

ZABEZPIECZENIE MEDYCZNE NURKOWAŃ GŁĘBOKICH REALIZOWANYCH PRZEZ OOR 281, 282 W LATACH 1993 – 1996

MEDICAL SECURITY OF DEEP DIVES REALIZED BY OOR 281 AND 282 IN THE YEARS 1993 – 1996

lek. med. Tomasz Wojtowicz
Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej
Wojskowy Instytut Medyczny
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3 skr. poczt. 18
e-mail: rapifen@o2.pl

Celem pracy było przedstawienie rozwiązań technicznych i medycznych, zastosowanych podczas pierwszych polskich roboczych nurkowań na średnie głębokości z użyciem trymixu jako czynnika oddechowego. Praca zawiera analizę całokształtu działań medycznych – profilaktycznych, diagnostycznych i leczniczych, stosowanych podczas trwania 4-letniego przedsięwzięcia.

Słowa kluczowe: nurkowanie, prace podwodne, mieszaniny oddechowe, trymix, aparaty o obiegu półzamkniętym, rekompresja lecznicza.

The aim of the work was to present technical and medical solutions applied in the first Polish working dives at average depths with the use of trimix as a breathing mixture. The article encompasses an analysis of the entirety of the performed medical activities – the preventive, diagnostic and therapeutic measures applied in the course of a 4-year-long undertaking.

Keywords: diving, underwater works, breathing mixes, trimix, semi-closed rebreathers, medical recompression.

МЕДИЦИНСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЛУБОКОГО ПОГРУЖЕНИЯ РЕАЛИЗУЕМЫЕ ООР 281 и 282 (СПАСАТЕЛЬНЫЕ КАТЕРА) в 1993 - 1996 годы

Цель данной работы заключалась в предоставлении технических и медицинских решений, использованных в течение первых польских глубоководных водолазных работ при использовании тримикса как дыхательный фактор. Работа содержит анализ общей медицинской деятельности - профилактической, диагностической и терапевтической, использованной в течение 4 -летнего срока реализации проекта.

Ключевые слова: глубоководные водолазные работы, дыхательные смеси, Тримикс, аппарат полужамкнутой цепи, лечебные рекомпрессии.

ISSN 1734 – 7009, EISSN 2084 – 0535, PHR 2013 1(42), 27 – 56

NR DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.42.2](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.42.2)

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

WSTĘP

W okresie wymienionych w tytule czterech lat okręty ratownicze 3 Flotylli Okrętów – OORP "Piaś" I "Lech", działając jako autonomiczne bazy nurkowe, uczestniczyły w ponad stu przedsięwzięciach wynikających z porozumienia Marynarki Wojennej I PPIEZRiG "Petrobaltic". Istotą tegoż było wykonanie podwodnych prac konserwacyjno – diagnostycznych nóg posadowienia platformy wiertniczej "West Beta", oraz konserwacja i konfiguracja zaworów na dennym Centralnym Kolektorze Złóża.

Zakład Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych AMW, prowadzący program badań "Nurszef II", którego istotą były głębokie nurkowania, zaproponował do tych robót oddechowe mieszaniny trójskładnikowe. Projekt został zatwierdzony przez Szefa Ratownictwa Morskiego MW i w ten sposób rozpoczęły się pierwsze polskie nurkowania trimiksowe w Marynarce Wojennej, odbywane – do chwili wdrożenia – na zasadach nurkowań eksperymentalnych [1].

Przez cały okres trwania przedsięwzięcia autor pracy, jako dowódca działu zdrowia (okrętowego VIII) ORP "Lech" był jednym z trzech lekarzy stanowiących zespół zabezpieczenia medycznego. Szczegółowe zadania, zakres czynności, oraz związana z tym odpowiedzialność zawodowa zostaną opisane poniżej.

CEL PRACY

Celem niniejszej pracy jest analiza całokształtu postępowania medycznego – diagnostycznego, terapeutycznego i profilaktycznego, jakie stosowano podczas trwania przedsięwzięcia dla optymalizacji czynności zawodowych zaangażowanych nurków.

MATERIAŁ I METODY

W nurkowaniach będących tematem pracy uczestniczyło 16 mężczyzn rasy białej, w przedziale wiekowym 25 – 37 lat, krępej budowy, bez odchyłeń antropometrycznych, w 75% mających nadwagę (w/g poszerzonej klasyfikacji BMI), zdrowych psychosomatycznie (w/g aktualnych badań - składowych orzeczenia Wojskowej Komisji Morsko-Lekarskiej dla nurków wojskowych) [1,4].

Głębokość operacyjna miejsca pracy to 81 – 83 metry. Tym samym – według dokumentów normatywnych Marynarki Wojennej RP – znajdowała się poza strefą wykorzystania powietrza jako czynnika oddechowego.

Założenie personalne dotyczące nurków biorących udział w tych pracach dopuszczało do nich osoby przeszkolone i dopuszczone do udziału w nurkowaniach głębokich z użyciem mieszanin oddechowych. Za ich dobór i przygotowanie, oraz stwierdzenie kondycji psychofizycznej odpowiadał lekarz ZSNiTPP AMW. Nurkowie musieli spełniać wymogi zawarte w "Zasadach kwalifikacji nurków testerów" – odpowiedni BMI, zbliżone w parach roboczych jednostkowe zużycie czynnika oddechowego, zbliżony wydatek energetyczny oraz (najlepiej) wzajemnie spójne relacje zgodności osobowości i temperamentów. Przeprowadzona kwalifikacja zaowocowała powstaniem pięciu zasadniczych par roboczych, do których w następnym roku prac dokooptowano jeszcze jedną. Przy założonym harmonogramie dwóch zanurzeń dziennych taki stan rzeczy uznano za wystarczający. W latach '95 – '96 zakwalifikowano i wyszkolono jeszcze dwie pary robocze. Rekrutację kandydatów prowadzono w oparciu o zasoby personalne działów nurkowych obu okrętów ratowniczych typu "Piaś" oraz żołnierzy zawodowych ZSNiTPP AMW i OSNiP WP [1,4,5,7,16,17].

INTRODUCTION

In the period of the mentioned four years, rescue ships of the third flotilla – OORP "Piastr" and "Lech", acting as autonomous diving bases, participated in over one hundred undertakings resulting from an agreement between the Polish Navy and PPIEZRiG "Petrobaltic". The main task was to perform underwater maintenance and diagnostic works on the foundations of the "West Beta" drilling platform, as well as valve maintenance and configuration of the ground Central Deposit Collector. The Institute of Diving Equipment and Underwater Works Technology of the Naval Academy in charge of the research programme entitled "Nurszef II", whose main focus were deep dives, proposed for the above works three-component breathing mixes. The project received the approval of the Head of Maritime Rescue of the Polish Navy allowing the first trimix dives in the Polish Navy to be carried out, which, until the project's implementation, were conducted as experimental dives [1].

In the entire period of the undertaking, the author of this article, as the head of the health department (vessel VIII) on ORP "Lech" was a part of a three-person medical security team. Detailed description of tasks, scopes of activity and the related professional responsibility is presented below.

THE OBJECTIVE OF THE WORK

The objective of this work is to present an analysis of the entirety of medical activities – the preventive, diagnostic and therapeutic measures applied in the course of the undertaking with the purpose of optimizing the professional activities performed by the divers.

MATERIALS AND METHODS

The dives were conducted by 16 Caucasian, stocky-built men aged between 25 – 37 years, with no anthropometric aberrations, of whom 75% were overweight (acc. to the extended BMI classification), and psychosomatically healthy (acc. to current examination – the opinion of the Military Maritime-Medical Commission for military divers) [1, 4].

The operational depth was 81 – 83 meters, i.e. the depth no longer allowing the use of air as a breathing mix – according to the normative documents of the Polish Navy.

Personnel assumptions regarding divers participating in the described works allowed for the participation of trained divers approved for deep dives with the use of breathing mixes. Their selection and preparation, as well as the evaluation of their psycho-physical condition was the responsibility of a doctor of the Institute of Diving Equipment and Underwater Works Technology of the Naval Academy in Gdynia. The divers were required to meet the conditions specified in the "Test Divers Qualification Regulations" – proper BMI, share similar gas consumption of the breathing mix, similar energy expenditure and (at best) similar personality and temperament qualities. The qualification procedure resulted in an appointment of five working pairs, and one more in the following year. With the schedule of two dives per day such a number was approved as sufficient. In the years 1995 – 96 an additional two working pairs were qualified and trained. The recruitment was carried out based on the human resources of the diving divisions of both "Piastr"- type rescue ships and professional soldiers of the Institute of Diving Equipment and Underwater Works Technology of the Naval Academy and the Diver Training Centre of the Polish Army [1, 4, 5, 7, 16, 17].

Przez cały okres trwania przedsięwzięcia opisywane nurkowania zabezpieczało trzech lekarzy: pracownik naukowy Zakładu Medycyny Morskiej i Tropikalnej WAM, asystent ZSNiTPP AMW, oraz dowódcy działów zdrowia okrętów typu "Piaś". W początkowej fazie (1993r.) pracowano parami – lekarz z jednostki naukowej i lekarz okrętu bazowego, później zaś, w miarę pozyskanej wiedzy i nabranego doświadczenia parę medyczną stanowili lekarze okrętowi. Bowiem według wymogu "Zasad zabezpieczenia medycznego nurkowań głębokich" konieczną jest obecność DWÓCH lekarzy przeszkolonych w zakresie medycyny podwodnej i zdolnych do wykonywania czynności zawodowych w warunkach hiperbarii. Zawsze jednak można było skorzystać z rady i pomocy doświadczonego Kolegi z ZMMiT WAM, bądź ZSNiTPP AMW, będącego w zasięgu kontaktu radiowego, lub telefonii komórkowej.

