zdrowia i życia. Do najważniejszych z nich zaliczyć należy choroby i urazy nurkowe wynikające z nieznaności podstawowych praw fizyki, zmian zachodzących w organizmie człowieka na skutek oddziaływania środowiska wodnego i zasad bezpiecznego nurkowania. Niestety nieznanosc tych zagadnień bardzo często wynika z nieprawidłowego szkolenia pływaka, całkowitego jego braku lub lekceważenia jego zasad. Aby nurkowanie było bezpieczną formą turystyki, kwalifikowanej i nie skończyło się ciężkim urazem lub wypadkiem nurkowym, konieczne jest zrozumienie mechanizmów ich powstawania. Nurk, który jest odpowiednio wyszkolony i przygotowany, stara się unikać zachowań mogących doprowadzić do sytuacji niebezpiecznych dla zdrowia lub życia. Zagrożenia te mogą dotyczyć nie tylko samego nurka, ale również jego partnerów.

Z analizy genezy najczęstszych urazów i chorób nurkowych wynikają pewne elementarne zasady bezpieczeństwa, które uczestnik nurkowania musi bezwzględnie przestrzegać. Ze względu na toksyczne działanie gazów występujących w sprężonym powietrzu, nurkowanie turystyczne z wykorzystaniem tej mieszaniny oddechowej może być wykonywane do maksymalnej głębokości 50 metrów, pod warunkiem jednak odbycia kursu i otrzymania odpowiedniego certyfikatu. Z uwagi na toksyczne działanie tlenu, nurk musi pamiętać o tym, że nurkowanie z użyciem mieszanin o podwyższonej zawartości tlenu odbywać się może tylko do ograniczonej głębokości wynikającej z ciśnienia parcjalnego tlenu. Z kolei większości urazów ciśnieniowych

---

można uniknąć dzięki umożliwieniu wyrównania ciśnienia w przestrzeniach powietrznych nurka. Niebagatelne znaczenie dla powstawania innego groźnego urazu, choroby ciśnieniowej, ma czas przebywania pod wodą, maksymalna głębokość, na której nurek przebywał i prędkość jego wynurzenia. Dlatego też każde nurkowanie powinno być szczegółowo zaplanowane i zrealizowane zgodnie z zasadami bezpieczeństwa, zaś osoby w nim uczestniczące powinny być zdrowe i posiadać odpowiednie zaświadczenia lekarskie, potwierdzające ich zdolność do uprawiania płetwonurkowania

Znajomość i zastosowanie zasad bezpiecznego nurkowania umożliwia korzystanie z uroków tej pięknej i tajemniczej formy turystyki kwalifikowanej bez narażania siebie i innych uczestników na niepotrzebne niebezpieczeństwo.

