

WSTĘPNA WERYFIKACJA APLIKACJI DO OBLICZEŃ PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH PODCZAS PRODUKCJI MIESZANINY TRIMIKSOWEJ

Budyh Piotr¹⁾, Olejnik Adam²⁾

¹⁾ Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

²⁾ Katedra Technologii Prac Podwodnych, Akademia Marynarki Wojennej

STRESZCZENIE

W materiale przedstawiono efekty pracy dyplomowej inżynierskiej realizowanej w Katedrze Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Przedmiotem pracy było usprawnienie obliczeń podczas produkcji mieszaniny trimiksowej na bazie uprzednio wytworzonej mieszaniny nitroksowej. Dokonano tego w drodze opracowania specjalnej aplikacji komputerowej. W artykule opisano przyczyny stosowania sztucznych czynników oddechowych, opracowaną w ramach pracy dyplomowej aplikację oraz sposób jej wstępnej weryfikacji, a także kierunki dalszych działań badawczych.

Słowa kluczowe: inżynieria mechaniczna, technologia prac podwodnych.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2021 Vol. 75 Issue 2 pp. 7 - 14

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2021-0007

Strony: 8, rysunki: 3, tabele: 0

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

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 08.09.2020 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 14.01.2021 r.



WSTĘP

Bezpieczne nurkowanie nierozzerwalnie związane jest między innymi z oddychaniem sprężonym powietrzem. Dostarczanie nurkowi gazu oddechowego pod ciśnieniem odpowiadającym aktualnej głębokości nurkowania to podstawowa funkcja celu każdego sprzętu do oddychania pod wodą, niezależnie od jego konstrukcji. Naturalnym czynnikiem oddechowym człowieka jest powietrze, które w historii Ziemi jest jej trzecią atmosferą. A najistotniejszym dla człowieka składnikiem tej atmosfery jest tlen, którego zawartość w jednostce objętości wynosi 20,95% [1]. Drugim pod względem udziału, w warunkach normobarycznych obojętnym dla człowieka, składnikiem powietrza jest azot. Jego zawartość w jednostce objętości wynosi 78,09%. Z czego wynika, że naturalnym czynnikiem oddechowym człowieka jest tak naprawdę mieszanina azotu i tlenu, która zawiera jeszcze inne składniki w śladowych ilościach: najwięcej argonu (0,95%) potem dwutlenku węgla (wartość zmienna do 0,03%), następnie wodór (0,01%) i śladowe ilości nieprzekraczające łącznie 0,01% helu, neonu, kryptonu i ksenonu [1]. Jak pokazuje rozwój techniki głębinowej, ten naturalny gaz oddechowy nie zawsze i nie w każdych warunkach jest przyjazny nurkowi.

W 1878 roku Paul Bert opublikował wyniki badań związanych z oddychaniem tlenem w warunkach podwyższonego i obniżonego ciśnienia. Jednym z jego wniosków było ustalenie toksycznego oddziaływania tlenu pod zwiększonym ciśnieniem na centralny układ nerwowy, co manifestowało się między innymi występowaniem drgawek [2]. Dwie dekady później inny badacz zidentyfikował odmienną postać toksyczności tlenowej. Lorrain Smith stwierdził ciężkie zapalenie płuc u szczura po czterech dniach ekspozycji na 73% tlenu [3]. Tak więc koniec XIX wieku daje dwa odkrycia związane z dwoma postaciami toksyczności tlenowej: *efekt Berta* związany z ciśnieniem ekspozycji tlenowej i *efekt Smitha*, związany z długotrwałą ekspozycją tlenową. Tu pojawia się zjawisko, które Krzyżak określa jako „*niezwykły paradoks*” – gaz, który jest niezbędny do życia, a nawet zapobiega śmierci cechuje się bardzo znaczącą toksycznością pod odpowiednio wysokim ciśnieniem i długim czasie ekspozycji [3]. Natomiast początek XX wieku przynosi nowe odkrycia związane z oddziaływaniem azotu, chociaż pierwsze doniesienia odnośnie tego zjawiska poczynił już w 1835 roku Junod, ale nie zinterpretował ich odpowiednio [2].