Założenie technologiczne całego projektu obejmowało dwa nurkowania robocze w ciągu doby pracy – 09.00 – 15.00 (poranne) i 16.00 – 22.00 (popołudniowe). Godzinna przerwa poświęcana była przede wszystkim na wentylację (także w razie potrzeby odwilgacanie), oraz przygotowanie zespołu komór dekompresyjnych do pracy. Do zadań zespołu medycznego należało:

- ustalenie profilu dekompresji roboczej w świetle planowanych czynności dla danego zanurzenia,
- przeprowadzenie wywiadu i badania fizykalnego pary roboczej przed zanurzeniem,
- zlecenie i nadzór personalnego zabezpieczenia socjalnego dekompresji "suchej",
- podgląd technologiczny przebiegu pracy na dnie,
- przejęcie i prowadzenie "suchej" dekompresji roboczej, jej chronometryzacja operacyjna i astronomiczna, ewentualna modyfikacja, zależna od rodzaju pracy, jej ergonomii i innych, podanych niżej czynników,
- stały nadzór i komunikacja z nurkami w komorach, ew. doraźny wywiad cząstkowy,
- monitoring techniczny atmosfery komór – dokładność sprężenia, gazometria, rotametria,
- rozplanowanie czasowe przerw gimnastycznych i alimentacyjnych,
- wywiad i badanie fizykalne pary roboczej po zakończeniu dekompresji,
- dokumentacja każdej dekompresji,
- sprawdzenie przygotowania komór do ew. rekompresji leczniczej,
- podtrzymywanie własnej kondycji barycznej na wypadek konieczności nadzoru leczenia wewnątrzkomorowego (cotygodniowy trening ciśnieniowy w/g schematu 50 m/30 min).

Zgodnie z założeniem projektu, stosownie do głębokości roboczej, zostały przeznaczone do użycia mieszniny oddechowe tróskładnikowe (trymix), o poniższych składach procentowych:

- strefa głębokości 54 – 65 metrów – tlen=22%, azot=42%, hel=36%,
- strefa głębokości 65 – 75 metrów – tlen=20%, azot=38%, hel=42%,
- strefa głębokości 75 – 90 metrów – tlen=16%, azot=30%, hel=54% (1,3,4,5,13,20).

Wymagane dawkowanie mieszanin oddechowych w aparatach powinno wynosić 35 litrów (decymetrów sześciennych) na minutę, z dopuszczalnym odchyleniem minutowym dawkowania 3 litry (decymetry sześciennie) w obie strony (1,3,6,7,15). Według szczegółowej instrukcji dopuszczalne było zmienianie dawkowania mieszaniny i korekta jej składu procentowego po uprzednim uzgodnieniu z lekarzem (lekarzami) zabezpieczającym nurkowanie. Jednak po przeliczeniu ciśnień parcjalnych składowych, oraz znając gazowe potrzeby konsumpcyjne, tak spoczynkowe, jak wysiłkowe członków zespołu nurków, stwierdzono, że podane wartości można uznać za wystarczające i niepodlegające korektom. Takie stanowisko zostało przedstawione kierownikom nurkowań. Dalsze założenia techniczne przewidywały pierwotnie do użycia aparaty o obiegu półzamkniętym z regeneracją czynnika oddechowego FGG-III, oraz GAN-87 zasilanych przewodowo.

In the entire time of the undertaking the described dives were secured by three doctors: an academic employee of the Institute of Maritime and Tropical Medicine of the Military Maritime Academy, an assistant at the Institute of Diving Equipment and Underwater Works Technology of the Naval Academy, as well as the heads of health departments of the "Piaśt" -type ships. Initially (1993), the doctors worked in pairs – the doctor from the academic vessel with the doctor from the base ship, whereas later, as more knowledge and experience was gained, the medical pair was constituted by marine doctors, since "The principles of medical protection of deep dives" require the presence of TWO doctors trained within underwater medicine and capable of performing professional activities in hyperbaric conditions. Also, it was always possible to consult an experienced colleague from the Institute of Maritime and Tropical Medicine of the Military Maritime Academy, who was available via radio or mobile phone.

The technological assumption of the project involved carrying out two working dives within the working hours – from 9.00 am to 3.00 pm and from 4.00 pm to 10 pm. The one-hour afternoon break was devoted mainly to ventilation (as well as dehumidification when needed) and the preparation of the decompression chambers for work. The tasks of the medical team included:

- determining a working decompression profile in the light of intended activities for a given dive,
- preparing medical histories and conducting physical examinations of a working pair before the dive,
- ordering and supervising social protection of "dry" decompression,
- technological monitoring of works conducted at the sea bottom,
- taking over and carrying out "dry" decompression, its operational and astronomical chronometrization, possible modification depending on work type, its ergonomics and other factors enlisted below,
- continuous supervision and communication with divers in the chambers, possible partial interview in emergency situations – technical monitoring of the atmosphere in the chambers, – compression accuracy, gasometry, rotametry – scheduling of exercise and alimentary breaks,
- interview and physical examination on decompression completion,
- documentation of each decompression,
- verifying chamber adjustments to possible medical recompression,
- maintaining baric condition in case of the necessity of providing medical aid inside the chamber (weekly pressure training according to the scheme 50 m/30 min).

In concord with the project assumption, three-component breathing mixes (trimixes) were used in the dives with the following proportions adjusted to particular depth ranges:

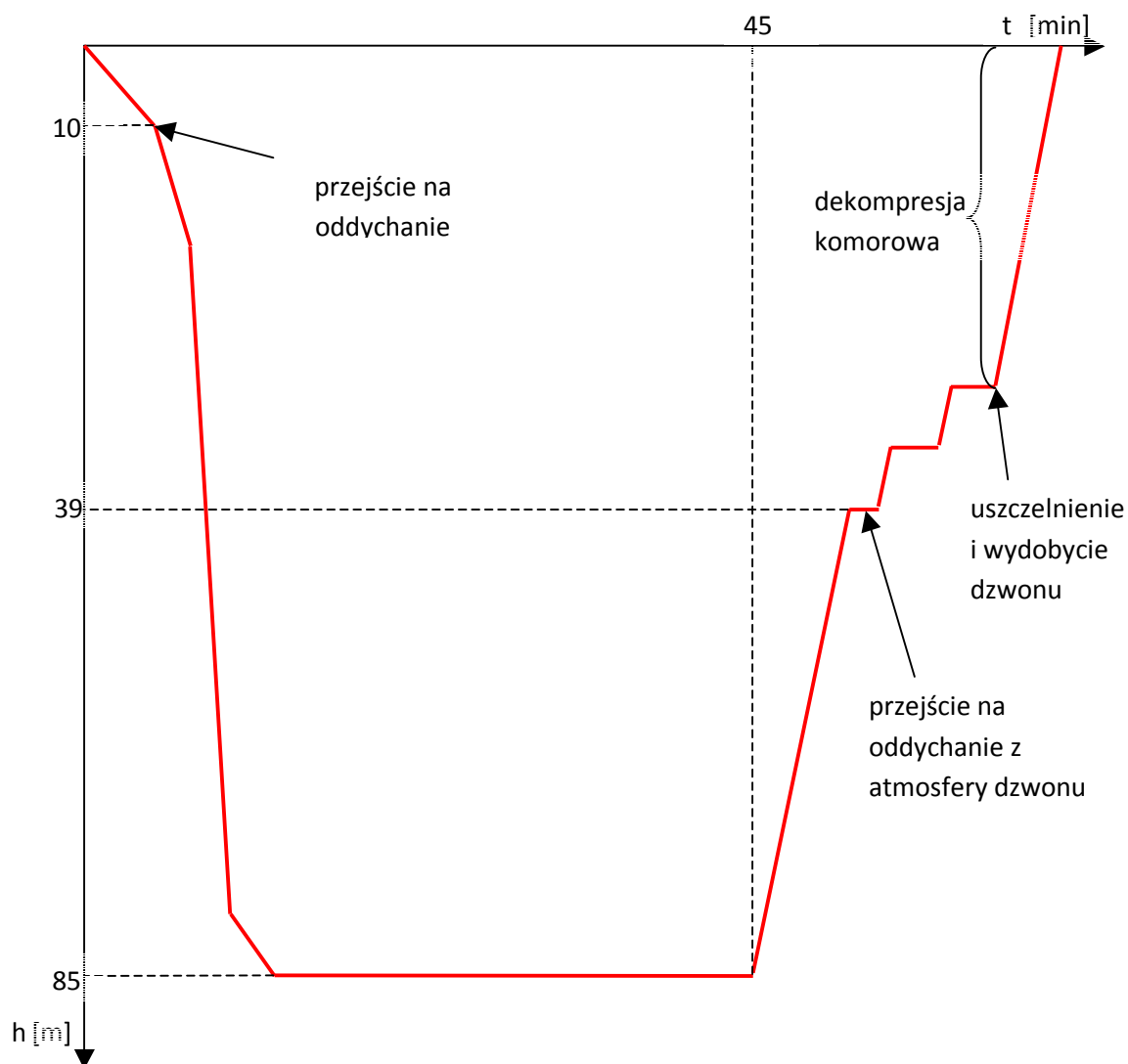
- depth range of 54 – 65 metres – oxygen=22%, nitrogen=42%, helium=36%,
- depth range of 65 – 75 metres – oxygen=20%, nitrogen=38%, helium=42%,
- depth range of 75 – 90 metres – oxygen=16%, nitrogen=30%, helium=54% (1, 3, 4, 5, 13, 20).

The required dosage of breathing mixes in the rebreather should amount to 35 litres (cubic decimetres) per minute with the admissible dosage deviation per minute of 3 litres (cubic decimetres) both ways (1, 3, 6, 7, 15). According to a detailed instruction it was allowable to change the mix dosage or adjust its composition after a previous consultation with the doctor (doctors) securing a given dive. However, after calculating partial pressures of the components and learning the divers' consumptional needs, both at rest and at work, it was decided that the above values were sufficient and would not be subject to any corrections. This decision was communicated to the supervisors of the dives.