---

## Literatura

- Andrejuk, A., 1998, Turystyka aktywna, rekreacyjna i specjalistyczna, Warszawa: KENGRAF
- Bennet P.B, i Elliot, D.H., 1993, The physiology and medicine of diving, London: Bailliere Tindal.
- Bochenek, A. i Reicher, M., 2002, Anatomia człowieka. Tom I, Anatomia ogólna, kości, stawy i więzadła, mięśnie, Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Bochenek, A. i Reicher, M., 1998, Anatomia człowieka. Tom II, Trzewa, Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Bochenek, A. i Reicher, M., 2002, Anatomia człowieka. Tom III, Układ naczyniowy, Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Bochenek, A. i Reicher, M., 2002, Anatomia człowieka. Tom V, Układ nerwowy obwodowy. Układ nerwowy autonomiczny. Powłoka wspólna. Narządy zmysłów, Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Boussuges, A., Succo, E., Juhan-Vague, I., Sainty, J.M., 1998, Activation of coagulation in decompression illness, *Aviat. Space Environ., Med.* 69, 721-724.
- Dąbrowski, M., 2005, Ratownictwo nurkowe, Warszawa: BEL Studio.
- Hallenbeck, J.M., Bove, A.A., Elliott, D.E., 1973, Accelerated coagulation of whole blood and cell-free plasma by bubbling in vivo, *Aerospace Med.* 44/6/7, 712-714.
- Ito, M., Domoto, H., Tadano, Y., Itoh, A., 1999, Three cases of spinal decompression sickness treated by U.S Navy treatment table 7, *Aviat. Space Environ., Med.* 70, 141-145.
- Kowalczyk, A., 2002, Geografia Turyzmu, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Krzyżak, J., 1998, Medycyna dla nurków. Patofizjologia nurkowania, Poznań: Wydawnictwo KOOPgraf .
- Łobożewicz, T., 1999, „Miejsce turystyki kwalifikowanej i aktywnej całokształcie ruchu turystycznego”, w: T. Łobożewicza i R.Kogut (red.), *Turystyka aktywna, turystyka kwalifikowana, zbiór materiałów pokonferencyjnych*, Warszawa: DrukTur, 11-21.
- Mountain, A., 1997, Nurkowanie. Poradnik, Łódź: Galaktyka.
- Nishi, R.Y., 1981, Assessment of decompression profiles and divers by Doppler ultrasonic monitoring, *Proceedings of the Seventh Symposium on Underwater Physiology*, Bethesda MD: Undersea Med. Soc., 717-727.
- Olszański, R., 1999, Ocena zagrożenia chorobą dekompresyjną w nurkowaniach saturowanych na podstawie wybranych parametrów homeostazy. Rozprawa habilitacyjna, Łódź: Wojskowa Akademia Medyczna im. Gen. Dyw. Bolesława Szareckiego.
- Pitkin, A., Benton, P., Broome, J., 1999, Outcome after treatment of neurological decompression illness as predicted by a published clinical scoring system, *Aviat.*

---

Space Environ., Med. 70, 517-521.

Przećławski, K., 1997, Człowiek a turystyka zarys socjologii turystyki, Kraków: Albis.

Rut, J., 2002, Turystyka aktywna w Euroregionie Karpackim, Rzeszów: Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego.

Terminologia turystyczna Zalecenia WTO, ONZ-WTO, UKFiT Warszawa 1995

Macke J., Kruszewski, K., Zieleniec, G., 2000, Nurkowanie, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Alma-Press.

Rahimi M., „Nurkowanie bez strachu”, 2002, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Alma-Press.

Villee, C.A., Solomon, E.P., Berg, L.R., Martin. D.W., 2000, Biologia, Warszawa: Multico Oficyna Wydawnicza.

Wienke, B., 1991, Basic Decompression Theory and Application, Best Publishing Company.

Materiały z kursu patofizjologii nurkowania prowadzonego przez dr nauk med. Zdzisława Sićko, w Instytucie Medycyny Morskiej i Tropikalnej, w Krajowym Ośrodku Medycyny Hiperbarycznej w Gdyni, w listopadzie 2001

<http://www.nurkowanie.pl>

<http://www.resmedica.pl>

---

## **Spis ryciny**

Ryc. 1 Wykres - Prawo Boyle'a-Marriotte'a	26
Ryc. 2 Zmiana objętości gazów wg prawa Boyle'a-Mariotte'a	27
Ryc. 3 Zmiany objętości gazu zgodne z prawem Boyle'a-Mariotte'a	28
Ryc. 4 Wykres - Prawo Gay-Lussaca	30
Ryc. 5 Zmiana objętości gazu pod wpływem zmiany temperatury	30
Ryc. 6 Wykres - Prawo Charlesa	31
Ryc. 7 Prawo Charlesa	32
Ryc. 8 Układ krwionośny człowieka	39
Ryc. 9 Schemat budowy barwnika krwi (hemoglobiny)	40
Ryc. 10 Wymiana gazowa w płucach i tkankach obwodowych	41
Ryc. 11 Transport i usuwanie dwutlenku węgla z tkanek i płuc	42
Ryc. 12 Schemat budowy serca	46
Ryc. 13 Układ bodźczo-przewodzący	47
Ryc. 14 Schemat układu oddechowego	49
Ryc. 15 Schemat budowy płuc	53
Ryc. 16 Mechanizm oddychania wdech	55
Ryc. 17 Mechanizm oddychania - wydech	55
Ryc. 18 Schemat budowy ucha	56
Ryc. 19 Możliwe następstwa urazu ciśnieniowego płuc	66
Ryc. 20 Ucho - stan przed urazem	72
Ryc. 21 Ucho - mechanizm powstawania urazu ciśnieniowego	72
Ryc. 22 Rozmieszczenie zatok przynosowych	74