W 1927 roku Damant zauważył u nurków oddychających powietrzem pod ciśnieniem 7 ata poważne zmiany osobowości, zaburzenia pamięci przypominające objawy zatrucia alkoholem, pojawiły się też zaburzenia emocjonalne i trudności w wykonywaniu poleceń [3]. Przy czym omyłkowo jako ich przyczynę Damant podał wzrost ciśnienia parcjalnego tlenu. Dopiero 1935 roku Albert Behnke podjął badania, w wyniku których stwierdził, że już od głębokości 20 metrów u nurków oddychających powietrzem mogą pojawiać się zaburzenia umysłowe cechujące się przede wszystkim stanem euforii oraz spowolnienie procesów myślowych i upośledzenie koordynacji nerwowo-mięśniowej. Jako przyczynę, tym razem prawidłowo, wskazano wzrost ciśnienia parcjalnego azotu [3].

W ten sposób na przestrzeni niespełna 60 lat na przełomie XIX i XX wieku badacze zdefiniowali powietrze jako gaz, który w przypadku nurków może być niebezpieczny. To eliminuje powietrze z głębokiego nurkowania i stwarza konieczność zastosowania sztucznych czynników oddechowych. Zasada w tym przypadku jest prosta, czym chcemy nurkować głębiej i na zadanej głębokości przebywać dłużej, do oddychania musimy zastosować gaz o mniejszej zawartości tlenu i azotu. Dodatkowym warunkiem jest konieczność zastosowania gazu o mniejszej gęstości niż powietrze. W wyniku czego w nurkowaniu pojawiło się szereg różnych czynników oddechowych wyprodukowanych sztucznie. Oczywiście, każdy z nich niesie ze sobą również zagrożenia dla organizmu nurka, przykładowo na dużych głębokościach w postaci zespołu neurologicznego wysokich ciśnień [3]. Zależności pomiędzy ciśnieniem ekspozycji a rodzajem stosowanych czynników oddechowych i skutkami dla organizmu nurka podała A.Majchrzycka w pracy [4], co pokazano na Rys. 1.

CZYNNIKI ODDECHOWE	CIŚNIENIE OTOCZENIA	PROBLEMY FIZJOLOGICZNE
Powietrze atmosferyczne (tlen+azot)	0,1 MPa	Zatrucie dwutlenkiem węgla
Sprężone powietrze (tlen+azot)		
Nitroks 32% Tlen, 68% Azot	0,4 MPa	Zatrucie tlenem
Nitroks 36% Tlen, 64% Azot		Narkoza azotowa
Helioks (tlen+hel)	0,6 MPa	
	1,5 MPa	
Trimiks (tlen+azot+hel)	5,1 MPa	Zespół neurologiczny wysokich ciśnień
Hydrelioks (tlen+hel+wodór)		
Hydroks (tlen+wodór)	7,0 MPa	

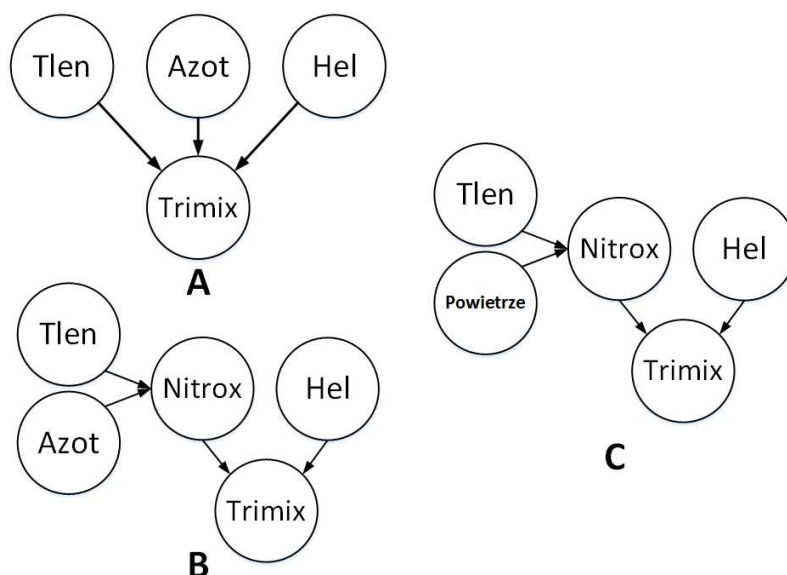
Rys. 1 Zależność pomiędzy ciśnieniem, rodzajem zastosowanego czynnika oddechowego a skutkami oddziaływania na organizm nurka, na podstawie [4].

