

POLSKA DROGA REALIZACJI DEKOMPRESJI W PODWODNYCH PRACACH GŁĘBINOWYCH CZĘŚĆ I. REWOLUCJA OSOBISTYCH KOMPUTERÓW NURKOWYCH

Stanisław Skrzyński

Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni, Polska

STRESZCZENIE

W artykule autor przedstawia specyfikę dekompresji nurków głębokich w odniesieniu do rewolucji w nurkowaniach jakie przyniosło wprowadzenie osobistego komputera w nurkowaniach rekreacyjnych. Ciągły rozwój tych komputerów, szczególnie w ostatnich dekadach naszego wieku, dotyczył nurków głębokich realizowanych w nurkowaniach technicznych i rekreacyjnych. Nurkowania głębokie są trudne i ryzykowne w realizacji z punktu widzenia podwodnej fizjologii oraz realizacji dekompresji. Charakteryzując dekompresję nurka, realizowaną przy pomocy komputera dla nurków głębokich, autor porównuje realizację dekompresji w profesjonalnych nurkowaniach głębokich. Wskazuje on też na przeszkody formalne i techniczne na drodze wdrożenia komputerów osobistych nurka. W podsumowaniu artykułu ocenia zaś możliwość zastosowania komputera nurkowego w realizacji podwodnych prac głębokich.

Słowa kluczowe: osobisty komputer nurkowy, zastosowanie komputera nurkowego dekompresja nurków prace głębokie nurkowanie głębokie, nurkowanie profesjonalne, dane nurkowania głębokiego, dzwon nurkowy, mieszaniny oddechowe, dekompresja nurków, tabele dekompresji.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2019 Vol. 68 Issue 3 pp. 41 – 58

ISSN: 1734-7009 **eISSN:** 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2019-0012

Strony: 18, rysunki: 0, tabele: 0

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Typ artykułu: przeglądowy

Termin nadesłania: 27.01.2019 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 13.09.2019 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Ostatnią fazą nurkowania jest dekompresja, decydującą o bezpieczeństwie nurka. Dekompresja w nurkowaniach realizowana jest na podstawie wykładni tabel dekompresyjnych, która nie obejmuje wszystkich aspektów i przypadków spotykanych w praktyce. Proces dekompresji, ze względu na zachodzące w trakcie jej trwania zjawiska w tkankach żywego organizmu, wymaga wiarygodnych i precyzyjnych metod pomiarowych parametrów dekompresji. Dlatego podczas nurkowania staramy się odwzorować tabele dekompresji w sposób jak najbardziej skrupulatny, biorąc pod uwagę dopuszczalne niedokładności parametrów oraz błędy realizacyjne.

Rewolucja komputerów nurkowych nadal nie przyjęła się w nurkowaniach profesjonalnych w takiej skali, jak w nurkowaniach technicznych i rekreacyjnych, choć zalety stosowania osobistego komputera nurka są wyraźnie widoczne w obu tych formach nurkowania [1]. Dokumenty formalne i procedury wciąż nie zalecają stosowania komputera nurkowego w profesjonalnych nurkowaniach głębokich. Aktualnie, planując nurkowania głębokie, kierownik prac podwodnych opiera się o „papierowe” tabele dekompresji, możliwości techniczne ich realizacji oraz swoje doświadczenie. Obowiązuje działanie bez wspomaganie komputerem, a jedynie „dobrą praktyką nurkową”.

Praktykujący kierownik prac podwodnych na ogół ma swoje „sekretne” nawyki, widoczne w jego podejściu do realizacji dekompresji, szczególnie zaś podczas nurkowania głębokiego, które często wymusza wielowariantowy i wieloaspektowy przebiegu procesu dekompresji. Literatura fachowa i naukowa bardzo skąpo opisuje te aspekty, lub w ogóle nie porusza problemów realizacji dekompresji, szczególnie w złożonych systemach nurkowych z użyciem dzwonu. Ten sam sposób dekompresji może być realizowany w wielu wariantach technicznych i organizacyjnych, wymuszonych posiadaną techniką, kwalifikacjami nurków czy charakterystyką posiadanej bazy nurkowej. Na podstawie kontaktów autora z licznymi specjalistami-praktykami w dziedzinie prowadzenia dekompresji, doszedł on do wniosku, iż wiedza o jej realizacji jest jednostronna i nie uwzględnia całego kalejdoskopu problemów, które mogą wystąpić w jej trakcie.

Zapytani o to, jak należy poprawnie przeprowadzać dekompresję, zarówno twórcy tabel dekompresyjnych jak i ich interpretatorzy oraz specjaliści nurkowania odpowiadają stwierdzeniem, iż jest to oczywiste, że „należy ją prowadzić zgodnie z tabelami”, co trudno jest nazwać wyczerpującą odpowiedzią. Uzupełniają ją czasem mówiąc by „dbać o bezpieczeństwo nurka tak, aby ani na chwilę nie było ono obniżone lub zagrożone”. W dyskusjach tych pojęcie bezpieczeństwa nurka dotyczy skutków bezpośrednich w trakcie nurkowania, a zapomina się o tzw. skutkach odległych, wynikających z uprawiania zawodu nurka głębokiego. W obu przypadkach wpływ mają zarówno bezpieczeństwo, jak i jakość realizacji dekompresji. W takich sytuacjach niełatwo jest się wdawać w głębszą dyskusję, gdyż argumenty oponenta oparte są o interpretację przepisów, norm i kontaktów osobistych a rzadziej o własną praktykę.

Nikt nie przekaże wiedzy o własnych błędach i niedociągnięciach, a będzie się raczej starał wyeksponować własne dokonania i sukcesy. Te fakty nakłoniły autora do podzielenia się własnym doświadczeniem i wnioskami, do których dochodził w niełatwych relacjach ze środowiskiem nurkowym. Autor przez wiele lat brał czynny udział w licznych nurkowaniach, na wszystkich stanowiskach w ekipie nurkowej. Przyjmując gradację stanowisk w odwrotnej gradacji ważności i odpowiedzialności tj. organizatora prac podwodnych, pracownika naukowego opracowującego i wdrażającego problemy technologii nurkowania, techniki i organizacji nurkowania głębokiego w naszym kraju, kierownika prac podwodnych oraz nurka głębokiego. Był on też uczestnikiem wprowadzania na przestrzeni ostatnich 50 lat coraz to nowszych technologii nurkowych i aktywnym obserwatorem ich wpływu na wszystkie aspekty nurkowania.

Pragnąc przekazać nagromadzoną przez siebie wiedzę i spostrzeżenia dotyczące różnych aspektów i problemów, z którymi się spotykał w ciągu owych lat, a które często są pomijane w literaturze fachowej i procedurach nurkowania, pisze ten artykuł z nadzieją, iż przysłuży się on poszerzeniu wiedzy przyszłych i obecnych pokoleń nurków oraz kierowników i organizatorów prac podwodnych.

INFORMACJE OGÓLNE DOTYCZĄCE DEKOMPRESJI W NURKOWANIACH GŁĘBOKICH

Tabele dekompresyjne narzucają stosowne zabezpieczenie techniczne, medyczne oraz łączące je elementy organizacyjne. Wykładnia techniczno-organizacyjna stosowania tabel powinna narzucać dokładność ich realizacji, a obowiązkowo dokładność pomiaru podstawowych parametrów tj. głębokości, czasu i przygotowania mieszanin oddechowych. Dokładność pomiaru powinna pokazać jaki mamy korytarz bezpieczeństwa realizacji dekompresji. Aspektów jest wiele, od metody walidacji tabel, metody pomiarowej oraz warunków środowiska, po charakterystykę pracy nurka. Z realizacyjnego punktu widzenia, nurkowania głębokie są najtrudniejszymi spośród wszystkich typów nurkowań. Aspektem najlepiej obrazującym trudność tych nurkowań jest ograniczoność relatywnie krótkiego czasu pobytu nurka na głębokości (50-90 min.) spowodowana ograniczeniami dekompresji tj. relatywnie długim czasem jej realizacji, wymianą mieszanin oddechowych oraz koniecznością dekompresji tlenowej w ostatniej jej fazie [2,3].

