

NURKOWANIA GŁĘBOKIE W PRACACH PODWODNYCH W POLSCE

Stanisław Skrzyński

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

STRESZCZENIE

W artykule autor opisuje polską specyfikę nurkowań głębokich, stosowanych w podwodnych pracach głębinowych. Krótco omawia stosowane na świecie metody nurkowania głębokiego, by następnie przejść do prac podwodnych na polskim offshore, strefie głębokości 50-90m (wg ustawy; prace głębinowe to prace poniżej głębokości 50m). Przy omawianiu tych metod podaje warunki, otoczenie techniczno-organizacyjne i formalne oraz prace, przy których były one wykorzystywane. Następnie przedstawia metodykę oceny efektywności głównego elementu prac głębinowych, jakim jest nurkowanie. Informuje o głębinowych pracach podwodnych na Bałtyku, realizowanych przez Zakład Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej przy współpracy z Marynarką Wojenną do 2001 roku, i firmami cywilnymi do chwili obecnej. Na podstawie własnych danych z podwodnych prac głębinowych przytacza metodykę oceny ich efektywności z punktu widzenia nurkowań głębokich, we wnioskach zaś przedstawia propozycje polepszenia efektywności tych prac.

Słowa kluczowe: prace głębinowe nurkowanie głębokie, nurkowanie profesjonalne, metody nurkowania głębokiego, dane nurkowania głębokiego, dzwon nurkowy, efektywność nurkowania, mieszaniny oddechowe, dekompresja nurków, tabele dekompresji.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2019 Vol. 67 Issue 2 pp. 69 - 92

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

DOI: 10.2478/phr-2019-0007

Strony: 24, rysunki: 5, tabele: 6

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

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: przeglądowy

Termin nadesłania: 12.01.2019 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 25.01.2019 r.



WSTĘP

Działalność podwodną człowieka we współczesnym świecie przejawia się w trzech formach nurkowania. Są to: nurkowania dla celów komercyjnych, nurkowania dla celów militarnych i zadań specjalnych, a także nurkowania rekreacyjne. Różnią się one: przeznaczeniem, stopniem ich sformalizowania, oraz zabezpieczeniem medycznym i technicznym.

Począwszy od lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku w Marynarce Wojennej RP prowadzono prace mające na celu stworzenie podwalin pod wprowadzenie do Polski nurkowań głębokich. W tym celu przygotowywano kadrę nurkową i kierowniczą. Do 1974 r. kadra ta, w ramach szkolenia, wykonywała takowe nurkowania w centrach i na okrętach floty ZSRR. W 1974 roku do służby w Marynarce Wojennej wprowadzono okręt ratowniczy "PIAST" wyposażony w systemem do nurkowań głębokich. Praktycznie wszystkie elementy tego systemu opracowano i wykonano w naszym kraju, dzięki już przygotowanej kadrze technicznej i nurkowej. Wdrożenie nurkowań głębokich w Marynarce Wojennej ze względu na stan naszej gospodarki narodowej i sytuacji politycznej do roku 1981 był w „uśpieniu”.

Przebudzenie nastąpiło w 1982 roku, kiedy to Marynarka Wojenna RP podjęła się wykonania głębinowych prac podwodnych w polskiej strefie ekonomicznej Morza Bałtyckiego na rzecz przedsiębiorstwa PPIWRNiG Petrobaltic. Poziom bezpieczeństwa i efektywność realizacji w/w prac zmieniały się wraz z postępem nauki, co pociągało za sobą modernizację bazy technicznej, oraz rozwój kadry nurkowej. Ten postęp miał odbicie w technologiach nurkowania, opracowywanych na rzecz w/w przedsiębiorstwa i Marynarki Wojennej przez Zakład Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej (ZTPP).

Do roku 2002 prace te w naszym kraju podobne zadania wykonywała tylko Marynarka Wojenna, aż w 2003 roku na rynku usług podwodnych pojawiły się cywilne ekipy nurkowe, utworzona głównie z rezerwistów jednostek nurkowych Sił Zbrojnych.

Od 2003 roku na realizację prac głębinowych wpływ miały głównie ustawa o pracach podwodnych [9] i dokumenty normatywne z nią związane, które sformalizowały te prace na rynku cywilnym. Szczególny wpływ na wykonawstwo tych prac wywarło „Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych”, wprowadzone na podstawie art. 11 ust. 6 ustawy o wykonywaniu prac podwodnych [11]. Rozporządzenie to ukierunkowało wykonawstwo podwodnych prac głębinowych, narzucając ogólnie tabele dekompresji, a także powiązało je z konkretną techniką nurkową i zabezpieczeniem medycznym. W ten sposób zamknięto stosowania polskich rozwiązań, doświadczeń i metod nurkowań głębokich, oparty o polski potencjał intelektualny i techniczny.

Adaptacja do wykorzystywania helioksywanych mieszanin oddechowych podczas nurkowania i wykorzystanie zalet nowych tabel dekompresji zawartych w/w rozporządzeniu, wymagałaby adaptacji wyposażenia posiadanej bazy i doposażenia technicznego posiadanej w kraju techniki nurkowej. Dlatego też, przystosowano technologie nurkowania do ich wykorzystania bez konieczności wprowadzania większych zmian w już posiadanej technice nurkowej na niwie cywilnej. Natomiast Marynarka Wojenna RP pozostała przy tabelach stosowanych od lat z użyciem mieszaniny trimiksovej .

Wprowadzone obligatoryjne w tym rozporządzeniu tabele dekompresji (francuskie COMEX 1992) dla komercyjnych nurkowań głębokich, odpowiadały potencjałowi techniki nurkowej i posiadanym bazom² prac podwodnych Francji. Wykluczyło to możliwość korzystania z innych tabel dekompresji stosowanych dla posiadanej techniki. Rozporządzenie ograniczyło również swoimi wymaganiami grupę lekarzy uprawnionych do zabezpieczenia medycznego głębinowych i długotrwałych prac podwodnych dla celów komercyjnych.

Każde prace podwodne prowadzone poniżej głębokości 50m są kompromisem pomiędzy zadaniem, a możliwością jego wykonania. Potencjalne możliwości podniesienia bezpieczeństwa przy niskiej efektywności nurkowań głębokich wymagają precyzyjnego przygotowania wariantów wykonania i skrupulatnej organizacji pracy. Wprowadzone w/w Rozporządzeniem tabele dają duże możliwości wykorzystania wielu wariantów nurkowania [14] (niestety stan techniczny krajowej bazy podwodnych prac głębinowych nie pozwala nam na pełne wykorzystanie ich możliwości).

INFORMACJE O NURKOWANIACH GŁĘBOKICH DLA CELÓW KOMERCYJNYCH

W świetle przepisów dotyczących nurkowań dla celów komercyjnych i militarnych na świecie w dziedzinie nurkowania, za granicę nurkowań głębokich przyjmuje się nurkowania poniżej głębokości 45-60m, obejmujące strefę głębokości do praktycznie nie stosowanej 180m. Granice te są płynne, gdyż wynikają z potrzeb i zakresu prac, oraz oceny, czy nie efektywniej będzie zastosować nurkowania saturowane.

Podejście do problemu nurkowań głębokich, tak w kwestii stosowanych mieszanin oddechowych, stref głębokości pracy nurków, sprzętu oddechowego, sformalizowania zabezpieczenia medycznego i technicznego, jak i organizacji oraz realizacji nurkowania, są specyficzne dla danego kraju. Podstawowa różnica wynika z zakresu potrzeb rynku usług podwodnych dla morskiego przemysłu wydobywczego, oraz potencjału wykonawczego firm komercyjnych. Nurkowania głębokie w strefach powyżej 120-140m są tolerowane tylko w wyjątkowych przypadkach, ze względu na wysokie ryzyko i bardzo niską efektywność.

Nurkowania głębokie dla celów militarnych wiążą się z wykonywaniem zadań o wysokim ryzyku. Nurkowie działają samodzielnie lub w parach, bez bezpośredniego zabezpieczenia. Są to głównie zadania minerskie lub dywersyjne. Głębinowe prace ratownicze w Marynarce Wojennej są podobne w swojej realizacji do komercyjnych prac głębinowych z uwarunkowaniami działań ratowniczych. W tych nurkowaniach stosuje się wyspecjalizowaną do udzielanie pomocy załogom okrętów podwodnych technikę zabezpieczającą, której wprowadzenia w życie wymaga wiele czasu, nawet do kilku dni.

Nieefektywność nurkowań głębokich wyraża się tym, że wraz ze wzrostem głębokości, czas dekompresji zbliża się do czasu dekompresji nurkowań saturowanych.

Już przy pracach podwodnych wymagających kilkunastu i więcej godzin pracy nurków (przeciętny czas pracy nurka cyklu nurkowania głębokiego trwa około 1 godz.), w strefie głębokości 50-90m, z punktu realizacyjnego, nurkowania saturowane mogą być rozwiązaniem najbardziej racjonalnym [6].