---

**Spis tabel**

Tabela 1 Ciśnienie parcjalne poszczególnych składników gazowych powietrza przy zmiennym ciśnieniu całkowitym i odpowiadającym mu zanurzeniu	33
Tabela 2 Skład powietrza podział ze względu na zawartość procentową i ciśnienie parcjalne	58
Tabela 3 Tabela wynurzenia (dekompresyjna) Bühlmann/Hahn - awers	79
Tabela 4 Tabela wynurzenia (dekompresyjna) Bühlmann/Hahn rewers	80

## Załącznik nr 1

### ROZPORZĄDZENIE MINISTRA SPORTU<sup>1)</sup>

z dnia 17 sierpnia 2006 r.

#### w sprawie zasad bezpieczeństwa przy uprawianiu płetwonurkowania

Na podstawie art. 53c ust. 4 ustawy z dnia 18 stycznia 1996 r. o kulturze fizycznej (Dz. U. z 2001 r. Nr 81, poz. 889, z późn. zm.<sup>2)</sup>) zarządza się, co następuje:

- § 1. Uprawianie płetwonurkowania powinno odbywać się zgodnie z posiadanymi kwalifikacjami i praktyką nurkową.
- § 2. Przed rozpoczęciem płetwonurkowania:
- 1) dokonuje się oceny warunków wpływających na bezpieczeństwo nurkowania, biorąc pod uwagę w szczególności ruchy i głębokość wody, jej zanieczyszczenie oraz widoczność pod wodą;
  - 2) przygotowuje się plan nurkowania obejmujący w szczególności określenie miejsca nurkowania;
  - 3) ustala się sposób porozumiewania się uczestników nurkowania oraz procedurę ratunkowo-ewakuacyjną w przypadku wystąpienia zagrożenia dla ich bezpieczeństwa;
  - 4) sprawdza się sprzęt, który ma być używany do nurkowania.
- § 3. 1. Płetwonurkowanie może uprawiać osoba, której stan zdrowia pozwala na jego przeprowadzenie zgodnie z planem nurkowania.
2. Jeżeli jest konieczne udokumentowanie przez osobę zamierzającą uprawiać płetwonurkowanie jej stanu zdrowia, to, w zależności od potrzeb, przedstawia ona:
- 1) zaświadczenie zawierające orzeczenie lekarskie o braku przeciwwskazań do uprawiania płetwonurkowania lub
  - 2) oświadczenie, że jej stan zdrowia pozwala na uprawianie płetwonurkowania.
- § 4. Płetwonurkowanie przeprowadza się zgodnie z przygotowanym planem nurkowania.
- § 5. Niedopuszczalne jest:
- 1) przekraczanie maksymalnej głębokości nurkowania wynikającej z posiadanych kwalifikacji i wymagań określonych w § 6;
  - 2) uprawianie płetwonurkowania po użyciu alkoholu, substancji psychotropowych i środków odurzających.
- § 6. 1. Maksymalna głębokość nurkowania z wykorzystaniem powietrza jako czynnika oddechowego wynosi 50 m.
2. Przy zastosowaniu innych niż powietrze mieszanin oddechowych jako

czynnika oddechowego maksymalna głębokość nurkowania jest uzależniona od składu mieszaniny oddechowej, przy czym ciśnienie cząstkowe:

- 1) tlenu nie może być większe niż 0,16 MPa;
- 2) azotu nie może być większe niż 0,4 MPa.