Ostatecznie używano tylko FGG-III, jako sprzętu podstawowego – liczyło się tu obycie nurków z aparatem, łatwość i "przychyłość" jego obsługi pod wodą oraz niepomierzalna komponenta zaufania nurków w stosunku do sprzętu pewnego i sprawdzonego wielokrotnym użyciem (także podczas wcześniejszych – 1992 – nurkowań helioksowych) (24,26). Wymieniony aparat miał być stosowany jako uciezkowy lub (i) wyrównawczy objętościowo dla worków oddechowych, natomiast odstawowym rodzajem pracy aparatu była wersja przewodowa przy zasilaniu z analogicznego parametrycznie dozownika, umieszczonego w dzwonie nurkowym (15). Roboczy zapas czynnika oddechowego znajdował się w zespole butli na dzwonie nurkowym. Wynosił 16 metrów sześciennych (1,7).

PRZEBIEG NURKOWAŃ

Proces pojedynczego nurkowania przewiduje zastosowanie trzech rodzajów czynnika oddechowego: a) mieszanina oddechowa (odpowiednia do głębokości roboczej) – zanurzenie, pobyt (praca) na dnie i proces dekompresji, b) powietrze – zanurzenie i proces dekompresji, c) tlen – proces dekompresji (1,26,28).



Rys. 1. Wykres poglądowy pojedynczego zanurzenia roboczego (bez zachowania skali).

Initially it was decided that the rebreathers used in the dives would be semi-closed apparatuses with breathing mix regeneration, FGG-III and GAN-87, with an umbilical supply. In the end, only the FGG-III apparatuses were used as primary equipment – the decisive factor was the divers' familiarity with the rebreather, its easiness to use under water and reliability of a proven device (used during the previous heliox dives carried out in 1992) (24, 26). The above rebreather was to be used as an escape or (and) compensatory apparatus for breathing bags, whereas its primary type of work was based on a version with the feed from a parametrically analogous feeder placed in the diving bell (15). Working reserve of the breathing mix was kept in a cylinder set on the diving bell. Its volume was equal to 16 cubic meters (1, 7).

WORKING DIVES

A single dive process encompassed an application of three types of breathing mixtures: a) a breathing mix (suitable for the working depth) – submergence, stay (work) at the bottom and the decompression process, b) air – submergence and the decompression process, c) oxygen – the decompression process (1, 26, 28).

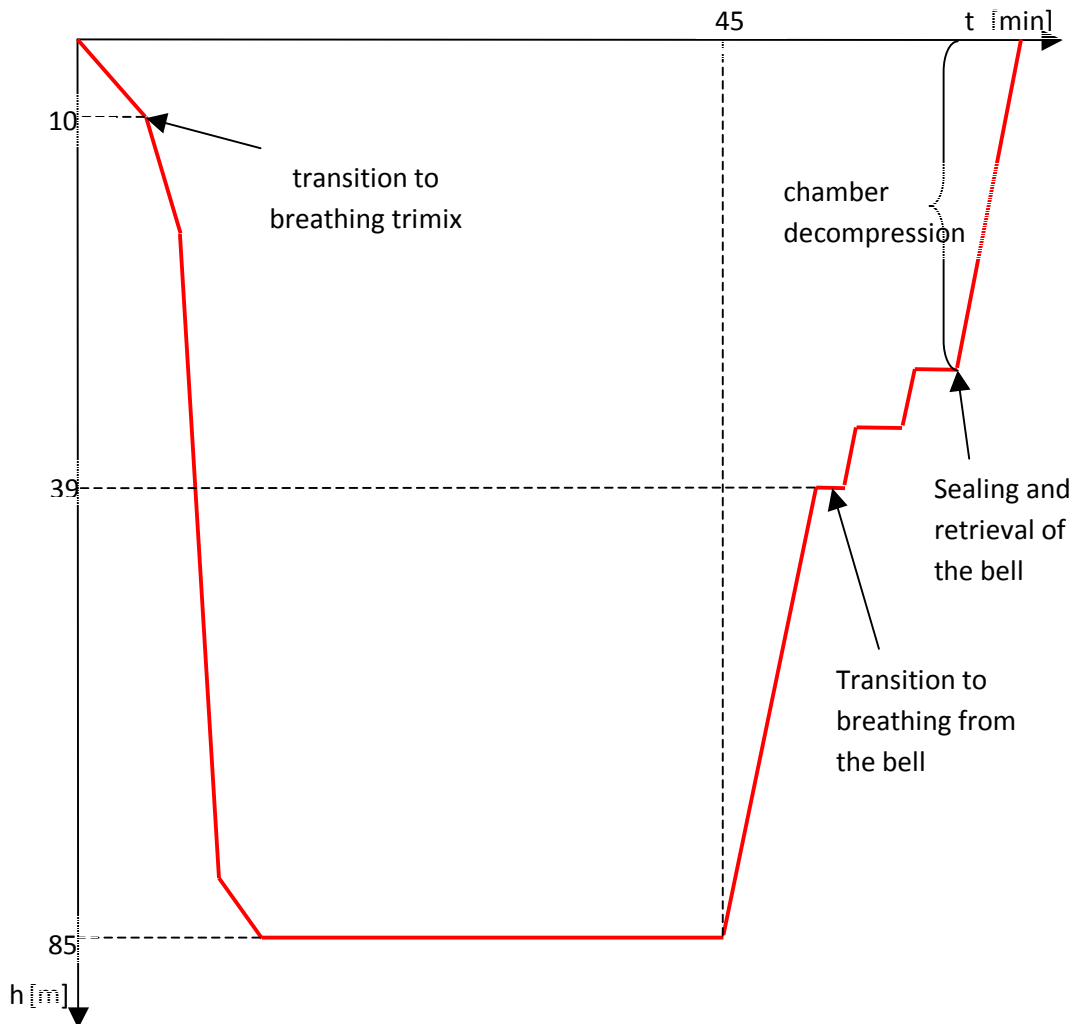


Fig. 1. Demonstrative chart of a single working dive (without scaling).

ROBOCZE TABELE DEKOMPRESYJNE POLICZONE DLA OPISYWANEGO PRZEDSIĘWZIĘCIA I STOSOWANE W TRAKCIE WYKONYWANYCH ROBÓT (1).

Tabela 1.

Dla głębokości 65 m i mieszaniny oddechowej o składzie: tlen=22%, azot=42%, hel=36%.

Głębokość nurkowania [m]	Czas pobytu [min]	Czas wynurzenia do I stacji [min]	Głębokość stacji w metrach																Łączny czas dekompresji [min]				
			Mieszanina						Powietrze						Tlen								
			39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3								
65	10	6											3	4	7	6	7	11	22	66			
	15	5										3	3	5	8	9	7	11	16	32	99		
	20	5										3	6	8	8	11	10	12	25	32	120		
	25	4									4	4	8	8	9	17	11	19	26	32	142		
	30	4									6	6	8	8	16	18	15	21	26	37	165		
	35	4									6	6	9	13	16	20	19	22	25	43	183		
	40	4										3	6	7	10	15	15	30	19	22	27	47	205
	45	4										4	6	8	13	15	19	36	19	22	32	47	225
	50	4										4	7	11	13	15	28	36	19	22	36	47	242
	55	4										5	8	12	13	17	32	36	19	24	38	49	257
60	4										5	11	12	13	24	32	36	19	27	38	56	277	

Tabela 2.

Dla głębokości 75 metrów i mieszanki oddechowej o składzie: tlen=20%, azot=38%, hel=42%.

Głębokość nurkowania [m]	Czas pobytu [min]	Czas wynurzenia do I stacji [min]	Głębokość stacji w metrach															Łączny czas dekompresji [min]					
			Mieszanka					Powietrze					Tlen										
			39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3								
75	10	6								3	3	3	7	9	6	9	13	27	86				
	15	6								3	3	6	8	8	10	9	12	21	33	119			
	20	6								7	7	7	8	8	18	11	17	26	33	148			
	25	6								4	6	7	7	9	15	18	17	22	25	38	174		
	30	6								7	7	7	9	14	16	23	19	22	25	45	200		
	35	5								2	4	4	6	8	13	14	16	35	19	22	30	47	225
	40	5								3	4	5	6	12	13	14	26	36	19	22	35	48	248
	45	5								3	4	6	11	12	13	18	32	36	19	24	37	52	272
	50	5								4	5	7	11	12	13	24	32	36	19	29	37	62	296
	55	5								5	6	8	11	12	19	28	32	36	20	31	37	70	320
60	5								5	7	9	11	12	26	28	32	36	23	31	37	77	339	

Table 2.

The depth of 75 metres and the breathing mix with the following composition: oxygen = 20%, nitrogen = 38%, helium = 42%.

Diving depth [m]	Stay time [min]	Time of ascending to station I [min]	Station depths in metres																	Total decompression time [min]							
							39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3								
			Mix				Air						Oxygen														
75	10	6										3	3	3	7	9	6	9	13	27	86						
	15	6										3	3	6	8	8	10	9	12	21	33	119					
	20	6										7	7	7	8	8	18	11	17	26	33	148					
	25	6												4	6	7	7	9	15	18	17	22	25	38	174		
	30	6												7	7	7	9	14	16	23	19	22	25	45	200		
	35	5												2	4	4	6	8	13	14	16	35	19	22	30	47	225
	40	5												3	4	5	6	12	13	14	26	36	19	22	35	48	248
	45	5												3	4	6	11	12	13	18	32	36	19	24	37	52	272
	50	5												4	5	7	11	12	13	24	32	36	19	29	37	62	296
	55	5												5	6	8	11	12	19	28	32	36	20	31	37	70	320
	60	5												5	7	9	11	12	26	28	32	36	23	31	37	77	339

Tabela 3.

Dla głębokości 85 metrów i mieszanki oddechowej o składzie: tlen=16%, azot=30%, hel=54%.

Głębokość nurkowania [m]	Czas pobytu [min]	Czas wynurzenia do I stacji [min]	Głębokość stacji w metrach																	Łączny czas dekompresji [min]	
			51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3		
			Mieszanka					Powietrze						Tlen							
85	15	6								3	5	7	7	8	13	19	11	16	26	32	153
	20	6							4	5	6	7	8	15	17	19	16	21	26	37	187
	30	5			2	3	4	5	6	11	13	14	15	23	38	19	22	31	47	258	
	45	5		2	4	5	6	7	9	11	12	13	24	30	33	38	19	32	37	84	371
	60	5		4	7	8	8	9	10	14	22	25	27	30	33	43	28	31	59	93	456

Table 3.