W głębokich nurkowaniach rekreacyjnych panują zasady „nurkowania technicznego”. Są to nurkowania, o krótkich czasach pobytu na głębokości, z realywnie krótką dekompresją, w porównaniu do nurkowań komercyjnych. W tych nurkowaniach nie stosuje się szerokiego zabezpieczenia technicznego, i organizacyjnego, co stanowi podstawową rozbieżność w organizacji nurkowania, w porównaniu z nurkowaniem komercyjnym. Podczas realizacji tych nurkowań, nurkowie wykorzystują sprzęt niezależny, a zapas mieszanin „dennych” mocują na sobie w tzw. „depozytach”, czyli w butlach na wyznaczonych przystankach dekompresyjnych. W nurkowaniach technicznych podstawowym sprzętem oddechowym jest sprzęt niezależny o obiegu otwartym lub zamkniętym. Nurkowania techniczne realizują nurkowie o wysokim stopniu kwalifikacji zawodowych, posiadający wyjątkową kondycję psychofizyczną [13]. Nurków tych, autor uważa za elitę kadry nurkowej, o najwyższym przygotowaniu wolicjonalnym i profesjonalnym.

KRÓTKA HISTORIA NURKOWAŃ GŁĘBOKICH NA ŚWIECIE

Zastosowanie nurkowań głębokich w początkach swojej historii związane jest z ratownictwem morskim, i pozyskiwaniem zatopionej techniki po I Wojnie Światowej. Najbardziej znane ich zastosowanie w okresie pionierskim, to prace podwodne podczas ratowania załogi amerykańskiego okrętu podwodnego „Squal”, z głębokości 74m, w sierpniu 1939 r. [1]. W tej akcji ratowniczej po raz pierwszy w historii nurkowań operacyjnych, zastosowano mieszaninę oddechową typu helioks. Konieczność ekonomiczna i polityczna podboju głębin wymagała interwencji nurka. Na początku swojej drogi zdobywanie głębin oparte było o mieszaniny helioksove, aż do lat czterdziestych XX wieku, gdy zastąpiono je mieszaninami trimiksowymi i hydroksowymi. Hel był, i wciąż jest, bardzo drogim produktem rynkowym, a nurkowy sprzęt oddechowy na tych głębokościach wymagał wykorzystania dużej jego ilości.

W roku 1930 nurkowie marynarki Wojennej USA osiągnęli głębokość 100m [3] stosując mieszaniny helioksove. Szwedzki inżynier pracujący w marynarce szwedzkiej osiągnął głębokość 160m, stosując wodór. Po nieszczęśliwym wypadku owego inżyniera w latach 40-tych zrezygnowano z wykorzystywania mieszanin hydroksowych (wodoro-tlenowych) [4]. Swoje sukcesy podwodne osiągnął również Związek Radziecki, który stosując helioks dotarł na głębokość 100m kilka lat po USA, przy pomocy sprzętu klasycznego. Badania nad zwiększeniem głębokości pracy nurka trwały również we Francji i Wielkiej Brytanii, szczególnie po II Wojnie Światowej, czego przykładem może być rekordowe zanurzenie nurka brytyjskiego na głębokość 184m w 1958 r.

W roku 1962 szwajcar Keller wykonał zanurzenie na głębokość 300m, stosując mieszaniny helioksove, co do lat dziesiątych jest jednym z najgłębszych nurkowań przy zastosowaniu tzw. nurkowań konwencjonalnych (tj. bez zastosowania technologii nurkowań saturowanych).

Polskie nurkowania głębokie rozpoczęły się w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku, i przeszły podobną drogę rozwoju co ich odpowiednicy na świecie. Maksymalne głębokości dla polskiej strefy ekonomicznej na Bałtyku osiągają niewiele ponad 110m. Nurkowania te rozpoczęły się w Marynarce Wojennej, i były podyktowane koniecznością zabezpieczenia ratownictwa okrętów podwodnych. W latach 80-tych XX wieku nurkowania te stały się konieczne dla zabezpieczenia działalności polskiego przemysłu wydobywczego „offshore”.

CHARAKTERYSTYKA NURKOWAŃ GŁĘBOKICH

Z punktu widzenia fizjologii podwodnej i organizacji, nurkowania głębokie, są najtrudniejszymi ze względu na:

- brak pełnego rozpoznania badawczego procesów dekompresyjnych, co wiąże się z ograniczonym czasem pobytu na głębokości. Brak jest na świecie tabel dekompresji dla pobytu nurka dłużej niż 1,5-2 godz. w strefie głębokości powyżej 120-140m.
- wymagania stawiane nurkom i personelowi ekipy nurkowej dotyczące wysokich kwalifikacji i doświadczenia,
- trudności wynikających z wysokiego ryzyka dekompresyjnego i braku jednoznacznych procedur podczas dekompresyjnych sytuacji awaryjnych, ograniczonych procedur dekompresyjnych dotyczących krótkich czasów pobytu nurka na głębokości, długiej i męczącej dekompresji, oraz ograniczonego doboru metod dekompresji przy pracach średniej ciężkości i ciężkich [12],
- bardzo niską efektywność, gdyż czas pobytu nurka waha się od kilku do kilkunastu procent całkowitego cyklu nurkowania. Dlatego do celów komercyjnych na świecie nurkowania te stosuje się relatywnie rzadko, z reguły do prac o niskim natężeniu lub prac interwencyjnych. Te nurkowania są również wykorzystywane jako nurkowania asekuracyjne przy nurkowaniach saturowanych (np. Tabele stosowane w naszym kraju (COMEX) dla czasu pobytu nurka 1 godz. 44 min. na głębokości 116m wymagają dekompresji trwającej 25 godz. 46min. [11]).
- niejednoznaczność możliwości wyboru mieszanin trimiksowych lub helioksowych dla procesu dekompresji, z zasady wymagającego jednej lub wielu mieszanin dekompresyjnych i tlenu.
- skrócenie czasu dekompresji w nurkowaniach technicznych poprzez stosowanie mieszanin i tlenu o fizjologicznie dopuszczalnym wysokim jego ciśnieniu parcjale [10]. W nurkowaniach komercyjnych ze względu na realywnie długi czas pobytu nurka na głębokości i wykonywanie pracy o różnych obciążeniach ciśnienie parcjale tlenu, tak w mieszaninach roboczych, jak i mieszaninach dekompresyjnych, jest relatywnie niższe [5]. Skutkuje to długimi czasami dekompresji, i jej precyzyjnymi procedurami wykonawczymi. Dobierając profil dekompresji musimy uwzględnić dopuszczalny czas cyklu nurkowania, uwzględniając toksyczność tlenową. Ograniczenia te mają odbicie w składach mieszanin roboczych i dekompresyjnych, przygotowanych pod konkretne, wąskie strefy głębokości. Dla strefy głębokości 50-120m przewiduje się minimum 4 mieszaniny robocze, którym odpowiadają stosowne głębokości

pracy [12] (np. 2 godzinny pobyt na głębokości 180m wymaga 48 godz. dekompresji przy zastosowaniu 4-rech mieszanin dekompresyjnych i tlenu [8]).

- ograniczenia związane z ochroną cieplną nurka, które wpływają na ograniczenia czasu pobytu na głębokości, związanymi z limitowaniem ciśnień parcjalnych tlenu i gazu obojętnego. Podwyższona ochrona cieplna w nurkowaniach głębokich wynika z długiego czasu pobytu nurka w toni wodnej, oraz działania chłodzącego helu. Mimo, że inżynieria materiałowa oraz postęp techniczny stara się rozwiązać ten problem, zagrożenie jest realne w przypadku realizacji dekompresji w wodzie. Nadmienić należy, że chłód jest bardzo realnym zagrożeniem realizacji prawidłowej dekompresji nurka,
- ograniczone tabelami czasy pobytu na głębokości, wpływające na zapewnienie bezpieczeństwa, oraz działanie w stanach awaryjnych. Organizacja i technika nurkowania głębokiego muszą być „wzmocnione”, a system nurkowy musi zapewnić komfort realizacji dekompresji, proces leczenia incydentów dekompresyjnych, oraz udzielenie nurkowi wykwalifikowanej pomocy medycznej,
- specyficzne procedury lecznicze, np. w przypadku wyrzucenia nurka na powierzchnię, w przypadku przekroczenia głębokości, lub czasu pobytu przewidywanego tabelami. Jest to problem dekompresyjnych tabel awaryjnych i utrzymywania dodatkowej techniki, oraz stosownych zapasów mieszanin leczniczych. W przypadku skrajnych sytuacji awaryjnych, nurkowania głębokie powodują konieczność zastosowania technologii nurkowań saturowanych.

Z powyższych względów, nurkowania głębokie muszą być organizowane perfekcyjnie, a procedury pracy nurka powinny być rozpisane bardzo szczegółowo. Na dużych głębokościach, przekroczenie czasu o minutę skutkuje kilku godzinnym przedłużeniem dekompresji.

METODY NURKOWAŃ GŁĘBOKICH Z UWZGLĘDNIENIEM UWARUNKOWAŃ KRAJOWYCH

Aktualnie na świecie, przy realizacji nurkowań głębokich, stosuje się poniższe metody nurkowania z użyciem mieszanin oddechowych i wykorzystaniem dekompresji tlenowej. Wszystkie metody dla celów komercyjnych ukierunkowane są na jak najkrótsze przebywanie nurków w toni wodnej podczas realizacji dekompresji.