W polskich profesjonalnych nurkowaniach głębokich, zabezpieczających podwodne prace głębokie, wraz z rozwojem nauki i techniki oraz potrzeb, tak gospodarki narodowej, jak i obronności kraju, prowadzenie dekompresji oparte było o tabele zagraniczne lub ich krajowe adaptacje, odpowiednio do rozwoju i wprowadzania nowej techniki. Wyjątkiem są aktualne obowiązujące oficjalne tabele państwowe, które wymusiły adaptacje techniki do ich wymagań.

W przypadku dekompresji, literatura przedmiotu przedstawia ją od strony medyczno-organizacyjnej, stawiając wymagania zmian głębokości w czasie nie wskazując precyzyjnie na wykładnię techniczną. Mimo, że tabele dekompresyjne na świecie opracowują zespoły, w których wiodącą rolę pełnią nie tylko lekarze, przyjęło się, że w nurkowaniach za sprawę dekompresji nurków odpowiedzialni są specjaliści medycyny podwodnej, którzy zajmują się weryfikacją tabel, opracowaniem procedur leczniczych oraz procedur medycznych [4]. Krajowe dokumenty formalno-prawne jasno określają, że za przebieg nurkowania odpowiada kierownik prac podwodnych. Krajowy dokument formalny [5] nie określa konkretnie roli lekarza podczas nurkowania głębokiego, mimo, że wymaga się jego obecności w ekipie nurkowej. Obowiązki lekarza w ekipie ustalić

powinien kierownik prac podwodnych, określając zakres ingerencji lekarza w przebieg nurkowania, szczególnie w stanach awaryjnych.

W nurkowaniach głębokich parametrami którymi operujemy, podczas dekompresji są:

- głębokość,
- głębokość (ciśnienie),
- czas pobytu nurka na głębokości,
- skład mieszanin roboczych i dekompresyjnych,
- szybkość zmian głębokości zanurzenia i wynurzenia,
- czas wymiany mieszanin oddechowych,
- czas ich użycia na danej głębokości,
- czas oddychania tlenem,
- możliwości techniczne zastosowanej techniki i oddechowego sprzętu nurkowego.

O wartościach w/w parametrów decydują dobierane z tabel dekompresyjnych: głębokość robocza i czas pobytu nurka na danej głębokości. W większości tabel, czas pobytu nurka na głębokości, decydujący o doborze dekompresji, liczy się od momentu rozpoczęcia zanurzenia lub połowy czasu zanurzenia, do momentu rozpoczęcia wynurzenia z głębokości roboczej, tj. rozpoczęcia dekompresji [6,7,3].

Podejście do technologii nurkowania głębinowego w aspekcie „stosowana technika i organizacja – tabele dekompresji – proces dekompresji” jest zagadnieniem wieloaspektowym, umożliwiającym uzyskanie wielu rozwiązań systemowych. Szczególne znaczenie posiada problem doboru sposobu dekompresji dla określonego systemu nurkowania, w powiązaniu z jego bezpieczeństwem i efektywnością. Optymalny system nurkowy wymaga określonych warunków pracy nurka i obsługi oraz zapewnienia odpowiedniego, niezawodnego zaplecza technicznego, zabezpieczającego kontrolowany przebieg procesu dekompresji z powierzchni. Wraz ze zwiększeniem głębokości i czasu nurkowania, pojawia się coraz więcej problemów [2], do których należą:

- poszukiwanie efektywnych mieszanin oddechowych,
- stworzenie komfortowych warunków realizacji dekompresji dla nurka przez dobór odpowiedniej techniki i realizacji przebiegu nurkowania,
- spełnienie wymagań bezpieczeństwa pracy i zdrowia nurków.

Określenie wartości tych parametrów dla danego systemu nurkowego wymaga przeprowadzenia procesu przygotowawczego i czasu na zdobywanie danych empirycznych. Analiza procesów zachodzących w elementach systemu nurkowego podczas dekompresji i ich symulacja podczas procesu przygotowania, pozwala wskazać czynniki decydujące o bezpieczeństwie nurkowania.

System nurkowy jest złożonym systemem antropotechnicznym w układzie nurek–zabezpieczenie techniczne – obsługa - środowisko, którego podstawowe wskaźniki i parametry podaje się w technologii lub procedurach opracowywanych przed rozpoczęciem podwodnych prac głębinowych. Łączny i wzajemnie uwarunkowany wpływ parametrów technicznych, cech nurka oraz parametrów środowiska wodnego i hiperbarycznego na przebieg procesu nurkowania, a w szczególności na proces bezpiecznej dekompresji, stanowi istotę problemu bezpieczeństwa podwodnych prac głębinowych.

INFORMATYCZNA REWOLUCJA W NURKOWANIU, SPOWODOWANA WPROWADZENIEM OSOBISTEGO KOMPUTERA NURKA

W nurkowanie, tak jak we wszystkie dziedziny aktywności człowieka, elektronika i informatyzacja, wkroczyły z hukiem około trzydziestu lat temu i wciąż wymuszają nieustanne, acz regularne zmiany, wraz z postępującym własnym aktywnym rozwojem [1]. Od początku proces wykorzystania informatyki w nurkowaniu dotyczył w szczególności dekompresji nurka. Informatyzacja ta miała na celu kontrolę i zabezpieczenie przed nieprawidłowościami podczas realizacji dekompresji. Komputer nurkowy nazywany jest komputerem osobistym i w swoim zastosowaniu jest narzędziem danego nurka.

Rynek komputerów nurkowych rozwijał się i wciąż rozwija, dzięki jednej decydującej zalecei urzędzeń, którą jest możliwość dopasowywania parametrów nurkowania w czasie rzeczywistym oraz precyzyjnego zaplanowania nurkowania (oczywiście zależnego od poziomu znajomości algorytmów przez stosującego komputer nurka).

Rewolucja w nurkowaniu, jaką wprowadził komputer osobisty nurka dla nurkowań z użyciem powietrza dla aparatów oddechowych o obiegu otwartym, przyjęła się i rozwija w dziedzinie nurkowań rekreacyjnych. Na dalszym etapie rozwoju wprowadzono komputery dla nurkowań z użyciem mieszanin oddechowych i aparatów o obiegu zamkniętym. Z dużym oporem formalnym komputer osobisty przyjmował się w pozostałych dziedzinach nurkowania, a szczególnie w nurkowaniach dla celów komercyjnych. Jak dotąd wciąż nie w wprowadzono go formalnie w nurkowaniach komercyjnych saturowanych i głębokich [8]. W zastosowaniu militarnym komputery osobiste pojawiły się w wersji wyspecjalizowanej dla aparatów o obiegu półzamkniętym oraz obiegu zamkniętym, co normalną koleją rzeczy, spowodowało ich zastosowanie również w technicznych nurkowaniach rekreacyjnych.

Aktualnie komputer osobisty jest stosowany masowo w nurkowaniach na średnich głębokościach oraz w nurkowaniach głębokich technicznych. Współczesny nurek nie wyobraża sobie nurkowania bez komputera i transferu danych o jego przebiegu. Komputer nurkowy, zbudowany w formie zegarka lub konsoli, zastępuje funkcje wyposażenia, którego nurek kiedyś musiałby używać, takiego jak: zegarka nurkowego, głębokościomierza, manometru butli, urządzenia rezerwy oraz plastikowej tabeli dekompresji. Ponadto, komputer oblicza i steruje dekompresją, rejestruje przebieg nurkowania, mierzy temperaturę wody, alarmuje o przekroczeniu zadanych wartości, w zależności od opcji monitoruje zapas gazów oddechowych itp. Dla celów oceny dekompresji, pozwala na walidację jej modelu, przypisując ją do charakterystyki osobistej nurka. Komputer nurkowy dał możliwość informatyzacji danych o dekompresji. Po raz pierwszy w badaniu modelu



dekompresji bierze udział szeroka rzesza nurków a naukowcy zyskali możliwość zbierania „olbrzymiej” ilości danych i ich statystycznej interpretacji. Algorytmy w nurkowych komputerach osobistych powstały nie tylko na podstawie istniejących, modyfikowanych lub nowych modeli dekompresji, ale także w oparciu o praktykę nurkową. Oprogramowanie tych komputerów tworzą najwybitniejsi naukowcy-praktycy, pracujący w zespołach międzynarodowych w wiodących ośrodkach badawczych.

