

St. Skrzyński

## **RYS HISTORYCZNY KONSTRUKCJI APARATÓW NURKOWYCH Z WYKORZYSTANIEM WYDYCHANEGO CZYNNIKA ODDECHOWEGO**

*W artykule przedstawiono krótką historię stosowanych aparatów nurkowych z wykorzystaniem wydychanego czynnika oddechowego (rebrethers –ang. aparaty o obiegu półzamkniętym i zamkniętym.) w ostatnim czterdziestoleciu Dla przybliżenia realizacji produkcji i wdrożenia aparatów przypomniano instytucje realizujące wdrożenie aparatów oraz osoby prowadzące ich wdrożenie. Aparaty te były konstruowane i produkowane dla potrzeb Sił Zbrojnych. Opisano w nim uwarunkowania techniczne oraz koncepcje ich wykonania. Podano również główne dane techniczne.*

### **1. INFORMACJA O LUDZIACH BIORĄCYCH UDZIAŁ W WDROŻENIU APARATÓW NURKOWYCH W MARYNARCE WOJENNEJ.**

Historia wykorzystania i produkcji aparatów nurkowych z wykorzystaniem wydychanego czynnika oddechowego (rebrethers) w ostatnim czterdziestoleciu w naszym kraju związana jest z Marynarką Wojenną RP, gdyż w rozpatrywanym okresie czasu, miała przygotowaną kadre oraz bazę techniczną i medyczną do wykonania pełnego cyklu produkcyjnego tj., badanie, rozwój i wdrożenie.

Realizacja pierwszych konstrukcji aparatów ma źródło w panujących poglądach na temat obronności państwa oraz w doktrynie ówczesnego Układu Warszawskiego w latach 60-tych ubiegłego stulecia. Dla realizacji działań floty konieczne były zadania wykonywane przez płetwonurków bojowych i płetwonurków minerów wymagające aparatów o relatywnie długim czasie ochronnego na głębokościach średnich oraz wykonanie konstrukcji o niskich szumach pracy i amagnetyczności. W wymaganiach taktyczno-technicznych na aparat dla płetwonurków minerów i bojowych odbijały się trendy, poglądy oraz ówczesna wiedza o nurkowym sprzęcie oddechowym w krajach Zachodnich oraz Związku Radzieckiego. W tym okresie ścierały się dwa poglądy na oddechowy sprzęt nurkowy. Pierwszy to wyprodukowanie takiego aparatu, w którym nurek nie prowadziłby obsługi aparatu pod wodą, tak by mógł się skoncentrować na swoim zadaniu, podobnie jak w niezależnych aparatach powietrznych. Drugi trend to skonstruowanie aparatu dającego maksymalne parametry dla nurkowań bojowych tj. długi czas ochronnego działania, dobór czynnika oddechowego dla najkrótszej dekompresji.. Takie rozwiązanie wymagało aktywnej obsługi aparatu przez nurka pod wodą oraz podejmowania decyzji korygujących założone parametry nurkowania. Ten trend jest charakterystyczny dla większości współczesnych aparatów o obiegu półzamkniętym i zamkniętym ze względu na prostotę konstrukcji.

Dodatkowym problemem w produkcji aparatów z regeneracją mieszaniny oddechowej, jak nazywają Rosjanie aparaty z wykorzystaniem wydychanego czynnika oddechowego, było oparcie się o nasz polski przemysł. Produkcja krajowa pozwalała na zrezygnowanie z drogiego importu radzieckiego oraz możliwość eksportu do krajów członków Układu Warszawskiego. Temat „prowadziło” Szefostwo Ratownictwa Morskiego, którego szefem był śp. kmdr Edward Pyż Główni prowadzący temat, śp. kmdr Medard Przyłipiak i kmdr doc.dr n.med. Tadeusz Doboszyński nie aprobowali wszystkich koncepcji i rozwiązań konstrukcyjnych aparatów radzieckich. Prace badawcze i konstrukcyjne trwały w latach 1967 - 1971 nad APW-3 (kryptonim projektu

CZAJKA) i w latach 1976- 1979 nad APW-6 (KSZYK). Instytucjami, które prowadziły i wdrażały prace były Wydział Naukowo-Badawczy Szefostwa Ratownictwa Morskiego Marynarki Wojennej, Zakład Medycyny Podwodnej Katedry Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej, Zakład Sprzętu Ratowniczego i Lamp Górniczych „Faser” w Tarnowskich Górach oraz Grupa Płetwonurków Minerów z Gdyni. Aparaty APW-3 wdrażała Grupa Płetwonurków Minerów pod dowództwem kmdr ppor. Zygmunta Osady, przy aktywnym udziale chor. mar Jerzego Bilika i chor. mar Henryka Malinowskiego. Aparaty APW-6 wdrażano w Grupie Płetwonurków Bojowych przy aktywnym udziale dowódcy kmdr Jana Rębisza i śp. kpt.mar. Aleksandra Feldmana.

W latach 1982-1984 Szefostwo Ratownictwa Morskiego Marynarki Wojennej dzięki pomocy PP Petrobaltic zakupiło aparaty o obiegu półzamkniętym FGG-III dla celów nurkowań głębokich w strefie polskiego szelfu. Równolegle przystosowano okręty typu Piast do nurkowań głębokich, modernizując dzwon i systemy nurkowe dla stosowania mieszanin helioksowych. Nurkowania głębokie z użyciem aparatów FGG-III realizowali specjaliści Szefostwa Ratownictwa Morskiego i załogi Dywizjonu Okrętów Ratowniczych. Pracę prowadzili Szef Ratownictwa Morskiego Kmdr śp. Zdzisław Głowienka, kmdr por Antoni Joński, kmdr por. Bodgan Konieczka. Z Dywizjonu Okrętów Ratowniczych we wdrożeniu brali udział kmdr ppor. Kalwas, lekarze kpt. Andrzej Bartnicki, Mieczysław Kłopot, kmdr ppor. Wojciech Kwiatkowski oraz grupa nurków z dywizjonu. Dzięki temu wdrożeniu możliwe były prace przy platformach P.P.Petrobaltic w latach 1983-1987.

Równolegle w latach 1987-1994 z przerwami (w ramach prac o kryptonimach BEKASIK-APW6m, BĄCZEK- GAN-87) trwały prace nad konstrukcjami aparatów o biegu półzamkniętym w Zakładzie Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych dla płetwonurków minerów i nurków głębokowodnych ratownictwa morskiego MW. Na bazie konstrukcji aparatu APW-6 w tych latach powstała zmodernizowana konstrukcja aparatu nurkowego o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego z użyciem nitroksu APW-6m oraz aparat do nurkowań głębokich GAN-87 z wykorzystywaniem trimksu do głębokości 120m. Ponadto w Zakładzie zmodernizowano aparat FGG-III dla zastosowania trimksu, przy stosowanej technologii nurkowań opracowanej w Zakładzie Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych. Aparaty te są stosowane obecnie do szkolenia nurków. W opracowaniu aparatu wiodący udział miały Zakład Medycyny Podwodnej Katedry Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej (kmdr prof. n.med T.Doboszyński –kierownik części medycznej, dr n. med. Bogdan Łokuciejewski i dr n. med. Romuald Olszański, Zakład Sprzętu Ratowniczego i Lamp Górniczych „Faser” w Tarnowskich Górach (inż. Wincenty Kozik z grupa konstruktorów oraz ekipy nurków z okrętów ratowniczych Marynarki Wojennej i Ośrodka Szkolenia Nurków i Płetwonurków Wojska Polskiego. W Zakładzie Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych prace badawcze i wdrożeniowe prowadzili kmdr dr inż. Ryszard Kłós, dr n. med. Maciej Pachut i autor artykułu. Prace te realizowano pod nadzorem Szefostwa Ratownictwa Morskiego Marynarki oraz Szefa Ratownictwa Morskiego kmdr dypl. Leszka Siuduta.