§ 7. Uprawianie pletwo nurkowania na wodach otwartych odbywa się zgodnie z przepisami obowiązującymi dla danego rodzaju wód.

§ 8. Sprzęt, który ma być używany do nurkowania, powinien:

- 1) zapewnić bezpieczne nurkowanie i być odpowiednio dobrany do zaplanowanego nurkowania i umiejętności posiadanych przez uczestników nurkowania;
- 2) być sprawny technicznie;
- 3) spełniać wymagania określone w Polskich Normach dotyczących sprzętu do nurkowania.

§ 9. Wszyscy uprawiający pletwonurkowanie są obowiązani do przestrzegania zasad bezpieczeństwa.

§ 10. Osoba prowadząca zorganizowane nurkowanie jest obowiązana do:

- 1) nadzoru nad przestrzeganiem zasad bezpieczeństwa przez uczestników nurkowania;
- 2) zapewnienia następującego sprzętu medycznego:
  - a) zestawu pierwszej pomocy odpowiedniego do planowanego nurkowania,
  - b) tlenowego zestawu ratunkowego, umożliwiającego podawanie poszkodowanemu co najmniej 15 l/min czystego tlenu w czasie nie krótszym niż 20 min;
- 3) posiadania środków łączności umożliwiających wezwanie służb ratowniczych;
- 4) zapewnienia uczestnikom nurkowania dostępu do wszelkich posiadanych informacji dotyczących nurkowania, w szczególności planu nurkowania, sposobów porozumiewania się, procedur ratunkowo-ewakuacyjnych w przypadku wystąpienia zagrożenia dla ich bezpieczeństwa, oraz do informacji o sprzęcie, który ma być używany do nurkowania;
- 5) nieudzielenia zgody na udział w pletwonurkowaniu osobie, która może spowodować naruszenie zasad bezpieczeństwa przy pletwonurkowaniu.

§ 11. Rozporządzenie wchodzi w życie po upływie 14 dni od dnia ogłoszenia.<sup>3)</sup>

Minister Sportu: *T. Lipiec*

<sup>1)</sup> Minister Sportu kieruje działem administracji rządowej - kultura fizyczna i sport, na podstawie § 1 ust. 2 rozporządzenia Prezesa Rady Ministrów z dnia 18 lipca 2006 r. w sprawie szczegółowego

zakresu działania Ministra Sportu (Dz. U. Nr 131, poz. 918).

<sup>2)</sup> Zmiany tekstu jednolitego wymienionej ustawy zostały ogłoszone w Dz. U. z 2001 r. Nr 102, poz. 1115, z 2002 r. Nr 4, poz. 31, Nr 25, poz. 253, Nr 74, poz. 676, Nr 93, poz. 820, Nr 130, poz. 1112 i Nr 201, poz. 1752, z 2003 r. Nr 203, poz. 1966, z 2004 r. Nr 96, poz. 959 i Nr 173, poz. 1808 oraz z 2005 r. Nr 85, poz. 726 i Nr 155, poz. 1298.

<sup>3)</sup> Niniejsze rozporządzenie było poprzedzone rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 7 maja 2002 r. w sprawie uprawiania pływania (Dz. U. Nr 70, poz. 646), które utraciło moc z dniem 30 listopada 2005 r. na podstawie art. 5 ust. 5 ustawy z dnia 15 kwietnia 2005 r. o zmianie ustawy o kulturze fizycznej oraz ustawy o żegludze śródlądowej (Dz. U. Nr 85, poz. 726 i Nr 155, poz. 1298).