Rynek osobistych komputerów nurkowych narzucał konkurencję w zdobywaniu preferencji nurków przy zakupie. Moda na rynku nurkowych komputerów osobistych stała się standardem w we wszystkich dziedzinach nurkowania. Na rynku działał i działa nadal, wysublimowany marketing i intensywna reklama, mające na celu nakłanianie do kupna swojego wyrobu i zachwalanie danego modelu komputera danej firmy. Komputery konkurują ze sobą ilością rejestrowanych parametrów, wielorodnością modeli i zakresem algorytmów dekompresji, ergonomicznością wykonania i prostotą obsługi oraz możliwościami rejestracji przebiegu nurkowania [8]. Nadmiar informacji, zawarty w komputerze nurkowym ma „oszołomić” oraz upewnić kupującego komputer za cenę kilkuset, a nawet kilku tysięcy dolarów, że ma najlepszy i najmłodniejszy sprzęt dostępny na rynku.

Przeciętny nurek, odbiorca komputera, nawet interesujący się tematyką dekompresji, ma spore kłopoty przy ocenie pełnej wartości użytkowej komputera. Trudno znaleźć jakieś niedoskonałości komputera nurkowego, nie znając genezy jego powstania. Np. co mówi informacja dotycząca programów zastosowanych dla modelu dekompresji algorytmu Bulmanna ZH-L12 lub ZH-L16, ZHL-8 ADT MB lub Buchanan ZHL-16C with Gradient Factors [9]. Jak ocenić, który z algorytmów jest bezpieczniejszy? Odpowiedź na to pytanie jest bardzo trudna, ze względu na konieczność posiadania sporej wiedzy oraz ograniczony dostęp do wyników i metodyki badań. Tym bardziej jest to utrudnione, iż ośrodki nieustannie wykonują korektę tabel dekompresji, poprawiając i ulepszając przebieg modeli dekompresji (z reguły do nazwy modelu przypisuje się literkę lub cyfrę). Każdy ośrodek naukowy, opracowujący algorytmy w danym modelu, będzie forsował swoją pracę. Z kolei ośrodki i firmy walczą o to, by ich nakłady na naukę i wdrożenie technologii przynosiły sukcesy ekonomiczne.

Ważnym efektem rewolucji komputerów nurkowych jest to, że zmuszają one ludzi działających pod wodą do nauki, mającej na celu opanowanie i wykorzystanie możliwości komputera oraz do poszukiwania wiedzy o jego działaniu, nie tylko na szczeblu krajowym, w celu zdobywania wiedzy z zakresu bezpiecznego nurkowania.

Osobisty komputer nurkowy, od zarania jego wprowadzenia, był przyczyną konfliktów oraz rozbieżności intelektualnych i organizacyjnych w nurkowaniu, które dzieliły i wciąż dzielą zwalców tematu [10]. Są to:

- wskazanie, które tabele dekompresyjne są bezpieczniejsze - „tabele papierowe” wydawane w formie drukowanej czy tabele wpisane w komputer osobisty,
- wskazanie, który komputer jest wiodący przy nurkowaniu - w grupie nurków stosujących komputery różniące się modelami i algorytmami dekompresji,
- wskazanie, kto lepiej realizuje dekompresję - człowiek kierujący nurkowaniem z powierzchni, czy komputer osobisty sterujący na głębokości bezpośrednio dekompresją nurka,
- wskazanie, która optymalizacja danego nurkowania jest efektywniejsza - wykonana przez człowieka-kierownika prac podwodnych, czy przez komputer osobisty.

Problemy w nurkowaniach dla celów komercyjnych na szczeblu firm usługowych i instytucji rozwiązuje się zasadą, że decyduje człowiek, a komputer ma na celu jedynie zapewnienie wsparcia.

Ustalenie tego wsparcia to najtrudniejszy do rozwiązania problem, zależny od organizacji prac podwodnych, techniki zabezpieczającej oraz procedur zgodnych z wykładnią obowiązujących przepisów. Wybór komputera osobistego dla danej firmy lub instytucji wiąże się z standaryzowaniem i ukierunkowaniem realizacji prac podwodnych oraz z wzięciem na siebie odpowiedzialności prawnej. Dla zastosowania przy pracach podwodnych, komputer osobisty nurka nie jest uwzględniony w naszym środowisku prawnym. [11,12]. W chwili obecnej na rynku usług i działań podwodnych w naszym kraju istnieje tylko jeden możliwy kompromis. Używanie komputera nurkowego jest osobistą decyzją nurka, której podjęcie ma niezaprzeczalną zaletę, gdyż pozwala na rejestrację nurkowań i stanowi jego elektroniczny Log Book z przebiegiem nurkowania [1].

WYBÓR DEKOMPRESJI W NURKO-WANIACH GŁĘBOKICH NA TLE ADAPTACYJNYCH ALGORYTMÓW DEKOMPRESYJNYCH KOMPUTERA NURKOWEGO

W komercyjnych pracach głębinowych na terenie Polski, realizację dekompresji wykonujemy w oparciu o oficjalnie „papierowe” tabele dekompresji, narzucone poprzez ustawę z dnia 17 października 2003 r. o wykonywaniu prac podwodnych. Na podstawie tych tabel, planuje się i organizuje zabezpieczenie techniczne i materiałowe oraz sprawdza, czy technika nurkowa, która ma zostać użyta, jest odpowiednia dla realizacji danych prac podwodnych, a szczególnie dla przeprowadzenia dekompresji. W tabelach dekompresji, głębokości dla doboru sposobu dekompresji nurka podaje się w odstępach co 3 m, a czasy pobytu na głębokości w przedziałach co 10 lub 15 min. Bazując na tych odstępach, kierownik prac podwodnych wybiera realną głębokość i czas pobytu na niej nurka. Budowa tabel pozwala mu dobrać dekompresję tylko z powyższych przedziałów czasowych. Np. sposób i czas dekompresji są takie same dla 16min pobytu nurka na głębokości 81 m, i dla 29min pobytu na głębokości 83m [2].

Sposób doboru dekompresji z użyciem komputera nurkowego jest diametralnie różny od powyższego. W tym przypadku to komputer dobiera i nadzoruje dekompresję, a nurek może jedynie wprowadzić taką specyfikę nurkowania, na której zastosowanie pozwalają mu algorytmy danego komputera.

W nurkowaniach komercyjnych i dla celów militarnych, komputer wprowadzono i wprowadza się w ograniczonym zakresie. Oficjalne powody tego leżą w inercyjności instytucji wprowadzających przepisy i nadzorujących prace podwodne. Wprowadzenie komputera spowodowałoby duże trudności prawne, gdyż należałoby wybrać dla standaryzacji osobisty komputer, zmienić organizację nurkowania w kierunku obniżenia roli kierownika prac podwodnych, a przejęcia prowadzenia dekompresji przez nurka postępującego wedle zaleceń komputera. Co więcej, wiedza na temat dekompresji przeciętnego

nurka, musiałaby zostać diametralnie rozszerzona, by w pełni mógł on korzystać z możliwości komputera, szczególnie w sytuacjach awaryjnych, gdy znajdowałyby się pod wpływem silnego stresu.

Komputer osobisty nie uwzględnia techniki nurkowej, której wymagają dokumenty i przepisy nurków profesjonalnych. Mimo, że w dokumentach nurków komercyjnych o komputerze nurkowym się nie wspomina, stosowany jest jako wtórnik osobistego LOG BOOKA nurka, rejestrującego jego nurkowania. Kierownik prac podwodnych rejestruje przebieg nurkowania w formie papierowej. Jak wskazuje praktyka, często wspiera się on danymi z osobistego komputera nurka [13]. Komputer nurkowy jest uznany prawnie jako dowód w sądzie, w sprawach incydentów nurkowych, nie tylko w nurkowaniach rekreacyjnych. Jego przydatność jest niezaprzeczalna podczas rejestracji nurków, a w najgorszym przypadku stanowi istotny dowód podczas badania wypadku nurkowego [8].