Wyniki prac wykorzystano realizując prace przy platformach P.P.Petrobaltic.

Dzięki tym pracom ZSNI TPP zdobył duże doświadczenie w projektowaniu i budowie nurkowych aparatów nurkowych, co dało możliwość przygotowania laboratorium Zakładu do certyfikowania oddechowych aparatów nurkowych. W laboratorium aparatów w 1999 wdrożono System Jakości potwierdzony akredytacją Polskiego Centrum Akredytacji ( Certyfikat nr L270/1/99).

W latach 1999-2001 r. w Marynarce Wojennej przygotowano technologię nurkowań nitroksowych z użyciem aparatów FGT I niemieckiej firmy Dräger, technologie opracowano w Zakładzie Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych. Pracami kierował autor niniejszego artykułu, w realizacji pracy brali udział kmdr por. dr inż. Ryszard Kłós, kpt. mar mgr inż. Stanisław Poleszak, a stronę

medyczną zabezpieczali kpt. dr n.med Maciej Konarski i dr n. med. Romuald Olszański.

Nie sposób wymienić wszystkich, którzy brali udział w/w pracach, szczególnie tych, którzy swą „czarną” ciężką pracą przyczynili się do tego, że nie było żadnego wypadku nurkowego ze skutkami najgorszymi. Należy jednak podkreślić prace techników Zakładu Sprzętu Nurkowego p. Stanisława Wiśniewskiego, st. chor. Janusza Pawlaka, oraz szeroką rzeszę trzech pokoleń nurków Marynarki Wojennej RP.

## 2.KONSTRUKCJA APARATÓW APW-3 I APW-6.

Koncepcja pracy aparatu APW-3 brała najlepsze rozwiązania tak ze Wschodu, jak i Zachodu Europy. Koncepcja w pierwszej fazie zakładała aparat, który nie wymagał obsługi jego przez nurka pod wodą. W koncepcji aparat ten oparty był o dwie zasady pracy: w strefie głębokości 0-9m aparat pracował na zasadzie aparatu o obiegu zamkniętym a w strefie głębokości 8- 40m na zasadzie aparatu o obiegu półzamkniętym ze zmiennym dozowaniem tlenu i powietrza. [10]W tym okresie podobnymi, ale wdrażanymi aparatami były aparaty radziecki IDA71 z dozowaniem tlenu oraz nitroksu oraz niemieckiej firmy Dragër aparat SM-1. Aparat APW-3 w koncepcji dozowania tlenu nie posiadał wad tych dwóch aparatów i był aparatem o obiegu zamkniętym pracującym do głębokości 8mi półzamkniętym, pracującym z wykorzystaniem dozowania tlenu i powietrza w strefie głębokości 8-40m [6]. Ze względu na wymaganą swobodę ruchów, aparat nosiło się na plecach, a worek oddechowy był w kształcie wyciętego toroidu -półpięściennia okalającego szyję pletwonurka. Aparat APW-6 różnił się tylko w budowie tornistrem oraz workiem oddechowym, który był w nim zamontowany. Worek był workiem dwudzielnym, składającym się z worka wdechu i wydechu.

Aparaty oddechowy APW-3 iAPW-6 przeznaczone były do nurkowania w zakresie głębokości od 0 do 40 m dla wykonywania lekkich prac podwodnych i zwiadu podwodnego.

Posiadały poniższe one poniższe dane techniczne:

**Tabela 1**

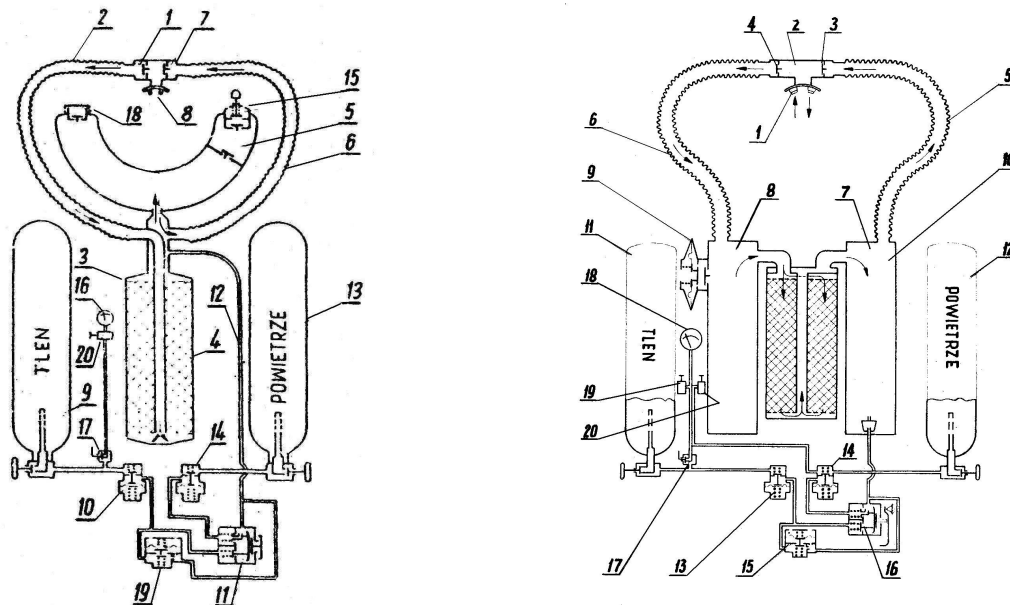
Wybrane parametry aparatów APW-3 i APW-6.

LP.	PARAMETR LUB DANE	APW-3	APW-6
1	Masa naładowanego aparatu	21kg	23kg
2	Wymiary: wysokość /bez worka gabarytowe APW/ szerokość wysokość	540 mm 340 mm 165 mm	685 mm 410 mm 195 mm
3	Pojemność butli tlenowej	2.6 dm <sup>3</sup>	3,0 dm <sup>3</sup>
4	Pojemność butli powietrznej Ciśnienie	2.6 dm <sup>3</sup>	3,0 dm <sup>3</sup>
5	Robocze w butlach	200 at	200 at
6	Czas ochronnego działania aparatu*	180 minut	180 minut
7	Pojemność worka oddechowego	6 ±0,5 dm <sup>3</sup>	6 ±0,5 dm <sup>3</sup>
8	Masa pochłaniacza/ sorbentu	3,6/2,0 kg	3,6/2,0kg
9	Opory oddechowe		
	- wdech	-50 mmH <sub>2</sub> O	-50 mmH <sub>2</sub> O
	- wydech	65 mmH <sub>2</sub> O	65 mmH <sub>2</sub> O

<sup>1</sup> zgodnie z tabelami dekompresji opracowanymi przez Zakład Medycyny Podwodnej WAM i w zależności od głębokości.