The depth of 85 metres and the breathing mix with the following composition: oxygen = 16%, nitrogen = 30%, helium = 54.

Diving depth [m]	Stay time [min]	Time of ascending to station I [min]	Station depths in metres																	Total decompression time [min]	
			51	48	45	42	39	36	33	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3		
			Mix					Air							Oxygen						
85	15	6								3	5	7	7	8	13	19	11	16	26	32	153
	20	6							4	5	6	7	8	15	17	19	16	21	26	37	187
	30	5			2	3	4	5	6	11	13	14	15	23	38	19	22	31	47	258	
	45	5		2	4	5	6	7	9	11	12	13	24	30	33	38	19	32	37	84	371
	60	5		4	7	8	8	9	10	14	22	25	27	30	33	43	28	31	59	93	456

Ponieważ, jak wynika z powyższych założeń, przewidziano do nurkowania aparaty z regeneracją czynnika oddechowego – ważny jest czas ochronny, obliczony na zdolność pochłaniania dwutlenku węgla przez masy chłonne pojedynczego aparatu, co przedstawia się:

- dla mas chłonnych CH 508 (CH 52 firmy Draeger) – 3 godziny,
- wapna sodowanego (POCH Polska) – 90 min.

Obydwa rodzaje mas chłonnych były zaopatrzone firmowo w optyczny (barwny) wskaźnik zużycia (8).

Do obowiązków wyznaczonego wewnątrznie lekarza z pary zabezpieczającej należało sprawdzenie masy chłonnej pod względem specyfikacji technicznej, stanu fizycznego, sposobu przygotowania porcji jednorazowej (przesiewanie) i prawidłowości napełniania pochłaniacza aparatu przeznaczonego do użycia, oraz odnotowanie tego w dokumentacji medycznej. Zapas mas chłonnych był przewidziany dla każdego nurka przy nurkowaniu jednokrotnym. Wymiana następowała po każdym nurkowaniu, niezależnie od optycznego wskaźnika zużycia.

Zapasy czynników oddechowych, wyliczone z czasu ochronnego aparatów dla strefy głębokości 75 – 90m wynosiły:

- mieszanina na 1 nurka – 4 metry sześciennie,
- tlen na 1 nurka – 6 metrów sześciennych (9,15,18).

Zamieszczone poniżej tabele (rys 1 i rys. 2) dekompresyjne, policzone i sporządzone według teorii neo-haldanowskiej na potrzeby opisywanego projektu, zawierają w części tlenowej czasy tzw. bezwzględne. Podane czasy nie zawierają zatem przerw powietrznych, jakie zdecydowano się stosować, mając na względzie tak bezpieczeństwo i odpoczynek oksydacyjny dolnych dróg oddechowych, jak i alimentacyjne potrzeby organizmu nurka, zwłaszcza równowagę wodno-elektrolitową, i podaż energetyczną. Z wyliczeń dotyczących wchłoniętych jednostek UPTD stosując współczynnik przeliczalności tlen: powietrze wynoszący 1:2,5 (różniący się zatem od obowiązujących w standardowych tabelach Marynarki Wojennej RP zasad rosyjskich) wypracowano procedurę dzielenia dekompresji tlenowej oddechowymi przerwami powietrznymi na stacjach 6 i 3 metrowych, wynoszącymi 5 minut oddychania powietrzem na każde 30 minut oddychania tlenem.

Takie zalecenie zostało zresztą zawarte w "Instrukcji...", z której zespół zabezpieczenia medycznego obowiązany był korzystać. Stosując fizjologiczne podstawy motoryki przewodu pokarmowego przez pryzmat obszarów odsycenia, powietrzne przerwy na stacji 6 metrów wykorzystywano na zbilansowanie równowagi wodno-elektrolitowej nurków i wyrównanie względnej hipoglikemii, zaś na stacji 3 metry – już na typowe zbilansowanie energetyczne. Za każdym razem płyny i pożywienie były wypadkową okrętowego jadłospisu dekadowego, ocenianego doraźnie przy każdym nurkowaniu osobniczego wydatku energetycznego oraz w miarę możliwości, gustów i upodobań indywidualnych nurków. Aby nie dopuścić do zbyt szybkiej konsumpcji i konsekwentnego zjawiska przeciążenia (zalegania treści) przewodu pokarmowego, przerwy "posiłkowe" miały płynny, starannie tachymetryzowany wymiar czasowy, i tak były wliczane do ogólnego czasu dekompresji. Nie zdarzyło się jednak przekroczenie czasów przerw powietrznych o wartość większą niż 9 minut łącznych (z notatek własnych) (1,6,19,20,30).

Studiując i porównując zastosowane tabele dekompresyjne z dostępnymi materiałami pochodzącymi z innych źródeł (a podstawą wyjściową był dla zespołu medycznego US Navy Diving Manual), postawiono pytanie zasadnicze - jak "ciasne" są podane czasy poszczególnych stacji, i na co, mimo starannego przygotowania – nie zwrócono uwagi, bądź nie wzięto pod uwagę (3,5,16,18,19,20,21,22).

Since, as it stems from the above assumptions, the selected apparatuses allowed for breathing mix regeneration – what was important was the protected time regarding the capacity of carbon dioxide absorption by the absorbent masses of a single rebreather, which was as follows:

- for absorbent masses CH 508 (CH 52 by Draeger Company) – 3 hours,
- for soda lime (POCH Poland) – 90 min.

Both types of absorbent masses gradually changed colour as they were consumed, a system which indicated the remaining life of the absorbent (8).

The duties of an internally appointed doctor from the securing pair included checking the absorbent mass with regard to its technical specification, physical state, preparation of a single portion (sieving) and the correct filling of the absorber in the rebreather prepared for use, as well as making suitable records in the medical documentation. The reserves of absorbent masses were prepared for each diver appointed for a single dive. The replacement of the absorbent was conducted after each dive irrespective of the indication on the visual marker.

The breathing mixture reserves calculated on the basis of the protected time for the apparatuses for the depth ranges of 75 – 90m were as follows:

- mix per 1 diver – 4 cubic metres,
- oxygen per 1 diver – 6 cubic metres (9,15,18).

The above decompression tables (fig. 1 & 2), calculated and prepared in accordance with neo-Haldane theory for the needs of the project, include in the oxygen part the so-called absolute time values. Hence, the provided time values do not include the air breaks applied with consideration of both the divers' safety and oxidative rest of the lower respiratory tract, as well as alimentary needs of the organism, particularly the water-electrolyte balance and energy supply. Based on the calculation regarding the absorbed UPTD units using the conversion factor oxygen:air of 1:2.5 (therefore different from the Russian principles applied in the standard tables of the Polish Navy) a procedure has been worked out consisting in the introduction of air breaks during oxygen decompression at the stations at 6 and 3 metres, i.e. 5 minutes of breathing with the air per each 30 minutes of breathing with the oxygen. This recommendation is also included in the "Instruction..." that the medical security team was obliged to observe. Using the physiological bases of the motor activity of the alimentary tract through the prism of undersaturated areas, the air breaks at the station at the depth of 6 metres were to provide water-electrolyte balance in the divers, as well as level out possible hypoglycaemia, whereas those at the station at the depth of 3 metres to provide energy balance. Each time the consumed liquids and food came from the ship's decadent menu evaluated at each dive with regard to divers' energy consumption. In order to prevent too rapid consumption and the related overload on the alimentary tract (lingering chyme) the 'meal' breaks were carefully tachymetrized and counted in the total decompression time. However, the air breaks were not exceeded by more than 9 minutes in total (own notes) (1, 6, 19, 20, 30).

While studying and comparing the applied decompression tables with the available materials from other sources (with the US Navy Diving Manual as the base source for the medical team), a fundamental question was posed of how "tight" the times spent at particular stations were and what, despite the careful preparations, could have been omitted (3, 5, 16, 18, 19, 20, 21, 22).

The following possibilities were enlisted:

- more or less intended leakiness of oxygen masks (and consequently breathing of a less enriched mixture),
- insufficient evaluation of the impact of the fat tissue (the 3rd undersaturated area) on the decompression (single decompression and the so-called repetitive error),

Typowanie obejmowało:

- mniej lub bardziej niezamierzone nieszczelności masek tlenowych (tym samym oddychanie czynnikiem zubożonym)
- niedostateczną ocenę wpływu tkanki tłuszczowej (III obszar odsycenia) na przebieg dekompresji (pojedynczej i tzw. sumaryczny błąd powtarzalny,
- zatajenie (dysymulację) przez nurka (ów) przypadłości i schorzeń układu kostnow stawowego i nieznacznych (zwykle bagatelizowanych lub skrywanych) niedomóg narządu ruchu,
- niefrasobliwość i niesumienność nurka (ów) w kwestii sposobu spędzania czasu wolnego (alkohol, zbyt krótki wypoczynek, kardynalny błąd dietetyczny /przejedzenie/).

Ponieważ po raz pierwszy zespół medyczny miał do czynienia z taką technologią i związanym z nią reżimem dekompresyjnym, po przedyskutowaniu i w oparciu o niepełne relacje i doświadczenia z wcześniejszych (lata 80-te) nurkowań helioksonowych na podobnych głębokościach, przedsięwzięto kilka kroków logistycznych, stosowanych podczas całego projektu:

- Personalizacja nurkowań i dekompresji pod względem:

A) doboru par roboczych pod kątem przewagi aktywności i koncentracji w rytmie dobowym ze względu na tok dekompresji w astronomicznej porze doby przez pryzmat poczucia samokontroli,

B) poznania, zanotowania i realizacji upodobań par nurkowych pod względem optymalizacji samopoczucia w toku dekompresji (ulubiona poduszka, koc, dres, przygotowana i wybrana literatura, odtwarzacz muzyki, upodobania dietetyczne, słodzenie napojów itd.),

C) częstości i sposobu komunikacji między nurkami w komorze dekompresyjnej (preferencje komunikatów słownych lub akustycznych, podawanie upływu czasu i jego składowych, kontakt wizualny).

