



*Nr 1 (42)2013*

*ISSN 1734-7009*

*e-ISSN 2084 - 0535*

*kwartalnik*

*marzec 2013 rok*

*Polish – English*

*Bilingual Publication*

# Polish Hyperbaric Research

---

**Czasopismo  
Polskiego Towarzystwa Medycyny  
i Techniki Hiperbarycznej**



**Czasopismo**  
**Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej**

---

Stowarzyszenia Pożytku Publicznego KRS 0000066650

**Redaguje Zespół:**  
**Editorial Board:**

Redaktor Naczelny  
Editor-in-Chief

**Piotr Siermontowski**

e-mail: naczelnyPHR@10g.pl  
fax. +/48/ 58 626 22 30

Redaktor Prowadzący/Korekta  
Executive/Technical Editor

**Małgorzata Samborska**

e-mail: korektaphr@wp.pl

Tłumaczenia  
Translator

**Anna Węgrzyn**

Redaktor tematyczny  
Nauki Techniczne  
Section Editor

Technical Sciences

**dr hab. inż. Ryszard Kłos**

RedTech@wp.pl.

Redaktor tematyczny  
Nauki Medyczne  
Section Editor

Medical Sciences

**prof. dr hab. med.**

**Romuald Olszański**

RedMedPHR@wp.eu

Redaktorzy językowi  
Language Editors

**Stephen Burke (English)**

**Elena Lakomov (Русский)**

Redaktor statystyczny  
Statistical Editor

**Adam Olejnik**

[www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

adres redakcji:  
81 – 103 Gdynia 3  
ul. Grudzińskiego 4 skr. pocz. 18

# POLISH HYPERBARIC RESEARCH

**ISSN 1734 – 7009**

**EISSN 2084 – 0535**

Pismo indeksowane w bazach:

- BazTech
- Index Copernicus
- ARIANA
- GBL



**Rada Naukowa**  
**Scientific Committee**

prof. dr hab. med. Andrzej Buczyński, prof. med. Ugo Carraro (Włochy), dr hab. n. med. Grzegorz Cieślak, prof. dr hab. inż. Adam Charchalis, prof. dr hab. med. Krzysztof Chomiczewski, prof. dr Claude Cuvelier (Belgia), dr John T. Fitter (Australia), prof. dr hab. inż. Franciszek Grabski, dr hab. inż. Tadeusz Graczyk, prof. med. Siergiej Gulyar (Ukraina), dr hab. inż. Jerzy Garus, dr hab. med. Janusz Jerzemowski, prof. dr hab. med. Józef Kędziora, prof. dr hab. inż. Zbigniew Korczewski, dr hab. inż. Grzegorz Kowalski, prof. dr hab. med. Wojciech Kozłowski, prof. dr inż. Andrzej Krzyszkowski (Łotwa), prof. dr hab. Arvils Lielvards (Łotwa), dr hab. med. Joanna Łaszczyńska, prof. Sam Mesiano (USA), prof. dr hab. Igor Murawow (Ukraina), prof. dr hab. n. med. Krzysztof Narkiewicz, dr hab. med. Agnieszka Pedrycz, prof. dr hab. inż. Leszek Piaseczny, prof. Manny Radomski (Kanada), prof. dr hab. n. med. Aleksander Sieroń, prof. Roger Smith (Australia), prof. dr hab. n. med. Adam Stępień, dr hab. farm. Paweł Zarzycki prof. nadzw. PK

---

**Oświadczenia Redakcji**  
**Statement from the Editor**

Wersją pierwotną Polish Hyperbaric Research jest wersja drukowana.  
Polish Hyperbaric Research is originally distributed in print.

Artykuły drukowane są zgodnie z kolejnością nadsyłania do redakcji.  
Articles are printed according to the order in which they are submitted.

Informacje dla Autorów dostępne na stronie internetowej [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl).  
Information for Authors available at [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl).

Artykuły nadsyłane do druku recenzowane są zgodnie z zaleceniami Ministerstwa Nauki, zgodnie z przyznaną liczbą 5 punktów za publikację oraz punktacją Index Copernicus 4,5. Szczegóły procedury recenzowania na stronie internetowej [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl).  
Submitted articles are peer-reviewed in accordance with the Ministry of Science and Higher Education guidelines, according to the attributed number 5 points for publication and scoring by Index Copernicus with 4,5 points. Detailed information on review procedures can be found at [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl).

Dbając o rzetelność naukową redakcja stosuje procedury przeciwdziałania zjawiskom „ghostwriting” i „guest authorship”. Ich zachowanie przez Autorów jest warunkiem publikacji artykułu. Szczegóły procedur na stronie internetowej [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl).  
The editorial team, concerned about the journal's academic reliability, implements procedures preventing ghostwriting and guest authorship, compliance with which conditions publishing articles. Detailed information on exact procedures can be found at [www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl).