Zasada pracy aparatów była taka samo i systemu dozowania czynników oddechowych były identyczne same. Różnice wynikały z konstrukcji aparatów: w APW-3

worek toroidalny, w wersji 6 worek dzielony. Ta zmiana wymusiła zmianę tornistra. Zmiana worka wymusiła zmianę konstrukcji zaworów upustowo-nadmiarowych. Ponadto dołożono w APW-6 wskaźnik minimalnego ciśnienia zapasu powietrza.



1- zawór wydechowy, 2- wąż wydechowy, 3- łącznik pochłaniacza, 4- pochłaniacz, 5- worek oddechowy, 6- wąż wdechowy, 7- zawór wdechowy, 8- ustnik, 9- butla tlenowa, 10- zawór redukcyjny tlenu, 11- zawór dawkująco-dodawczy, 12- przewód dawkujący, 13- butla powietrza, 14- zawór redukcyjny powietrza, 15- zawór upustowy, 16- manometr, 17- zawór odcinający, 18- zawór nadmiarowy, 19- włącznik głębokościowy, 20- wskaźnik minimalnego ciśnienia.

1- ustnik, 2- urządzenie ustnikowe, 3- zawór wdechowy, 4- zawór wydechowy, 5- wąż wdechowy, 6- wąż wydechowy, 7- worek wdechowy, 8- worek wydechowy, 9- zawór upustowy, 10- pochłaniacz, 11- butla tlenowa, 12- butla powietrza, 13- zawór redukcyjny tlenu, 14- zawór redukcyjny powietrza, 15- włącznik głębokościowy, 16- zawór dawkująco-dodawczy, 17- zawór odcinający, 18- manometr, 19- wskaźnik minimalnego ciśnienia tlenu, 20- wskaźnik minimalnego ciśnienia powietrza.

rys. 1 Schematy aparatów APW-3 i APW-6.

Zmiany konstrukcyjne w APW-6 w porównaniu z APW-3 wynikały z aktualnych trendów poprawy warunków wykonania zadania. Odkryty worek aparatu APW-3 zdaniem konstruktorów stwarzał zagrożenie dla nurka podczas wykonywania zadania, gdyż był nieosłonięty.

Zmiana worka zmieniła hydrostatyczne opory oddechowe, gdyż z punktu widzenia fizjologii oddychania worek toroidalny położony na ramionach jest optymalny dla oporów hydrostatycznych oddychania. Zmieniając worek i umieszczając go na plecach zwiększono opory oddechowe w aparacie APW-6. Wnioski z eksploatacji aparatu, w którym nurkowie osiągnęli maksymalne głębokości i przebywali pod wodą kilkadziesiąt godzin, a nawet kilkaset w jednostkowych przypadkach wykazały brak szczelności obiegu oddechowego. Zdarzały się przypadki i jeden wypadek nurkowy dostania się wody do pochłaniacza. Ponadto niska jakość materiału worka powodowała nieszczelność worka oddechowego. Doprowadziło to do wycofania aparatów APW-3 z użycia.

Innym problemem było dozowanie tlenu i stabilizacja składu mieszaniny w obiegu oddechowym aparatu. Już podczas badań w komorze dekompresyjnej typu KOBUZ (aktualnie komora badawcza Zakładu technologii Nurkowań i Prac Podwodnych AMW) wystąpiły przypadki zatrucia tlenem. Newralgicznym problemem tego typu aparatu było przejście z obiegu zamkniętego na obieg półzamknięty, tj. w strefie głębokości 9 -15m.

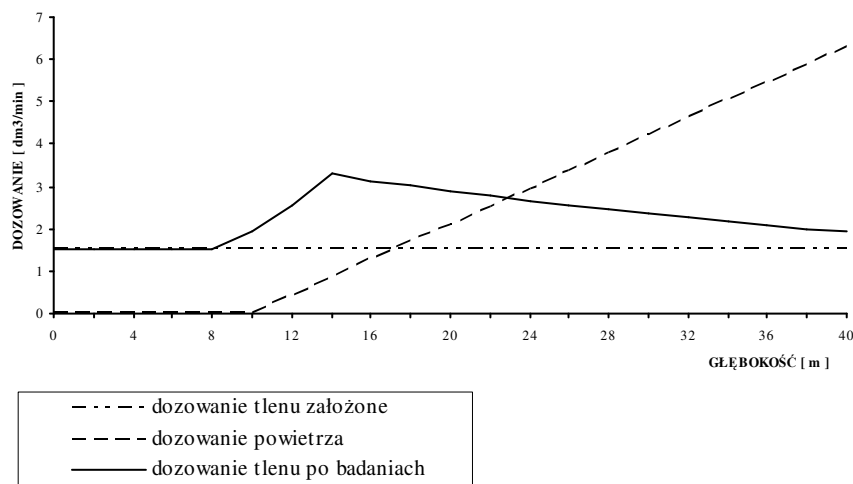


Skład mieszaniny w obiegu oddechowym był zależny od czasu przejścia, warunków antropologicznych i wysiłku nurka. Komplikowało to proces nurkowania, który rozwiązano w poniższy sposób.

1. Stopień przygotowania nurka do wykonywania zadań w aparacie APW-3 oceniał przełożony.
2. Dekompresja przy nurkowaniu na głębokość mniejszą od 18m była dekompresją zerową..
3. Dekompresje przy nurkowaniu na głębokość 18 m i większą - ustalało się w następujący sposób:
  - określało się maksymalną głębokość nurkowania,
  - określało się wysiłek podczas nurkowania zgodnie z podaną poniżej klasyfikacją:
    - "a" - wysiłek nominalny wykonywany ciągle,
    - "b" - wysiłek nominalny wykonywany okresowo lub wysiłek mniejszy od nominalnego,
    - "c" - spoczynek lub krótki wysiłek mniejszy od nominalnego,
  - ustalało się odpowiednik głębokości nurkowania jak następuje:
    - przy wysiłku opisanym pod literą "a" przyjmowano bez poprawki rzeczywistą głębokość nurkowania,
    - przy wysiłku opisanym pod literą "b" przyjmowano głębokość mniejszą o 2 metry od rzeczywistej głębokości nurkowania,
    - przy wysiłku opisanym pod literą "c" przyjmowano głębokość mniejszą o 4 metry od rzeczywistej głębokości nurkowania;
    - czas nurkowania liczono od chwili zanurzenia,
    - odczytywano z tabeli dekompresyjnej głębokość przystanku i czas pobytu

Podczas etapu badań zmieniono dozowanie tlenu jak pokazano na rysunku 2. Podczas nurkowanie na głębokość do 9 m nurek obsługiwał aparat jak typowy aparat tlenowy z trzykrotnym płukaniem przed nurkowaniem. Zanurzając się nurek musiał uzupełniać tlen w miarę potrzeby, niemożliwość dokonania pełnego wdechu zawartość worka oddechowego uzupełniał przez dozowanie ręczne z zaworu dodatkowego. Przebywając na głębokościach do 9 m, co 20 minut nurek przeprowadzał jeden raz „płukanie” obiegu oddechowego.

DOZOWANIE W PPARATACH APW3 i APW6



rys. 2 Dozowanie tlenu i powietrza w obiegu aparatów APW-3 i APW-6.

Przy czym instrukcja aparatu mówiła, że wysiłek fizyczny pletwonurka przy nurkowaniu jest ograniczony. Pod pojęciem wysiłku nominalnego rozumiano taki wysiłek, przy którym zużycie tlenu przez pletwonurka wynosiło 1,3 do 1,5 l/min\*.