- Używana jako ocieplenia 1-szej warstwy rajstop damskich (wtedy nie stosowano jeszcze, teraz ogólnie dostępnych, dzianin technicznych – bielizna nurkowa była bawełniana i wełniana – odp. 1-sza i 2-ga warstwa). Zostało to wypróbowane i pozytywnie zaopiniowane przez użytkowników podczas nurkowań treningowych.

- Treningu mowy w komunikacji nurek – nurek i nurek – powierzchni. Nie używano wtedy przetwornika głosowego, stosowanego do komunikacji "helowej" a należało uwzględnić termiczne straty ustrojowe, jakie zwiłokrotniają się podczas emisji głosu.

Nie mając możliwości dopplerowskiej diagnostyki niemych postaci choroby dekompresyjnej i stresu dekompresyjnego (system ten ZSNiTPP pozyskał i wprowadził już po zakończeniu opisywanego projektu), w stanach awaryjnych lekarze zabezpieczający musieli polegać na wywiadzie i zgłaszanych objawach subiektywnych. Aby wykluczyć bóle mięśniowe i stawowe pochodzenia "niedekompresyjnego", postanowiono zatem wszystkich nurków, biorących udział w projekcie, poddać badaniom w kierunku stanów zapalnych i schorzeń reumatoidalnych.

Pakiet badań laboratoryjnych obejmował:

- szybkość sedymentacji krwinek (OB).
- rozmaz obrazu białokrwinkowego i leukocytozę,
- odczyn latexowy,
- odczyn Vaalera-Rosego.

Badania takie przeprowadzano corocznie, zawsze na początku sezonu roboczego, archiwizując je i porównując z aktualnym stanem fizykalnym.

Odbyto także kilka rozmów z bardziej doświadczonymi lekarzami-fizjologami służby nurkowej oraz ze specjalistami reumatologami, aby poznać najczęstsze sposoby opisywania bólu schorzeń stawowych. Na tej podstawie opracowano tabelę różnic i podobieństw, aby móc się nią posługiwać podczas diagnostyki różnicowej (4,5).

- the divers' hiding (dissimulation) of dysfunctions and ailments of the osteoarticular system and insignificant (usually disregarded or concealed) weakness of the organ of locomotion,

- divers' light-heartedness and unconscientiousness with regard to how they spend their free time (alcohol, insufficient rest, cardinal dietary mistakes/overeating).

Since the medical team were dealing with the above technology and the related decompression regime for the first time, after a discussion and consideration of incomplete relations and experiences from the previous heliox dives at similar depths (in the 1980s) several logistic measures were adopted to be applied in the entire course of the project:

- Diving and decompression personalisation with regard to:

A) the selection of working pairs in relation to increased activeness and concentration in the circadian cycle considering decompression at the astronomical time of the day through the prism of the feeling of self-control,

B) learning, noting and realising the divers' predilections in order to optimize their physical well-being in the course of decompression (their favourite pillow, blanket, tracksuit, literature, music, dietary inclinations, sweetness of drinks, etc.),

C) frequency and mode of communication between divers in the decompression chamber (preference of verbal or acoustic communication, informing of the passage of time, eye-contact).

- Using tights as the first layer for insulation (not used then, now free access to technical knitwear – diving underwear was made of cotton and wool – the 1st and 2nd layer respectively). This was tested and received a positive reception from the divers during the training dives.

- Speech training in the diver – diver and diver – surface communication. A voice converter was not used during the 'helium' dives and it was necessary to consider the increased thermal losses during voice production.

Without access to Doppler diagnostics of silent forms of decompression sickness and stress (the system was acquired and introduced by the Institute after project completion), in emergency situations, the securing doctors had to base their diagnoses on their interviews and the reported subjective symptoms. In order to rule out muscular and articular pain not related to the decompression, all the divers participating in the project were subjected to tests aimed at the detection of possible inflammatory and rheumatoid conditions.

The package of laboratory tests included:

- erythrocytes sedimentation rate (OB) test,
- leucocytosis smear,
- latex fixation test,
- Waaler-Rose test.

The above tests were conducted annually, always at the beginning of a working season. They were archived and compared with the divers' current physical condition.

Moreover, several consultations with more experienced doctors-physiologists of the diving department as well as with specialist rheumatologists were undertaken for the purpose of determining the most common ways of describing pain in arthral conditions. This allowed the preparation of a table of similarities and differences to be applied in differential diagnosis (4, 5).

In the course of the work over the first season, a decompression algorithm was worked out and applied. The algorithm was based on the application (or omission) of "zero" time for the stations at the depths of 24, 21, 18 and 15 metres, which consisted in the omission of the chronometry of transition times between those stations.

W trakcie prac w pierwszym sezonie opracowano, i stosowano później własny algorytm dekompresyjny, polegający na stosowaniu (lub nie) czasu "zerowego" dla stacji 24, 21, 18 i 15 metrów, co polegało na nieuwzględnianiu chronometryzacji czasów przejść między wymienionymi stacjami.

Stosowano tę zasadę w przypadku wyższego niż zakładany wysiłku nurka roboczego podczas wykonywania zadania, lub sytuacji stresowej, która dotknęła parę roboczą (zgubienie i poszukiwanie narzędzia, przerwa w komunikacji i podobne).

Dysponując bardzo szerokim materiałem porównawczym z zakresu podstawowych badań układu krążenia (Książki Badań Nurków obu okrętów ratowniczych), postawiono wniosek stwierdzający niskie RR (średnio 105/65 mm Hg) i wolną akcję serca na pograniczu bradykardii (52 – 47 uderzeń/min), utrzymujące się do 120 min. po wynurzeniu. Badania RR i AS prowadzone na opisywanych nurkach roboczych podczas powietrznych nurkowań treningowych potwierdziły w tej grupie względną hipotonię i skłonności do bradykardii w okresach powynurzeniowych.

W świetle tego stwierdzenia, mając na względzie polepszenie procesu odsycenia I-go i częściowo II-go obszaru, opracowano i wprowadzono do procesu dekompresji elementy czynnej gimnastyki izometrycznej. Ćwiczenia miały na celu poprawę krążenia żylnego mięśni szkieletowych poprzez zastosowanie wysiłkowego "vis a latere" w naprzemiennych cyklach 12-powtórzeniowych dla poszczególnych grup mięśniowych przy zachowaniu leżącej (spoczynkowej) pozycji ciała. Cały bowiem proces dekompresji roboczej, poza przerwami alimentacyjnymi, odbywał się w pozycji leżącej.

Poczynając od stacji 27 m, zastosowano model gimnastyczny 5 minutowy w połowie czasu każdej stacji do 30', oraz w 10 i 25 minucie każdej stacji powyżej 30' na stacjach powietrznych i tlenowych 12 i 9 metrów. Z racji przerw alimentacyjnych na stacjach 6 i 3 metry zastosowano model odpowiednio – 10 i 30 minuta oraz 20 i 60 minuta. Na stacji 3 metry czasy gimnastyki zostały wydłużone do 10 minut.

Dekompresja robocza odbywała się w temperaturze otoczenia 19-20 stopni Celsjusza (mierzonych w połowie wysokości przedziału), przy wilgotności względnej 65 – 75% (w tych samych warunkach pomiaru). Rotametryczny pomiar przewietrzania przedziałów wynosił 0,3 do 0,6 metra sześciennego/min (w zależności od oksymetrii przedziałów, gdzie parametry nie mogły być niższe niż 20% tlenu) na stacjach powietrznych. Podczas przejść między stacjami przewietrzanie powiększono do 1 metra sześciennego/min (odbiór wilgoci, powstałej w przemianie adiabatycznej gazu). Na stacjach tlenowych zrezygnowano z przewietrzania ciągłego z uwagi na uciążliwy dla nurków hałas (szum szerokopasmowy), uzależniając przewietrzanie od wyniku oksymetrii przedziałów w rozumieniu bezpieczeństwa pożarowego (5,7,10,23,25).

W stanach awaryjnych należało się posługiwać algorytmami zawartymi w "Zasadach zabezpieczenia medycznego nurkowań głębokich", sygn. Mar.Woj 872/82.

Mimo starannego przygotowania przedsięwzięcia, nie udało się uniknąć sytuacji, które zaowocowały koniecznością wdrożenia procedur awaryjnych.

PRZYPADEK 1

Nurkowanie robocze, dekompresja z 85 metrów, 45 minut. Nurek roboczy "A". Dla robót w tym sektorze dna standartowa głębokość i czas. Wydatek ergonomiczny średni, tok pracy normalny, czynności powtarzalne, o znanej, wytrenowanej mechanice. Obciążenie psychiczne standartowe dla danego procesu powtarzalnego. Pora wieczorna, zakończenie procedury godzina 21.55. Wywiad i badanie fizykalne po osiągnięciu powierzchni – negatywne.

W procesie dekompresji kilkakrotnie zwrócona uwaga na ułożenie ciała – na lewym boku, z głową podpartą na lewej dłoni. Lewy bark przywiedziony do szyi, zgięcie lewego łokcia pod kątem 30 – 35 stopni. Czas łączny w tej pozycji około 25 – 30 minut.

This rule was applied in cases of higher exertion by a diver than previously assumed for a given task, or a stress situation that affected the working pair (loss and search for a tool, communication break, etc.).

Broad comparison of the material collected on the basic circulatory system tests (Diver Medical Log of both rescue ships), allowed to conclude a low RR (on average 105/65 mm Hg) and a slow heartbeat rate on the fringe of bradycardia (52 – 47 beats/min) for as long as 120 minutes after emergence. The RR and AS tests, carried out on the working divers during air dives, confirmed relative hypotonia and susceptibility to bradycardia in post-emergence periods.

In the light of this assertion, in order to improve the desaturation process on the 1st and partly on the 2nd area, elements of active isometric gymnastics were introduced into the decompression process. The exercises were to improve venous circulation in the skeletal muscles through the application of the "vis a latere" test in alternating cycles of 12 repetitions for particular muscle groups in a lying down position.