Dla głębinowych prac podwodnych wykorzystać można poniższe metody nurkowania:

- nurkowanie w aparatach niezależnych, z obiegiem otwartym, półzamkniętym i zamkniętym,
- nurkowanie w oddechowym sprzęcie przewodowym (z użyciem liny opustowej lub opuszczanej platformy),
- nurkowanie z wykorzystaniem dzwonu nurkowego typu „mokrego”,
- nurkowanie z wykorzystaniem dzwonu nurkowego typu otwartego (zanurzenie odbywa się z otwartym włazem i utrzymaniem wewnątrz dzwonu przestrzeni gazowej na określonym poziomie),
- nurkowanie z wykorzystaniem dzwonu typu zamkniętego (zanurzenie dzwonu odbywa się z zamkniętym włazem).

Aktualne dokumenty formalne w naszym kraju, dotyczące komercyjnych podwodnych prac głębinowych, dopuszczają do stosowania tylko te metody, które obligatoryjnie wykorzystują dzwon nurkowy. Jest to wymaganie zapewniające bezpieczeństwo i komfort pracy nurka, ale bardzo „uwierające” zleceńodawców prac głębinowych, ze względu na wymagane nakłady i szerokie zabezpieczenie techniczne.

NURKOWANIE W APARATACH NIEZALEŻNYCH Z OBIEGIEM OTWARTYM, PÓŁZAMKNIĘTYM I ZAMKNIĘTYM.

Jest to „najmłodsza” metoda nurkowań głębokich, w naszym kraju rozwijająca się od ostatniej dekady ubiegłego wieku. Swoją genezę wywodzi się z nurkowań dla celów militarnych. Ta metoda narzuciła „nową” specyfikę szkolenia, oraz dopasowanie wymagań organizacyjnych do wdrażanej techniki i technologii nurkowania, opartej o samodzielne nurkowanie w sprzęcie niezależnym. Metoda ta wyselekcjonowała najlepszych nurków i dała możliwość nurkowania na duże głębokości bez posiadania całego arsenału zabezpieczającego, przewidzianego przepisami nurkowań profesjonalnych.

Nurkowanie techniczne powstało w ramach działalności organizacji nurkowań rekreacyjnych, i jest ogólnie sformalizowane w zależności od organizacji nurkowej, w której się rozwijało [10]. Penetracja wraku „Lisutania” leżącego na głębokości 100m, była w USA szokiem dla zawodowych firm i instytucji nadzorującej nurkowania OSHA, (Ministerstwo Bezpieczeństwa i Zdrowia Pracy USA). Nurkowania te naruszały wszystkie wymagania i zasady bezpieczeństwa stosowane w głębokich nurkowaniach komercyjnych, przykładowo wykorzystując nurkowy oddechowy sprzęt autonomiczny, a nie zasilany przewodowy z powierzchni, nie wykorzystując dzwonu, wykorzystując minimalne zabezpieczenie techniczne systemu nurkowego itp. Współczesne grupy „wrackersów” penetrują wraki w poszukiwaniu skarbów, pieniędzy, sławy, spełniając posługę rodzin ofiar katastrofy lub po prostu filmując. Takim przykładem może być wrak „Estonia”, penetrowany przez grupy nurków technicznych. Wielu specjalistów „wyznawców nurkowania technicznego”, uważa takie nurkowania za przyszłościowe i wyraża opinię, iż nie należy ich lekceważyć [4].

Dostępność do tego typu techniki może skłonić np. organizacje terrorystyczne do szkolenia się w tym zakresie. Przy minimalnych nakładach finansowych i technicznych, oraz możliwości skrytego przygotowania i działania, można realizować akcje terrorystyczne na dużych głębokościach. Skrytość działania nurka „technical diving” na głębokim akwencie jest zapewniona poprzez zastosowanie aparatu o obiegu zamkniętym. Elita nurków technicznych bez trudu może osiągnąć głębokość 120-150 m (rekord w tego typu nurkowaniach wynosi ponad 300 m, w tym ponad 14-sto godzinny pobyt w wodzie) i bezpiecznie powrócić na powierzchnię, wykorzystując np. jacht czy szybką łódź. Wprowadzenie nowej generacji aparatów niezależnych o obiegu zamkniętym, sterowanych elektronicznie, o bardzo długich czasach ochronnego działania (6-9 godz.) stwarza potencjalnie szerokie możliwości technicznych nurkowań głębokich [13].

Nakłady i czas uruchomienia systemu nurkowego ze sprzętem niezależnym są nieporównywalnie mniejsze od pracy ze sformalizowanym i drogim systemem głębokich nurkowań komercyjnych. Nurkowania techniczne mają bardzo ograniczone zastosowanie ze względu na:

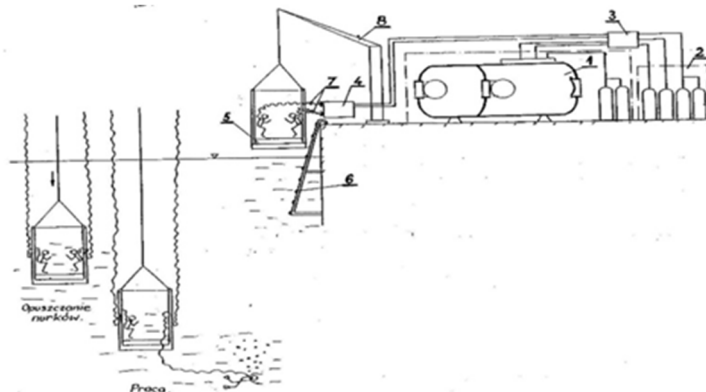
- czas pracy nurka korzystającego z tej metody jest bardzo krótki, a gotowość do powtórzenia przez niego tej pracy jest związana z dużym ryzykiem incydentu dekompresyjnego,
- zwiększenie stopnia ryzyka nurkowania, z reguły bez możliwości udzielenia wykwalifikowanej pomocy przy wystąpieniu specyficznych chorób nurkowych,
- konieczność niezwykle dokładnego odwzorowania przez nurka opracowanego wcześniej komputerowo planu nurkowania, bez możliwości korekty czasowej, ze względu na ograniczoną ilość mieszanin w butlach,
- obciążenie nurka sprzętem, kilkoma butlami i wyposażeniem pozwalającym na długie przebywanie w toni wodnej.

Nurek wykonując zadanie, równolegle wypełnia rolę kierownika nurkowania. Z zasady nurkowanie techniczne odbywa się w zespole, gdzie obowiązuje wzajemna asekuracja [5]. Zespół jest komunikacyjnie „odcięty”, choć nie zawsze, z bazą zabezpieczającą na powierzchni. Jest to niedopuszczalne z punktu widzenia nurkowań komercyjnych i wybranych nurkowań dla celów militarnych. Wypadkowość w głębokich nurkowaniach technicznych jest 5-ciokrotnie wyższa niż w nurkowaniach komercyjnych. Amerykańscy nurkowie komercyjni nazywają nurków „technicznych” szaleńcami [17].

Metoda ta nie jest aktualnie uwzględniona w komercyjnych przepisach nurkowania. Wchodzi ona „kuchennymi drzwiami” do nurkowań komercyjnych, ze względu na swoje podstawowe zalety, czyli niskie koszty i krótki czas mobilizacji do pracy. Na Bałtyku metodę tę stosowano też dla nurkowań komercyjnych. Przykładami spektakularnymi były prace podwodne z użyciem aparatu o obiegu zamkniętym, na maksymalnej głębokości do 80m, przy układaniu odcinka rurociągu gazowego do Władysławowa z polskiego szelfu. W roku 2003, oraz w 2009 przy rozpoznaniu wraku „Graff Zeppelin” w strefie głębokości 60-86m. również stosowano nurkowania techniczne. Aktualnie wyprawy nurkowe na ten wrak w ramach nurkowań rekreacyjnych stały się codziennością. Wspomnę również o tragicznej historii bicia polskiego rekordu głębokości ponad 200m. Kosztowało ono życie 3 nurków [13].

NURKOWANIE W SPRZĘCIE PRZEWODOWYM (Z UŻYCIEM LINY OPUSTOWEJ LUB OPUSZCZANEJ PLATFORMY)

Zasada pracy jest prawie identyczna do przewodowego sprzętu lekkiego z zużyciem powietrza. Zakres stosowanych głębokości pracy 50-70m podyktowany jest ograniczonym czasem pobytu nurka w toni wodnej (dokumenty formalne mówią o maksymalnie trzech godzinach, włączając dekompresję). Czas osiągnięcia gotowości do działania w tej metodzie jest relatywnie krótki. Metoda ta wymaga ograniczonej bazy na powierzchni (rys. 1) Skład ekipy nurkowej to minimum 5-7 osób.