Przy stosowaniu wysiłku nominalnego na głębokości do 9 m nie zachodzi konieczność uzupełniania zawartości worka oddechowego za pomocą zaworu dodatkowego. Pletwonurek powinien być umieć stosować wysiłek nominalny na wszystkich głębokościach nurkowania.

Przy zanurzeniu na głębokość większą od 9m pletwonurek musiał uzupełniać w miarę potrzeby małą ilość mieszanki oddechowej w worku oddechowym przez naciskanie zaworu dodatkowego. Przy dalszym zanurzaniu, od głębokości 15 m przeprowadzać, co 1 do 2 minut, jeden raz „płukanie” obiegu oddechowego. Po osiągnięciu zamierzonej głębokości przekraczającej 15 m należało przeprowadzić dwukrotnie płukanie. W czasie dalszego przebywania na tej głębokości nie wymaga się przeprowadzania czynności płukania. Przyjęto, że maksymalne ciśnienie parcjale tlenu w obiegu oddechowym dla mieszanin nitroksowych nie przekroczy 1,8 ata. Utrzymanie tego ciśnienia parcjale tlenu na maksymalnych głębokościach nie było trudne, gdy nurek pracował, natomiast w spoczynku i przy przejściu z obiegu zamkniętego na obieg półzamknięty wartości jego były wysokie.

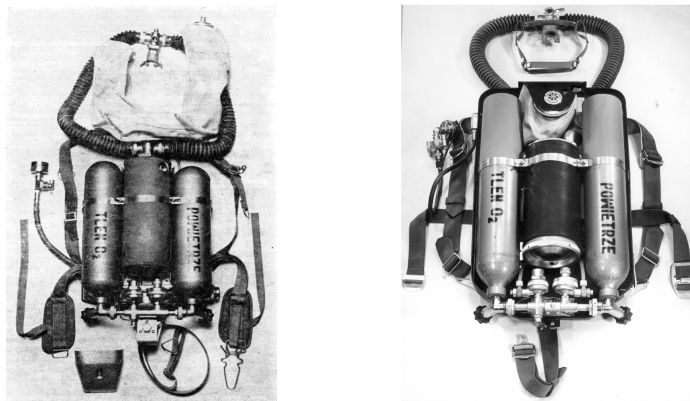
Dysze dawkujące tlenu i powietrza umieszczone były w korpusie zaworu dawkująco-dodatkowego i włącznika głębokościowego. Włącznik głębokościowy służył do wzbogacania mieszanki w tlen i azot na głębokościach większych niż 8 m. Zawór odcinający tlenu był przeznaczony do odcięcia dopływu tlenu do węża elastycznego wskaźnika minimalnego ciśnienia i manometru w przypadku ich uszkodzenia.

Zawór dawkująco-dodawczy był przeznaczony do szybkiego uzupełnienia worka tlenem lub mieszaniną powietrza w zależności od głębokości w czasie zanurzania się oraz do przepłukiwania aparatu pod wodą.

Wskaźniki minimalnego ciśnienia miał za zadanie ostrzec pletwonurka o wyczerpywaniu się zapasu tlenu lub powietrza. Wskaźnik "wyskakiwał" przy ciśnieniu w butli od 30 do 40 ata. Była to konstrukcja „skopiowana” z radzieckich aparatów typu IDA-57.

Aparaty APW-6 po dwuletnim wdrażaniu wycofano, kierując się następującymi względami:

- zbyt wysokie ciśnienia parcjale tlenu,
- zbyt wysokie opory oddechowe,
- niespełnieniu pełnych wymagań technicznych dla wykonywania zadań szczególnie w strefie 8-15m,
- niski komfort użycia, charakteryzujący się długą procedurą przygotowania, występującymi nieszczelnościami przy przygotowaniu do pracy.



rys. 3 Aparaty APW3 i APW-6

Aparaty typu APW w latach 60-tych ubiegłego wieku był aparatem współczesnym i nie odbiegały od poziomu światowego w tym czasie, lecz mankamentem jego było wykonawstwo wybranych węzłów aparatu (pochłaniacz, uszczelnienia).

### **3. APARAT O OBIEGU PÓLZAMKNIĘTYM GAN-87.**

W początkach lat osiemdziesiątych Marynarka Wojenna RP pozyskała aparaty FGG-III i dla nich opracowano technologię nurkowań głębokich z użyciem helioksu (18%O<sub>2</sub>; 82%He) jako czynnika oddechowego do nurkowań roboczych i nitroksu (29% O<sub>2</sub>; 71%N<sub>2</sub>) dla nurkowań treningowych. System ten wykorzystywała kadra nurków, którzy sprawdzili swoje umiejętności przy pracach na polskim szelfie w przedziale głębokości 80-85m. Aparat FGG-III był aparatem przewodowym zasilanym poprzez węże z dozowników zamontowanych w dzwonie nurkowym. Główny zapas mieszaniny był umieszczony w dzwonie, w postaci 4 butli i 5 transportowych. Dzwon specjalnie przystosowano do zasilania wyżej wymienionych aparatów, a także przystosowano komorę dekompresyjną do prowadzenia dekompresji tlenowej. Dekompresja wymagała dwóch czynników oddechowych: helioksu i tlenu i oparta była o tabele US Navy dla przewodowego sprzętu nurkowego pracującego z obiegiem wymuszonym inżektorem. Prace wykonywane były bez większych incydentów dekompresyjnych do roku 1987r.

W roku 1987 Marynarka Wojenna ze względu na relatywnie wysokie ceny aparatów o obiegu półzamkniętym sprowadzanych z Zachodu, otworzyła w 1987 temat badawczy, którego wynikiem miał być system krajowy nurkowań głębokich oparty o aparat polskiej produkcji GAN-87. Ze względu na kłopoty finansowe oraz kłopoty kadrowe, przy trudnościach producenta, program faktycznie ruszył w 1991. Program jednocześnie obejmował aparat dla nurków minerów na średnie głębokości, będący kontynuacją aparatów serii APW. W aparatach tych producent nie w pełni wykorzystał swoje doświadczenia techniczne, gdyż niestety wiodąca kadra pracująca przy APW-3 i APW-6 opuściła FASER. Odpływ kadry nurkowej z okrętów ratowniczych w latach 1988-1991 spowodował to, że z tych, którzy nurkowali na FGG-III pozostali nieliczni. Jeśli dodamy do tej trudnej sytuacji początki dużej inflacji oraz załamanie programu nurkowań satutowanych na rzecz Stoczni Szczecińskiej to start z programem budowy własnego sprzętu nurkowego rozpoczął się z dużymi trudnościami.

Wymagania taktyczno techniczne pisane w końcu lat osiemdziesiątych dla Głębokowodnego Aparatu Nurkowego określiły maksymalną głębokość 120m i czas pobytu do 30-60min na maksymalnych głębokościach. Parametry aparatu wynikały z tego, że tabele helowe posiadały maksymalną głębokość 92m i czas maksymalny czas pobytu 30minut, co było niewystarczające z punktu zadań ratownictwa morskiego. Zastosowanie trimiksu wyeliminowało wady stosowania, helioksu (skażenie głosu, zimno oraz skomplikowana procedura dekompresji awaryjnej). Wymagania głównie opracowano na podstawie analizy technicznej, a nie ekonomicznej (hel w tym okresie był w Polsce bardzo tani). Za zastosowaniem trimiksu przemawiało to, że tabele trimiksowe istniały i były wprowadzone oficjalnym dokumentem Marynarki Wojennej, lecz były one nie kompatybilne do aktualnej wiedzy i o niskiej efektywności nurkowania (tabele floty radzieckiej).