Starting from the station at 27 m, a 5-minute exercise model was applied at half time of each station with the total time of up to 30 minutes, as well as at the 10th and 25th minute of each air and oxygen station at 12 and 9 m with the time exceeding 30 minutes. Due to alimentary breaks at the stations at the depths of 6 and 3 metres, the following model was applied respectively: the 10th and 30th minute, and the 20th and 60th minute. At the 3-metre station the exercise times were extended to 10 minutes.

Working decompression was carried out at an ambient temperature of 19-20 degrees Celsius (measured at mid-height of the compartment), with relative humidity of 65 – 75% (with the same measurement conditions). The rotometric measurement of compartment ventilation reached from 0.3 to 0.6 cubic metre/min (depending on compartment oxymetry where parameters could not be lower than 20% of oxygen) at the air stations. During the transition between stations the ventilation was increased to 1 cubic metre/min (reduction of humidity resulting from gas adiabatic process). It was decided to resign from continuous ventilation in the oxygen station due to substantial noise (white noise) disturbing the divers – the need for ventilation was based on compartment oxymetry results with regard to fire safety (5, 7, 10, 23, 25).

In emergency situations it was advised to apply algorithms included in "The principles for medical security of deep dives", cat. no. 872/82.

Despite careful preparation of the undertaking it was not possible to avoid situations requiring the implementation of emergency procedures.

CASE 1

Working dive, decompression from 85 metres, 45 minutes. Working diver "A". Standard depth and time for the works performed in this sector of the sea bottom. Medium energy expenditure, normal working course, repetition of a familiar and trained activity. Standard psychical burden for a given repetitive process. Time of the day – the evening, procedure completion 9.55 pm. Medical interview and physical examination after reaching the surface – negative.

During the decompression process, attention was drawn several times to body position – on the left side, with the head rested on the left hand. Left shoulder lifted to the neck, left elbow bent at the angle of 30 – 35 degrees. Total time in the described position – ca. 25 – 30 minutes.

Pain in the left shoulder area reported on the next day at 7.40 am, persisting since ca. 5.00 am. Characteristics: intensity 3-4 VAS, continuous, spread, not radiating, slightly relieved when warmed up and after joint stabilization. The diver's description: "1. as if it originates from the inside, 2. as if somebody stretched gum inside /cit./".

Bóle obejmujące okolice lewego barku zgłoszone dnia następnego, godz. 07.40., trwające od godz. 05.00 (ca.). Charakterystyka: natężenie 3-4 SW-A, stały, rozlany, nie promieniujący, nieznacznie słabnący na ogrzewanie i stabilizację stawu. Określenia własne: "1 jakby wychodził ze środka, 2 jakby ktoś tam gumę rozciągał /cit./".

Pozycja ciała dowolna, lewa kończyna górna podtrzymywana prawą (podparcie prawą dłońią lewego łokcia), głowa mimowolnie przywiedziona do lewego barku, niewielkie napięcie mięśni lewostronnej trakcji szyja – bark. Powtarzający się "grymas bólowy" na twarzy.

Zdecydowano o rekompresji leczniczej w/g Tabeli 5. Leczenie rozpoczęto o godz. 09.00.

Zmniejszenie bólu nurek zasygnalizował podczas procesu sprężania (11 – 12 m), całkowite ustąpienie bólu w 4 minucie stacji 18 m. Przebieg rekompresji bez powikłań. Brak nawrotu epizodu bólowego i powrót pełnej motoryki przed upływem 24 godzin.

Parametry układu krążenia przez okres leczenia i obserwacji po leczeniu bez odchyień, stałe osobniczo. Wobec braku nawrotu późnego zdecydowano o powrocie do czynności służbowych w 4 dobie po leczeniu.

PRZYPADEK 2

Nurkowanie robocze, dekompresja z 85 metrów, 45 minut. Nurek roboczy "A" (osoba tożsama z przypadkiem 1). Dla robót w tym sektorze dna standartowa głębokość i czas. Wydatek ergonomiczny niski/średni, tok pracy normalny, czynność powtarzalna jednostajna, o znanej mechanice. Obciążenie psychiczne mogło być zwiększone – upuszczenie i poszukiwanie narzędzia. Pora wieczorna, zakończenie procedury godzina 22.10. Wywiad i badanie fizykalne po osiągnięciu powierzchni – negatywne.

W procesie dekompresji powietrznej trzykrotne tonowanie żywiołowych komentarzy i ekspresyjnego zachowania nurka, dotyczących własnego błędu i niedopatrzenia podczas pracy, oraz kilkakrotnie zwrócona uwaga na ułożenie ciała – na lewym boku, z głową podpartą na lewej dłoni. Lewy bark przywiedziony do szyi, zgięcie lewego łokcia pod kątem 30 – 35 stopni. Czas łączny w tej pozycji około 25 minut.

Bóle obejmujące okolice lewego barku zgłoszone dnia następnego, godz. 07.15, trwające od godz. 06.00 (ca.). Charakterystyka: natężenie 3-4 SW-A, stały, rozlany, nie promieniujący, nieznacznie słabnący na ogrzewanie i stabilizację stawu. Określenia własne: "boli tak samo, jak poprzednio /cit./". Pozycja ciała dowolna, lewa kończyna górna podtrzymywana prawą (podparcie prawą dłońią lewego łokcia), głowa mimowolnie przywiedziona do lewego barku, niewielkie napięcie mięśni lewostronnej trakcji szyja – bark. Powtarzający się "grymas bólowy" na twarzy. Towarzyszący nieznaczny niepokój psychoruchowy.

Zdecydowano o rekompresji leczniczej w/g Tabeli 5. Leczenie rozpoczęto o godz. 09.10.

Zmniejszenie bólu nurek zasygnalizował podczas procesu sprężania (15 – 16 m), całkowite ustąpienie bólu w 9 minucie stacji 18 m. Przebieg rekompresji bez powikłań. Brak nawrotu epizodu bólowego i powrót pełnej motoryki przed upływem 24 godzin. Parametry układu krążenia przez okres leczenia i obserwacji po leczeniu bez odchyień, stałe osobniczo. Wobec braku nawrotu późnego zdecydowano o powrocie do czynności służbowych w 4 dobie po leczeniu.

PRZYPADEK 3

Nurkowanie robocze, dekompresja z 85 metrów, 45 minut. Nurek zabezpieczający "C". Dla robót w tym sektorze dna standartowa głębokość i czas.

Free body position, the left upper limb supported with the right limb (the left elbow supported with the right hand), the head involuntarily drawn to the left shoulder, slight tension in the muscles of the left neck – shoulder traction. Repeated “grimace” (indicating pain) visible on the patients face.

Medical recompression advised acc. to Table 5. Treatment commencement 9.00 am.

The diver reported pain reduction during the compression process (11 – 12 m), complete pain remission occurred at the 4th minute of the 18-metre station. Recompression process proceeded without complications. Following treatment the patient experienced no recurrence of pain and a restitution of full motor activity before the lapse of 24 hours. Circulatory system parameters in the period of treatment and post-treatment observation indicated no aberrations. Due to lack of late pain recurrence the diver was allowed to return to his duties on the fourth day after the treatment.

CASE 2

Working dive, decompression from 85 metres, 45 minutes. Working diver "A" (the same person as in Case 1). Standard depth and time for the works performed in the sector of the sea bottom. Medium energy expenditure, normal working course, repetition of a familiar and trained activity. The psychical burden possibly increased – an incident of dropping and searching for a tool. Time of the day – the evening, procedure completion 10.10 pm. Medical interview and physical examination after reaching the surface – negative.

In the air decompression process the diver was asked three times to tone down his impulsive comments regarding his error and oversight at work; the attention was drawn several times to his body position – on the left side, with the head supported by the left hand. His left shoulder was brought to the neck, the left elbow bent at the angle of 30 – 35 degrees. Total time spent in this position – ca. 25 minutes.

Pain in the left shoulder area reported on the following day, 7.15 am., persisting from ca. 6.00 am. Characteristics: pain intensity 3-4 VAS, continuous, spread, not radiating, slightly relieved when warmed up and after joint stabilisation. The diver's description: "it is the same as before /cit./". Free body position, the left upper limb supported with the right limb (the left shoulder supported with the right hand), the head involuntarily drawn to the left shoulder, slight muscle tension in the left neck – shoulder traction. As before diver was visibly grimacing. An accompanying slight psychomotor agitation.

Medical recompression advised acc. to Table 5. Treatment commencement at 9.10 am.

The diver reported pain reduction during the compression process (15 – 16 m), complete pain remission occurred at the 9th minute of the 18-metre station. Recompression process without complications. Lack of pain recurrence and restitution of full motor activity before the lapse of 24 hours. Circulatory system parameters in the period of treatment and post-treatment observation indicated no aberrations. Due to lack of late pain recurrence the diver was allowed to return to his duties on the fourth day after the treatment.

CASE 3

Working dive, decompression from 85 metres, 45 minutes. Securing diver "C". Standard depth and time for the works in this sector of the sea bottom. Medium energy expenditure, normal course of work, repetitive uniform activity, with familiar mechanics.

Wydatek ergonomiczny średni, tok pracy normalny, czynność powtarzalna jednostajna, o znanej mechanice. Obciążenie psychiczne zwiększone – poczucie odpowiedzialności za komunikację z nurkiem roboczym i stała gotowość do opuszczenia dzwonu nurkowego w przypadku zaistnienia stanu awaryjnego. Pora popołudniowa, zakończenie procedury godzina 14.53. Wywiad i badanie fizykalne po osiągnięciu powierzchni – negatywne.

Szczegółowa charakterystyka: pozycja siedząca. Pochylenie do przodu ok. 15 st. Pochylenie tułowia w lewo ok. 5 st. Oparcie przedramion na udach, większy ucisk stały na stronę lewą. Opisywana postawa – przymusowa - determinanta czynności sygnalisty (trzymanie i kontrola wieloprzewodowej wiązki zasilająco-sygnałowej i zabudowy wnętrza dzwonu nurkowego).