Szczególną klasę komputerów nurkowych stanowią komputery do nurków głębokich. Dla potrzeb artykułu, za definicję nurkowania głębokiego przyjąłem „nurkowania głębsze niż 45 m, z użyciem mieszanin oddechowych” (kompromis pomiędzy wszystkimi przepisami z dziedziny działalności podwodnej). Współczesne komputery do nurków głębokich w skrajnym przypadku programowo „pokrywają” nurkowania do głębokości 300 m [9], co w odczuciu autora i nurków profesjonalnych jest szaleństwem w wyścigu do ryzykownego, punktowego zdobywania głębokości przez „wybitnych” nurków technicznych. W nurkowaniach komercyjnych, dla głębokości w strefach 300 m, nie ma on więc praktycznego zastosowania. W tych strefach stosuje się nurkowania saturowane o zabezpieczeniu technicznym, na które mogą sobie pozwolić tylko przodujące firmy usług podwodnych z całego świata.

Głębokości większe od 200 m w nurkowaniach technicznych są głębokościami, które zdobywają nieliczni nurkowie o nieprzeciętnej kondycji psycho-fizycznej i ogromnym doświadczeniu. Ich zanurzenie z czasem pobytu kilku minut lub tylko do momentu dotarcia do głębokości, odbywa się z zabezpieczeniem organizacyjnym, technicznym oraz medycznym, znacznie przewyższającym typowe zabezpieczenie komercyjnych podwodnych prac głębokich [4] (nie dotyczy nurków saturowanych).

Dekompresję w aktualnie prowadzonych nurkowaniach technicznych (w naszym kraju na zasadach nurków rekreacyjnych), dla planowanych i realnych głębokości i czasów pobytu na głębokości, komputer oblicza z dokładnością do $\pm 0,2 - 0,1$ m, o interwałach pobierania danych od jednej sekundy do 15-tu sekund. Wynurzenie nurka, zgodnie z obliczoną dekompresją także kontroluje komputer, dla przygotowanych w butlach-mieszanin i tlenu (jeśli jego użycie przewidziane jest na ostatnim, lub ostatnich przystankach dekompresyjnych).

Reasumując, algorytmy i programy komputerów osobistych dla nurków głębokich, oprócz obliczeń dekompresji dla różnych modeli i jej wariantów, posiadają algorytmy dla przebiegu rejestracji rozszerzonych danych o nurku oraz przebiegu nurkowania. Poniżej podaję funkcje spotykane we współczesnych modelach komputerów do nurków głębokich [9]:

- planowanie nurkowania,
- uwzględnienie danych środowiska wodnego,
- uwzględnienie cech budowy fizycznej nurka i jego wytrenowania,
- możliwości opcjonalnego przełączenia zasady pracy aparatu oddechowego z obiegu zamkniętego na obieg otwarty i odwrotnie,
- wybór modelu i algorytmów dekompresji, przykładowo: ZHL-16C, VPM, DCAP, DCIEM, VVAL-18M, RGBM) [9,4],
- obliczenie opcjonalne dekompresji czynników oddechowych dla powietrza i mieszanin typu nitroks, trimiks lub opcjonalnie helioks,
- ocenę ryzyka powstania incydentu dekompresyjnego, np. na podstawie poziomu mikropęcherzyków we krwi nurka, wskazań miernika pulsu czy temperatury ciała. Komputer oblicza i wybiera algorytm tak, by dopasować tzw. konserwatywizm wydłużający lub przyspieszający czas dekompresji,
- ocenę ryzyka zatrucia tlenowego poprzez monitorowanie i obliczanie tzw. „zegara tlenowego” podawana w % ryzyka wystąpienia postaci mózgowej (CNS) zatrucia tlenowego,
- zapis parametrów nurkowania, takich jak: głębokość, temperatura wody, ciśnienie parcjale tlenu, opcjonalnie także dwutlenku węgla, (aparaty o obiegu półzamkniętym i zamkniętym) i innych, w zależności od modelu komputera,
- alarmy przekroczenia prędkości zanurzenia i wynurzania, czasów operacyjnych nurkowania w tym dekompresji i inne,
- przeliczanie dekompresji w przypadku opuszczenia przystanku dekompresyjnego,
- wskazywanie kierunku poruszania się nurka (kompas) z uwzględnioną kompensacją przechyłu,
- rejestrację parametrów w funkcji czasu nawet do kilkuset nurkowań, przesyłanie w/w danych do innych urządzeń informatycznych celem przechowywania.

Z powyższej listy funkcji widać, że oprogramowanie współczesnych komputerów osobistych, w tym szczególnie tych przeznaczonych do nurków głębokich, jest już oprogramowaniem na poziomie programów eksperckich i adaptacyjnych, z wypracowaniem wskazówek w stanach naruszenia parametrów dekompresji. Programy działają w czasie rzeczywistym i wprowadzają przeliczenia oraz korekty dekompresji dla wybranych czynników, ważnych szczególnie w nurkowaniach komercyjnych.

DOBÓR DEKOMPRESJI NA PODSTAWIE PROFILU NURKOWANIA

Nurek sporadycznie przebywa stale na jednej głębokości i komputer osobisty jest w stanie z łatwością uwzględnić zmiany zachodzące w strefie „planowanej docelowej głębokości” pobytu. W pierwszych modelach komputerów osobistych wpisywano dekompresję z „papierowych tabel”. Komputer wybierał ją, podobnie jak dobiera się w tych tabelach, tj. dla maksymalnej głębokości nurkowania. Tylko nieliczne „tabele papierowe” pozwalają na uwzględnienie zmian czasu pobytu i głębokości pracy nurka w nurkowaniach komercyjnych. W tym przypadku wprowadza się nurkowania wielopoziomowe. Nurkowania te posiadają ograniczenia w zakresie ich stosowania i w praktyce stosowane są bardzo rzadko.



Autor nie spotkał się w trakcie swojej wieloletniej praktyki nurkowej z tabelami odpowiednimi dla tego typu nurkowań, w przypadku prac głębinowych. Wypadkową głębokość trzeba obliczyć przed nurkowaniem, podobnie jak i dobrać sposób dekompresji. Ograniczenia tego sposobu wynikają z faktu, że głębokości kolejnych zanurzeń należy uszeregować według schematu od najmniejszych do największych, a ostania głębokość w sekwencji powinna być głębsza niż pierwszy przystanek założonej dekompresji (w naszym kraju obowiązujące tabele do nurkowań wielopoziomowych dedykowane są dla nurkowań z użyciem powietrza) [5].

W przypadku nurkowań głębinowych, komputer liczy i kontroluje dekompresję dla danego profilu zmian głębokości w czasie rzeczywistym. Dzięki tej funkcji można znacznie skrócić czas dekompresji, co ma podstawowe znaczenie dla bezpieczeństwa nurkowania realizowanego całkowicie w toni wodnej, nie tylko w nurkowaniach technicznych, lecz także wszystkich innych typach nurkowań. Długie przebywanie w toni wodnej grozi przechłodzeniem nurka, będącym czynnikiem wyjątkowo niekorzystnym dla przebiegu dekompresji. Niska temperatura wody jest czynnikiem wymuszającym wydłużenie procesu dekompresji.