Aparat nurkowy GAN - 87 był przeznaczony do pracy na średnich i dużych głębokościach szelfu bałtyckiego. Takie zastosowanie aparatu wymagało opracowania nurkowań systemowych z użyciem dzwonu nurkowego i wieloprzedziałowej komory dekompresyjnej. Głównym problemem było określenie prawidłowych pod względem fizjologicznym składów mieszanin oddechowych oraz odpowiednich dawekowań, co pozwoliłoby prowadzić nurkowania z dekompresją „potokową” tj. kolejnych nurkowań następujących po sobie. Nurkowanie na głębokościach większych niż 50m z zastosowaniem mieszanin trimiksowych było zaliczane do nurkowań o szczególnie wysokim stopniu trudności. Bezpieczeństwo takich nurkowań można ocenić na 94 -

97%.[9]Wprowadzenie nurkowań przy użyciu aparatu o obiegu półzamkniętym czynnika oddechowego z zastosowaniem mieszanin trimiksowych wymagało rozwiązania szeregu zagadnień takich jak:

- ustalenia właściwego pod względem fizjologicznym składu mieszanin oddechowych umożliwiających nurkowi wykonywanie średnich i ciężkich wysiłków fizycznych niewpływających negatywnie na bezpieczeństwo dekompresji,
- ustalenia bezpiecznej i ekonomicznej dekompresji w systemie dzwon- komora,
- opracowania metod postępowania leczniczego w razie zaistnienia choroby ciśnieniowej lub innych wypadków (chorób) nurkowych[1].

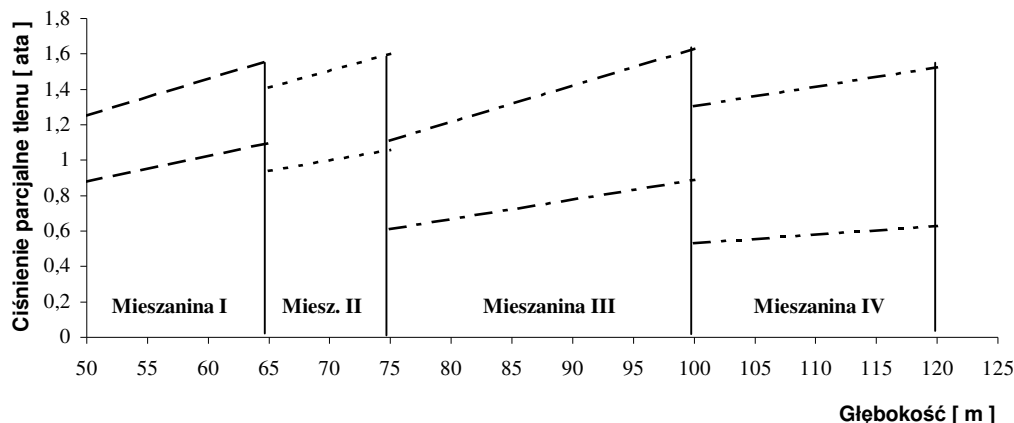
Zasada pracy aparatu GAN - 87 oparta była o stałe dozowanie mieszanin a konstrukcja przystosowana była dla mieszaniny nitroksowej (dla celów szkoleniowych) dozowanie 25 dm<sup>3</sup>/min, i dla mieszanin trimiksowych 35 dm<sup>3</sup>/min odpowiadające wymogom fizjologicznym.

Dla aparatu przyjęto następujące składy:

- mieszanina nitroksowa: - 30% obj O<sub>2</sub>, 70% N<sub>2</sub> obj.;
- mieszanina trimiksowa dozowanie:35dm<sup>3</sup>/min:
  - I - 22% obj O<sub>2</sub>, 42% obj N<sub>2</sub>, 36% He,.
  - II - 20% obj O<sub>2</sub>, 38% obj N<sub>2</sub>, 42% He .,
  - III - 16% obj O<sub>2</sub> , 30% obj N<sub>2</sub> , 54% obj He,
  - IV: 13%obj. O<sub>2</sub>; 22%obj. N<sub>2</sub>; 65%obj. He.

Założono, że maksymalne ciśnienie cząstkowe tlenu nie w obiegu oddechowym powinno przekraczać 1.6 ata. Nie przekroczenie przez nurka skrajnych wartości procentowych tlenu określanych dla zużycia 1.0 - 2.0 dm<sup>3</sup>/min spełnia podstawowy warunek bezpieczeństwa podczas pływania i dekompresji. Stosowane w aparacie ciśnienie parcjale tlenu powinno być na tyle mało toksyczne, aby nie ograniczać ewentualnego zastosowania leczniczego tlenem. Użytkowanie aparatu nie powodowało przekroczenia progu toksyczności płucnej tlenu wynoszącego 600j. (UPTD),a w przypadku leczenia choroby ciśnieniowej należy planować terapię w taki sposób, aby nie przekraczać 1400 j UPTD [2]. Przyjęto minimalną zawartość tlenu w worku wdechowym, która powinna wynosić dla mieszaniny, nitroksowej 21% O<sub>2</sub>, dla I mieszaniny trimiksowej 19% O<sub>2</sub>, dla II mieszaniny trimiksowej 17% O<sub>2</sub> , dla III mieszaniny trimiksowej 13% O<sub>2</sub> a dla VI 11% O<sub>2</sub>

Ciśnienie parcjale tlenu w aparacie GAN - 87



rys. 4 Ciśnienie parcjale tlenu w aparacie GAN-87 dla poszczególnych zakresów głębokości przy dobranych mieszaninach trimiksowych.

Pochłaniacz dwutlenku węgla powinien zapewniać jego absorpcję w taki sposób, aby jego ciśnienie równoważne w worku wdechowym wynosiło mniej niż 0.5 % CO<sub>2</sub>. Masa wypełnienia pochłaniacza absorbentem powinna zapewnić jego prawidłowe działanie na czas nie mniejszy niż 2 godziny.

W warunkach rzeczywistych w morzu prace aparatu zabezpieczał dzwon nurkowy i komory dekompresyjne. Wyposażenie dzwonu powinno umożliwiać pracę dwóch nurków z uwzględnieniem ogólnie przyjętych warunków bezpieczeństwa. Aparat zasilany był z dzwonu, gdzie umieszczone były dozownik i butle z zapasem mieszanin. Wyposażenie komór dekompresyjnych zabezpieczać powinno możliwość przeprowadzenia dekompresji tlenowej. W celu udogodnienia i przyspieszenia, dekompresja była przeprowadzana w dzwonie z przejściem nurka na oddychanie powietrzem (po odłączeniu się od aparatu), podczas której realizuje się przejście nurków do dzwonu, by w końcowej fazie dekompresji mogli realizować oddychanie tlenem z systemu inhalatorów tlenowych( BIBS).