**POLISH  
HYPERBARIC  
RESEARCH**

2013 NUMER 1 (42)

**SPIS TREŚCI**



**MEDYCYNA**

**A. Włodarski, A. Woźniak, C. Mila – Kierzenkowska, P. Sutkowy**  
*Wpływ zmian ciśnienia otoczenia na aktywność peroksydazy glutationowej (gpx)  
i katalazy (cat) we krwi nurków – badania wstępne.....* str. 7

**T. Wójtowicz**  
*Zabezpieczenie medyczne nurkowań głębokich realizowanych przez oor 281, 282  
w latach 1993 – 1996.....* str. 27

**TECHNIKA**

**K. Iwankiewicz, R. Iwańkiewicz**  
*Analiza wypadków nurkowych związanych z zamrażaniem automatów  
oddechowych.....* str. 57

**MISCELANEA**

**M. Saniewski.**  
*Roślinność bentosowa jako indykator stanu środowiska Morza Bałtyckiego.....* str. 83

**W. Leszczyński, W. Bieńkowski, L. Borkowski, A. Buczyński**  
*Prawno-międzynarodowe uwarunkowania funkcjonowania wojskowych służb  
medycznych.....* str. 103

*Sprawozdanie z XIV konferencji Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki  
Hiperbarycznej.....* str. 123

**POLISH  
HYPERBARIC  
RESEARCH**

2013 NUMBER 1 (42)

**LIST OF CONTENT**



**MEDICINE**

- A. Włodarski, A. Woźniak, C. Mila – Kierzenkowska, P. Sutkowy**  
*The effect of ambient pressure changes on the activity of glutathione peroxidase (gpx) and catalase (cat) in the blood divers – preliminary results.....* p. 7
- T. Wójtowicz**  
*Medical security of deep dives realized by oor 281 and 282 in the years 1993 – 1996.....* p. 27

**TECHNOLOGY**

- K. Iwankiewicz, R. Iwańkiewicz**  
*An analysis of diving accidents related to the freezing of diving regulators.....* p. 57

**MISCELLANEOUS**

- M. Saniewski.**  
*Macrophytobenthos as an indicator of the environmental status of the Baltic Sea... p. 83*
- W. Leszczyński, W. Bieńkowski, L. Borkowski, A. Buczyński**  
*International legislative conditions of the functioning of military medical services..... p. 103*
- XIV Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society Conference Report..... p.123



## **WPLYW ZMIAN CIŚNIENIA OTOCZENIA NA AKTYWNOŚĆ PEROKSYDAZY GLUTATIONOWEJ (GPX) I KATALAZY (CAT) WE KRWI NURKÓW – BADANIA WSTĘPNE**

## **THE EFFECT OF AMBIENT PRESSURE CHANGES ON THE ACTIVITY OF GLUTATHIONE PEROXIDASE (GPX) AND CATALASE (CAT) IN THE BLOOD DIVERS – PRELIMINARY RESULTS**

**Adrian Włodarski, Alina Woźniak, Celestyna Mila-Kierzenkowska, Paweł Sutkowy**

*Zmiana warunków otoczenia jest stresem dla organizmu, który może prowadzić do wzmożonej generacji reaktywnych form tlenu i licznych uszkodzeń w obrębie komórek. Istotną rolę w przeciwdziałaniu tym uszkodzeniom pełnią enzymy antyoksydacyjne. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu zmian ciśnienia otoczenia w warunkach nurkowania na aktywność peroksydazy glutationowej oraz katalazy.*

*W badaniu wzięło udział 11 płetwonurków w wieku od 18 do 41 lat. Badani spędzili 40 min w jeziorze, w wodzie o temperaturze 13° C, schodząc maksymalnie na głębokość około 9 m. Podczas zanurzenia wszyscy oddychali powietrzem. Krew do badań pobrano z żyły odłokciowej dwukrotnie: przed zanurzeniem w wodzie (kontrola) oraz bezpośrednio po wynurzeniu.*

*W pracy wykazano tendencję do wzrostu aktywności katalazy oraz tendencję do obniżania się aktywności peroksydazy glutationowej, ale zmiany te nie były istotne statystycznie. Ciśnienie otoczenia wywierane przez wodę podczas nurkowania nie ma istotnego wpływu na aktywność peroksydazy glutationowej oraz katalazy w erytrocytach. Może to sugerować, że nie doszło do zwiększonej generacji nadtlenu wodoru będącego substratem reakcji katalizowanych przez oba enzymy. Brak istotnych statystycznie zmian aktywności badanych enzymów antyoksydacyjnych może być efektem zmian przystosowawczych w organizmie osób nurkujących.*

