

## **POLSKA DROGA REALIZACJI DEKOMPRESJI W PODWODNYCH PRACACH GŁĘBINOWYCH CZĘŚĆ II. TABELA DEKOMPRESYJNE DO KOMERCYJNYCH NURKOWAŃ GŁĘBINOWYCH W NASZYM KRAJU**

Stanisław Skrzyński

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

### **STRESZCZENIE**

W artykule autor przedstawia specyfikę dekompresji nurkowań głębinowych w odniesieniu do metod stosowanych w pracach podwodnych, ze szczególnym uwzględnieniem nurkowań komercyjnych w naszym kraju. W strefie głębokości 50 - 90 m na polskim offshore w podwodnych pracach głębinowych (prace poniżej głębokości 50 m) stosowano dekompresję w oparciu o tabele przeznaczone do nurkowań z użyciem dzwonu. Uwarunkowania techniczno-organizacyjne i formalne tych prac podwodnych odpowiadały posiadanemu krajowemu potencjałowi do nurkowania. Realizacja dekompresji, szczególnie w nurkowaniach głębinowych, daje możliwości jej wykonania na wiele sposobów. Te z kolei wynikają z doświadczenia, posiadanej techniki nurkowej, organizacji i specyfiki prac podwodnych.

W artykule przedstawiono realizację dekompresji od strony wykonawczej podwodnych pracach głębinowych opracowywanych i realizowanych przez Zakład Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej przy współpracy z Marynarką Wojenną do 2001 roku i firmami cywilnymi do chwili obecnej.

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

---

#### ARTICLE INFO

---

PolHypRes 2019 Vol. 69 Issue 4 pp. 45 – 62

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

**DOI:** 10.2478/phr-2019-0019

Strony: 18, rysunki: 0, tabele: 2

**page www of the periodical:** [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

**Typ artykułu:** przeglądowy

**Termin nadesłania:** 22.02.2019 r.

**Termin zatwierdzenia do druku:** 23.04.2019 r.

**Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



## WSTĘP

W pierwszej części artykułu autor przedstawił obecny stan nurkowań głębinowych na świecie. Wynika z niego, że nurkowania głębokie dla celów komercyjnych ulegają od dwóch dekad stagnacji. Wynikiem tego trendu są niedostrzegane w dokumentach normatywnych zmiany w podejściu do nurkowania głębinowego, w nurkowaniach o innych zastosowaniach, w tym szczególnie dla celów militarnych.

W naszym kraju baza nurkowań głębinowych nie rozwija się. Nawet wdrożenie w Marynarce Wojennej zakupionego w 2018 systemu nurkowego, wykorzystującego dzwon typu mokrego sytuacji nie poprawiło. System ten zwiększył tylko możliwości nurkowania głębinowego. Dzwon mokry nie zwiększa efektywności nurkowań głębinowych; gdy nie stosujemy dekompresji powierzchniowej, całość nurkowania, nawet średnie i płytkie przystanki dekompresyjne z użyciem tlenu, odbywa się w toni wodnej. Nurkowe standardy światowe zalecają stosowanie dzwonu nurkowego typu mokrego do głębokości 75-80 m, ale z bardzo krótkimi czasami pobytu na głębokości do 30 min. włączając w ten czas proces zanurzenia [1,2,3]. Efektywność dzwonu typu mokrego można zwiększyć poprzez zastosowanie skafandrów ogrzewanych wodą (nie zalecam) lub elektrycznie.

## NURKOWANIE GŁĘBINOWE W NASZYM KRAJU DO 2008 R

Głębinowe prace podwodne dla celów przemysłu offshore w Polsce (wykonywane przez firmę będącą współwłasnością ZSSR, NRD i PRL) rozpoczęto w 1982 i z przerwami realizowano do 1987 roku. Prace te wykonywał okręt ratowniczy Marynarki Wojennej ORP „Lech”, w oparciu o sprzęt niemieckiej firmy Dräger. Technologię nurkowania opracowaną w Szefostwie Ratownictwa Morskiego MW oparto o tabele helioksove US Navy, adoptowane dla przewodowych aparatów o obiegu półzamkniętym FGG-III ze stałym dozowaniem mieszaniny. Czas pobytu nurków w strefie głębokości 70-80 m wynosił do 30 min, a cały cykl nurkowania od 4 do 4,5 godz. Para nurków rozpoczynała zanurzenie w aparatach przebywając w dzwonie, proces dekompresji z użyciem helioksu odbywał się w dzwonie, zaś dekompresja tlenowa od 12 m w komorze.

Podczas dekompresji mieszaniną o zawartości 60% tlenu nurkowie wdech realizowali adoptowanymi inhalatorami lotniczymi KP-18, a wydech do instalacji dostarczonej przez Niemców, w której urządzenie inżektorowe usuwało wydychaną mieszaninę na zewnątrz komory. Podczas tych nurkowań wystąpiło kilka przypadków lekkiej formy choroby ciśnieniowej, w ocenie autora spowodowanej niewielką różnicą występującą dla pracy średniej ciężkości, w doborze dekompresji dla aparatów o obiegu półzamkniętym, w relacji do sprzętu inżektorowego, dla którego były przeznaczone zastosowane tabele amerykańskie.

Ze względu na sytuację gospodarczą i przemiany polityczne Polski, do podwodnych prac głębinowych na rzecz już polskiego przemysłu offshore powrócono w 1993 roku. Prace te wykonywano tymi samymi aparatami FGG-III adaptowanymi do nowej technologii, inhalatorami tlenowymi produkcji polskiej oraz wyprodukowaną przez krajowych wytwórców pozostałą techniką. Technika ta odpowiadała zastosowanej technologii nurkowania, opracowanej i sprawdzonej w Zakładzie Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej we współpracy z Katedrą Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej (WAM). Technologia ta, w oparciu o tabele dekompresyjne trimiksowe, wzorowane na francuskich tabelach Dorris, wykorzystywała do dekompresji oprócz mieszaniny roboczej stosowanej dla danego zakresu głębokości, powietrze i tlen na przystankach od 12 do 3 metrów.

Dla pokrycia strefy głębokości 50-120 m, konieczne było zastosowanie czterech mieszanin trimiksowych o zawartości tlenu 20%, 16%, 13% i 10%. Organizacja nurkowania przewidywała zanurzenie w dzwonie nurkowym i powrót z dekompresją realizowaną w dzwonie, a następnie w komorze. Podczas dekompresji tlenowej, stosowano 5 minutowe przerwy na oddychanie powietrzem, po każdych 30 min. oddychania tlenem, celem obniżenie ryzyka zatrucia tlenowego. Aparaty FGG-III stosowano do 1996 roku.