Rys. 1 Zasada pracy nurkowania głębokiego z podestu lub platformy nurkowej. 1-komora dekompresyjna dwuprzędziałowa, 2-magazyny czynników oddechowych, tlenu, mieszanin i powietrza, 3-tablica zasilania, 4-tablica nurkowa, 5-podest lub platforma nurkowa, 6-trap nurkowy, 7-wiązka kablowo-węzowa nurka, 8-urządzenie opustowo-podnośne.

Sprzęt oddechowy, podobnie jak w nurkowaniach powietrznych, wyposażony jest w dwa systemy zasilania. W gazy oddechowe z jednego źródła, oraz zapas awaryjny (Bail Out ang: uzupełnienie). W wersji ekonomicznej stosowano również aparaty o obiegu półzamkniętym, zasilane przewodowo. Aparaty te, mimo niewątpliwie bardzo ekonomicznego zużycia mieszanin oddechowych, posiadają niedogodności wyrażające się podwyższonymi oporami oddechowymi, i brakiem możliwości precyzyjnego ustalenia dekompresji przy podwodnych pracach średniej ciężkości.

Czas wykonania zadania na głębokości w sprzęcie otwartym jest ograniczony, i dodatkowo zależny od wysiłku nurka. Waha się on od 10 do 30 min. Dekompresja w toni wodnej stosuje mieszaniny o relatywnie wysokim ciśnieniu parcjnym tlenu. Spotyka się również tabele, które w strefie głębokości 50-90m stosują dekompresję powierzchniową. Najpoważniejszą zaletą tej metody jest możliwość wykonania pracy podwodnej z bazy doraźnie przygotowanej [12].

NURKOWANIE Z UŻYCIEM DZWONU TYPU MOKREGO

Nurkowania z użyciem dzwonu typu mokrego są najtańszymi systemami nurkowań głębokich z użyciem dzwonu. Dzwon typu mokrego jest to czasza, do której doprowadza się z powierzchni zasilanie gazami oddechowymi, łączność i oświetlenie, oraz wyposaża się w inhalatory do realizacji dekompresji tlenowej. Dzwon ten może być wyposażony w magazyny gazów mieszanin roboczych, dekompresyjnych i tlenu. Metoda ta zapewnia nurkowi kontrolowanie procesu zanurzenia oraz kontrolowaną dekompresję w wodzie. Mimo, że dekompresja przebiega w toni wodnej, dzwon „mokry” daje możliwość zastosowania tlenu w końcowej jej fazie. Nurkowie przebywają cały cykl nurkowania w toni wodnej, dlatego jej czas nie powinien przekroczyć 3 godzin, przy zastosowaniu przez nurka skafwandrow nieogrzewanych. Stosowanie dzwonu typu

mokrego jest wskazane przy nurkowaniach interwencyjnych, do maksymalnej głębokości 70-80m, przy czasach pobytu na głębokości od 20 do 30 min. [2].

Nie zprzeczną zaletą mokrego dzwonu nurkowego jest łatwość zainstalowania go na każdej jednostce, oraz możliwość wykorzystania wszystkich typów sprzętu oddechowego nurka. Czas osiągnięcia gotowości do działania systemu nurkowego z dzwonem typu „mokrego” jest nakrótszy, w porównaniu z innymi metodami z użyciem dzwonu nurkowego. W nurkowaniach komercyjnych podstawą jest sprzęt oddechowy przewodowy o obiegu otwartym. Nurkując z dzwonem „mokrym” możemy wykorzystać także sprzęt niezależny, lecz przestrzegając wykładni przepisów, takiej konfiguracji w komercyjnych nurkowaniach głębokich w naszym kraju się nie przewiduje.



Rys. 2 Dzwon typu mokrego zainstalowany na rufie okrętu R14.

Ograniczenia stosowania dzwonu typu mokrego [15] wprowadzają maksymalną głębokość jego pracy 75msw przy czasie pobytu na głębokości 30 min. W Polsce dzwon typu mokrego posiada Marynarka Wojenna. Montowany na okrętach ratowniczych typu R14 i sprawą otwartą jest technologia jego wykorzystania do nurkownw głębokich. Aktualne dokumenty formalne prac podwodnych w naszym kraju dotyczące nurkowań .głębokich nie precyzują jakiego typu dzwon nurkowy musi być stosowany w pracach głębinowych. W związku z tym, metoda ta nie jest zabroniona w naszym kraju. Stosowanie dzwonu mokrego do prac głębinowych w warunkach Bałtyku w większość dni w roku jest ograniczone warunkami hydrometeorologicznymi. (temperatura wody, falowanie i prądy wodne).

NURKOWANIE Z WYKORZYSTANIEM DZWONU NURKOWEGO TYPU OTWARTEGO

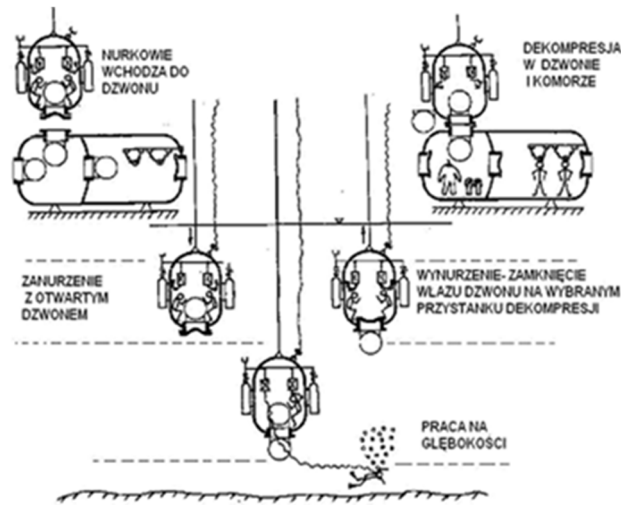
Dzwon nurkowy typu otwartego (ang. „TUP” lub „bounce diving”) jest jedyną metodą stosowaną w pracach podwodnych w Polsce „wymuszona” ustawą o pracach podwodnych. Dla realizacji tej metody posiadamy w kraju cztery systemy nurkowe, w tym jeden system do nurkowań saturowanych. Ta metoda może być relatywnie racjonalnie stosowana w strefie głębokości 50-100m, z czasem pobytu nurka na głębokości do 1,5 godz. (obowiązujące tabele w naszym kraju przewidują maksymalny czas pobytu do 2 godz., w tym 0,5 godz. to zapas bezpieczeństwa). Nurkowie odbywają pierwsze przystanki dekompresyjne w atmosferze dzwonu nurkowego, bez oddziaływania środowiska wodnego. Po transferze w warunkach ciśnienia (operacja TUP – transfer under pressure) na wybranym przystanku dekompresyjnym, przechodzą oni do komory hiperbarycznej, w której kontynuują dekompresję.

W końcowej fazie dekompresji (od przystanków 12m) nurkowie oddychają czystym tlenem, wymagającym stosowania inhalatorów (BIBS wewnętrznego układu oddechowego komory). Dekompresja tlenowa trwa kilka godzin, co zakłóca komfort przebywania w komorze, ze względu na konieczność oddychania przez nurków w maskach (np. trwający 1 godz. 25 min. pobyt nurka na głębokości 85m wymaga dekompresji 13 godz. 26 min., w tym dekompresji tlenowej trwającej 4,5 godz. na przystankach dekompresyjnych 12m, 9m, 6m i 3m, podczas których nurkowie oddychają w cyklach 25 min., po których następuje 5 min. przerwy, podczas której zdejmują maski).

Dzwon typu, tak otwartego jak i zamkniętego, wymaga kompleksu nurkowego z pełnym wyposażeniem, dla zapewnienia warunków realizacji nurkowania głębokiego. Ekipa powinna liczyć minimum od 16 do 18 osób, wliczając w to 3 pary nurków. Dzwon na miejscu pracy umożliwia wykonywanie najcięższych prac, gdyż daje bezpieczne schronienie zmęczonemu nurkowi bezpośrednio po pracy. Wiązka węzowo-kablowa nurka przyłączona do dzwonu nurkowego powoduje, że nurek może się oddalić od dzwonu na określoną odległość, co ogranicza jego przemieszczanie się w stosunku do położenia dzwonu. Typowa długość takiej wiązki to 30m (możliwe jest zastosowanie dłuższej dla specjalnych procedur), co jest uwarunkowane bezpieczeństwem. (ograniczenie głębokości lub możliwości wyrzucenia nurka w kierunku powierzchni).

Organizacja nurkowania z dzwonem przyjęta od początku historii nurkowań głębokich przewiduje parę nurków pracujących pod wodą. Para pracująca w toni wodnej to najlepszy sposób wykonania pracy, jak i sprawowania wzajemnej asysekuracji. W ostanich latach, na skutek interwencji administracji w nurkowaniach z dzwonem otwartym, para jest podzielona zadaniami na nurka roboczego i operatora dzwonu. Operator dzwonu (z ang. Bellman) podczas nurkowania cały czas znajduje się w dzwonie. Działa on jako nurek asysekuracyjny, i jest przygotowany do wyjścia w toni wodną w sytuacji awaryjnej celem udzielenia pomocy nurkowi roboczemu. Operator dzwonu przebywa w nim bez hełmu i wyposażenia, które utrudniałoby pobyt w dzwonie. Wykonuje on czynności wspomaganie nurka roboczego z dzwonu itp. W przypadku pary nurków nie ma problemu z wejściem do dzwonu. Podtopienie dzwonu (stosowane tylko w dzwonach do tego przygotowanych) może ułatwić wpłynięcia nurka do dzwonu, nie tylko w sytuacjach awaryjnych.