MONITOROWANIE OBCIĄŻENIA FIZYCZNEGO NURKA

Wysiłek fizyczny nurka jest wskazywany przez komputer zliczający ilość uderzeń serca na minutę, zużycie mieszaniny oddechowej, poziom tlenu w obiegu oddechowym aparatu itp. Wybór dekompresji jest ściśle uzależniony od wysiłku nurka. Komputer osobisty jest w stanie to uwzględnić, obliczając nową dekompresję (pod warunkiem, że się zmieni ustawienia), lub opcjonalnie przełączając na program realizacji dekompresji ze stosownym, niższym faktorem konserwatywności, podwyższając stopień przesylenia tkanki wiodącej w dekompresji [9]. Natomiast w przypadku ciężkiej pracy nurka, przy użyciu „tabel papierowych”, kierownik prac podwodnych sam przestawia dekompresję podstawową na tzw. „dekompresję wydłużoną”, tj. dekompresję z następnego, dłuższego czasu pobytu na danej głębokości lub dla wybranego czasu pobytu przyjmuje głębokość z reguły o 3 m większą.

Powyższe funkcje realizowane przez komputer osobisty, byłyby bardzo przydatne w nurkowaniach komercyjnych. W profesjonalnych ekipach nurkowych wykorzystuje się mniej lub bardziej skomplikowane programy komputerowe, wspomagające przebieg nurkowania oraz procesu dekompresji. Programy te, z zasady, rozwiązują jeden lub więcej problemów występujących podczas prowadzeniu prac podwodnych. Generalnie, można przyjąć, że są stosowane na etapie przygotowywania się do przeprowadzenia głębinowych prac podwodnych. Kierownik prac podwodnych w trakcie nurkowania skupia się głównie na wykonywaniu przez nurków danego zadania, działaniu personelu obsługi systemu nurkowego oraz ekipy zabezpieczania prac z powierzchni. Uzyskując dane z osobistego komputera nurka, kierownik miałby możliwość obiektywnej oceny działania nurka oraz optymalizacji procesu jego dekompresji w przypadku np. przedłużenia się planowanego czasu pracy nurka.

MONITOROWANIE PRZEBIEGU DEKOMPRESJI W PODWODNYCH PRACACH GŁĘBINOWYCH

Systemy nurkowe, z których odbywają się podwodne prace głębinowe, z reguły nie posiadają rejestracji parametrów nurkowania. W krajowych przepisach prac podwodnych wymaga się rejestracji rozmów nurkowie-kierownik prac podwodnych. W 2005 r. modernizując krajowy system Af-2, kadra Zakładu Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej opracowała i zainstalowała komputery stacjonarne z programami rejestracji parametrów nurkowania oraz podstawowych parametrów atmosfery i gazów oddechowych, zapisu dźwięku, obrazów z kamer, z hełmu nurka, zainstalowanych w dzwonie nurkowymi i komorze hiperbarycznej.

To rozwiązanie dało możliwość odtworzenia przebiegu procesu dekompresji, lecz tylko jej części, realizowanej w dzwonie nurkowym i komorze hiperbarycznej. Rejestracja ta przeznaczona jest dla nurkowań saturowanych i jest również stosowana dla podwodnych prac głębinowych. Rejestracja, mimo, że w wielu przypadkach niepełna (bez pierwszych przystanków dekompresyjnych), pozwoliła na porównanie dekompresji według stosowanych w naszym kraju helioksowych „tabel papierowych”, do dekompresji rejestrowanej przez komputery nurkowe podczas głębinowego nurkowania [13].

Dla analizy pełnego przebiegu nurkowania, w tym szczególnie dekompresji, konieczne jest wsparcie się danymi z osobistego komputera nurkowego w tej fazie nurkowania, kiedy nurek przebywa w toni wodnej. Porównując czasy dekompresji w każdym przypadku porównanie wypadało na korzyść „tabel papierowych”. Złożyło się na to wiele czynników, a wybrane z nich autor przedstawia w dalszej części niniejszego artykułu.

„DOBRA PRAKTYKA NURKOWA” KONTRA OSOBISTY KOMPUTER NURKOWY W GŁĘBINOWYCH NURKOWANIACH KOMERCYJNYCH

Dobrą praktyką nurkową nazywamy zbiór zasad, które obowiązują podczas nurkowania. Są one wynikiem wielu lat doświadczeń, często związanych z utratą zdrowia, a niekiedy nawet życia nurków. Nieraz zapominamy, że w tych tragicznych wydarzeniach nieprawidłowo przeprowadzona dekompresja miała swój niechlubny udział [14]. Szczególnie w początkowych etapach rozwoju medycyny i fizjologii podwodnej oraz techniki nurkowania, trwających do lat 70-tych ubiegłego wieku, ilość wypadków podczas nurkowania w skutek błędów dekompresji miała drastyczny wpływ na kształtowanie się „dobrej praktyki nurkowej”. W tym artykule zajmuję się tylko tymi zasadami owej praktyki, które dotyczą dekompresji [6].

W nurkowaniach komercyjnych dekompresję ustawia nurkowi kierownik prac podwodnych i bierze on na siebie całkowitą odpowiedzialność za jej przebieg i za możliwe komplikacje w jej trakcie. Współczesny kierownik prac podwodnych planuje nurkowania głębinowe posługując się uprzednim rozpoznaniem miejsca zadania podwodnego. Rozpoznanie to, przeprowadza się poprzez wykorzystanie zarówno środków technicznych, jak i rozpoznanie warunków hydrologicznych, za pomocą podwodnej hydrolokacji, czy telewizji zainstalowanej na pojeździe typu ROV. Dzięki temu można wstępnie ocenić warunki pracy oraz zapoznać nurka z rejonem i miejscem zadania podwodnego. Takie działania wynikają z tzw. „dobrej praktyki

nurkowej” i nazywane były w ubiegłym stuleciu „zwiadem nurkowym”.

Partnerska organizacja nurkowania rekreacyjnego i technicznego wymaga minimum pary nurków oraz nurka asekuracyjnego [15]. W parze nurków jeden pełni funkcję nurka prowadzącego. Z punktu widzenia organizacji nurkowań komercyjnych, w tym przypadku kierownik prowadzący nurkowanie jest pod wodą. Jest oczywiste, że cały zespół nurków powinien mieć ten sam typ komputera, a przynajmniej stosować ten sam model dekompresji. Jest to bardzo ważne przy korzystaniu z komputerów podczas nurkowań głębokich. Dekompresja w tym przypadku może odbywać się grupowo, lub indywidualnie przy ustawieniach osobniczych dla danego nurka w jego komputerze osobistym.

Wprowadzenie komputerów nurkowych, wbrew oczekiwaniom, nie podniosło bezpieczeństwa nurkowania. Komputer nie ujmuje wszystkich czynników decydujących o bezpieczeństwie podczas nurkowania, w tym ważnych cech indywidualnych, takich jak stan zdrowia nurka oraz jego wykształcenia. Komputer nie uwzględnia też wszystkich warunków nurkowania, które powinny być do niego wprowadzane przez stosującego go nurka, a szczególnie jego indywidualnego, merytorycznego przygotowania. Jest to jeden z wielu powodów, dla których komputer nurkowy do tej pory nie zaistniał formalnie w profesjonalnych nurkowaniach głębokich.

Realizacja dekompresji w głębokich nurkowaniach komercyjnych, musi przebiegać zgodnie z oficjalnymi tabelami dekompresji, które różnią się w swej budowie i modelu od tabel „obrabianych” i obliczanych w czasie rzeczywistym w komputerze nurkowym. Współcześnie nurkowie zawodowi posiadają własne komputery i niekiedy „przemycają je” do nurkowania, po czym przetrzymują je w naczyniu z wodą w dzwonie nurkowym i w komorze dekompresyjnej (komputer nurkowy działa poprawnie tylko w wodzie) [13].

Jedną z głównych rozbieżności dekompresji obliczonych w komputerach, w stosunku do tabel „papierowych” jest to, że komputer jest ustawiony na relatywnie wysokie ciśnienia parcjalne mieszanin tzw. dennych i dekompresyjnych, dla skrócenia czasu przebywania nurka w toni wodnej. Komputery osobiste przewidują odbicie całej dekompresji w toni, a wysokie ciśnienia parcjalne tlenu są niekorzystne z punktu widzenia wysiłku nurka pracującego pod wodą. Stosowanie niższego ciśnienia parcjalne tlenu w tabelach papierowych implikuje wydłużenie czasu dekompresji, ale jednocześnie obniża ryzyko incydentu dekompresyjnego.