Od 1997 w oparciu o w/w technologię nurkowania z użyciem trimiksu, adoptowano dla obiegu otwartego używając hełmów i masek pełnych francuskiej firmy COMEX oraz hełmów amerykańskiej firmy Superlite. Do 2007 roku technologie nurkowań głębinowych opartą o polskie tabele trimiksowe wykonywano z baz nurkowych okrętów ratowniczych ORP „Lech” i ORP „Piaś”, mobilnych systemów nurkowych Af-2 oraz wykonanego i opracowanego przez Zakład Technologii Prac Podwodnych AMW systemu nurkowego do nurkowań głębinowych MOBNUK. Systemy te montowane były na platformach wiertniczych.

Technologię tę stosowano dla podwodnych prac komercyjnych w naszym kraju, do czasu wprowadzenia oficjalnych tabel zawartych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych na podstawie art. 11 ust. 6 ustawy o wykonywaniu prac podwodnych [4]. Rozporządzenie utrudniło wykonawstwo podwodnych prac głębinowych, narzucając odgórnie tabele dekompresji, a także powiązało je z konkretną techniką nurkową i zabezpieczeniem medycznym. W ten sposób zamknięto niestety rozdział stosowania polskich rozwiązań, doświadczeń i metod nurkowań głębinowych, opartych o polski potencjał intelektualny i techniczny.

## WDROŻENIE PAŃSTWOWYCH (USTAWOWYCH), OFICJALNYCH TABEL DEKOMPRESYJNYCH DO NURKOWAŃ GŁĘBINOWYCH

Od 2008 stosuje się obligatoryjnie tabele helioksove, podane w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. [5]. W strefie nurkowań głębinowych 50-120 m., wyżej wymienione rozporządzenie zawiera trzy rodzaje tabel, wykorzystywane w zależności od stosowanej techniki nurkowej, a także składu mieszaniny roboczej i dekompresyjnej oraz tlenu w ostatniej fazie dekompresji. Poniżej przedstawiam krótką charakterystykę tych tabel.

**I - tabele helioks/tlen/6m** - [zał. 5 poz. 2] w wykładni stosowania tych tabel „Procedury dekompresji i kompresji dla helioksu z dekompresją tlenową na głębokości 6 metrów” zalecają:

- Tabele przeznaczone są do nurkowania na głębokości pomiędzy 30 m a 60 m. Tabele te zawierają tzw. *abort table*, tj. tabele przerywania nurkowania pozwalające przerwać zanurzenie powyżej głębokości 30 m.
- Przerwa po nurkowaniu wynosi co najmniej 12 godzin. W czasie tej przerwy nie dopuszcza się żadnego następczego nurkowania, niezależnie od rodzaju gazu używanego do oddychania.
- Nurkowanie może być realizowane w niezależnym sprzęcie nurkowym, (jest to niezgodne z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 19 maja 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu prac podwodnych, nie tylko w kwestii wykonywania podwodnych prac głębinowych [6]), z aparatem przewodowym lub w dzwonie nurkowym z ograniczeniami wynikającymi z wybranego sposobu. W domyśle; nurkowania z użyciem platformy opustowej, przy pomocy liny opustowej oraz oczywiście dzwonu nurkowego.

#### PROCEDURY DEKOMPRESYJNE

1. szybkość wynurzenia do pierwszego przystanku powinna wynosić 9 m/min., a nie może przekroczyć 15 m/min.,
2. dekompresja w wodzie z przystankami co 3 m do głębokości 6 m,
3. ostatnia minuta czasu przystanku dekompresyjnego służy do wynurzenia się do głębokości następnego przystanku,
4. w końcowej fazie dekompresji podczas ostatniej minuty nurek wynurza się z przystanku na głębokości 6 m bezpośrednio do osiągnięcia powierzchni [5].

Wyżej wymienione tabele pokrywają strefę głębinową od 51 do 60 m przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 18-20% O<sub>2</sub>, 20-22% O<sub>2</sub> i 22-24% O<sub>2</sub>.

Do wyboru dekompresji czasy pobytu na głębokości 30-68 m podawane są co 10 min., a maksymalne czasy pobytu dla strefy głębinowej wynoszą od 90 do 50 min. dla granicznych głębokości strefy. Tabele te od głębokości 6 m w dekompresji stosują tlen. Intencją tak rozwiązanej dekompresji tlenowej jest jej realizacja w toni wodnej, która jest dopuszczalna w kilku krajach świata. Nasze krajowe akty normatywne zabraniają dekompresji tlenowej w wodzie, lecz wymagają zastosowania dzwonu nurkowego, przy czym nie wskazują preferowanego typu dzwonu nurkowego. Tabele te są możliwe do realizacji dla każdego typu dzwonu nurkowego.

**II - tabele helioks/tlen/12m** - [zał. 6 poz. 2] w wykładni stosowania tabel „Procedury dekompresji i kompresji dla helioksu z dekompresją tlenową na głębokości 12 metrów” zalecają:

- Użycie tabel dekompresyjnych obejmuje zakres głębokości od 30 do 78 m. Tabele te zawierają tabele przerywania nurkowania pozwalające przerwać zanurzenie powyżej głębokości 30 m.
- Minimalna przerwa w nurkowaniu po użyciu tabel helioks/tlen/12 m wynosi 12 godzin. W tym czasie nie dopuszcza się nurkowań powtórzeniowych niezależnie od stosowanej mieszaniny oddechowej.
- Metoda nurkowania wyłącznie w dzwonie typu mokrego. Podczas dekompresji w dzwonie musi przebywać dwóch nurków i muszą być oni zabezpieczeni dla uniknięcia podtopienia. W chwili wprowadzenia tych tabel nie było w użyciu operacyjnych dzwonów mokrych w naszym kraju. Wdrażając te tabele do prac podwodnych zastosowano dzwony otwarte typu suchego systemów nurkowych Af-2 i MOBNUK. Podtopienie tych dzwonów przewidziano jako czynność ostateczną, tylko w sytuacji awaryjnej, by łatwiej umieścić w dzwonie uszkodzanego nurka.

#### PROCEDURA DEKOMPRESJI - IDENTYCZNE JAK W PRZYPADKU TABELE HELIOKS/TLEN/6M

#### MIESZANINY ODDECHOWE

Mieszaniną używaną na dnie jest mieszanina helioksowa z procentową zawartością tlenu, przy której P<sub>O<sub>2</sub></sub> wynosi od 850 hPa (0,850 bar) do 1550 hPa (1,550 bar).

#### MIESZANINY DEKOMPRESYJNE

- wynurzenie do pierwszego przystanku dekompresyjnego jest wykonywane przy użyciu mieszaniny używanej na dnie, niezależnie od głębokości pierwszego przystanku,
- dla przystanków głębszych niż 30 m, nurek oddycha mieszaniną roboczą używaną na dnie,
- dla przystanków pomiędzy 30 m a 12 m nurek oddycha powietrzem lub mieszaniną używaną na dnie, z procentową zawartością tlenu powyżej 21%,
- dla przystanków pomiędzy 12 m a powierzchnią, nurek oddycha przez maskę 25 minut tlenem, a następnie 5 minut powietrzem z dzwonu. Jeśli dzwon był wypełniony mieszaniną używaną na dnie, należy ją zastąpić powietrzem dla przystanków zaczynających się od głębokości 12 m.