Dekompresja w dzwonie odbywa się w korzystnych warunkach, bez zbędnego wysiłku i pod pełną kontrolą obsługi na powierzchni. Robocze czynniki oddechowe z reguły podawane są przez wiązkę kablowo-wężową dzwonu, która zabezpiecza również zasilanie dzwonu w energię elektryczną, oświetlenie, łączność oraz telewizję. Zasilanie awaryjne w gazy oddechowe i energię elektryczną realizowane jest z butli i baterii akumulatorów zainstalowanych na dzwonie.



Rys. 3 Zasada działania dzwonu typu otwartego.

W fazie I nurkowania-zanurzenia włącz dzwonu jest otwarty i szybkość opuszczania zależy od możliwości wyrównania ciśnienia nurków oraz utrzymania „poduszki powietrznej” w dzwonie. Faza II pobyt na dnie nie wymaga żadnej operacji związanej z dzwonem. W fazie III dekompresja częściowo odbywa się przy otwartym włącz dzwonu do przystanku dekompresyjnego, podczas którego możliwy jest transfer nurków do komory. Na tym przystanku zamyka się włącz i szybko podnosi dzwon do góry obserwując ciśnienie w dzwonie (nie dopuszczając do jego zmiany). Dzwon nurkowy jest konstrukcją złożoną technicznie i budowany jest pod dozorem towarzystw klasyfikacyjnych. Posiada określoną autonomiczność, dającą czas na działanie w sytuacji awaryjnej.

Zasada działania dzwonu otwartego pokazana jest na rysunku 3. Wadą tej metody jest wolne zanurzenie, co powoduje, że efektywny czas pracy nurka jest zmniejszony o czas zanurzenia, który jest wliczany do czasu pobytu na głębokości. W przypadku nurkowań głębokich jest to istotne, gdyż czas ten wydłuża się wraz z głębokością nurkowania. Dzwon powoduje, że bierna lub aktywna ochrona cieplna nurka musi odpowiadać czasowi jego pobytu w toni wodnej.

W latach 2004 i 2005 dla podwodnego montażu stosowano dzwon typu otwartego bez możliwości transferu nurków pod ciśnieniem (TUP) do komory dekompresyjnej. Tę metodę zastosowano przy budowie platformy bezzałogowej w strefie głębokości 52-56m, wykorzystując jedyny dostępny w tym czasie w kraju system nurkowy MOBNUK. Takie rozwiązanie było owocem wchodzącej w życie w końcu 2003 roku ustawy o pracach podwodnych, stanowiącej, że podwodne prace głębinowe muszą stosować dzwon nurkowy.

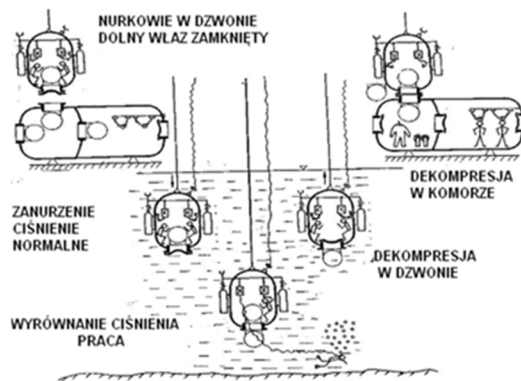
Przyjęcie tej metody spowodowało, że cała dekompresja odbywała się w dzwonie, który w końcowej jej fazie umożliwiał zastosowanie tlenu. Nie przewidywano w tym przypadku wykorzystania dekompresji powierzchniowej dla w/w nurkowań głębokich, ze względu na położenie bazy prac podwodnych 25m nad powierzchnią wody. W oficjalnych tabelach Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. nie ma tabel dla zastosowania dekompresji powierzchniowej przy nurkowaniach głębokich. Powierzchniowy sposób dekompresji skraca czas przebywania nurka w toni wodnej, i pozwala, by w ostatniej fazie dekompresji realizować ją w komfortowych warunkach w komorze dekompresyjnej. Ograniczeniami dekompresji powierzchniowej są; krótki czas przejścia z toni wodnej lub dzwonu typu otwartego do komory, krótkie czasy pobytu na głębokości, i zakaz wykonywania prac ciężkich przez nurka.

NURKOWANIE Z WYKORZYSTANIEM DZWONU TYPU ZAMKNIĘTEGO

Ta metoda nurkowania z zasady wykorzystuje system do nurkowań saturowanych. Nurkowanie to, w odróżnieniu od nurkowań saturowanych jest nazywane nurkowaniem typu „bounce” (z ang. skoczyć, odbić się)².

Jest to najbardziej efektywna z metod nurkowania głębokiego, stosowana w całym przedziale głębokości, tj. od 50 do 180m. Główny cel tego nurkowania to skrócić do minimum zanurzenie nurków tj. czas pobytu pod maksymalnym ciśnieniem głębokości. W tym celu dzwon nurkowy posiada dwa włązy, dolny dla możliwości opuszczenia nurka na głębokość w warunkach ciśnienia atmosferycznego, i górny dla możliwości transportu nurków w warunkach ciśnienia do komory. Nurek osiąga głębokość w warunkach ciśnienia atmosferycznego, na głębokości szybko wyrównuje ciśnienie do ciśnienia otoczenia napełniając dzwon mieszaniną roboczą. Daje to możliwość maksymalnego skrócenia czasu osiągnięcia głębokości roboczej. Szybkość podnoszenia ciśnienia w dzwonie osiąga średnio 30 m/min. i więcej, a szybkość zanurzenia znacznie wpływa na cykl nurkowania. Np. czas zanurzenia dzwonu otwartego na głębokość 100m waha się w granicach 8-12 min., i wlicza się do czasu pobytu nurka na głębokości (takie są reguły doboru dekompresji we wszystkich znanych autorowi tabelach, za wyjątkiem tabel rosyjskich). Przy stosowaniu dzwonu typu zamkniętego, czas podnoszenia również redukujemy do kilku minut. Jest to metoda o najniższym ryzyku w sytuacji przekroczenia tabelarycznych czasów pobytu, gdyż stanem awaryjnym tej metody jest nurkowanie saturowane.

Ilość godzin pracy nurków zależy od ilości par nurków, które mogą „przepuścić” przedziały komór hiperbarycznych systemu nurkowego. Właz dzwonu zamyka się na przystanku dekompresyjnym, podczas którego możliwe są szybkie wynurzenia dzwonu i transfer nurków do komory. Po operacji „TUP” dekompresja odbywa się tak jak w przypadku dzwonu otwartego. Np. gdy posiadamy trzy komory hiperbaryczne połączone ze sobą, lub komorę wieloprzedziałową, każdy przedział przewidziany jest dla następnej pary nurków. Jeden z przedziałów komory jest utrzymywany w gotowości dla ewentualnego wykonania procedury rekompresji leczniczych nurków, którzy odbyli dekompresję. Praca nurków odbywa się bez przerwy całą dobę tzw. metodą potokową. Zasadę pracy z dzwonem typu zamkniętego przedstawiono na rysunku nr 4.



Rys. 4 Zasada pracy nurkowanie z dzwonem typu zamkniętego (bounce).

Czas osiągnięcia gotowości do działania dla systemu nurkowania saturowanych, i do nurkowania głębokiego, liczony jest w dobach. Systemy do nurkowania głębokiego i saturowanych wymagają jednostek pływających o średniej wyporności, i najlepiej z systemem dynamicznego pozycjonowania.

NURKOWE WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI Z UŻYCIEM DZWONU TYPU OTWARTEGO

Opracowując technologię każdego nurkowania, nie tylko głębokiego, jednym z jej z podstawowych wskaźników, oprócz bezpieczeństwa, jest efektywność. Kryteria bezpieczeństwa są zawarte i „wymuszone” w przepisach, zaleceniach oraz tzw. „dobrej praktyce nurkowania”, i dotyczą organizacji, techniki i medycyny nurkowania.

Efektywność natomiast może być oceniana pod wieloma aspektami, np. nakładami finansowymi, czasem wykonania pracy, doбором techniki nurkowej, obsadą i kwalifikacjami ekipy nurkowej, zużyciem gazów oddechowych i materiałów eksploatacyjnych, skutkami organizacyjno-finansowymi zależnymi od głębokości i realizacji dekompresji, charakterystyką posiadanej techniki nurkowej itd.

Opracowując od lat technologie nurkowania głębokiego, autor stosuje następującą ocenę efektywności, która pośrednio zawiera wyżej wymienione problemy. Ujmując problem całościowo, efektywność tworzy się w bardzo skomplikowany, wielowarstwowy układ, który jest przypisany tylko dla konkretnego systemu nurkowego, i jego środowiska. Zdaniem autora, pomiar efektywności dla porównania technologii nurkowania, systemów nurkowych oraz prac podwodnych, prowadzony powinien być w tych samych uwarunkowaniach.