Bóle obejmujące okolice lewych stawów – kolanowego i biodrowego, zostały zgłoszone dnia następnego około godz. 11.00. Charakterystyka: natężenie 4 SW-A, stałe obszarowo (bez promieniowania), bez związku z postawą ciała, bardzo nieznacznie słabnące podczas zginania stawów. Bez związku ze zmianami temperatury. Niewielką ulgę dawał automasaż (ok 0,5 SW-E na okres kilku minut). Opis własny: ból falujący, rozpychający, rozchodzący się od wewnątrz do skóry, tępy, głuchy.

Wywiad szczegółowy ujawnił nieznaczne pobolewania opisywanych obszarów, zauważane od kilku dni, zwykle podczas początku cyklu dekompresji tlenowej, ustępujące w czasie gimnastyki na stacji 3 m.

Jednorazowy nawrót wystąpił 3 dni wcześniej, rano, w dniu przerwy po dniu nurkowym, ale znacznie osłabł po ciepłej kąpeli (prysznic). Między innymi dlatego zgłoszenie nastąpiło stosunkowo późno od momentu wystąpienia pierwszego epizodu, jaki wystąpił 6 lub 7 nurkowań wcześniej. Nurek znajdował się w tzw. "ciągu roboczym" – cyklu prac cząstkowych, prowadzących do okresowego efektu finalnego zagadnienia technologicznego.

Zespół medyczny zdecydował o leczeniu w/g Tabeli 6. Podobnie jak w dwóch poprzednich przypadkach, także i teraz autor towarzyszył leczeniu wewnątrz komory dekompresyjnej.

Leczenie rozpoczęto o godz. 14.10. Całkowite ustąpienie bólu lewego kolana nurek zasygnalizował w 18 min. pierwszej stacji tlenowej. O "ustępowaniu" bólu biodra wyraził się niepewnie, że zmniejsza się do 2 SW-A w 6 min. drugiej stacji tlenowej. Po zachowaniu leczonego widać było ulgę i poprawę samopoczucia. W 4 minucie drugiej przerwy powietrznej stwierdził ustąpienie objawów, potwierdził je później dwukrotnie podczas trzeciej stacji tlenowej/18 metrów. Wobec częściowego ustępowania objawów, po konsultacji z drugim lekarzem, prowadzącym dekompresję z zewnątrz komory, zdecydowano o przedłużeniu rekompresji 18 m. o dodatkowe 25 min., co przewiduje algorytm Tabeli 6. Część 18/9 i 9/0 prowadzono w/g schematu podstawowego.

Na stacjach 9 m. nurek kilkunastokrotnie sygnalizował i potwierdzał całkowite ustąpienie objawów, całokształtem zachowania wyrażając radość ze skuteczności leczenia.

Przebieg rekompresji bez powikłań. Brak nawrotu epizodów bólowych i powrót pełnej motoryki przed upływem 24 godzin. Parametry układu krążenia przez okres leczenia i obserwacji po leczeniu bez odchyień, stałe osobniczo. Badanie po 48 oraz 96 godzinach po zakończeniu leczenia potwierdziło skutek leczenia – brak objawów bólowych i powrót motoryki. W 6 dobie po leczeniu zdecydowano o powrocie nurka do czynności służbowych. Po 8 dobach rozpoczął standartowy cykl treningu barycznego, powrót na głębokość roboczą nastąpił w 11 dobie po stwierdzeniu wyleczenia.

Increased psychical burden – feeling of responsibility for maintaining the communication with the working diver and constant readiness to leave the diving bell in case of emergency. Time of the day – the afternoon, procedure completion 2.53 pm. Medical interview and physical examination after reaching the surface – negative.

Detailed characteristics: sitting position. Leaning forward at the angle of ca. 15 degrees. Torso leaning to the left at ca. 5 degrees.

The forearms rested on thighs, an increased continuous pressure on the left side. The described position – forced – determined by the activities of a signalman (holding and controlling of a multicore supply-signal umbilical and the diving bell's partition).

The pain in the area of the left knee and pelvic joints was reported on the following day at ca. 11.00 am. Characteristics: pain intensity 4 VAS, not radiating, unrelated to body position, insignificantly weakening while bending the joints. Not related to temperature changes. Slight relief after a self-massage (ca. 0.5 VAS, for several minutes). The diver's description: the pain comes in waves, stretches and spreads from the inside to the skin, it is dull.

Detailed interview revealed a slight ache of the described areas observable for several days, usually at the beginning of oxygen decompression cycle, subsiding during the exercises at the 3-metre station. A single recurrence was observed 3 days earlier, in the morning, on the day free of diving exercises, however it was significantly relieved after a warm shower. This was one of the reasons why the pain was reported relatively late after the first episode, i.e. 6 or 7 dives earlier. The diver remained in the so-called "work course" – a cycle of partial works leading to a final effect of a given technological problem.

The medical team recommended treatment in accordance with Table 6. As in the previous two cases also in this case the author was present during the treatment inside the decompression chamber.

The treatment started at 2.10 pm. A complete pain remission of the left knee was reported by the diver at the 18th minute of the first oxygen station. He was not certain about the pain remission in the hip, he reported its reduction to 2 VAS in the 6th minute of the second oxygen station. The patient's behaviour indicated the feeling of relief and mood improvement. In the 4th minute of the second air break he ascertained remission of the symptoms, which he also confirmed twice during the third oxygen station/18 metres. With regard to partial symptom remission, after a consultation with the other doctor conducting the decompression from outside the chamber the decision was made to extend the 18-metre recompression by additional 25 minutes, which is possible according to the algorithm presented in Table 6. The parts 18/9 and 9/0 were carried out according to the primary scheme.

At 9-metre stations the diver signalled and confirmed complete symptom remission more than a dozen times, expressing with his behaviour satisfaction with the treatment.

Recompression process without complications. Lack of pain recurrence and restitution of full motor activity before the lapse of 24 hours. Circulatory system parameters in the period of treatment and the post-treatment observation indicated no aberrations. Medical examination 48 and 96 hours after treatment completion confirmed its positive result – no painful symptoms and restoration of motor activity. On the sixth day after the treatment the diver was released and returned to his duties. After 8 days he began a standard baric training cycle and returned to the working depth on the 11 day, after full recovery was confirmed.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Opisywane przykłady konieczności podjęcia leczenia (przypadek 1 i 2) miały miejsce w dwóch kolejnych sezonach, oba w początkowej fazie prac.

Każdorazowo po leczeniu następowała tygodniowa (lub dłuższa, zależnie od harmonogramu) przerwa, a powrót nurka poprzedzony standartowym cyklem treningowym (dwa sprężenia powietrzne do p=6ata).

Pierwotny wniosek przyczynowy, jaki postawił zespół medyczny, kładł nacisk na utrudnienie odpływu żylnego w lewej kończynie górnej, determinowane przybieraną podczas dekompresji pozycją (opisywane wyżej podparcie).

W późniejszym okresie przypadkowa rozmowa ujawniła ukrywany dotychczas epizod urazowy z życia nurka – wywichnięcie lewego barku i pęknięcie lewego obojczyka w wypadku motocyklowym 13 lat wcześniej, leczone przez unieruchomienie (opatrunek Dessaulta).

Niezależnie, autor pracy dzieląc się swymi spostrzeżeniami z wybitnym anatomem profesorem Wiesławem Łasińskim, został przezeń zainspirowany i ukierunkowany na szczegóły anatomicznego przebiegu przewodu piersiowego w topografii naczyniowej górnego otworu klatki piersiowej. Dyskutowana później na forum zespołu medycznego teza o "primary lymphatic bends" (przyjęta nazwa robocza), tak z racji topografii przewodu piersiowego, jak i budowy anatomicznej naczyń chłonnych oraz roli limfy w 1 obszarze odsycenia przez pryzmat najczęstszego umiejscowienia bólów, może być przesłanką do dalszych badań.

Opisywane leczenie przypadku 3 miało miejsce w końcowej fazie prac II sezonu roboczego. Wobec zebranego wywiadu, jaki został przytoczony powyżej, robocza teza, postawiona przez zespół medyczny traktowała o zsumowaniu się i spotęgowaniu (nałożeniu) pojedynczych subklinicznych epizodów choroby ciśnieniowej. Zastanawiano się, czy nie miało tu miejsca zaniedbanie lub niedbalstwo diagnostyczne podczas badań podekompresyjnych. Jednak odczuwanie bólu, jego postrzeganie i interpretacja przez pacjenta jest tak subiektywne i zmienne osobniczo, jak wielu jest dotkniętych cierpieniem i dyskomfortem.

Opisywane przedsięwzięcie zakończyło się liczbą 107 nurkowań roboczych. W czasie 4 –letniej pracy zabezpieczający zespół medyczny zdobył szerokie doświadczenie diagnostyczno – terapeutyczne, nie dopuszczając, w ramach dobrze przemyślanej, przygotowanej i rozwiniętej profilaktyki do powstania większej niż opisywana liczby zagrożeń i niepowodzeń dekompresyjnych.

Przekonano się o konieczności prowadzenia znuđenego, drobiazgowego wywiadu z jednoczesnym założeniem niepełnej ufności co do podawanych informacji, oraz starannego monitoringu i rejestrowania zachowania nurka podczas pracy i dekompresji roboczej. Istotna była także drobiazgowa staranność prowadzenia i nadzoru chronometrażu i odczytów instrumentalnych podczas dekompresji, a także przewidywanie niedopatrzania i błędu ludzkiego operatora komór, umiejętność wychwycenia i doraźnej korekcji błędu bez szkody dla prowadzonego przedsięwzięcia. Opisanie i przećwiczenie "na sucho" algorytmów postępowania awaryjnych i ustanowienie jednoosobowego kierownictwa każdego przedsięwzięcia tak roboczego, jak medycznego pozwoliło na sprawne przeprowadzenie procedur zarówno standartowych, jak i leczniczych.