Prototyp aparatu GAN-87 był zbudowany z wykorzystaniem praktyki wdrażania APW oraz doświadczeń nabytych podczas nurkowań z FGG III. Zasada pracy aparatów GAN i FGG była identyczna jak większości aparatów o obiegu półzamkniętym, to jest wykorzystująca stałe dozowanie mieszaniny oddechowej. Na tym skończyły się główne podobieństwa aparatów. Z tym, że gdy na skutek szybkiej inflacji skończyły się środki finansowe na pracę związane z aparatem GAN, system nurkowania opracowany, dla GAN wdrożono modernizując aparaty FGG-III, przystosowując je do pracy z mieszaninami trimiksowymi.



Aparat GAN-87

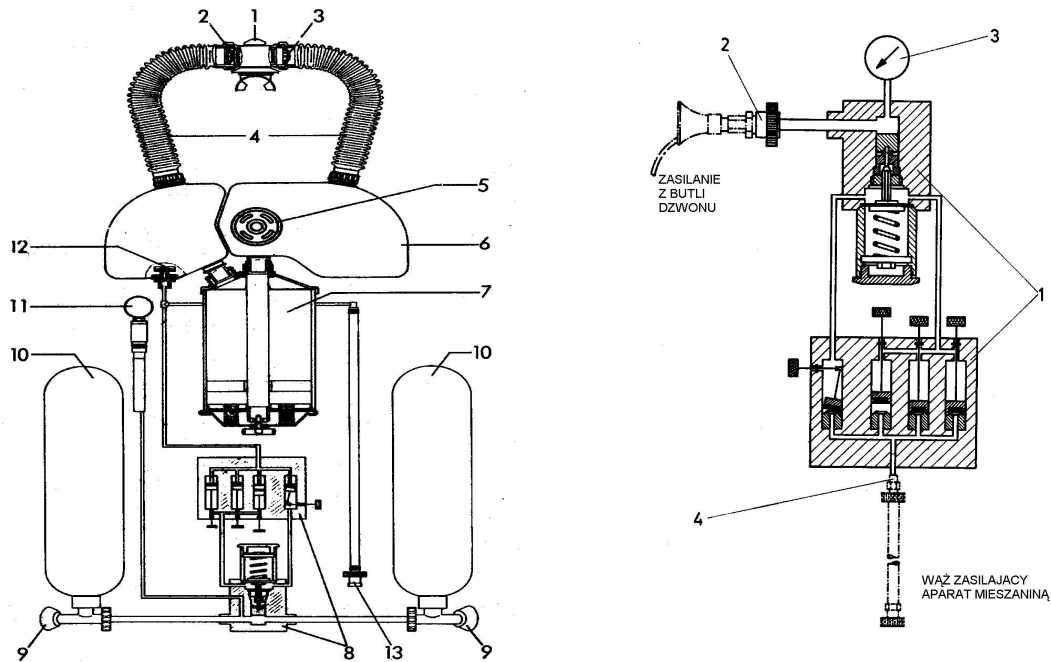


Aparat FGG-III



Nurek w aparacie FGG -III

rys. 5 Aparaty o obiegu półzamkniętym do nurkowań głębokich stosowane w Marynarce Wojennej RP w latach 1982 – 1996.



1- urządzenie ustnikowe, 2,3- zawory kierunkowe, 4- węże oddechowe, 5- zawór nadmiarowy, 6- worek wydechowy, 7- pochłaniacz, 8- dozownik 9- zawory butli, 10- butle, 11- manometr, 12- wlot do worka wdechowego

1- dozownik aparatu z trzema dyszami i zaworem dodatkowym, 2- króciec podłączenia wysokiego ciśnienia, 3- manometr zasilania, 4- podłączenie węży do aparatu

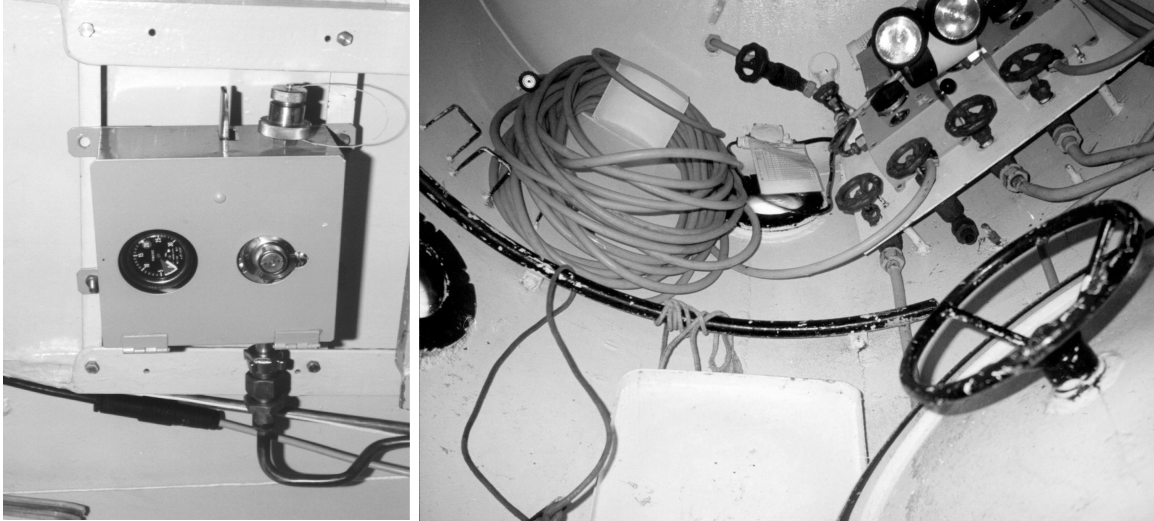
rys. 6 Schemat funkcjonalny aparatów nurkowych GAN i FGG.

**Tabela 2**

Dane podstawowe aparatów GAN-87 i FGG-III

Lp	Parametr	GAN-87	FGG-III
1	Maksymalna głębokości pracy:	120m	200m
2	Zastosowane mieszanki Dozowanie - ilość dysz 3 - Wielkość dozowania [dm <sup>3</sup> /min] - strefy głębokości, dla których przygotowane były dysze	trimiks i nitroks,  3 20, 35 i 40 [dm <sup>3</sup> /min]  nitroks, dysza 20 [30-50m] dysza 35 [50-65]m, [65-75]m, [75-100]m, [100-120]m. 1600dm <sup>3</sup>	helioks i nitroks,  3 30,40 i 50 [dm <sup>3</sup> /min]  nitroks dysza 50 [20-40m] dysza 30 [50-100]m, dysza 40 [100-150]m, dysza 50 [150-200] 1600 dm <sup>3</sup>
3.	Zapasy mieszanin w aparacie	1600dm <sup>3</sup>	1600 dm <sup>3</sup>
4.	Czas ochronnego działania wynika- jacy z zapasu mieszanin,.	40 min.	od 64 do 25* min
5.	Czas ochronnego działania wynikający z pracy sorbentu,.	180min	od 100 do 45*
6.	Ciśnienie dozowania,	2MPa	4 MPa
7.	Masa aparatu	32kg	28kg
8.	Gabaryty dł x szer. y wys.	685x450x210mm	680x456x215mm
9.	Objętość butli	2 x 4 dm <sup>3</sup>	2 x 4 dm <sup>3</sup>
10	Ciśnienie robocze butli	20MPa	20MPa
11	Długość węży zasilania z dzwonu	30m	20 lub 40 m

\*w zależności od głębokości pracy.



rys. 7 Dozownik dzwonu aparatu GAN-87. Dozowniki zamontowane w dzwonie nurkowym aparatu FGG-III.