Taka wykładnia jest zawarta w rozporządzeniu. Pomija ono jednak fakt, że tabele mogą być zastosowane dla każdego typu dzwonu nurkowego, jak wszystkie tabele zawarte w rozporządzeniu. Zaletą jest to, że wybór sposobu dekompresji opiera się o czasy pobytu na głębokości podawane co 10 min. Tabele te do dekompresji stosują powietrze, zaś helioks 20-22% O<sub>2</sub> stosowany jest w ograniczonym zakresie. Dla mieszaniny helioksowej 17-18%, pokrywającej strefę głębokości 50-78 m powietrze jest podstawową mieszaniną dekompresyjną, a tlen stosuje się od głębokości 12 m do 6 m. Podobnie jest dla strefy 50-69 m dla mieszaniny roboczej helioks 18-20%. Natomiast w strefie 51-60 m stosowany jest helioks 20-22%, spełniający opcjonalnie również rolę mieszaniny dekompresyjnej zamiennie dla powietrza.

Operacyjne czasy pobytu w tabelach dla skrajanych głębokości 50 m wynoszą 90-100 min., a dla głębokości 75 m maksymalny czas pobytu wynosi 50 min. Tabela 78 m jest stosowana jako sposób dekompresji zapasowy i awaryjny.

**III - tabele helioks/dzwon** – [zał. 7 p. 2] stosowane przy nurkowaniach z użyciem dzwonu zamkniętego i otwartego oraz wyposażeniem umożliwiającym wykonanie operacji TUP transferu nurków pod ciśnieniem z dzwonu nurkowego do komory hiperbarycznej. Do wyboru dekompresji, czasy pobytu na głębokości podawane są co 15 min. Minimalne i maksymalne czasy pobytu są stałe dla całej strefy głębokości 50-120 m od 15 min. do 2 godz. Tabele te zawierają w sobie tabele przerywania nurkowania, pozwalające przerwać zanurzenie powyżej głębokości 30 m stosując mieszaninę dekompresyjną.

W/w strefy głębokości pokrywają wzajemnie pokrywające się zakresy tych samych poziomów ciśnienia parcjalnego tlenu, odpowiadające sześciu mieszaninom, w tym mieszaninę dekompresyjną, co pokazane jest w tabeli nr. 1.

Tab. 1

Strefy głębokości dla mieszanin helioksowych [5].

No.	Helioksowa mieszanina robocza	Strefa głębokości prac głębinowych
1.	Helioks 20-22%	50-60 m
2.	Helioks 18-20%	50-69 m
3.	Helioks 16-18%	50-78 m
4.	Helioks 14-16%	50-87 m
5.	Helioks 12-14%	60-99 m
6.	Helioks 10-12%	72-120 m

Daje to wiele wariantów nurkowania dla tych samych głębokości, co implikuje różne czasy dekompresji. W tabeli nr. 2 pokazano przykładowe czasy dekompresji, w zależności od zastosowanych mieszanin dla głębokości polskiego szelfu i najczęściej dobieranych czasów pobytu dla wyboru dekompresji.

Tab. 2

Czasy dekompresji dla typowych głębokości prac na polskim szelfie, w zależności od zastosowanych mieszanin.

Głębokość [m]	Czas pobytu [min]	Helioks 16-18% [h/min]	Helioks 14-16% [h/min]	Helioks 12-14% [h/min]	Helioks 10-12% [h/min]
70	45	3:59	4:54	5:16	5:33
80	45	-	6:09	6:39	6:24
87	45	-	7:09	7:32	7:49
70	60	5:41	6:55	7:20	7:42
80	60	-	8:34	9:01	9:35
87	60	-	9:41	10:09	10:36

Do dekompresji stosuje się dla wszystkich mieszanin helioks 20-22% O<sub>2</sub> niezależnie od głębokości nurkowania, tlen zaś od głębokości 12 m.

Wprowadzenie dekompresyjnych tabel państwowych nie uwzględniało wszystkich aspektów środowiska nurkowań komercyjnych w naszym kraju. Krajowa baza techniczna dla nurkowań głębinowych od lat była przygotowywana do stosowania mieszanin trimiksowych, a tabele państwowe wprowadzały mieszaniny helioksowe. W ocenie autora, było to wynikiem ingerencji medycznego środowiska cywilnego, nie posiadającego doświadczenia w dziedzinie nurkowań głębinowych, gdyż od przeszło ćwierćwiecza za zabezpieczenie owych nurkowań odpowiadali lekarze wojskowi. Ponadto, tabele te mimo swoich wielu walorów stosowania, nie obejmują całości systemu nurkowań głębinowych, które posiadał system nurkowań trimiksowych opracowywany w Zakładzie Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej (aktualna nazwa Katedra Technologii Prac Podwodnych), przy wydatnym współudziale w postaci tabel i zabezpieczenia medycznego Katedry Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej. Co najważniejsze, przy stosowaniu sprzętu oddechowego o obiegu otwartym, były to tabele oszczędzające hel, a więc generujące mniejsze koszty i poprawiające komfort ciepły nurka.

Z punktu widzenia realizacji dekompresji nurkowań głębinowych, system tabel dekompresyjnych powinien posiadać tabele awaryjne w postaci tabel przerywania zanurzenia (*abort table*), zamiany mieszanin i gazów dekompresyjnych oraz naruszenia dopuszczalnych parametrów nurkowania, w tym system tabel rekompresji leczniczych i awaryjnych nurkowań saturoowanych. Wprowadzone tabele bezwzględnie wymagają oficjalnego uzupełnienia o w/w czynniki i procedury. Wdrażając oficjalne tabele, opieraliśmy się o prace i doświadczenie Zakładu Technologii Prac Podwodnych AMW i lekarzy nurkowych Zakładu Medycyny Morskiej WAM. Konsultacje z autorami rozporządzenia, ze względów oczywistych tj. braku doświadczenia w prowadzeniu tego typu nurkowań, nie pomogły w rozwiązaniu wielu szczegółów technologii opartych o te tabele. Najlepszą radą jaką otrzymał od nich autor było „przestrzegać zgodnie z wykładnią tabel”, co w całości problemów wdrażania i tak czyniono. Problemy w szczególności wynikały ze specyfiki i możliwości posiadanej techniki nurkowej.