Tabele papierowe wymagają odbycia dekompresji w dzwonie, a w jej skrajnym przypadku średniej i końcowej fazy w komorze hiperbarycznej, ze stosowaniem tlenu od głębokości 12m. To przyczynia się do zapewnienia wysokiego komfortu i optymalnych warunków, z punktu widzenia realizacji dekompresji. Ten aspekt jest ważny dla bezpieczeństwa nurka, szczególnie odbywającego dekompresję po ciężkiej pracy.

W nurkowaniach technicznych nurek ma możliwość „udoskonalenia” dekompresji obliczanych przez komputer osobisty, poprzez zmienianie jej sposobu, dobierając jej konserwatyzm (zmniejszenie lub zwiększenie wartości gradientu ciśnienia rozycieniatkanek). Takich szerokich możliwości nie ma kierownik komercyjnych prac podwodnych. Udoskonalic może on dekompresję tylko w wąskich ramach „papierowych tabel”, dobierając maksymalne ciśnienia parcjalne gazu obojętnego lub tlenu oraz poprzez modyfikację procedur dekompresji w sytuacjach awaryjnych.

Wykładnie stosowania papierowych tabel do nurkowań głębokich, ujmują wymagania bezpiecznego nurkowania, jakie są wykorzystywane w komputerach nurkowych. „Dobra praktyka nurkowa” w normalnej pracy nigdy nie stosuje wyboru dekompresji z głębokości po „obrysie”, tj. zawsze głębokość musi być niższa od wskazanej w tabeli. Np. dla realnej pomierzonej, największej osiągniętej głębokości pracy nurka 81 m, która jest wyszczególniona w tabeli, przyjmujemy do realizacji dekompresji głębokość następną wskazaną w tabeli, czyli 84 m.

Najprostszym wytłumaczeniem takiego działania, jest uwzględnienie dokładności pomiaru głębokości. Podobnie sytuacja ma się z czasem pobytu. Jeśli w tabeli wskazany jest czas pobytu 45 min., to praca nurka kończy się parę minut wcześniej, dla zachowania rezerwy ewentualnego „zacięcia” w przygotowaniu do wynurzenia. Dzieje się tak mimo tego, że przy sprawnym nurkowaniu czas ten może być bardzo krótki.

W profesjonalnym nurkowaniu głębokim spotykamy trzy możliwości realizacji dekompresji, od których zależy komfort nurka podczas jej przebiegu. Najlepszą realizacją dla przebiegu dekompresji, jest dekompresja w dzwonie i w komorze, podczas której nurek wchodzi do dzwonu w strefie głębokości pracy. W tym przypadku, dekompresja przebiega w najbardziej przyjaznych warunkach zarówno dla nurka, jak i dla samej dekompresji. Zapewnia komfort cieplny, oswobodzenie ze sprzętu i przebywanie w bieliźnie nurkowej, bez żadnego ucisku elementów sprzętu nurkowego oraz bez oddziaływania obciążenia hydrostatycznego ciśnienia, spowodowanego wymiarami ciała nurka [3].

Przypadkiem zbliżonym do powyższych warunków, jest realizacja dekompresji częściowo w toni wodnej, z wejściem nurka do dzwonu na wybranym przystanku dekompresyjnym. Najbardziej niesprzyjającymi warunkiem jest dekompresja nurka w wodzie, w pozycji poziomej lub siedzącej. Obejmuje ona prawie wszystkie ujemne oddziaływania, których nurek unika w „dzwonie suchym”, a szczególnie w komorze dekompresyjnej. Taką pozycję nurek przyjmuje podczas dekompresji w dzwonie typu mokrego. Natomiast typową pozycją, wymuszoną podczas dekompresji w nurkowaniu technicznym, jest pozycja zbliżona do poziomej w toni wodnej. Ponadto, ta pozycja jest najwygodniejsza z punktu widzenia ucisku wyposażenia zamocowanym na ciele nurka.¹

Wejście do dzwonu profesjonalnych nurków może odbywać się na głębokości postoju dzwonu lub w czasie odbywania dekompresji na wybranej stacji. Jest to zależne od zapasu czasu na głębokości. Spóźnienie się z planowanym czasem pobytu na głębokości tylko o minutę skutkuje, w nurkowaniach głębokich, wydłużeniem dekompresji. Np. na głębokości 82 m, gdy planowany czas pobytu to 45 min., jeśli przedłużymy czas wynurzenia o 1 minutę w przypadku oficjalnych tabel polskich [5], dekompresja wydłuży się o 2 godz. 25 min., gdyż musimy zastosować następną wskazaną w tabeli czas pobytu nurka na głębokości, odpowiadający 60 min.

Podczas najdłuższego okresu dekompresji, nurkowie przebywają w warunkach pełnego komfortu, po operacji transferu pod ciśnieniem (TUP) z dzwonu do komory hiperbarycznej. Relacje czasowe dekompresji w wodzie, w dzwonie nurkowym oraz w komorze, są zależne od czasu pobytu na głębokości pracy nurka i co najważniejsze, od „wydolności” i „efektywności” techniki nurkowej dla zrealizowania założonej dekompresji. Ponadto, relacja ta jest też uzależniona od czynników ekonomicznych i od zabezpieczenia materiałowo-technicznego. Optymalizacja procesu dekompresji dotyczy zużycia mieszanin helioksoowych i jest szczególnie ważna dla pracy sprzętu oddechowego nurka w obiegu otwartym, który

charakteryzuje się wysokim zużyciem mieszanin oddechowych. Szczególnie jest to widoczne przy optymalizacji najkrótszego pobytu w dzwonie i długiego czasu dekompresji w komorze, tj. w przypadku, gdy nurkowie oddychają mieszaniną roboczą w dzwonie, a mieszaniną dekompresyjną w komorze (komora wypełniona dekompresyjną mieszaniną helioksową).

Dekompresja w komorze wymaga wielogodzinnego oddychania tlenem z inhalatorów (BIBS), od przystanków 12 m i płytszych (np. w strefie głębokości 95-120 m oddychanie z inhalatorów trwa z przerwami 4,5 godziny) [5]. „Dobra praktyka nurkowa” zmusza personel obsługi do dyscyplinowania, przestrzegania i wymuszania wykonywania zaleceń przez nurków podczas dekompresji w komorze. Do najważniejszych z tych zaleceń należy utrzymanie szczelności maski tlenowej, tak, by zawartość tlenu nie wzrastała w przestrzeni komory. Wymuszane są także okresowe zmiany pozycji, umiarkowany ruch ciała dla usprawnienia krwioobiegu, picie płynów, tj. nawodnienia organizmu nurka oraz przeciwdziałanie zaśnięciu zmęczonych pracą nurków w trakcie dekompresji [3].

Zaletą „dobrej praktyki nurkowej” w porównaniu z nurkowaniem technicznymi i rekreacyjnymi, jest ocena stanu psychofizycznego nurka, poprzez utrzymywanie ciągłej łączności i obserwację nurka (łączność typu duplex i minimum jedna kamera obserwująca pracującego nurka). To rozwiązanie obniża do minimum ryzyko nieprawidłowej dekompresji i pozwala na nadzorowanie jej procesu, bez bezpośredniego udziału nurka.

Jest to zasadnicza różnica w porównaniu z nurkowaniem technicznymi. Autor pragnie przytoczyć tu „opinię” o głębinowych nurkach technicznych, podzielaną przez „weteranów” komercyjnych nurków głębokich. Kwitują to jednym krótkim, a jakże dosadnym zdaniem: „To są szaleńcy”. Tę ocenę niełatwo jest odrzucić, gdyż działania głębinowych nurków technicznych i ich metoda nurkowania, wiąże się z wysoką wypadkowością o skutkach śmiertelnych [16]. W przypadku stanów awaryjnych i zakłóceń w przebiegu dekompresji, nurek profesjonalny współdziała z bazą na powierzchni, co pozwala na jego lepszy komfort psychiczny, czego pozbawiony jest nurek techniczny.