Generalnie wybór konkretnego rodzaju mieszanki oddechowej do realizacji nurkowania jest uzależniony od następujących czynników [5]:

- metaboliczne zapotrzebowanie tlenu oraz szkodliwe oddziaływanie na organizm nurka jego nadmiaru lub niedomiaru,
- stopień toksycznego oddziaływania pozostałych składników mieszanki,
- wpływ sprężonych gazów na centralny układ nerwowy człowieka,
- wpływ lepkości i podwyższonej gęstości gazu na opór podczas oddychania,
- stopień zniekształcenia widma głosu w atmosferze zawierającej sprężone gazy lekkie,
- własności cieplne gazów,
- warunki dekompresji zależne od stopnia rozpuszczalności gazów we krwi i płynach tkankowych,
- stopień zagrożenia pożarowego,
- koszt i dostępność składników mieszanki oddechowej.

Najbardziej ekonomicznym czynnikiem oddechowym w zakresie głębokości powyżej 50 m są mieszanki azotowo-helowo-tlenowe (trimiks) i helowo-tlenowe (helioks) [6]. Z powyższych wymienionych sztucznych czynników oddechowych, najbardziej skomplikowaną pod względem technologicznym jest mieszanka trójskładnikowa – trimiks. Można ją wykonać na trzy sposoby. Sposób A (Rys. 2) polega na zmieszaniu czystych gazów komponentów. Sposoby B i C to kompilacja polegająca na produkcji trimiksu na bazie wcześniej wytworzonego nitroksu. W pierwszym wariancie (B) nitroks jest produkowany z gazów czystych, a w drugim (C) nitroks jest produkowany z powietrza i tlenu. Metodyka obliczeń stosowanych podczas określania poszczególnych ciśnień technologicznych wykorzystywanych podczas produkcji gazów metodą ciśnieniową jest szeroko opisana w literaturze przedmiotu, np. w pozycjach: [5,6,7,8,9,10,11].

Chociaż obliczenia nie są skomplikowane to mogą być żmudne. Z tych powodów w ramach pracy dyplomowej inżynierskiej realizowanej w Katedrze Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni zrealizowano zadanie polegające między innymi na usprawnieniu procesu obliczeń. W tym celu zaprojektowano specjalną aplikację, która w prosty i przejrzysty sposób pozwala użytkownikowi obliczyć dane niezbędne podczas produkcji mieszanki trimiksowej. Praca została z powodzeniem obroniona na wiosnę 2021 roku.



Rys. 2 Sposoby wyprodukowania mieszanki trójskładnikowej (omówienie w tekście).

APLIKACJA DO OBLICZANIA PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH PODCZAS PRODUKCJI MIESZANKI TRIMIKSOWEJ

Opracowana aplikacja do obliczeń parametrów technologicznych podczas produkcji mieszanki trimiksowej jest dedykowana do produkcji gazu z uprzednio wyprodukowanej mieszanki nitroksowej. Sekcja „Dane Wejściowe” (Rys. 3) wymaga wprowadzenia składu oczekiwanej mieszanki oddechowej. Następnie użytkownik wprowadza dane dotyczące parametrów zbiornika, w którym mieszanka będzie produkowana.