Tab. 1

Przykładowy zestaw danych dla obliczenia efektywności nurkowania [14].

No.	Parametry nurkowania dla głębokości ustawienia dzwonu na 72m	Wyróżniki i jednostki
1	Prędkość zanurzania przebieg rzeczywisty/ dopuszczalny w tabeli dekompresyjnej	[9 m/min] / [30 m/min]
2	Czas zanurzenia dzwonu do głębokości 72m	9 min
3	Czas dojścia nurka do miejsca pracy	4 min
4	Głębokość pracy nurka*	82m
5	Czas powrotu nurka do dzwonu	5 min
6	Czas pobytu nurka na głębokości	57 min
7	Czas dekompresji	9 h 01min (541min)
8	Czas cyklu nurkowego	9 h 58 min (598 min)
9	Czas pobytu dzwonu w toni wodnej (od startu zanurzenia do operacji TUP)	2 h 41min (161 min)
10	Współczynnik efektywności nurkowania tabel E_d określony stosunkiem czasu pobytu nurka na głębokości do czasu cyklu nurkowania	9.5%
11	Współczynnik efektywności E_n pracy nurka określony stosunkiem czasu pracy nurka na głębokości do czasu cyklu nurkowania	6.5%
12	Stosunek czasu pracy nurka do czasu pobytu na głębokości E_g	65%

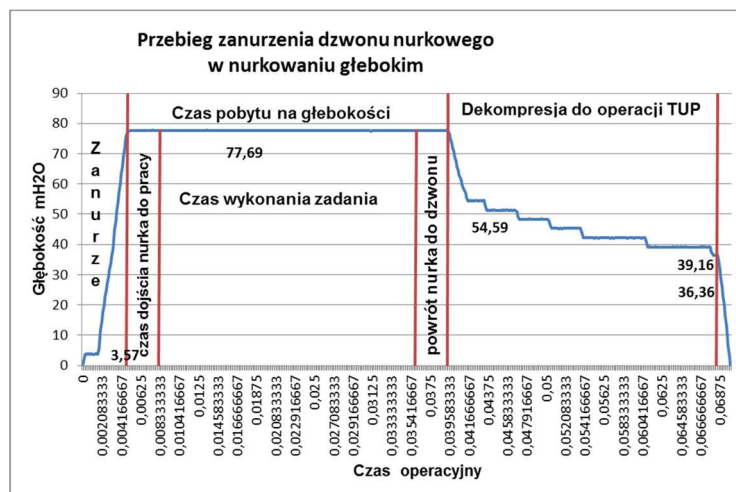
* Głębokość pracy nurka jest większa od głębokości zanurzenia dzwonu nurkowego.

Dla oceny kryterium efektywności autor wybrał następujące aspekty nurkowe. Ocena efektywności nurkowania opiera się na porównaniu trzech wskaźników dla danych głębokości, i wariantów wykorzystania tabel dekompresyjnych, oraz sprawności pracy nurka. Pierwszy wskaźnik E_d dotyczy efektywności stosowanych tabel dekompresyjnych, liczony jako czas pobytu nurka na danej głębokości do czasu cyklu nurkowania. Drugi E_n to parametr dotyczący organizacji nurkowania. Jest to stosunek czasu realnej pracy nurka na głębokości do czasu cyklu nurkowania. Pierwszy wskaźnik E_d jest parametrem wyjściowym, podczas opracowywania technologii nurkowania (tabela nr 3). Drugi wskaźnik E_n jest parametrem świadczącym o poziomie organizacji prac podwodnych, i wynika z praktyki (tabela nr 4). Jeśli te wskaźniki są zbliżone, to świadczy to o efektywnej pracy podwodnej, co jest równoznaczne ze sprawną organizacją pracy podwodnej. Trzecim jest wskaźnik E_g wykorzystania czasu pracy. Określony jest on stosunkiem czasu pracy nurka do czasu pobytu na głębokości (tabela nr 5).

Oczywiście inne wskaźniki efektywności też są brane pod uwagę i obliczane, jednakowoż wykorzystuje się tylko wybrane z nich dla rozmów ze zleceniodawcą prac podwodnych. Np. pracując w strefie głębokości 50-80m stosujemy tylko dwie mieszanki, roboczą i dekompresyjną. Nie wykorzystujemy optymalnej mieszanki do danej głębokości, gdyż nie posiadamy stosownej ilości magazynów gazu (wiązek butlowych), i nie jest to optymalne z punktu widzenia nakładów i organizacji prac podwodnych.

Różnica głębokości zanurzenia dzwonu i głębokości pracy nurka również wpływa na efektywne działanie. Głębokość pracy nurka jest zawsze większa od głębokości, na której znajduje się dzwon. Zdarzają się sporadyczne przypadki, podczas których nurek wykonuje krótkie zadania ponad poziomem dzwonu nurkowego, np. przy montażu lub demontażu głowicy wydobywczej, jednakowoż nie wpływają one na ogólną ocenę efektywności jego działania. Zanurzenie dzwonu, szczególnie gdy nurek pracuje w strukturach instalacji głowic wydobywczych, wymaga, by dzwon i jego balasty stabilizujące znajdowały się nad tymi strukturami. Ułatwia to nurkowi dotarcie do miejsca pracy i powrót do dzwonu, oraz unika się, dzięki temu, zaczepienia dzwonu o struktury w przypadku nieprzewidywanego przesunięcia się jednostki pływającej, z której ten dzwon opuszczamy.

Dzwon jest połączony z bazą za pomocą liny nośnej, oraz zapewniającej nurkom przetrwanie wiązki węzowo-kablowej, która zasila ich w mieszanki oddechowe, energie elektryczną, oraz zapewnia grzanie, łączność oraz obraz TV, podaje parametry nurkowania i stanu atmosfery dzwonu.



Rys. 5 Przebieg realnego zanurzenia dzwonu na głębokość 78m, ze wskazaniem czasów mających wpływ na efektywność nurkowania.[14].

DANE PODWODNYCH PRAC GŁĘBINOWYCH NA POLSKIM SZELFIE

W tabeli nr 2 przedstawiono wykaz prac podwodnych, przygotowanych i realizowanych przez i przy współudziale ZTPP AMW, dla potrzeb polskiego przemysłu wydobywczego ropy naftowej od 1994 roku, z wyszczególnieniem rodzaju mieszanin i bazy prac podwodnych. Stosowane technologie i procedury nurkowania głębokiego po roku 1993 opracowane były w ZTPP, przy współpracy Katedry Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej. Podczas realizacji podwodnych prac głębinowych w naszym kraju, w nurkowaniach komercyjnych stosowano cztery table dekompresyjne.

- Tabele US Navy z użyciem helioksu do 1987 r., adaptowane dla aparatu o obiegu półzamkniętym FGG-III.
- Tabele trimiksowe adaptowane z francuskich tabel firmy DORIS dla aparatu FGG-III do 1995,
- Polskie table trimiksowe dla obiegu otwartego opracowane przy udziale Katedry Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej, stosowane do 2007 r.
- Czwartymi tabelami stosowanymi obowiązkowo w nurkowaniach komercyjnych w naszym kraju od 2008 do chwili obecnej są table helioksose, podane w Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r., w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych [11].

W strefie nurkowań głębokich 50-120 w/w rozporządzenie zawiera trzy rodzaje tabel, w zależności od stosowanej techniki nurkowej i składu mieszanki roboczej, dekompresyjnej, oraz tlenu w ostatniej fazie dekompresji. Poniżej przedstawiam krótką charakterystykę tych tabel.

I - tabele helioks/tlen/6m - przeznaczone dla nurkowania z platformy lub przy pomocy liny opustowej, oraz oczywiście dzwonu nurkowego Pokrywają one strefę głębokości 51-69m, przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 22-24% O₂ i 20-22% O₂. Tabele te, od głębokości 6m w dekompresji stosują tlen. Intencją tak rozwiązanej dekompresji tlenowej jest jej realizacja w toni wodnej, która jest obecnie dopuszczalna jedynie w kilku krajach, ze względu na tradycje i posiadaną technikę. W polskich dokumentach formalnych brak jest odniesień na ten temat stosowania dekompresji tlenowej w wodzie, chociaż nie ma przeciwwskazań do jej stosowania Dla wyboru dekompresji czasy pobytu na głębokości podawane są co 10 min. Maksymalne czasy pobytu dla granicznych głębokości strefy to 90 min. i 60 min.

Tab. 2

Wykaz podwodnych prac głębinowych od 1994 na polskim szelfie [14].