W wykorzystując aparaty GAN-87 i FGG-III wykonano około 200 nurkowań doświadczalnych i w warunkach rzeczywistych, podczas których wykonywano prace na rzecz P.P.Petrobaltic i prace ratownicze na rzecz Marynarki Wojennej w strefie głębokości 70 -90m. Należy podkreślić, że podczas badań tak w warunkach laboratoryjnych jak i rzeczywistych stosowano polskie wapno sodowane produkcji Zakładów Przemysłu Chemicznego Dwory Oświęcim, co pozwoliło uniezależnić się od bardzo drogiego wapna importowanego. Wapno to stosowano także do aparatów FGG-III po uprzednim określeniu czasu ochronnego działania aparatu.

#### **4. APARAT APW-6M**

Aparat nurkowy APW-6m projektowany w fabryce "Faser" w Tarnowskich Górach przy współpracy z Zakładem Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej został wykonany dla potrzeb wojska. Rozwiązanie konstrukcyjne aparatu różni się zasadniczo od rozwiązań zastosowanych poprzednich modelach w APW-3 i APW-6 między innymi składem mieszanki gazowej przede wszystkim w strefie najniższych ciśnień oraz objętością i sposobem jej dawkowania. Aparat APW-6m nie spełniał tak wysokim stopniu zasady skrytości działania nurka jak miało to miejsce w poprzednich rozwiązaniach, ale umożliwiał uzyskanie bardziej stabilnego składu mieszanki oddechowej, co poprawiło bezpieczeństwo nurkowania.

Odmienne rozwiązanie konstrukcyjne aparatu APW-6M wymagało ustalenia składu mieszanki oddechowej oraz wielkości dawkowania, a następnie dokonania weryfikacji i oceny fizjologicznej nurkowania w warunkach symulujących przewidywane w nurkowaniach w warunkach rzeczywistych, a na tej podstawie opracowanie sposobu przeprowadzania bezpiecznej dekompresji.

W odniesieniu do aparatu o obiegu półzamkniętym jakim był aparat APW-6M był on typowym przykładem rozwiązań kompromisowych pomiędzy wysokimi wymaganiami taktyczno technicznymi a możliwościami jego realizacji i dopasowaniem do uwarunkowań fizjologicznych rzutujących na bezpieczeństwo nurków bojowych.[9]

W realizacji tego aparatu uwzględniono:

- uwarunkowania fizjologiczne mające wpływ na bezpieczeństwo użytkowania aparatów APW-6m przez nurków bojowych w strefie głębokości do 30 m w czasie dopuszczalnego użytkowania aparatu limitowanego przez wybór dyszy dawkującej,

- poprawność wybranego rodzaju mieszanki i wielkości dyszy,
- sposób przeprowadzania dekompresji oraz postępowaniu profilaktyczno-leczniczego.

Aparaty o półzamkniętym obiegu mieszanki oddechowej użytkowane w strefie małych i średnich głębokości pozwalają na zwielokrotnienie czasu nurkowania w porównaniu z aparatami o obiegu otwartym. Poza tą korzystną właściwością, jaką jest oszczędne zużycie mieszanki oddechowej przez nurka, posiadają one niestety również i cechy ujemne, które z punktu widzenia bezpieczeństwa kwalifikują ten sprzęt jako bardziej narażający od aparatów o obiegu otwartym, co musi być uwzględnione w projektowaniu aparatu. Do podstawowych cech ujemnych tych aparatów należą:

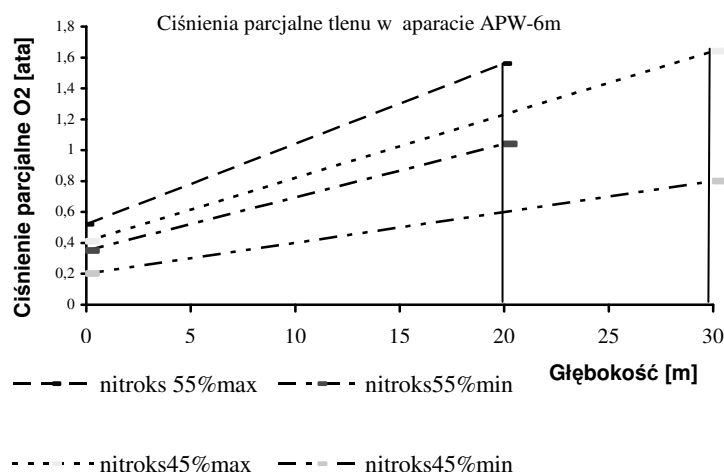
- zmienny skład mieszanki gazowej w worku oddechowym podczas nurkowania, co może być przyczyną hipoksji, hiperoksji lub choroby ciśnieniowej,
- narażenie nurka na działanie zwiększonego ciśnienia cząstkowego CO<sub>2</sub>, co może być przyczyną zatrucia tym gazem.

Aparat APW-6m był próbą wyeliminowania lub ograniczenia ujemnych cech poprzednich aparatów tego typu.[9]

W następstwie tego można przyjąć, że każda armia dysponuje obecnie zmodernizowaną konstrukcją takiego aparatu, którego rozwiązania techniczne i parametry użytkowe są zróżnicowane. Przykładowo, jednym z elementów mających wpływ na skład mieszanki jaką oddycha nurek jest konstrukcja worka oddechowego.

W 1988 roku model aparatu posiadał trzy dysze dla trzech typowych mieszanin nitroksowych. Ze względu na niestabilność dozowania i utrzymywania parametrów technicznych w 1990r zmieniono wymagania techniczne i przyjęto jedną dyszę dla dwóch mieszanin.

Do czynników mających bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo nurkowania w aparacie APW-6M należy skład mieszanki oddechowej w butlach aparatu. Aparat stosował dwie mieszanki nitroksowe dla poszczególnych zakresów głębokości. Maksymalne ciśnienie parcjale tlenu w obiegu aparatu nie przekraczało 1,6ata.



rys. 8 Zakres ciśnień parcjalnych przyjętych dla aparatu APW-6m

Aparat APW-6m z butlami napełnionymi mieszanką nitroksową o zawartości 55 % tlenu umożliwiał bezdekompresyjne nurkowanie na głębokości do 20 m przez okres do 76 min, ale szybkość wynurzania nie powinna przekraczać 5-7 m/min. Jeżeli



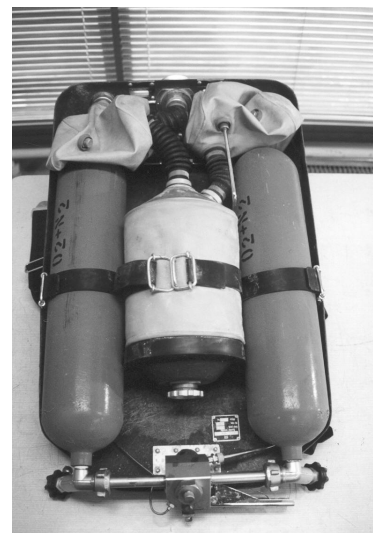
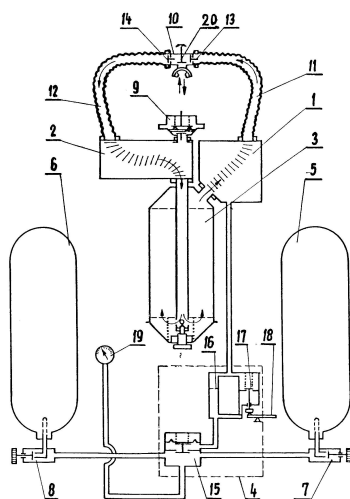
warunki nurkowania były szczególnie uciążliwe ze względu na temperatury wody, prąd i inne okoliczności, lub też ciężar ciała nurka przekraczał 80 kg należało zastosować 5 min dekompresji na stacji 3m.