DANE WEJŚCIOWE	NITROKS	WSKAZÓWKI
Skład oczekiwanej mieszanki trimiksovej [%] Tlen 15 Azot 30 Hel 55 Ilość produkowanej mieszanki Objętość zbiornika [dm ³] 50 Ciśnienie końcowe [at] 80 Ilość zbiorników [szt.] 30 Całkowita objętość mieszanki [Ndm ³] 120000 Parametry butli z gazami komponentami Objętość butli [dm ³] 40 Ciśnienie butli [at] 150 Sposób otrzymania nitroksu bazowego <input checked="" type="radio"/> Nitroks z gazów czystych <input type="radio"/> Nitroks z powietrza i tlenu Zatwierdź	Parametry oczekiwanego nitroksu Całkowita objętość nitroksu [Ndm ³] 54000 Skład nitroksu [%] Tlen 33,33 Ciśnienie całkowite nitroksu [at] 36 Azot 66,67 Udziały molowe azotu i tlenu w oczekiwanej nitroksie: Tlen 0,3333 Azot 0,6667 Stosunek udziału tlenu do azotu w nitroksie/trimiksie: 0,5 Etapy technologiczne produkcji nitroksu P1 = 12 Dodać azot do ciśnienia 12 [at] P2 = 18 Dodać tlen do ciśnienia 18 [at] P3 = 30 Dodać azot do ciśnienia 30 [at] P4 = 36 Dodać tlen do ciśnienia 36 [at] CZY OTRZYMANA MIESZANINA MA OCZEKIWANY SKŁAD? TAK NIE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Napełnić zbiornik rozchodowy azotem do ciśnienia p1 = 12 [at] 2. Odczekać 30 minut na ustabilizowanie się temperatury 3. Zmierzyć ciśnienie w zbiorniku rozchodowym 4. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym równe jest p1 przejdź do punktu 6 5. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym jest mniejsze niż p1 przejdź do punktu 1 6. Napełnić zbiornik rozchodowy tlenem do ciśnienia p2 = 18 [at] 7. Odczekać 30 minut na ustabilizowanie się temperatury 8. Zmierzyć ciśnienie w zbiorniku rozchodowym 9. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym równe jest p2 przejdź do punktu 11 10. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym jest mniejsze niż p2 przejdź do punktu 6 11. Napełnić zbiornik rozchodowy azotem do ciśnienia p3 = 30 [at] 12. Odczekać 30 minut na ustabilizowanie się temperatury 13. Zmierzyć ciśnienie w zbiorniku rozchodowym 14. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym równe jest p3 przejdź do punktu 16 15. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym jest mniejsze niż p3 przejdź do punktu 11 16. Napełnić zbiornik rozchodowy tlenem do ciśnienia p4 = 36 [at] 17. Odczekać 30 minut na ustabilizowanie się temperatury 18. Zmierzyć ciśnienie w zbiorniku rozchodowym 19. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym równe jest p4 przejdź do punktu 21 20. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym jest mniejsze niż p4 przejdź do punktu 16 21. Dokonać analizy gazu 23. Jeśli skład otrzymanej mieszanki różni się od oczekiwanego dokonać poprawek zgodnie z zaleceniami aplikacji 24. Napełnić zbiornik helem do ciśnienia p5 = 58 [at] 25. Odczekać 30 minut na ustabilizowanie się temperatury 26. Zmierzyć ciśnienie w zbiorniku rozchodowym 27. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym równe jest p5 przejdź do punktu 29 28. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym jest mniejsze niż p5 przejdź do punktu 24 29. Napełnić zbiornik helem do ciśnienia p6 = 58 [at] 30. Odczekać 30 minut na ustabilizowanie się temperatury 31. Zmierzyć ciśnienie w zbiorniku rozchodowym 32. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym równe jest p6 przejdź do punktu 34 33. Jeśli ciśnienie w zbiorniku rozchodowym jest mniejsze niż p6 przejdź do punktu 29 34. Pobierz próbkę gazu do analizy w celu potwierdzenia składu otrzymanej mieszanki
GAZY KOMPONENTY Objętość gazów komponentów [Ndm ³] Tlen 18000 Azot 36000 Hel 66000 Wymagana ilość butli [szt.] Tlen 4 Azot 8 Hel 14 UWAGA! Wymagana ilość butli uwzględnia straty gazów (20%) oraz możliwość wystąpienia ewentualnych poprawek	Poprawki dla nitroksu Skład otrzymanej mieszanki [%]: Tlen 35 Azot 65 Zatwierdź Dodaj azotu do ciśnienia 37,8 Wypuść gaz do ciśnienia P4 TRIMIKS P5 = 58 Dodaj hel do ciśnienia 58 [at] P6 = 80 Dodaj hel do ciśnienia 80 [at]	

Rys. 3 Okno dialogowe aplikacji do obliczania parametrów technologicznych [7].

Ponadto, użytkownik musi wprowadzić informacje dotyczące ilości produkowanej mieszanki podając ilość zbiorników, ich objętość oraz ciśnienie końcowe w zbiorniku produkcyjnym. Następnie określa parametry zbiorników z gazami komponentami do produkcji mieszanki oraz definiuje, czy oczekiwana mieszanka będzie produkowana z nitroksu sporządzonego z gazów czystych tj. tlenu i azotu, czy z powietrza i tlenu. Po naciśnięciu przycisku „Zatwierdź” program oblicza niezbędną ilość gazów komponentów potrzebną do wyprodukowania zdefiniowanej objętości mieszanki i podaje liczbę standardowych butli z gazami komponentami, które należy zabezpieczyć do jej produkcji. W tym momencie aplikacja uwzględnia straty gazów komponentów na przestrzenie martwe zbiorników i linie przesyłowe oraz zapas do wykonania ewentualnych poprawek technologicznych.