Wprowadzone obligatoryjne dla komercyjnych nurkowań głębinowych tabele dekompresji (francuskie COMEX 1992 i French Navy – Marine Nationale 90 (MN90) decompression tables) odpowiadały technice i bazie nurkowej Francji. Wykluczyło to możliwość korzystania z innych tabel dekompresji, stosowanych dla już posiadanej techniki i technologii. Rozporządzenie w swoich wymaganiach ograniczyło również grupę lekarzy uprawnionych do zabezpieczenia medycznego prac na głębokości. Wskazano lekarzy o specjalizacjach, które w swoim programie nie zawierają elementów dotyczących

hiperbarii i nurkowania (anestezjologia), a pominięto specjalizacje wręcz dedykowane kwestiom zmian ciśnienia (medycyna morska, medycyna transportu czy medycyna lotnicza) [4,5].

Każde prace podwodne, prowadzone głębiej niż 50 m, są kompromisem pomiędzy realizowanym zadaniem, a obowiązującymi tabelami, które narzucają metodę jego wykonania. Wymagania bezpieczeństwa głębinowych prac podwodnych, mimo niskiej ich efektywności, wymagają precyzyjnego przygotowania wariantów wykonania i organizacji pracy, ze względu na ograniczenia czasu pobytu nurka na głębokości do mniej niż 120 min., wliczając zanurzenie i operację wynurzenia dzwonu. Wprowadzone w/w Rozporządzeniem tabele, dają duże możliwości wykorzystania wielu wariantów nurkowania dla szerokiej gamy technik zabezpieczających oraz dla prac podwodnych, ale jak wszystkie tabele do nurkowań głębinowych wymagają w określonych strefach głębokości mieszanin roboczych. Niestety stan techniczny krajowej bazy nurkowej nie daje pełnej możliwości ich wykorzystania [7] ze względów technicznych oraz bardzo słabego popytu na głębinowe prace podwodne.

Adaptacja do mieszanin helioksowych i wykorzystanie zalet nowych tabel dekompresji zawartych w/w rozporządzeniu, wymagałaby wymiany posiadanej w naszym kraju techniki nurkowej. Dlatego też, przystosowano technologie nurkowania do ich wykorzystania bez większych zmian posiadanej jedynej operacyjnej techniki nurkowej tj. mobilnego systemu Af-2, przeznaczonego dla nurkowań saturowanych i dwukrotnie modernizowanego w naszym kraju dla zapewnienia międzynarodowych standardów bezpieczeństwa. Użycie tego systemu pozwoliło w nurkowaniach głębinowych wykorzystać wszystkie zalety, wynikające ze stosowania nurkowań saturowanych tj. komfort przebywania w ogrzewanym dzwonie nurkowym, pełny podgląd nurków w podwodnej TV (poprzez system kamer w dzwonie), monitorowanie składu atmosfery dzwonu nurkowego i komory hiperbarycznej, a także możliwość przebywania w komorze hiperbarycznej, co zapewniło wysoki poziom komfortu dekompresji. Zrezygnowano z ogrzewanych sfandrów, przyjmując za średni czas pobytu nurka na głębokości 40-55 min., a w razie konieczności do 60-75 min. Dla tych czasów pobytu i pracy średniej ciężkości, wystarczającą ochroną cieplną nurka jest ocieplacz i suchy skafander.

Przystępując do zastosowania oficjalnych tabel, autor szukał odpowiedzi na pytanie, jak te tabele sprawdzą się w warunkach ciężkiej pracy nurków i czy tzw. „dobra praktyka nurkowa” w tym przypadku da pozytywny wynik. Tabele francuskie były weryfikowane na grupie standardowych danych antropometrycznych nurków Marynarki Wojennej Francji w 1988 r. o poniższych danych: waga 74 kg  $\pm$  8 kg, wzrost 175.9cm  $\pm$  5.7 cm, wiek 32.3 lat  $\pm$  6.1 [3].

Nurków głębinowych o tych danych antropometrycznych, szkolonych w naszym kraju od lat ponad 30-tu jest i było w ekipie zaledwie kilku. Jeśli do tej sytuacji dołożymy wykonywane przez nurków bardzo ciężkie lub ciężkie prace podwodne, takie jak: prace montażowe wykonywane ciężkimi kluczami ręcznymi, narzędziami hydraulicznymi, prace eżektorem, czyszczenie powierzchni struktur podwodnych itp., to istniało, zdaniem autora, duże prawdopodobieństwo wystąpienia incydentów dekompresyjnych. Do tych warunków dołożyć należy ewentualne wypadki przy pracy, wynikające z charakterystyki prac podwodnych, zaliczających się do prac wysokiego ryzyka, których skutki mogły zakłócić przebieg dekompresji.

Wszystkie powyższe czynniki wymagały dekompresji wydłużonej, którą parametry tabel nie zawsze mogły zapewnić przy stosowaniu konkretnych mieszanin helioksowych. W takich przypadkach z pomocą przyszły „niedekompresyjne” czynniki nurkowania tj. przyjęta organizacja prac podwodnych i technika nurkowa, które to czynniki uwzględnione są w technologii nurkowania.

Wdrożenie krajowych tabel helioksowych [5] realizowano po uprzedniej analizie i przygotowaniu technologii uwzględniającej krajową bazę techniczną w Zakładzie Technologii Prac Podwodnych. W tym przypadku, niejako z przymusu postępowano odwrotnie niż nakazuje „dobra praktyka nurkowa”; bazę organizacyjną i technikę nurkową dostosowano do tabel dekompresyjnych. Prace podwodne poprzedziło przygotowanie i szkolenie ekip nurkowych oraz sprawdzenie kilku wariantów przebiegu nurkowania w porcie i na morzu, gdzie zastosowano system nurkowy Af-2.

Parametry techniczno-operacyjne dzwonu nurkowego, instalacja zasilania oraz urządzenia opustowo-podnośnego systemu nurkowego Af-2 sprzyjały „polepszeniu” dekompresji tj. zmniejszeniu nasycenia tkanek organizmu nurka gazem obojętnym. W okresie od września 2008 r. do lutego 2018 r. w podwodnych pracach na polskim szelfie wykonano bez żadnego incydentu dekompresyjnego 446 nurkowań w strefie głębokości 50-87 m, dla czasów pobytu głównie od 45 do 60 min. Były też nurkowania z czasami pobytu do 90 min. i dekompresja trwającą ponad 13 godzin. Na taki stan rzeczy, w ocenie autora, oprócz zapewnienia wysokiego komfortu realizacji dekompresji wpłynęły czynniki, które są analizowane w następnym rozdziale.

## **REALIZACJA DEKOMPRESJI W PODWO-DNYCH PRACACH GŁĘBINOWYCH Z UŻYCIEM POSIADANEJ TECHNIKI KRAJOWEJ**

Podczas zanurzenia, w dzwonie otwartym prowadzi się operacje utrzymania wnętrza dzwonu w stanie „suchym”, a to wymaga określonego kontrolowanego zasilania dzwonu (powietrzem lub mieszaninami). Takie rozwiązanie spowolniło proces zanurzenia do prędkości 8-10 m/min. Prędkość ta stanowi około  $\frac{1}{3}$  przewidzianej tabelami prędkości dopuszczalnej, wynoszącej 30 m/min. Do czasu zanurzenia dolicza się również czas zanurzenia kontrolnego nurków.