**Słowa kluczowe:** ciśnienie, nurkowanie, peroksydaza glutationowa, katalaza.

*The changes in ambient conditions are usually stress factor for the organism, which may lead to increased generation of reactive oxygen species and numerous damages within the cells. The important role in counteracting of free radical damages to cells is played by antioxidant enzymes. The aim of this study was to determine the impact of changes in ambient pressure during diving on activity of selected antioxidant enzymes: glutathione peroxidase and catalase.*

*The study involved eleven divers, aged from 18 to 41 years. Subjects spent 40 minutes in the lake, in water at 13° C, going down to a depth of about 9 m. All divers breathe with the air. Blood samples were taken from basilica vein twice: before immersion in water (control) and immediately after surfacing.*

*The study showed an increasing trend in catalase activity and trend to decrease in glutathione peroxidase activity, but the changes were not statistically significant. Ambient pressure exerted by the water during diving has no significant effect on the activity of glutathione peroxidase and catalase in erythrocytes. This may suggest, that there was no increased generation of hydrogen peroxide which is a substrate of the reaction catalyzed by two enzymes. No statistically significant differences in the activity of antioxidant enzymes could be due to adaptive changes in the body of divers.*

**Keywords:** pressure, diving, glutathione peroxidase, catalase.

ISSN 1734 – 7009, EISSN 2084 – 0535, PHR 2013 1(42), 7 – 26

NR DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.42.1](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.42.1)

---

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

## WSTĘP

Powszechnie wiadomo, że tlen jest pierwiastkiem niezbędnym do życia. Organizmy tlenowe wykorzystują ten pierwiastek w procesach oddychania komórkowego, które jest źródłem energii koniecznej do funkcjonowania oraz podtrzymywania procesów życiowych [9]. Ten sam życiodajny tlen jest jednak również źródłem reaktywnych form tlenu (RFT), które w pewnych warunkach wywierają szkodliwy wpływ na organizm [24].

RFT są wytwarzane przez każdą komórkę organizmu, a ich stężenie zmienia się pod wpływem zarówno czynników endogennych jak i egzogennych m.in.: procesu oddychania komórkowego, palenia tytoniu, czy też promieniowania jonizującego [8]. Zakłada się, że zdrowy ludzki organizm jest w stanie wytworzyć do 2 kg samego anionorodnika nadadtlenkowego rocznie [30]. Wykazano, że każda komórka przeciętnego 20- latka narażona jest na około 100 tysięcy ataków RFT dziennie, których liczba w wieku 75 lat wzrasta trzykrotnie [2]. W warunkach prawidłowych istnieje homeostaza między wytwarzaniem a usuwaniem reaktywnych form tlenu.

W sytuacji zaburzenia równowagi oksydacyjno - antyoksydacyjnej w kierunku nasilenia reakcji utleniania dochodzi do stresu oksydacyjnego. Przyczyną jego powstawania jest nagły wzrost liczby RFT lub obniżenie się zdolności antyoksydacyjnych [10]. Wzmoczony oraz długo utrzymujący się stres oksydacyjny powoduje trwałe uszkodzenia komórek, co prowadzi do szkodliwych zmian w metabolizmie komórkowym.

Uważa się, że RFT mają istotne znaczenie w patogenezie wielu chorób [18, 27, 29]. Na niszczące działanie stresu oksydacyjnego są szczególnie narażone lipidy błonowe, białka oraz kwasy nukleinowe. Istnieją jednak w komórkach mechanizmy obronne zapobiegające uszkodzeniom lub naprawiające szkody wywołane przez RFT [3]. Utrzymanie równowagi oksydacyjno - antyoksydacyjnej zapewnia układ antyoksydacyjny, którego zadaniem jest usuwanie RFT. W jego skład wchodzi m.in. enzymy antyoksydacyjne, do których należą dysmutaza nadadtlenkowa (SOD), peroksydaza glutationowa (GPx) i katalaza (CAT) [13].

Enzymy antyoksydacyjne reagują na zmianę warunków otoczenia, która jest stresem dla organizmu potwierdzonym przez liczne badania. Wykazano, że wzmoczona generacja wolnych rodników tlenowych występuje m.in. podczas wysiłku fizycznego [19], zwiększonej emisji promieniowania elektromagnetycznego [6], działania pestycydów [15], oddziaływania zimna na organizm [32], nasilonego wpływu promieniowania UV [7] oraz hałasu [38].