Kolejna sekcja samodzielnie oblicza skład i sposób produkcji nitroksu bazowego listując informację o etapach napełniania zbiornika niezbędnymi składnikami mieszanki. Po wykonaniu kolejnych kroków technologicznych i sprawdzeniu składu wyprodukowanej mieszanki użytkownik może uzyskać informację o sposobie dokonania poprawek. Po zatwierdzeniu składu nitroksu program listuje ciśnienia technologiczne związane z dodawaniem helu, w ten sposób otrzymując produkowaną mieszankę trimiksową. Dodanie helu zostało celowo podzielone na dwa etapy co zmniejsza ilość gazu jednorazowo dodawanego do zbiornika rozchodowego co wpływa bezpośrednio na zmniejszenie zmian temperatury (efekt Joule’a-Thomsona) podczas poszczególnych etapów produkcji, a co za tym idzie, pozwala uzyskać ciśnienie końcowe bardziej zbliżone do oczekiwanego.

Ostatnia część okna dialogowego aplikacji listuje szczegółowe zestawienie kolejnych kroków technologicznych uzależnionych od sposobu produkcji mieszanki trimiksovej, z nitroksu wyprodukowanego z gazów czystych lub z powietrza i tlenu.

WSTĘPNA WERYFIKACJA APLIKACJI DO OBLICZEŃ PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH PODCZAS PRODUKCJI MIESZANINY TRIMIKSOWEJ

Wstępną weryfikację aplikacji prowadzono dwuetapowo. W pierwszym etapie program został poddany sprawdzeniom przez grupę testerów, posiadających wiedzę oraz zróżnicowane doświadczenie w zakresie obliczeń niezbędnych w procesie produkcji mieszanin oraz metodyki wytwarzania mieszanin oddechowych wykorzystywanych w nurkowaniu. Testerzy następnie przekazywali swoje uwagi odnośnie interfejsu użytkownika, przejrzystości działania aplikacji oraz ewentualnych potrzeb wprowadzenia poprawek ułatwiających korzystanie z aplikacji. Ten etap polegał przede wszystkim na weryfikacji funkcji użytkowych programu związanych ze sposobem komunikacji programu z użytkownikiem.

W drugim etapie, również z wykorzystaniem testerów, weryfikowano poprawność wykonywanych przez program obliczeń. Testerzy otrzymali dziesięć zadań testowych, z których pięć dotyczyło produkcji trimiksu na bazie nitroksu wyprodukowanego z gazów czystych, a pięć z nitroksu wyprodukowanego z powietrza i tlenu. Oczywiście zadania zostały wcześniej obliczone w inny sposób, a wynik testu był uzależniony od zgodności obliczeń wykonanych za pomocą aplikacji z wynikami oczekiwanymi obliczonymi inną metodą. Zaplanowano jeszcze jedno dodatkowe zadanie polegające na wprowadzeniu nieprawidłowych danych do aplikacji i weryfikacji czy program rozpoznaje tę sytuację zwracając użytkownikowi odpowiedni komunikat.

WYNIKI WSTĘPNEJ WERYFIKACJI

W konsekwencji pierwszego etapu weryfikacji, udało się znacznie usprawnić jej działanie oraz dodać wiele przydatnych funkcji. Pierwszą wprowadzoną w wyniku testów zmianą było dodanie do panelu dotyczącego ilości produkowanej mieszanki możliwości obliczeń dotyczących produkcji mieszanki w dowolnej ilości zbiorników rozchodowych a nie tylko w jednym jak było to zaprojektowane w początkowej wersji programu. Następnym dodanym elementem, było dodanie okna odpowiedzialnego za obliczenie całkowitej objętości mieszanki w warunkach normalnych będącej iloczynem ilości zbiorników, objętości zbiorników oraz ciśnienia końcowego do jakiego oczekiwana mieszanka ma zostać wyprodukowana. Kolejną dodaną funkcją było rozbudowanie panelu dotyczącego wymaganej ilości gazów komponentów o możliwość wybrania parametrów zbiorników z gazami komponentami jakie mamy zamiar wykorzystać przy produkcji mieszanki. Następną dodaną funkcją w tym panelu było obliczenie ilości butli wymaganych do produkcji oczekiwanej mieszanki w oparciu o obliczenia dotyczące wymaganej ilości gazów komponentów oraz parametry zbiorników z gazami komponentami. Następną zmianą było wprowadzenie możliwości dokonania poprawek w oparciu o pomiar ilości tlenu po wyprodukowaniu nitroksu i wystąpienie odstępstw w składzie procentowym otrzymanej mieszanki od oczekiwanego nitroksu.