Ponieważ w czas pobytu nurka na głębokości, będący podstawą doboru dekompresji, wliczony jest czas zanurzenia, powodowało to skrócenie realnego czasu pobytu nurka na głębokości, czemu odpowiadać powinna krótsza dekompresja. Mieszaniną roboczą, którą nurek oddycha na głębokości, jest mieszanina hipooksyczna, zawierająca poniżej 16 % tlenu, tylko do głębokości 20-25 m oddycha mieszaniną zawierającą 20-22 % tlenu lub o składzie zbliżonym, stosowaną podczas dekompresji.

Drugim czynnikiem polepszającym dekompresję lub też zwiększającym konserwatyzm tabel (zmniejszenie stopnia nasycenia tkanek nurka) są uwarunkowania techniczno-organizacyjne.

Dzwon nurkowy nigdy nie jest ustawiony na głębokości pracy nurka tj. w jego wnętrzu panuje ciśnienie niższe. Różnice tych głębokości dla prac na polskim szelfie wynoszą od minimalnej różnicy 3 m, wynikającej z pozycji balastu lin



prowadzących dzwonu (1,5-2 m od wjazdu dzwonu i przynajmniej 1 m nad dnem lub obiektem), do 12 m przy pracach nad podwodnymi strukturami wydobywczymi (dzwon i balast umieszczone są nad strukturą wydobywczą, której wysokość może sięgać od 7 do 9 m, a czasami więcej). Nurek pracujący na głębokości pracy, wraca do dzwonu z zasady około 2 do 5 min. przed czasem wynurzenia dzwonu.

Ten czas jest również wliczony do podstawy czasu pobytu przy doborze dekompresji. Będąc na poziomie dzwonu, nurek przygotowuje się do wynurzenia i wejścia do dzwonu układając swoją (sięgającą minimum 30 m i więcej) wiązkę kablowo-węzową, czyszcząc skafander oraz ładując lub mocując narzędzia. Z punktu widzenia teorii dekompresji, czas przygotowania do wynurzenia dzwonu, w zależności do głębokości i czasu pracy nurka, do momentu wejścia do dzwonu, może być traktowany jako dodatkowy przystanek dekompresyjny (deep stop) lub jako nurkowane dwupoziomowe, obniżające wypadkową głębokość pracy nurka.

Trzeci czynnik dotyczy tylko „tabel helioks/dzwon”, najczęściej stosowanych w podwodnych pracach głębinowych. W tym przypadku, czynnikiem polepszającym efektywność dekompresji w nurkowaniach, jest zwiększanie zawartości tlenu w mieszaninie, w przestrzeni dzwonu, w czasie wynurzenia, do czasu przejścia nurków na oddychanie mieszaniną dekompresyjną. Przyjęto zasadę, by w składzie atmosfery dzwonu nurkowego zwiększać zawartość tlenu tak, by na przystanku głębokości włączenia mieszaniny dekompresyjnej, zawartość tlenu osiągnęła taką samą wartość, jak w mieszaninie dekompresyjnej tych tabel, tj. minimum 20%. Np. typowa mieszanina robocza na głębokości 78 m zawiera 14-16% tlenu.

Atmosfera dzwonu na początku jego zanurzenia zawiera około 21% tlenu pochodzącego z powietrza. W początkowej fazie zanurzenia, dzwon zasilany jest do głębokości 5-8 m mieszaniną dekompresyjną zawierającą 20-22% tlenu, a następnie mieszaniną roboczą, tak, by operator dzwonu i nurek roboczy na zewnątrz dzwonu oddychali tą samą mieszaniną. Podczas zanurzenia „przepłukuje” się wąż nurka mieszaniną roboczą, co skutkuje tym, że zawartość tlenu w atmosferze dzwonu i podczas zanurzenia jest większa od zawartości w mieszaninie roboczej do głębokości, w przybliżeniu połowy głębokości roboczej.

Opracowujący tabele twierdzili, że dla utrzymania wskazanych w tabelach wartości, trzeba wentylować przestrzeń dzwonu tak, by operator oddychał tą samą mieszaniną co nurek. Po wentylacji dzwonu mieszaniną roboczą zawierającą 15% tlenu dla 3-4-rech wymian jego atmosfery, mamy w atmosferze dzwonu mieszaninę zawierającą 15,5% tlenu i 19% azotu, licząc wentylowanie dzwonu na poziomie morza. To wymaga w przypadku Af-2 około 12-14 m<sup>3</sup> drogiej mieszaniny helioksovej. Jeśli wentylację wykonujemy na głębokości, to ilość gazu do wentylacji głębokości 0 m należy pomnożyć przez ciśnienie absolutne, panujące na tej głębokości. Jest to operacja niezwykle kosztowna i czasochłonna, na co w ostrym reżimie czasowym realizacji nurkowania głębinowego nie można sobie pozwolić ze względów bezpieczeństwa i zabezpieczenia logistycznego.

#### **CZYNNIKI DECYDUJĄCE O REALIZACJI DEKOMPRESJI GŁĘBINOWYCH W AKTUALNEJ KRAJOWEJ BAZIE TECHNICZNEJ**

Podstawowymi czynnikami, które musimy analizować i uwzględnić podczas realizacji dekompresji to:

- moment wymiany mieszaniny roboczej atmosfery dzwonu na mieszaninę dekompresyjną lub pozostawienia mieszaniny roboczej,
- wypełnienie komory mieszaniną dekompresyjną lub opcjonalnie powietrzem oraz wybór ciśnienia przystanku dekompresyjnego dla przyjęcia nurków z dzwonu,
- jaką organizację nurkowania przyjąć z dwóch możliwości: pierwszy wariant nurek roboczy i operator dzwonu, drugi to dwóch nurków w wodzie.

Przejście na oddychanie z mieszaniny roboczej (dennej) na mieszaninę dekompresyjną, zgodnie z obowiązującymi w Polsce tabelami w strefie 50-100 m, odbywa się na przystankach 24 m lub 30 m (mniejsza dla helioksu 18-20% tlenu, większa 20-22% tlenu, dla tabelarycznej głębokości 51 m) do 45 m dla tabelarycznej głębokości 102 m. Na przystankach od 12 m i niżej stosuje się tlen w atmosferze helioksovej dekompresyjnego.