Lp.	Rok	Ilość nurkowań	Głębokości [m]	Mieszanina robocza	Baza prac podwodnych
1	1994	17	75-80	trimiks	ORP Lech
2	1995	50	50-80	trimiks	ORP Lech
3	1996	8	75-80	trimiks	ORP Lech
4	1997	2	75-80	trimiks	Af-2 Platforma Petrobaltic
5	2001	42	75-80	trimiks	Af-2 Platforma Petrobaltic
6	2002	70	50-60	trimiks	ORP Lech
7	2004	30	50-60	trimiks	MOBNUR Platforma
8	2005	24	50-60	trimiks	MOBNUR Platforma
9	2008	43	50-80	helioks	Af-2 ATHS Bazalt
10	2009	138	50-80	helioks	Af-2 ATHS Bazalt
11	2010	6	50-80	helioks	Af-2 ATHS Bazalt
12	2012	2	50-60	helioks	Af-2 ATHS Bazalt
13	2013	84	50-61	helioks	Af-2 ATHS Bazalt
14	2014	41	50-80	helioks	Af-2 ATHS Bazalt
15	2015	19	50-81	helioks	Af-2 ATHS Bazalt
16	2016	57	50-84	helioks	Af-2 ATHS Bazalt
17	2017	9	50-85	helioks	Af-2 ATHS Bazalt
18	2018	47	50-86	helioks	Af-2 ATHS Bazalt

II - tabele helioks/tlen/12m - dla nurkowania z użyciem dzwonu mokrego do wyboru dekompresji czasy pobytu na głębokości podawane są co 10 min. Do dekompresji stosują powietrze lub helioks 20-22% O₂ od głębokości 30m, i tlen od głębokości 12m pokrywają, w zależności od stosowanej mieszaniny strefy głębokości:

51-60m przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 20-22% O₂. Maksymalne czasy pobytu dla granicznych głębokości całej strefy 110 min. i 60min.

51-69m przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 18-20% O₂. Maksymalne czasy pobytu dla granicznych głębokości całej strefy 100 min. i 60min.

51-78m przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 17-18% O₂. do dekompresji stosują tlen na głębokości 6m. Od głębokości 24-36m stosują powietrze i od 12, tlen. Maksymalne czasy pobytu dla granicznych głębokości całej strefy to 90 min. i 50 min.

III - tabele helioks/dzwon - dla nurkowania z użyciem dzwonu zamkniętego i otwartego do wyboru dekompresji czasy pobytu na głębokości podawane są co 15 min. Do dekompresji stosują helioks roboczy i helioks 20-22%, O₂ od głębokości zależnej od głębokości nurkowania, a tlen od głębokości 12m. Minimalne i maksymalne czasy pobytu są stałe dla całej strefy głębokości 50-120m, i są ujmowane w okresach co 15 min., aż do 120 min. Pokrywają, w zależności od stosowanej mieszaniny, strefy głębokości:

51-69m przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 18-20% O₂.

51-78m przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 16-18% O₂.

51-87m przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 14-16% O₂.

57-99m przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 12-14% O₂.

72-120m przy zastosowaniu mieszanin helioksowych 10-12% O₂.

Takie rozwiązanie tabel dekompresyjnych teoretycznie pozwala na głębokości 75m poprowadzić nurkowanie wybierając mieszaninę z 5-ciu możliwości, przy różnych czasach dekompresji. W tym przypadku posiadamy pięć wskaźników efektywności.

Na efektywność wpływa również budowa tabel. Sposób dekompresji w przypadku tabel I i II dobierany jest w przedziałach co 10 min. Przy stosowaniu tabeli III, przedłużenie czasu pobytu o jedną minutę, np. z 15 min. na 16 min., wymusza na nas wybór czasu dekompresji dla 30-0 minutowego pobytu nurka na głębokości.

Tabele dekompresyjne helioks/dzwon w swojej budowie uwzględniają czas obsługi dzwonu, mimo że dzwon można wykorzystać dla dowolnej tabeli i mieszaniny, co wynika z Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. Pozostałe tabele, chociaż podobne w swojej budowie, nie posiadają tak szerokiej możliwości operowania mieszaninami.

W tabelach tych także dobieramy mieszaninę do głębokości, ale maksymalne czasy pobytu nie przekraczają 60 min., co pokazano poniżej w przypadku tabel I i II. Do dekompresji wybieramy sposób przewidziany dla czasu pobytu 40 min., a ponadto musimy zastosować powietrze w jej środkowej fazie. W tabelach nr 4 i nr 5 pokazano wpływ zastosowania rodzaju tabel dekompresyjnych na współczynniki efektywności nurkowania. Różnice w czasie dekompresji dla konkretnych sposobów jej realizacji, dla tych samych parametrów wyjściowych, sięgają godzin, co wpływa na wskaźniki efektywności nurkowania.

Tab. 3

Długość dekompresji typowych dla wybranych głębokości polskiego szelfu, i mieszanin helioksowych dla czasu pobytu nurka 40min z wykorzystaniem tabel dekompresyjnych, z Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. [11].

Dekompresja dla czasu pobytu na głębokości 40min

Lp.	Głębokość	Mieszanina helioksową Zawartość O ₂	Tabele helioks/tlen/12m Czas dekompresji [godz.: min]	Wskaźnik Ed [%]	Tabele helioks/dzwon Czas dekompresji [godz.: min]	Wskaźnik Ed [%]
1	60m	18-20%	2:19*	22,3	2:45	19,5
2		20-22%	2:11	23,4	2:26	21,5
3		10-12%	nie występują	-	5:33	10,7
4	70m	12-14%	nie występują	-	5:16	11,2
5		14-16%	nie występują	-	4:54	12,0
6		16-18%	3:14*	17,1	3:59	14,3
7	80m	10-12%	nie występują	-	7:04	8,6
8		12-14%	nie występują	-	6:39	9,1
9		14-16%	nie występują	-	6:09	9,8
10	90m	10-12%	nie występują	-	8:49	7,0
11		12-14%	nie występują	-	7:59	7,7

*Dla mieszaniny 17-18% tlenu.

Tab. 4

Tabela porównawcza wskaźników wykorzystania pobytu nurka na głębokości E_n dla tabel dekompresji do nurkowań głębokich stosowanych w Polsce [14].

Głębokość	Tabele/Mieszanina	Czas pobytu/ efektywności E _n		
		30 min/ [%]	45 min/ [%]	60min/ [%]
60 m	MW/ trimiks	18,3%	19,9%	21,6%
	US Navy/ helioks [1]	25,6%	24,7%	35,9%
	Polski trimiks [12]	17,8%	19,8%	21,6%
	Krajowe -COMEX helioks [11] *	28,8%	26,3%	25,4%
70 m	MW/ trimiks	15,3%	16,9%	17,8%
	US Navy/ helioks	20,7%	23,4%	31,3%
	Polski/ trimiks	14,7%	16,4%	17,5%
	Krajowe- COMEX /helioks*	23,9%	18,4%	17,3%
80 m	MW/ trimiks	11,8%	12,4%	13,5%
	US Navy/ helioks	18,4%	21,0%	28,0%
	Polski trimiks	14,8%	12,2%	12,9%
	Krajowe- COMEX helioks*	12,8%	12,7%	11,6%
87 m**	MW/ trimiks	9,8%	10,3%	11,4%
	US Navy/ helioks	16,7%	17,9%	25,4%
	Polski trimiks	9,5%	10,0%	10,8%
	Krajowe- COMEX helioks*	9,9%	9,3%	9,1%

*Dane dla helioksu roboczego o zawartości tlenu 15%±1%

**Maksymalna głębokość stosowania helioksu o zawartości tlenu 14-16%.

W tabelach nr 3,4,5 i 6 pokazano wartości wskaźników E_g Ed i E_n wybranych prac podwodnych z lat 2008-2013. Wartości procentowe wskaźników stają się coraz niższe, wraz ze zwiększaniem się głębokości i czasów pobytu na niej nurka, Jest to, oczywiście związane ze wzrostem czasu dekompresji, oraz relacją czynności operacyjnych nurka, a wydłużaniem się



czasu jego pobytu w toni. Wybór krótszej dekompresji przynosi widoczne efekty już po kilkunastu nurkowaniach głębokich, i tzw. nurkowaniach potokowych.

Ponadto, krótsza dekompresja to mniejsze nakłady, czyli zużycie energii gazów, oraz krótsza praca ekipy nurkowej. Ten pozytywny aspekt będzie zakłócony, jeśli gratyfikacja za pracę nurka zależna jest od długości cyklu nurkowania, na który decydujący wpływ ma dekompresja. W tym przypadku będą występowały tendencje do jej wydłużania. W większości firm nurkowych nurek otrzymuje wynagrodzenie ryczałtowe za umowy dzień pracy.

Tab. 5

Tabela wskaźników wykorzystania pracy nurka E_n dla tabel dekompresji do nurkowań głębokich stosowanych w Polsce [14].