W wyniku drugiego etapu wstępnej weryfikacji stwierdzono, że wyniki uzyskane zarówno z obliczeń wykonanych w tradycyjny sposób jak i przy użyciu sprawdzanego programu były jednakowe co oznacza, że aplikacja została napisana prawidłowo i wyniki jej obliczeń są zgodne z metodyką obliczeń podczas produkcji mieszanki trójskładnikowej. Pełna weryfikacja i potwierdzenie tego wyniku testów wymaga wykorzystania opracowanej aplikacji przy faktycznej produkcji mieszanki oddechowej. W przypadku podania błędnych danych wejściowych aplikacja uniemożliwia wykonanie obliczeń i podaje odpowiedni komunikat informujący o konieczności wprowadzenia poprawnych danych wejściowych.

Przeprowadzone testy pozwalają na stwierdzenie, że opracowana aplikacja może być użytecznym narzędziem podczas obliczania i definiowania poszczególnych kroków technologicznych w czasie produkcji mieszanki trójskładnikowej na bazie wcześniej wyprodukowanej mieszanki dwuskładnikowej metodą ciśnieniową. W analizowanym przypadku obliczenia dotyczyły produkcji trimiksu na bazie wcześniej wyprodukowanego nitroksu z gazów czystych lub z powietrza i tlenu. Wstępna weryfikacja programu wykazała jego funkcjonalność oraz prawidłowość realizowanych za jego pomocą obliczeń. Dalsza weryfikacja aplikacji wymaga przeprowadzenia szerokiej gamy eksperymentów z wykorzystaniem testowanego oprogramowania podczas faktycznej produkcji gazu oddechowego, co pozwoli na pełną weryfikację użyteczności programu.

LITERATURA

1. Kopcewicz T.: Fizyka atmosfery, Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa 1956 r., Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa 1956,
2. Praca zbiorowa pod red. Dolatkowskiego A. i Ulewicza K.: Zarys fizjopatologii nurkowania, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich Warszawa 1973 r.,
3. Krzyżak J.: Medycyny nurkowa, publ. KoopGraf Poznań 2006 r., ISBN 83-909187-5-7,
4. Majchrzycka A.: Komfort cieplny nurka w strefie saturacji mieszaninami oddechowymi o różnych właściwościach fizycznych; Szczecin 2012 r., Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, ISBN 978-83-7663-116-5,
5. Olejnik A., Kłos R.: Metodyka sporządzania mieszanin oddechowych w nurkowaniach saturovaniach; Polish Hyperbaric Research Vol. 20 Issue 3 2007 r., ISSN 1734 – 7009,
6. Praca zbiorowa pod red.: Olszański R., Skrzyński St., Kłos R.: Problemy medycyny i techniki nurkowej, Wyd. Okrętownictwo i Żegluga Gdańsk 1997 r., ISBN 83-904258-8-2,
7. Budych P.: Metody obliczeń podczas sporządzania trójskładnikowej mieszanki oddechowej na podstawie uprzednio wytworzonej mieszanki dwuskładnikowej; Praca dyplomowa inżynierska Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni 2021 rok, Kierownik pracy A.Olejnik
8. Kłos R.: Nurkowanie z wykorzystaniem nitroksu; Wyd. KoopGraf Poznań 1999 r., ISBN 83-909187-1-4,
9. Kłos R.: Helioksove nurkowania saturowane, PTMiTH Gdynia 2013 r., ISBN 978-83-938322-1-7,
10. Kłos R.: Aparaty nurkowe z regeneracją czynnika oddechowego, Wyd. KoopGraf Poznań 2000 r., ISBN 83-909187-2-2,
11. Praca zbiorowa pod red. Mount T. i Gilliam B.: Mixed gaz diving the ultimate challenge for technical divers; Watersport Publishing Inc., USA San Diego 1993, ISBN 0-9227769-41-9.

inż. Piotr Budych

Akademia Marynarki Wojennej
ul. J. Śmidowicza 69
81-127 Gdynia
e-mail: 21284@edu.amw.gdynia.pl

Adam Olejnik
ORCID: 0000 – 0003 – 1199 – 5835