DEKOMPRESJA POWIERZCHNIOWA2 JESZCZE NIE „W OBJĘCIACH” KOMPUTERA OSOBISTEGO NURKA

W większości przypadków „papierowych” tabel dekompresyjnych, dekompresja powierzchniowa dotyczy nurków na średnie głębokości. Zabezpieczenie techniczno-organizacyjne nurków technicznych i rekreacyjnych, posiada ograniczone możliwości przeprowadzenia dekompresji powierzchniowej. Nie mniej jednak, ten sposób dekompresji, mimo krytycznych uwag ze strony niektórych ludzi nauki, wprowadzono do nurków głębokich w zastosowaniach militarnych, z których dobrodziejstwa korzystają również firmy komercyjne. W ostatnim trzydziestolecu, w siłach zbrojnych US Navy i Siłach Zbrojnych Kanady na świecie, pojawiły się table dekompresji powierzchniowej dla nurków głębokich z użyciem helioksu [17,18].

Dekompresja powierzchniowa w nurkowaniach głębokich wymaga zastosowania dekompresji tlenowej w wodzie na ostatnim przystanku 9 m, a table US Navy wymagają odbycia przystanku 12 m, stosując mieszaninę helioksową o zawartości 50% tlenu. Podobnie jest w tabelach kanadyjskich [17,18]. Dla zabezpieczenia dekompresji powierzchniowej nurków głębokich, w ramach uwarunkowań podwodnych prac głębinowych, konieczne jest zabezpieczenie techniczne zapewniające dekompresję tlenową w wodzie, na przystankach od 9 m i poniżej, lub posiadanie dzwonu nurkowego typu mokrego, z możliwością przeprowadzenia tego rodzaju dekompresji oraz komorę dekompresyjną dla dalszej realizacji dekompresji tlenowej.

W sytuacji awaryjnej, wymagającej szybkiego wynurzenia nurka na powierzchnię, np. w przypadkach zalania czy dużej nieszczelności skafandra nurka, jesteśmy zmuszeni do dekompresji powierzchniowej. Takie przypadki zdarzyły się podczas realizowanych z udziałem autora głębinowych prac podwodnych, w strukturach z wystającymi ostrymi elementami. Nawet stosując szczegółowe sprawdzenia robocze sprzętu nurka, najlepsze i odporne na rozdarcie skafandry, takiej sytuacji nie można wykluczyć. W tych dwóch przypadkach nurkowano z dzwonem typu otwartego (suchego) i nurek po uszkodzeniu skafandra, asekurowany przez kolegę, znalazł się w „suchej” atmosferze dzwonu w ciągu 2-3 minut. Dlatego też, autor wyraża opinię, że para nurków w toni wodnej podczas nurkowania głębinowego jest, w zgodzie z „dobrą praktyką nurkową” najlepszą opcją organizacyjną.

MOŻLIWOŚCI UZUPEŁNIENIA DANYCH Z KOMPUTERA OSOBISTEGO NURKA W PROFESJONALNYCH NURKOWANIACH GŁĘBINOWYCH

Profesjonalne nurkowania głębinowe nie uległy wpływowi rewolucji komputerów nurkowych, i dalej są realizowane zgodnie z poziomem wiedzy i tradycją lat 80-tych ubiegłego wieku. Aktualnie stosowana dekompresja w profesjonalnych nurkowaniach głębinowych na świecie, pochodzi z tych samych lat, z pewnymi późniejszymi modyfikacjami w XXI wieku, dotyczącymi realizacji dekompresji [2]. Wykorzystanie tylko części możliwości komputera nurkowego w zakresie rejestracji podstawowych parametrów w tych nurkowaniach bezpośrednio od nurka, uwzględniających głębokość, czas oraz temperaturę otoczenia, umożliwia ocenę tak realizacji dekompresji, jak i całego cyklu nurkowania.

Dane te mają aspekty podstawowe dla oceny działania nurka i kierownika prac podwodnych oraz pracy zabezpieczenia technicznego. Nie bez znaczenie są możliwości planowania i symulowania dekompresji nurkowania, z uwzględnieniem danych środowiska wodnego oraz cech budowy fizycznej nurka i jego wytrenowania. Pozwolą one na bardziej precyzyjne oszacowanie potrzeb mieszanin oddechowych i ich zapasów. Ocena ryzyka zatrucia tlenowego z planowanym czasem pobytu na głębokości pracy, pozwoli na dobór stosownego poziomu zawartości tlenu w mieszaninach oddechowych [19].

W sytuacjach awaryjnych, powstania incydentu dekompresyjnego, przekroczenia prędkości zanurzenia i wynurzenia, opuszczenia przystanku dekompresyjnego lub naruszenia czasu przystanków dekompresyjnych, gdy decyzję należy podjąć natychmiast, komputer nurkowy jest niezbędny. Warunkiem wykorzystania tego sygnału jest zapewnienie przekazania w/w danych kierownikowi prac podwodnych sterującemu procesem dekompresji, i personelem obsługi. Na aktualnym poziomie osobistych komputerów nurkowych i informacja taka może być tylko przekazana przez nurka telefonem, chociaż przekazanie

sygnału z komputera po kablu telefonicznym lub TV wiązki zasilania hełmu nurka nie powinno stanowić problemu pod względem technicznym.

Większość opcji komputerów nurkowych, szczególnie tych adaptacyjnych, nie może być wykorzystana ze względów formalnych, prawnych i technicznych. Np. wybór modelu i algorytmów dekompresji nie wchodzi w rachubę, gdyż obowiązujące tabele mają przypisany model i algorytm dekompresji [3]. Odstępstwo od tabel ma konsekwencje prawne [11]. W profesjonalnych nurkowaniach głębinowych formalnie wymagany jest nurkowy sprzęt oddechowy o obiegu otwartym, co nie pozwala wykorzystać całej gamy możliwości komputerów nurkowych, przeznaczonych dla aparatów o obiegu zamkniętym lub półzamkniętym.

Czy możliwe jest pojawienie się specjalizowanego komputera nurkowego dla profesjonalnych nurkowań głębinowych? Autor ocenia, że aktualnie, w usługach podwodnych zapotrzebowanie na tego typu komputer jest bardzo małe, a przeszkody formalne są trudne do „sforsowania”. Zdaniem autora, pierwszym krokiem będzie opracowanie komputera do rejestracji przebiegu nurkowania, działającego zarówno w wodzie, jak i w hiperbarycznym środowisku gazowym dzwonu nurkowego i komory dekompresyjnej. Takie rozwiązanie byłoby korzystne dla prowadzenia kariery nurka, nie tylko w nurkowaniach głębinowych, ale wszystkich rodzajach nurkowań profesjonalnych.

Warunkiem takiego rozwiązania są zmiany w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 19 maja 2004 r., w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu prac podwodnych [12] oraz ustawy z dnia 17 października 2003 r. o wykonywaniu prac podwodnych.