Operacja TUP-transferu pod ciśnieniem nurków do komory celem kontynuacji dekompresji może odbywać się w każdym momencie dekompresji. Ostatnim przystankiem, w którym należy wykonać operację transferu TUP, jest przystanek 15 m, chociaż w praktyce realizuje się ją z przystanków głębszych, by dać nurkom czas na rozebranie się, skorzystanie z toalety, umożliwić lekki posiłek, "nawodnić organizm" oraz przygotować się do dekompresji tlenowej. O wyborze głębokości przystanku, z którego podnosimy dzwon po uszczelnieniu wjazdu, decydują poniższe czynniki:

- oszczędność mieszanin helioksowych, w strefie głębokości 50-75 m (do dekompresji oprócz mieszaniny roboczej stosuje się powietrze, tylko w przystosowaniu tabel helioks/12 m),
- czas przystanku dekompresyjnego, w którym możemy zrealizować operację transferu do komory,
- pogorszenie warunków na powierzchni morza, utrudniające przeprowadzenie operacji TUP,
- sytuacja awaryjna wymuszająca ewakuację nurków na powierzchnię,
- utrata łączności lub zasilania w gazy (dzwon posiada kanały łączności i zasilania awaryjnego),

Z powyższych czynników tylko dwa, które można zaplanować, wynikają z poprawy efektywności oraz ekonomicznych i logistycznych racji realizacji prac podwodnych.

#### **I WARIANT REALIZACJI DEKOMPRESJI**

Przygotowanie do fazy dekompresji rozpoczynamy już podczas zanurzenia. Zawartość tlenu w atmosferze dzwonu podczas cyklu zanurzenia jest zwiększana o kilka procent (2-3%), co nie zmienia znacząco ciśnienia parcjalego tlenu ze względu na to, że dzwon stoi na głębokości mniejszej niż głębokość robocza nurka. W żadnym przypadku nie przekraczamy jednorazowej dawki toksyczności tlenowej przewidzianej tabelami. Tabele przygotowane są dla mieszanin, których skład może się różnić w skrajnych przypadkach o 2%.

Dla przykładu, z 85 m głębokości dla helioksu 14-16% taka sama dekompresja jest przewidziana dla mieszaniny o zawartości 14% i dla mieszaniny 16% oraz ich wartości pośrednich. Odchyłek ciśnienia parcjalego tlenu dla rozpatrywanego przypadku maksymalnie dopuszczony tabelami może wynosić 0,19 ata (19 kPa), co np. przy mieszaninie roboczej 14-16%

tlenu odpowiada różnicy głębokości około 12 m. Ciśnienie parcjalne tlenu dla zawartości 16% na głębokości 85 m odpowiada głębokości 87,5 m dla zawartości 14%.

Nie ma w tym przypadku możliwości przekroczenia dawki toksyczności tlenowej, co zapewnia nam budowa tabel, obliczona dla 2% zmian typowych mieszanin w nich stosowanych. W takim właśnie zakresie poruszamy się podczas zwiększania zawartości tlenu w atmosferze dzwonu aż do chwili, gdy tlen osiągnie zawartość 20%. Podobnie jest z mieszaniną dekompresyjną dla tabel helioks/dzwon, w której zawartość tlenu może być wykorzystana z przedziału 20-22%.

Podczas dekompresji, w czasie w którym do przewidzianej do oddychania mieszaniny roboczej dodaje się tlen, zwiększając jego zawartość do 20%, w chwili, gdy nurka musimy przełączyć na oddychanie mieszaniną dekompresyjną można z całą pewnością stwierdzić, że nawet duże odchylenie (rzędu 3%) od tej zawartości nie obniża bezpieczeństwa dekompresji, jako że większe niż przewidziane w tabelach okna tlenowe na początku dekompresji kompensuje niższa zawartość tlenu na głębokościach. Z zasady tak steruje się dekompresją, by osiągnąć wymaganą zawartość tlenu.

Taki sposób dekompresji jest możliwy tylko w dzwonie przygotowanym do nurkowań saturowanych, jakim jest dzwon systemu nurkowego Af-2. W tym dzwonie możemy na bieżąco sprawdzać i korygować zawartość tlenu. Ta metoda dekompresji jest możliwa tylko:

- przy stosowaniu tabel „helioks/dzwon”,
- organizacji nurkowania nurek roboczy-operator dzwonu, tj. praca jednego nurka w toni i asekurowujący go operator w dzwonie nurkowym,
- możliwości ciągłego pomiaru ciśnienia parcjalnego lub zawartości tlenu,
- wyposażeniu dzwonu w układ dozowania lub kontrolowanego dodawania tlenu.

W naszej praktyce stosujemy układ dozowania, co wymaga czasu. Lepszym rozwiązaniem jest układ dodawania tlenu, pozwalający w krótkim czasie podnieść zawartość tlenu w dzwonie o 3-5% dla danej głębokości. Powstawanie kieszeni tlenowych w dzwonie jest mało prawdopodobne z powodu ciągłej cyrkulacji, na skutek pracy wentylatorów pochłaniacza i podgrzewacza. Mimo protestów autora, kierownicy nurkowania wentylowali dzwon, marnując tym samym helioksovą mieszaninę dekompresyjną, chcąc szybko podnieść zawartość tlenu (co wymagałoby na głębokości 36 m około 45 m<sup>3</sup> mieszaniny dekompresyjnej by podnieść zawartość tlenu o około 2%). Wentylacja powoduje hałas i zakłóca pracę sensorów tlenu (szczególnie w warunkach zimowych, gdy chłodny gaz omywa czujnik wprowadzając błędy „szoku” termicznego) bez znaczącego efektu dla stężenia tlenu.

W naszym przypadku stosuje się dozowanie tlenu ze względu na to, że dzwon posiada instalację tlenową i możliwość kontroli jego zawartości. Dozowanie tlenu w dzwonie, w przypadku nurkowań saturowanych, przewidziane jest dla sytuacji awaryjnych, a w nurkowaniach głębinowych jest procedurą roboczą.

Ten sposób dekompresji zwiększa komfort realizacji dekompresji, gdyż uwalnia nurków od zakładania masek inhalatorów (inhalator pozwalający usuwać tlen wydychany na zewnątrz komory) dla oddychania helioksovą mieszaniną dekompresyjną. Z dzwonu nurkowie przechodzą do komory, w której atmosfera wypełniana jest mieszaniną dekompresyjną na głębokości wybranego przystanku dekompresyjnego, głębszego niż 12 m.

W komorze, po pełnym rozebraniu się do bielizny nurkowie od głębokości 12 m do głębokości 3 m oddychają tlenem w cyklach 25 min. i 5 min. przerwy z atmosfery komory. Podczas pracy na dużych głębokościach i przy relatywnie długich czasach pobytu, czas oddychania tlenem w systemie masek trwa 4,5 godz., podczas których płuca nurka pokonują mięśniami opory wdechu, a ich elastycznością opory wydechu. Dlatego bardzo ważne są małe opory oddechowe, szczególnie wydechu, gdyż zwiększone opory zamieniają wydech bierny, w wymagający wysiłku wydech czynny, a także mogą doprowadzić do formy mózgowej zatrucia tlenem. Długotrwałe nałożenie maski inhalatora może wywołać odparzenia lub infekcję skóry twarzy. Dla uniknięcia tych skutków ważne jest tak samo zachowanie stosownej higieny, jak i komfortu cieplnego w komorze.