Głębokość	Tabele/Mieszanina	Czas pobytu/wskaźnik efektywności E_n		
		30 min/ [%]	45 min/ [%]	60min/ [%]
60 m	MW/ trimiks [17]	15,5%	16,6%	17,8%
	US Navy/ helioks [1]	20,4%	21,2%	26,4%
	Polski trimiks [12]	15,1%	16,5%	17,8%
	Krajowe- COMEX helioks [11] *	22,4%	20,8%	20,3%
70 m	MW/ trimiks	13,3%	14,4%	15,1%
	US Navy/ helioks	17,1%	19,0%	23,8%
	Polski/ trimiks	12,8%	14,1%	14,9%
	Krajowe -COMEX /helioks*	19,3%	15,5%	14,8%
80 m	MW/ trimiks	10,6%	11,0%	11,9%
	US Navy/ helioks	15,5%	17,4%	21,9%
	Polski trimiks	12,9%	10,9%	11,5%
	Krajowe- COMEX helioks*	11,3%	11,3%	10,4%
87 m**	MW/ trimiks	8,9%	9,3%	10,2%
	US Navy/ helioks	14,3%	16,0%	20,3%
	Polski trimiks	8,6%	9,4%	9,7%
	Krajowe- COMEX helioks*	9,0%	8,5%	8,4%

*Dane dla helioksu roboczego o zawartości tlenu $15\% \pm 1\%$.

**Maksymalna głębokość stosowania helioksu o zawartości tlenu 14-16%.

Tab. 6

Tabela wskaźników E_g wykorzystania czasu pracy [14].

Głębokość [m]	t_{oper} dla czasu pobytu 30min [min]	t_{pracy} dla czasu pobytu 30min [min]	Wskaźnik E_g [%]
60	14	16	53
70	15	15	50
80	16	14	47
90	17	13	43
t_{oper} dla czasu pobytu 45min [min]		t_{pracy} dla czasu pobytu 45min [min]	Wskaźnik E_g [%]
60	14	31	62
70	15	30	67
80	16	29	71
90	17	28	76
t_{oper} dla czasu pobytu 60min [min]		t_{pracy} dla czasu pobytu 60min [min]	Wskaźnik E_g [%]
60	14	46	77
70	15	45	75
80	16	44	73
90	17	43	72

W tabeli oznaczono t_{oper} - czas czynności nurka wraz z zanurzeniem przeznaczonych na dojsście i powrót do dzwonu nurkowego, t_{pracy} - czas wykonania zadania podwodnego.

WNIOSKI I PROPOZYCJE

- Nurkowania głębokie w pracach podwodnych, mimo bardzo niskiej efektywności, są i będą stosowane, ale tylko do stref głębokości, w których mogą konkurować z nurkowaniem saturowanymi. Strefy głębokości polskiego szelfu pozyskiwania ropy naftowej i gazu (50-90m) w dużej przewadze są strefami właśnie tej konkurencji. Aspekty „czysto” nurkowe podwodnych prac głębokich odsuwają się na drugi plan w przypadku specyfiki, zakresu i technologii prac podwodnych, które są narzucone przez zleceniodawcę. Efektywność nurkowań głębokich jest „porzucona” na rzecz terminowego efektu końcowego i korzyści biznesowej.

- Nurkowania głębokie dla celów komercyjnych są utrzymane w „gorsecie” sformalizowania, co nie pozwala na elastyczne podejście do potrzeb rynkowych, gdzie liczy się efektywność z zasadą optimum nakładów i maksimum efektu. Takimi nurkowaniami, które odpowiadają tej zasadzie, są nurkowania techniczne. W nurkowaniach tych do konkretnych zadań podwodnych dobiera się i przygotowuje technikę nurkową i dekompresję. Uważam, że tę metodę nurkowania trzeba wprowadzić oficjalnie do nurkowań komercyjnych w naszym kraju. Istnieje już ona na świecie od wielu lat obok głównego nurtu prac komercyjnych. Np. wykonanie podwodnych filmów, poszukiwań, prac interwencyjnych. Wprowadzenie tej metody do podwodnych prac głębinowych w Polsce wpłynie pozytywnie na aktualizację dokumentów formalnych i rozwój nurkowania głębokiego.
- W pracach głębinowych korzystamy z tabel dekompresyjnych wprowadzonych w 1992 r., a to oznacza, że prace nad nimi rozpoczęły się jeszcze w końcu lat siedemdziesiątych. Teoria dekompresji nurkowań głębokich rozwinęła się od tamtego czasu w kierunku jej dokładniejszego modelowania i doboru do konkretnych zadań. Zdaniem autora, w naszym kraju powinien zostać utworzony ośrodek weryfikacji aktualnych modeli dekompresji stosowanych dla nurkowań technicznych, militarnych oraz gospodarki narodowej.
- Zwiększenie efektywności nurkowań głębokich rozpatrzyć powinno się w trzech grupach problemów: skrócenie czasu dotarcia do miejsca pracy nurka, zorganizowanie i udoskonalenie jego podwodnego zadania, oraz w doborze optymalnej dekompresji.
- Efektywność nurkowań głębokich aktualnie stosowanych możemy zwiększyć poprzez:
 - ✓ nieprzywiązywanie działalności nurków do jedynych tabel dekompresji, a umożliwienie ich wyboru,
 - ✓ dopuszczenie w głębinowych pracach podwodnych metod nurkowania bez użycia dzwonu nurkowego np. do głębokości 75m lub według „zasięgu” danej technologii nurkowania. Dla prac głębinowych o małym zakresie autor sugeruje, że konieczne jest wprowadzenie „lekkich” (bez stosowania dzwonu nurkowego) technologii nurkowań głębokich,
 - ✓ udoskonalenia techniki nurkowej np. poprzez wprowadzenie dzwonu typu zamkniętego,
 - ✓ obligatoryjne wykorzystanie technik wspomagających wykonanie pracy nurka np. „ROV” który towarzyszy nurkowi od przygotowania prac poprzez dane ze zwiadu nurkowego (film z miejsca pracy), a także doprowadzi nurka do miejsca zadania podwodnego, oraz będzie obserwować jego działanie.
- Podwodne prace głębinowe w naszym kraju nie są codziennością rynku usług podwodnych, a odbywają się kampanijnie z relatywnie długimi przerwami (niekiedy sięgającymi ponad rok). Ten fakt nie wpływa pozytywnie na ich rozwój. Dlatego usługodawcy podwodnych prac głębinowych nie ukierunkowują się na utrzymanie potencjału ich wykonania. Nurkowania głębokie są potrzebne są również dla krajowego potencjału obronności. Dla gotowości i szybkiej mobilizacji krajowego potencjału techniczno – organizacyjnego głębinowych prac podwodnych konieczna jest współpraca pomiędzy sektorami cywilnym i obronności. W sektorze obronności trwa systematyczne utrzymywanie w gotowości ekip nurkowych i głębinowych baz prac podwodnych, czego jest pozbawiony sektor cywilny usług podwodnych w którym mobilizuje się ekipę i bazę na zapotrzebowanie z przemysłu offshore.

LITERATURA

1. US Navy Diving Manual". Published by Direction of Comander of Navy. Revision 7, 2016;
2. NOAA Diving Manual" Diving for Science and Technology US Department of Commerce USA 2002;
3. Skrzyński S. – „Rys historyczny nurkowań głębokich w Polsce. Część I Ogólna charakterystyka nurkowań głębokich”. Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, czasopismo: Polish Hyperbaric Research, rok 2006;
4. Nuno Gomez. Brief history of deep technical diving in the last 20 years. Artykuł 2009 www.mydivealbum.com;
5. Tom Mount "Technical diver" IANTD edition first 1998. ISBN 0-915539;
6. Imber P. – „Commercial diving: 90m operational aspects” Divetech, Chemin des Vignasses rok 2003;
7. Consensus standard for commercial diving operations” Association of Diving Contractors INC 6 – th edition 2011;
8. JP Imbert, D Paris, J Hugo "The Arterial Bubble Model for Decompression Tables Calculations. Debetach 2004;
9. Ustawa z dnia 17 października 2003 r. o wykonywaniu prac podwodnych;
10. T. Mount, B. Gikiam. „Mixed gas diving” Watersport Publishing Inc. San Diego USA 1993 ISBN0 - 922769-41-9;
11. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 września 2007 r. w sprawie warunków zdrowotnych wykonywania prac podwodnych;
12. Projekt celowy nr 11/BO umowa nr 148 308/C-T00/2001: „Nurkowania głębokie dla potrzeb Ratownictwa Morskiego”. Analiza zagranicznych systemów nurkowań głębokich w aspekcie uwarunkowań krajowych;
13. Wymiana poglądów na temat nurkowań głębokich ze specjalistami zagranicznymi i krajowymi;
14. Dane z podwodnych prac głębinowych na polskim szelfie;
15. Diving Recommended Practice Report No. 411 June 2008 The International Association of Oil & Gas;
16. The professional diver's hand book John Bevan SUBMEX 2005;
17. Sygn. Mar. Woj. 860/81: Tabele dekompresji i rekompresji nurków. Dowództwo Marynarki Wojennej, Gdynia 1982;
18. Michael Menduno "Anatomy of a Commercial Mixed-Gas Dive" <http://www.alertdiver.com> 2012.

Stanisław Skrzyński

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

¹ Wg poz. [9] Art. 2. p1. Użyty w ustawie definicja: 1) baza prac podwodnych - miejsce zainstalowania urządzeń technicznych i wyposażenia umożliwiających bezpieczne przygotowanie i przeprowadzenie prac podwodnych oraz czynności po ich zakończeniu;

² Słowo „bounce” jest również używane jako nazwa nurkowań krótkotrwałych.