LITERATURA

1. S.Skrzyński „Diving computers - a revolution in diving organization” conference materials of the 2nd Scientific Conference PTMiTH2002S;
2. S. Skrzyński – „Rys historyczny nurkowań głębinowych w Polsce. Część I Ogólna charakterystyka nurkowań głębinowych”. Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, Polish Hyperbaric Research, rok 2006;
3. S. Skrzyński i zespół Projekt celowy nr 11/BO umowa nr 148 308/C-T00/2001: „Nurkowania głębinowe dla potrzeb Ratownictwa Morskiego”. Analiza zagranicznych systemów nurkowań głębinowych w aspekcie uwarunkowań krajowych;
4. Wymiana poglądów na temat nurkowań głębinowych ze specjalistami zagranicznymi i krajowymi;
5. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 19 maja 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu prac podwodnych;
6. NOAA Diving Manual” Diving for Science and Technology US Department of Commerce USA 2002;
7. Sygn. Mar. Woj. 860/81: Tabele dekompresji i rekompresji nurków. Dowództwo Marynarki Wojennej, Gdynia 1982;
8. S.Skrzyński, A. Olejnik, S. Poleszak „Analiza Możliwości Wykorzystania Komputerów Nurkowych Przez Nurków MW RP materiały konferencyjne Problemy medyczne i techniczne nurkowania 1998;
9. Porównanie danych komputerów nurkowań głębinowych wyprodukowanych po 2016 firm: Scubapro, Shearwater, Suunto, Scubapro, Oceanic, Mares, SEAC;
10. Michael Menduno “Anatomy of a Commercial Mixed-Gas Dive” “Alert Diver Q3 Summer 2018;
11. Ustawa z dnia 17 października 2003 r. o wykonywaniu prac podwodnych;
12. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 19 maja 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu prac podwodnych;
13. Dane własne z podwodnych prac głębinowych na polskim szelfie oraz opracowanych procedurach i dokumentach wykonawczych dotyczących realizacji nurkowań głębinowych;
14. The professional diver’s hand book John Bevan SUBMEX 2005;
15. T. Mount, B. Gikiam., „Mixed gas diving” Watersport Publishing Inc. San Diego USA 1993 ISBN0 - 922769-41-9;
16. Richard L. Pyle, Ph “Toward A New Era In Recreational and Technical Rebreather Diving” “Rebreather Forum 3 Proceedings 18 - 20 May 2012;
17. US Navy Diving Manual”. Published by Direction of Comander of Navy. Revision 7, 2016;
18. DCIEM Diving Manual part 2 Department of National Defence 1995;
19. S.Skrzyński „Współczesne zasady modelowania dekompresji nurków w aspekcie ich stosowania.” AMW 1998.

Stanisław Skrzyński

Akademia Marynarki Wojennej
im. Bohaterów Westerplatte 81 – 103 Gdynia 3
ul. Śmidowicza 69
tel.: +58 626 27 46,
e-mail: skrzyński@interecho.com

¹ Tu należy przypomnieć, zapomnianą i nieoczywistą dla wielu, zasadę dotyczącą punktu ciała nurka, na podstawie którego określamy głębokość jego zanurzenia. Punktem tym jest punkt wyporu (centroidalny) płuc, reprezentujący ciśnienie panujące w płucach i według którego określa się głębokość dla obliczeń dekompresji. W większości przypadków, w pracach podwodnych, nurek pozostaje w pozycji pochylonej, bliskiej pozycji wyprostowanej, w tym także podczas dekompresji (specyfika nurkowania z użyciem hełmu). W tej pozycji różnica ciśnienia między stopami a punktem wyporu płuc wynosi w praktyce około od 1,2 słupa wody, co odpowiada ciśnieniu 120-160 kPa, czyli 0,120,16 bar). Powoduje to obciążenie ciała nurka, i zwiększenie pracy serca w celu zapewnienia obiegu krwi tętniczej. Pozycja pochylona, tak naturalna dla nurka pracującego, różnicę tę zmniejsza. Natomiast w pozycji zbliżonej do poziomej, różnica ta jest rzędu od 0,1 do 0,15 m słupa wody. Bliskie poziome położenie nurka w toni wodnej jest optymalne, tak dla pracy układu krążenia, jak i dla pracy płuc, ze względu na najniższe opory oddechowe. Prawidłowa praca układu krwionośnego i oddechowego nurka jest niezbędna dla realizacji bezpiecznej dekompresji.

¹ At this point, we should recall a rule, forgotten and not obvious to many, concerning the point of a diver’s body, on the basis of which we determine the depth of his/her descent. This point is the point of buoyancy (centroidal) of the lungs, representing the pressure in the lungs, and according to which the depth for decompression calculations is determined. In most cases, in underwater work, divers remain in a slanted position, close to an upright position, also during decompression (the specificity of helmet diving). In this position, the difference in pressure between feet and lung buoyancy point in practice is about 1.2 water column, which corresponds to 120-160 kPa or 0.120,16 bar). This results in compression of the diver’s body, and increases heart rate to ensure blood circulation. The inclined position, so natural for a working diver, reduces this difference. However, in a close horizontal position, the difference is in the range of 0.1 to 0.15 m water column. The nearly horizontal position of the diver in the water depth is optimal, both for cardiovascular and lung function, due to the lowest respiratory resistance. Correct functioning of the diver’s circulatory and respiratory system is essential for safe decompression.

² Dekompresja powierzchniowa jest to sposób dekompresji, w którym nurek część dekompresji odbywa w toni wodnej, a na wyróżnionej głębokości przystanku dekompresyjnego lub przystankach płytszych, nurek odbywa dekompresję na powierzchni, w komfortowych warunkach komory dekompresyjnej. Czas przejścia z przystanku w toni wodnej do komory, jest ściśle reglamentowany i wynosi od 4 do 5 min. Im szybciej to przejście nastąpi (bez nadmiernego pośpiechu i wysiłku), tym ryzyko ewentualnego incydentu dekompresyjnego jest mniejsze. Dekompresja powierzchniowa może być realizowana tylko do wybranych głębokości i czasów pobytu. Zabroniona jest w przypadku prac ciężkich oraz utrudnionych warunkach nurkowania, w tym w nurkowaniach na głębokościach np. 300m p.p.m.



W zależności od tabel dekompresyjnych, dekompresja powierzchniowa jest „normalnie” stosowanym sposobem dekompresji. Dobrodziejstwa tego sposobu dekompresji, poza okolicznościami wymuszonymi, doświadczają nurkowie w dwóch przypadkach. Pierwszy, gdy zakres prac jest bardzo duży i potrzebna jest stosownie szybka wymiana nurka na miejscu pracy. Prowadzenie kilku różnych dekompresji w wodzie jest dla kierownika bardzo trudne i ryzykowne. Drugi to przypadek nurkowań treningowych, gdy dekompresja powierzchniowa pozwala „przepuścić” dużą liczbę nurków na głębokość adaptacyjną organizmu do ciśnienia. Wyjątkiem są table z Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych, w którym stoi, iż „Dekompresja powierzchniowa stosowana jest wówczas, gdy dekompresja w wodzie stwarza ryzyko utraty zdrowia czy życia nurka (prądy, temperatura, wybuchy)”. W przypadkach awaryjnych, dobra praktyka nurkowa stosuje dekompresję powierzchniową nawet, gdy table tego nie przewidują. Procedura dekompresji powierzchniowej była powszechnie stosowana w naszym kraju do lat 90-tych. Wprowadzenie ustawy o pracach podwodnych dla nurków z użyciem powietrza, lub nitroksu w nurkowaniach operacyjnych na średnie głębokości, spowodowało zaniechanie stosowania dekompresji powiezeniowej.

² Surface decompression is a method of decompression, in which the diver performs part of the decompression in the depth of the water, and at a specified decompression stop or at shallower stops, the diver performs decompression on the surface, in the convenient conditions of the decompression chamber. The time of transition from the stop in the depth of the water to the chamber, is strictly regulated, and ranges from 4 to 5 min. The faster the transition occurs (without excessive haste and effort), the lower the risk of a possible decompression incident. Surface decompression can be realized only up to selected depths and times of stay. It is forbidden in case of intensive work and difficult diving conditions, including dives at depths of e.g. 300m below sea level.

Depending on the decompression tables, surface decompression constitutes the standard decompression method in use. The benefits of said method of decompression, with the exception of forced circumstances, are experienced by divers in two cases. The first case is when the scope of work is very large and there is a need for appropriately fast replacement of the diver at the workplace. Conducting several different decompressions in water is very difficult and risky for the diving supervisor. The second is the case of training dives, when surface decompression allows to "let" a large number of divers to the adaptive depth of the body to the pressure. The exception are tables from the Regulation of the Minister of Health of 17 September 2007 on health conditions for the performance of underwater works, which reads that "Surface decompression is used when decompression in water creates a risk of loss of health or life of a diver (currents, temperature, explosions)". The procedure of surface decompression was widely used in our country until the 1990s. The introduction of the Act on underwater works for air or nitrox diving in operational dives at medium depths resulted in the abandonment of the use of surface decompression.