## II WARIANT REALIZACJI DEKOMPRESJI

Ten sposób dekompresji polega na nieingerowaniu w atmosferę dzwonu nurkowego. Dzwon wypełniony jest mieszaniną helioksovą o składzie nieco innym od mieszaniny roboczej, ze względu na początkowe wypełnienie dzwonu powietrzem i mieszaniną dekompresyjną. Nurkowie oddychają z atmosfery dzwonu do czasu przełączenia ich na oddychanie mieszaniną dekompresyjną. Procedury dekompresji i kompresji helioksowej dla dzwonu nurkowego zawarte w zał. 7 Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. przewidują przełączenie się nurków na oddychanie z inhalatorów BIBS w dzwonie nurkowym. Jest to odzwierciedlenie specyfiki bazy francuskiej dla nurkowań głębinowych.

W stosownym momencie, nurkowie zakładają inhalatory dzwonu (BIBS) zasilane mieszaniną dekompresyjną. Podczas dekompresji zawartość tlenu w atmosferze dzwonu wzrasta ze względu na to, że wydech skierowany jest do atmosfery dzwonu. Oczywiście jest, że dodawanie tlenu w ten sposób maleje wraz z głębokością. Przykładowo, dla głębokości tabelarycznej 81 m i czasu pobytu 60 min. w strefie przystanków 39-30 m, para nurków oddychając z inhalatorów, wydycha do atmosfery dzwonu ponad 1 m<sup>3</sup> tlenu, oddychając mieszaniną dekompresyjną przez 30 min, co zwiększa zawartość tlenu w dzwonie do wartości požądanej, odpowiadającej mieszaninie dekompresyjnej.

Dla prac z początku strefy nurkowań głębinowych do 75 m i relatywnie krótkich czasów dekompresji z użyciem mieszaniny roboczej, dzwon może być wypełniony mieszaniną dekompresyjną, ale tylko w przypadku, gdy nurkuje para nurków bez operatora dzwonu, a krótką dekompresję z użyciem mieszaniny dekompresyjnej realizują oni w wodzie. Nurkując z operatorem dzwonu dla strefy głębokości 60-75 m, gdy nie ma czasu na wymianę lub wzbogacenie atmosfery dzwonu tlenem do wartości mieszaniny dekompresyjnej, jest to metoda optymalna.

Po osiągnięciu zawartości tlenu w dzwonie 20%, nurkowie mogą przejść na oddychanie z jego atmosfery. Oczywiście wydychany dwutlenek węgla jest pochłaniany przez pochłaniacz, którego wentylator dodatkowo ujednorodnia mieszaninę w dzwonie.

Sposób ten wykorzystujemy obligatoryjnie w przypadku zbrudzenia atmosfery dzwonu, np. gazami ziemnymi z nieszczelnej instalacji podwodnej. W swojej praktyce autor napotkał jeden taki przypadek, gdy gaz przedostał się przez nieszczelny zawór.



W tej metodzie oszczędzamy hel i tlen, pogarszamy jednak radykalnie komfort podczas realizacji dekompresji, wydłużając czas oddychania nurków z inhalatorów.

### III WARIANT REALIZACJI DEKOMPRESJI

Jest to sposób, w którym nurkowie realizują pierwszą fazę dekompresji w dzwonie wypełnionym mieszaniną roboczą. Dzwon podnosimy na powierzchnię i realizujemy operację TUP, w momencie upłynięcia czasu oddychania mieszaniną roboczą i przejścia nurków na oddychanie mieszaniną dekompresyjną, którą to wypełniona jest komora. Jest to najprostszy sposób realizacji dekompresji i najbardziej komfortowy dla nurków, gdyż do czasu przystanku 12 m, w którym zaczynają oddychać tlenem z inhalatorów, mogą spokojnie rozebrać się, skorzystać z toalety i wypoczywać także leżąc na kojach i mając relatywnie długi czas oddychania mieszaniną dekompresyjną. Poprzednio omówione metody nie oferują im tak długiego okresu wypoczynku.

Co nas powstrzymuje przed częstszą realizacją tej metody? Odpowiedź jest prosta; cena. Dla realizacji dekompresji z przystanku 42 m w komorze hiperbarycznej w naszym przypadku zużywamy około 55 m<sup>3</sup> mieszaniny helioksowej o zawartości tlenu 20-22%. Jeśli do tego dodamy zużycie helioksu roboczego 12-14% tlenu przez nurka z 50 min. czasu pobytu na głębokości 82 m, (około 16 m<sup>3</sup>) i wypełnienie dzwonu na głębokości 78 m (27 m<sup>3</sup>), to na jedno nurkowanie zużywamy około 98 m<sup>3</sup> mieszaniny helioksowej. Ten sposób stanowi nie lada wyzwanie dla zaopatrzenia i finansów, szczególnie, gdy uzupełnianie mieszanin odbywa się drogą morską. Dlatego dla oszczędności dekompresyjnej mieszaniny helioksowych ważne są:

- zanurzenie dzwonu, które jest zawsze płytsze od pracy nurka,
- głębokość (ciśnienie) przystanku, na którym nurkowie przechodzą do komory,
- zastosowana mieszanina robocza.

W przytoczonym powyżej przykładzie, jeśli nurkowie przechodzą do komory na przystanku 21 m, zużywamy prawie połowę mieszaniny dekompresyjnej (około 23 m<sup>3</sup>), a zanurzając dzwon na 70 m zużyjemy 23 m<sup>3</sup> mieszaniny roboczej. Ogólnie zużyjemy około 62 m<sup>3</sup> mieszanin helioksowych. Jeśli do nurkowania zastosujemy helioks roboczy 18-20% tlenu, to oszczędzamy na mieszaninie dekompresyjnej ponad 13 m<sup>3</sup>, gdy operację TUP wykonamy na głębokości zmiany mieszanin 39 m.

### IV WARIANT REALIZACJI DEKOMPRESJI

Ten sposób realizacji dekompresji jest bardzo efektywny z punktów widzenia oszczędności helu, gdyż jako mieszaninę dekompresyjną stosujemy powietrze. Powietrze do stosowania podczas tzw. środkowej i końcowej fazy dekompresji oraz jako atmosfera komory przewidują tabele helioks/12m. Tabele te, w strefie głębokości 50-75 m stosują trzy mieszaniny robocze: helioks o zawartości tlenu 17-18% do głębokości tabelarycznej 78 m, helioks 18-20% do głębokości tabelarycznej 69 m, zaś helioks 20-22% do głębokości tabelarycznej 60 m.