Niezmiernie istotny pozostaje fakt wyrobienia w nurkach roboczych pełnej świadomości odpowiedzialności za własne zachowanie podczas dekompresji, jego kontrolę w świetle zachowania organizmu jako mechanizmu bionicznego, gdzie każde odchylenie od zadanego modelu zachowania implikuje określony ciąg przyczynowo-skutkowy, co unaocznily opisywane przypadki rekompresji leczniczej.

DISCUSSION OF RESULTS

The described examples of the necessity to undertake treatment (case 1 and 2) took place in two consecutive seasons, both in the initial phase of works.

Each time the treatment was followed by a week's break (or longer, depending on the programme), and the diver's return to work was preceded with a standard training cycle (two air compressions to p=6ata).

The original conclusion drawn by the medical team with regard to the cause of pain focused on the blood flow impairment from the left upper limb determined by the position adopted during decompression (as described above).

Later, a casual conversation revealed the diver had a previously undeclared injury not related to work – dislocation of the left shoulder and fracture of the left clavicle in a motorcycle accident that took place 13 years earlier, treated through immobilization (Dessault's bandage).

Independently of the above study, while sharing the views with an outstanding anatomist, Professor Wiesław Łaziński, the author of this work became inspired to conduct research concerned with the anatomic details of the thoracic duct in the vascular topography of the upper thoracic outlet. The "primary lymphatic bends" thesis (the adopted working term) later discussed at the medical team forum, both with regard to the topography of the thoracic tract and anatomic structure of lymphatic vessels as well as the role of lymph in the first desaturation area through the prism of the most common location of pain, may constitute material for further research.

The treatment applied in case 3 took place in the final stage of works of the second working season. With regard to the collected information (quoted above), the working thesis posed by the medical team stipulated an accumulation and intensification of individual subclinical episodes of the decompression sickness. It was considered whether certain diagnostic negligence was possible during the post-decompression examination. However, the feeling of pain with its interpretation formulated by patients is an extremely subjective issue and varies from patient to patient.

The described undertaking consisted in 107 working dives. During the 4 years' period the securing medical team gained vast diagnostic and therapeutic experience allowing them to prepare and develop preventive measures ensuring considerable reduction of hazards and failures connected with decompression activities.

It was concluded that it is absolutely indispensable to carry out a detailed and laborious interview on divers' conditions, maintaining at the same time a certain level of distrust to the provided information, as well as ensuring careful monitoring and collection of records on divers' behaviour at work and during the working decompression. What also mattered was a meticulous supervision of chronometric records and instrument reading during the decompression, as well as an anticipation of possible oversights and human errors by the chamber operators, with the ability to detect and correct them without any detriment to the conducted undertaking. "Dry" practice on emergency procedure algorithms and establishing a one-man supervision of each undertaking, both working and medical, allowed successful implementation of both standard and medical procedures.

It is extremely important that the undertaking resulted in instilling in the working divers' of full awareness of their responsibility for their behaviour during the decompression, having control over it while seeing it as a bionic mechanism, where each aberration from a specified model implies a certain cause-and-effect sequence of events, as it was visible in the described cases of medical recompression.

During the third and fourth season of the working dives, it was decided to extend the programme with a package of psychological tests concerned with the level of hidden fear in divers.

W trakcie III i IV sezonu nurkowań roboczych, zdecydowano się podczas treningowych nurkowań przygotowawczych na wprowadzenie pakietu badań psychologicznych dotyczących poziomu lęku ukrytego. Opracowanie badań doczekało się osobnej pracy, prezentowanej na konferencji PTMiTH w r.1999, już po zakończeniu opisywanych prac. Tym samym nie znalazło praktycznego zastosowania w opisywanym wyżej projekcie.

W czasie nadzorowanych i prowadzonych przez autora pracy dekompresji roboczych nie odnotowano przypadku zawahania, załamania nerwowego, nie obserwowano także znaczącego wpływu komponenty psychicznej na jakość i bezpieczeństwo prowadzonych prac.

WNIOSKI

1. Zastosowana technologia nurkowań okazała się odpowiednią do rodzaju prac wykonywanych na zadanych głębokościach, co zostało potwierdzone bardzo małą ilością epizodów leczniczych (3) na 107 zrealizowanych ekspozycji.

2. Zastosowane, opisywane rekompresje lecznicze, zostały zakończone pełnymi sukcesami terapeutycznymi, co dowodzi słuszności decyzji, co do sposobu ich przeprowadzenia.

3. Założony treningowy i roboczy model przygotowania barycznego i dekompresji roboczej, okazał się posunięciem udanym i sprawdził się w praktyce.

This study was described in a separate work and presented during a conference organized by the Institute in 1999, i.e. already after the completion of the said works. For this reason its findings were not implemented during the described project. Nonetheless, it must be stated that during the working decompressions supervised and carried out by the author of this work, no cases of hesitation or nervous breakdown were noted or a significant impact of a psychical component on the quality and safety of the conducted works was visible.

CONCLUSIONS

1. The applied diving technology proved to be appropriate for the types of work performed at the specified depths, which was confirmed by an extremely small number of medical cases (3) per 107 realized expositions.

2. The applied and described medical recompressions resulted in a complete therapeutic success, which confirms the validity of decisions concerning the treatment process.

3. The adopted training and working models of the baric preparation and working decompression proved to be the right and efficient measure.

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

1. Tymczasowa instrukcja 1/93 stosowania mieszanin trimiksowych w nurkowaniach głębokich cz.I i II – SRM 474/R z dn.29 czerwca 1993,
2. Zasady zabezpieczenia medycznego nurkowań głębokich – Mar.Woj. 872/82,
3. U.S. Navy Diving Manual 1980,
4. Książki badania nurków OORP 281 i 282,
5. A.Dolatkowski,K.Ulewicz "Zarys fizjopatologii nurkowania" PZWL1973,
6. G.Bartosz "Druga twarz tlenu" PWN 1995,
7. P.Bennet,D.Elliott "The physiology and medicine of diving" W.B.Saunders Co.,Ltd. London 1993,
8. BN-73/6191-116. Wapno sodowane,
9. BN-77/3746-10. Nurkowanie i sprzęt nurkowy. Nazwy i określenia,
10. BN-77/3746-12. Powietrze sprężone dla nurków,
11. Brennan D.M.A., Bdonchuk W.W.: Oxygen consumption of SCUBA divers – A technique for measurement and analysis. Proceedings of the 6-th International Conference on Underwater Education, October 1974, San Diego, California: National Association of Underwater Instructors 1975,
12. Butler G.J., Mastro S.J., Hulbert A.W., Hamilton R.W.: Oxygen safety in the production of enriched air nitrox breathing mixtures. Diving fo Science...1992 (Proceedings of the American academy of Underwater Sciences Twelfth Annual Scientific Diving Symposium) September 24 – 27, 1992 University of North Carolina at Wilmington,
13. Buehlmann A.A.: Decompression-Decompression Sickness: Springer-Verlag Berlin 1984,
14. Column selection for gs and light hydrocarbon analysis. C Biuletin 786C Supelco są,
15. Description FGG III: Draegerwer AG Luebeck,
16. Diving Manual: Ministry of Defence (Navy), B.R.2805 (Army Code No 61231) March 1982,
17. Donald K.: Oxygen and the diver: Images Ltd. Worcestershire 1993,
18. Edmonds C., Lowry C., Pennefathe J.: Diving and subaquatic medicine: Butterworth Heinemann Ltd. Oxford 1992,
19. Flook V.: Basic Respiratory physiology z: Flook V., Brubakk A.O.: Lung Physiology and divers' breathing apparatus: Proceeding from the Iternational Workshop Ballatre, Scotland, 1st - 4th November 1991,
20. Gilliam B., von Maier R.: Deep diving – an advanced guide to physiology, procedures and systems (Scientific applications of deep diving): Watersport Publishing Inc. San Diego 1992,
21. Glenn J.B., Mastro R.W., Hamilton R.W.: Oxygen safety in the production of enriched air nitrox breathing mixtures: Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences 12th Annual Scientific Diving Symposium Sept. 24th - 27th 1992: University of North Carolina at Wilmington,
22. Hamilton R.W.: Toleranting exposure to high oxygen levels: Repex and other methods. Mar. Tech. Soc. J.23(1989)19-25,
23. Kłos R.: Możliwości zastosowań metody analizy instrumentalnej do pomiarów wybranych domieszek substancji szkodliwych czynnika oddechowego w technice nurkowej: Praca wykonana na zlecenie Komitetu Badań Naukowych pod kryptonimem „NURSZELF”: AMW Gdynia 1991,
24. Kłos R.: Wstęp do teorii i badań aparatów nurkowych o półzamkniętym obiegu i stałym dozowaniu czynnika oddechowego: Opracowanie powstałe na

- zamówienie Komitetu Badań Naukowych p.k. NURSZELF: Akademia Marynarki Wojennej. Gdynia 1992,
25. Kłós R., Olszański R., Pachut M.: Ekspozycje tlenowe w nurkowaniach. Materiały z IV Sympozjum Nurkowanie – Problematyka Techniczna Akademia Marynarki Wojennej 13 – 14 października 1994 Gdynia,
 26. Kłós R., Olszański R., Pachut M., Skrzyński S.: Sztuczne czynniki oddechowe w nurkowaniach. Materiały z IV Sympozjum Nurkowanie – Problematyka Techniczna Akademia Marynarki Wojennej 13 – 14 października 1994 Gdynia,
 27. Przepisy nurkowania: Sygn. Mar. Woj. 913/84: Dowództwo Marynarki Wojennej Gdynia 1984,
 28. Reimers S.D., Hansen O.R.: Environmental control for hiperbaric applications: US Navy Experimental Diving Unit, Rep. NEDU 25-72(1972),
 29. Spaur W.H., Thalmann E.D., Manlbeck R.C.: Carbon dioxide absorbent canister studies of the hot water heated, helium-oxygen mode, mk-12 surface supplied diving system: NEDU Report No 20-78 Panama City 1978,
 30. Tabele dekompresji dla aparatu o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego w głębokowodnych nurkowaniach systemowych: Akademia Marynarki Wojennej Gdynia 1991; Projekt badawczy NR Rej. KBN 99841 91 02.