Przy stosowaniu mieszaniny nitroksowej o zawartości 45% tlenu maksymalna głębokość nurkowania wynosiła 30m. Przed wynurzeniem należało określić na podstawie opracowanej tabeli wymagany rodzaj dekompresji danym nurkowi. Wymagany czas dekompresji ustalano na podstawie głębokości nurkowania i czasu pobytu w zanurzeniu do rozpoczęcia wynurzenia. Jeżeli rzeczywista głębokość i czas nie odpowiadają ściśle wartościom podanym w tabeli lub miały miejsce warunki szczególne podane powyżej, należało stosować zasady dekompresji wydłużonej (dekompresja wybierana dla głębokości o 2 m większej przy tym samym czasie pobytu)..

Tabela 3

Dane techniczne aparatu APW-6m.

LP.	PARAMETR LUB DANE	APW-6m
1	Masa naładowanego aparatu	23kg
2	Wymiary: wysokość /bez worka gabarytoweAPW/ szerokość wysokość	685 mm 450 mm 210 mm
3	Pojemność butli nitroksowej	2 x3,0 dm <sup>3</sup>
4	Ciśnienie robocze w butlach	200 at
5	Czas ochronnego działania aparatu	150 minut
6	Pojemność worka oddechowego	8 ±0,5 dm <sup>3</sup>
7	Masa pochłaniacza/ sorbentu	3,5/2,0kg
8	Ciśnienie dozowania	0,8MPa
9	Dozowanie dla obu typów mieszanin	8dm <sup>3</sup> /min
10	Opory oddechowe przepływu przy wentylacji 62,5dm <sup>3</sup> /min.	około100 mmH <sub>2</sub> O
11	Ustawienie zaworu nadmiarowego	0,5- 1,5 kPa



rys. 9 Schemat i widok aparatu APW-6m.

1 - worek wdechowy, 2 - worek wydechowy, 3 - pochłaniacz, 4 - blok redukcyjno-dawkujący, 5 - butla prawa, 6 - butla lewa, 7 - zawór odcinający prawy, 8 - zawór odcinający lewy, 9 - zawór namiarowy, 10 - urządzenie ustnikowe, 11 - wąż wdechowy, 12 - wąż wydechowy, 13,14 - zawory kierunkowe, 15 - reduktor, 16 - dozownik, 17 - zawór dodatkowy, 18 - dźwignia zaworu dodatkowego, 19 - manometr, 20 - przełączanie na oddychanie z atmosfery.

W 1992r. wyprodukowano partię próbną 30szt. W aparatach tych wynurkowano kilkaset godzin. Aparat spełniał wymagania fizjologiczne, lecz nie spełniał wymagań niezawodności komfortu pracy (szczególnie przełączenie na atmosferę, szczelność, zaworu nadmiarowego, pływalność mniejsza od założonej około -10N). W 1996 na skutek braku funduszy na dalszą modernizację oraz brak zainteresowania użytkowników aparat wycofano z użycia

## 5. UWAGI KOŃCOWE

1. Polska posiadała i posiada kadrę medyczną i techniczną zdolną do realizacji wdrożenia aparatów nurkowych i posiadała oryginalne rozwiązania techniczne i z zakresu fizjologii podwodnej, lecz organizacja i środki nie odpowiadały tym zamierzeniom.

2. Do lat 90-tych to przemysł dyktował warunki realizacji a zamawiający nie miał argumentu-wpływu na szybkie wprowadzenie zmian.

3. Dzięki budowie aparatów wykształciła się kadra (szczupła liczebnie) medyczno techniczna, która podjąć rozwiązanie podstawowych problemów związanych z aparatami nurkowymi a w szczególności aparatami z obiegiem czynnika oddechowego. Pozwala to na wdrożenie każdego aparatu w warunkach naszego kraju lub jego modernizację.

4. W naszej historii z lat ubiegłych wynika, że należy planować zapewnienie ciągłości pokoleniowej tak kadry badawczej jak i szkoleniowej oraz nurkowej w instytucjach zajmujących się działalnością badawczą w każdej dziedzinie a szczególnie w tak specyficznej działalności, jaką jest nurkowanie. Niestety warunki rynku i restrukturyzacja tego problemu nie widzą. Doświadczenia nie można kupić, a jeśli jego brak to trzeba potem „słono” płacić. Ponadto są dziedziny, które powinny być utrzymywane ze względu na interes państwowy. Tą dziedziną jest nurkowanie dla celów obronności.

## WYKAZ LITERATURY

1. „Tabele dekompresji dla aparatu o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego w głębokowodnych nurkowaniach systemowych” Projekt badawczy Nr rej. 99 841 91 02 Wybór systemów nurkowania w strefie szelfu”. Akademia Marynarki Wojennej Gdynia 1995,
2. Praca zbiorowa „Nurkowania systemowe przy użyciu mieszanin nitrox i trimix Projekt badawczy Komitet Badań Naukowych Nr 99 841 91 02 Akademia Marynarki Wojennej Gdynia 1993,
3. „Skrzyński S., Olejnik A., Kłos R., Poleszak S. Projekt normy obronnej „Nurkowanie w celach militarnych. Nurkowanie z wykorzystaniem nitroksu. Wymagania” AMW 199
4. Instrukcje aparatów APW-3, APW-6 i APW-6m,
5. Praca zbiorowa Badania prototypu APW-6m – etap III. Akademia Marynarki Wojennej Gdynia 1990.
6. T. Doboszyński B. Łokuciejwski „GAN-87 Analiza uwarunkowań fizjologicznych użytkowania aparatu, tabele dekompresyjne, rekompresja”. Zakład Medycyny Podwodnej Katedry Medycyny Morskiej WAM. Gdynia 1991
7. Praca zbiorowa Badania prototypu APW-6m – etap III i IV. Akademia Marynarki Wojennej Gdynia 1991.
8. Praca zbiorowa Badania aparatu GAN-87 – etap III. Akademia Marynarki Wojennej Gdynia 1991,
9. T. Doboszyński B. Łokuciejwski „APW-6m Analiza uwarunkowań fizjologicznych użytkowania aparatu, tabele dekompresyjne, rekompresja”. Zakład Medycyny Podwodnej Katedry Medycyny Morskiej WAM. Gdynia 1990.

10. T.Doboszyński B.Łokuciejwski „Problemy fizjologiczne aparatów nurkowych o obiegu półzamkniętym”. Biuletyn Wojskowej Akademii Medycznej tom XVI zeszyt 3, 1973.
11. Własne notatki i informacje z badań aparatów GAN iAPW-6m.

*Recenzent: dr hab. inż. Zbigniew Korczewski prof. nadzw. AMW*

*Autor:*

*dr inż. Stanisław Skrzyński – Akademia Marynarki Wojennej*