Realizacyjna dekompresji przy wykorzystaniu tych tabel i zastosowaniu dzwonu typu otwartego podobna jest do III wariantu realizacji dekompresji z tym, że w miejsce helioksowej mieszaniny dekompresyjnej wprowadza się powietrze. Tabele helioks/12m/tlen posiadają w porównaniu do tabel helioks/dzwon krótsze czasy pobytu (w skrajnych przypadkach więcej niż 59%) dla głębokości strefy. To powoduje, że przy wydłużeniu lub planowaniu dłuższego czasu pobytu nurka musimy zastosować tabele helioks/dzwon.

W przypadku helioksu 20-22%, w którym mieszanina robocza i dekompresyjna są jednakowe, powietrze możemy włączyć na każdym przystanku dekompresyjnym, przewidzianym dla powietrza lub mieszaniny dekompresyjnej.

## KOŃCOWE UWAGI O REALIZACJI DEKOMPRESJI W GŁĘBINOWYCH PRACACH PODWODNYCH W NASZYM KRAJU

Mija 11 lat od wprowadzenia oficjalnych tabel do nurkowań głębinowych w naszym kraju. Brak jest jakościowej analizy aktualnie stosowanych tabel w aspekcie posiadanej krajowej techniki nurkowej i jakości jej stosowania. Tabele te „dopasowano” do posiadanej techniki. W ciągu tych jedenastu lat, wykonano 446 nurkowań głębinowych w strefie głębokości 50-87 m z czasami pobytu na głębokości 45-60 min (to są czasy tabelaryczne, w praktyce są one krótsze od 3 do 5 min.). Nie zanotowano żadnego przypadku incydentu dekompresyjnego. Oprócz pozytywnego oddziaływania na dekompresję parametrów posiadanej techniki krajowej, wpływ na taki stan rzeczy ma również organizacja i wyszkolenie nurków oraz ekipy obsługi.

W pierwszym etapie wdrażania tych tabel, stosowano organizację opartą o działanie pary nurków, gdzie obaj wymagali tej samej dekompresji, którą na pierwszym etapie odbywali w wodzie. Podczas dekompresji na wybranym przystanku dekompresyjnym, stosując mieszaninę roboczą wchodził do dzwonu. Korzystając z organizacji nurkowań saturowanych, wprowadzono tę organizację także w nurkowaniach głębinowych na skutek „nacisków zewnętrznych”. Przy tej organizacji, nurek roboczy zanurzał się w wodzie na zewnątrz dzwonu, a operator dzwonu zanurzał się na „sucho” w dzwonie (nie przebywał w toni wodnej), pełniąc głównie rolę nurka asekuracyjnego. Takie rozwiązanie miało tę zaletę, jaką jest pomoc operatora nurkowego w operacjach dzwonowych, podczas których stosowana jest mieszanina robocza oraz przy wykonywaniu operacji stabilizacji atmosfery dzwonu, podczas przejścia na oddychanie mieszaniną dekompresyjną.

W tym typie nurkowania mamy dwóch nurków, którzy mają różne warunki dekompresyjne. Nurkowi roboczemu wybiera się sposób dekompresji z jego realnej głębokości pracy, a operatorowi dzwonu (ubranemu w skafander ze zdjętym hełmem i wyposażeniem), który przebywa w atmosferze dzwonu na głębokości 5-6 m, (a niekiedy 12 m płytszej przy pracach nad głowicami) wybiera się sposób dekompresji taki sam jak dla nurka roboczego, gdyż nie jest możliwe techniczne i organizacyjne prowadzenie dwóch różnych dekompresji, w tym samym czasie. Dekompresja dla operatora dzwonu jest



dekompresją „bardzo wydłużoną”. Tego problemu nie rozwiązuje także posiadanie najnowszej techniki nurkowej, w tym dzwonu trójosobowego, przeznaczonego dla dwóch nurków i operatora. Ta okoliczność decydująco wpływa na organizację nurkowania w doborze par nurków pracujących w systemie ciągłym w cyklu nurkowym, co 24 godziny od zakończenia dekompresji. Zamiana nurków funkcjami, wynikająca ze sprawiedliwego podziału pracy, ma również dobre skutki dla dekompresji, gdyż w co drugim nurkowaniu głębinowym nurek podlega obniżonemu stresowi dekompresyjnemu.

Posiadana technika nurkowa i sprzęt oddechowy pracujący na zasadzie obiegu otwartego oraz wymagania stosowanych tabel dekompresyjnych helioks/dzwon powodują, że system zużywa bardzo dużo helu. Tym samym koszty helu, z całą jego infrastrukturą stosowaną w systemie nurkowym, są bardzo wysokie (szczególnie teraz, gdy jego cena wzrosła od 80 do 100%). Wszelkie możliwe próby ograniczenia zużycia helu są mało efektywne, w porównaniu do zastosowania układów odzysku helu i sprzętu nurkowego o obiegu zamkniętym. W aktualnie posiadanej technice nurkowej brak jest możliwości, by takie układy odzysku helu zainstalować.

Szansę na poprawę tego stanu rzeczy autor widzi w poniższych przedsięwzięciach:

- modernizacji tabel helioks/dzwon w kierunku zastosowania powietrza od głębokości 12-15 m w strefie głębokości 50-90 m. Jest to zadanie, wbrew pozorom, wykonalne dla krajowych zespołów,
- równoległe, formalne dopuszczenie do zastosowania tabel trimiksowych w strefie głębokości 50-90 m, w których powietrze lub nitroks jest naturalnym czynnikiem dekompresyjnym,
- tam, gdzie jest to uzasadnione zadaniami nurków, zamiast nurkowań głębinowych zastosować nurkowania saturowane z 2-3 dniowym pobytem, nawet na relatywnie płytkim *plateau* saturacji lub wielopoziomowym *plateau*.

W artykule nie poruszono czynników decydujących o doborze dekompresji, w których na jej przebieg wpływ mają takie czynniki, które z dekompresją nie mają, na pozór, bezpośredniego nic wspólnego. Są to systemy gratyfikacji nurków, planowanie i oprzyrządowanie konkretnych prac nurka, nierytmiczność prac podwodnych oraz uproszczenie procesów logistycznych. Są to jednak problemy, które wymagające oddzielnego opracowania.

## LITERATURA

1. US Navy Diving Manual". Published by Direction of Comander of Navy. Revision 7, 2016;
2. DCIEM Diving Manual part 2 Department of National Defence 1995;
3. Association of Oil and Gas Procedures "Diving Recommended Practise report No 411 June 2008;
4. Ustawa z dnia 17 października 2003 r. o wykonywaniu prac podwodnych;
5. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. w sprawie warunków zdrowotnych;
6. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 19 maja 2004 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy wykonywaniu prac podwodnych;
7. Skrzyński S, i wsp.: Projekt celowy nr 11/BO umowa nr 148 308/C-T00/2001: „Nurkowania głębokie dla potrzeb Ratownictwa Morskiego”. Analiza zagranicznych systemów nurkowań głębinowych w aspekcie uwarunkowań krajowych.

**dr inż. 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