Człowiek w warunkach nurkowania narażony jest na oddziaływanie podwyższonego ciśnienia, które wpływa na percepcję oraz wywołuje w organizmie liczne reakcje, szczególnie w układzie krążeniowo - oddechowym [22]. Nie tylko ciśnienie wpływa jednak na organizm człowieka znajdującego się pod wodą. Z nurkowaniem wiąże się także aktywność fizyczna oraz wysoka dostępność tlenu, która związana jest ze zjawiskiem hiperoksji, występującej zależnie od procentowej zawartości tlenu w mieszaninie oddechowej, którą oddycha nurek. Aktywność fizyczna z kolei wywołuje większe zużycie tlenu, któremu towarzyszy nasilenie generacji WRT w łańcuchu oddechowym.

Większa dostępność i bardziej intensywne zużycie tlenu oraz otaczające nurka ciśnienie mogą powodować podwyższoną generację RFT i zwiększać ryzyko wystąpienia stresu oksydacyjnego [12, 34]. O ile wiadomo już jak wpływa ciśnienie na pracę układów i narządów, tak nadal niewiele jest badań dotyczących wpływu ciśnienia na system antyoksydacyjny, szczególnie u osób nurkujących w naturalnych warunkach środowiskowych. Wydaje się więc interesującym pomysłem poszerzenie badań w tym zakresie.

## **INTRODUCTION**

It is common knowledge that oxygen is a life sustaining element. Aerobic organisms use this element for the processes of cellular respiration which is a source of energy requisite for sustaining life. However, the very same life-giving element can become a source of reactive oxygen species (ROS), which may have a detrimental effect on the organism in certain circumstances.

ROS are generated by each and every cell of an organism and their concentration changes conditionally under the influence of both endogenous, as well as exogenous factors, such as the process of cellular respiration, smoking tobacco or ionizing radiation [8]. It is assumed that a healthy human body is capable of generating up to 2kg of superoxide anion radical itself over the period of one year [30]. It has been proved that a cell in the body of an average 20-year-old is prone to 100,000 ROS attacks daily, a number that is multiplied threefold by the age of 75 [2]. In normal conditions there is homeostasis between generation and removal of reactive oxygen species. When the oxidant antioxidant balance is disrupted, with the former being more prominent, there occurs an oxidative stress. The causes of this condition lie in an increased number of ROS or a decline in the anti-oxidizing properties [10]. Intense and long-lasting oxidative stress may cause permanent cell damage, which leads to harmful alterations in cell metabolism. It is believed that ROS are a key factor in the pathogenesis of many diseases [18, 27, 29]. The destructive force of the oxidative stress is most detrimental to lipid membranes, proteins and nucleic acids. However, cells are equipped with defensive mechanisms which prevent potential damage, or even repair the damage already inflicted by ROS [3]. The responsibility for maintaining the oxidant/antioxidant balance lies with an antioxidant system which removes ROS. It is comprised of antioxidant enzymes, such as superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx) and catalase (CAT) [13].

Antioxidant enzymes react to changes in surrounding conditions, which causes stress to the organism. It has been proved that intense generating of free oxygen radicals takes place during physical activity [19], increased emissions of electromagnetic radiation [6], exposure to pesticides [15], exposure to cold [32], increased UV radiation [7], and noise [38].

During diving, a human being is exposed to increased pressure, which affects perception and provokes numerous reactions, especially in the respiratory cardiovascular system [22]. However, pressure is not the only factor that affects a human underwater. Additionally, diving is inextricably linked with physical activity and a greater availability of oxygen, which may lead to hyperoxia. The occurrence of this condition depends on the percentage of oxygen contained in a diver's gas mixture. Physical activity, on the other hand, leads to a greater consumption of oxygen, which in turn is accompanied by a more intense generation of free oxygen radicals in the respiratory chain. A greater availability and a more intense consumption of oxygen, along with the pressure that surrounds the diver, may cause the reactive oxygen species to be generated more profusely and thus increase the risk of oxidative stress [12, 34]. Whilst our knowledge on how pressure affects the functioning of body organs and systems is comprehensive, the research on how pressure affects the antioxidant system, especially in people who dive, has been scarce. It seems only natural to broaden the scope of interest in this area of study. The human body has been adapted to exist in the atmospheric environment, hence it may be assumed that submersion in water is a stress-inducing factor.

Ludzki organizm przystosowany jest do życia w środowisku atmosferycznym, dlatego można przypuszczać, że zanurzenie w wodzie będzie czynnikiem wywołującym stres. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu zmian ciśnienia otoczenia w warunkach nurkowania na aktywność wybranych enzymów antyoksydacyjnych: peroksydazy glutationowej i katalazy.

## MATERIAŁ I METODY

W badaniu wzięło udział 11 pletwonurków w wieku od 18 do 41 lat (średnia wieku  $32 \pm 6,7$  lat). Nurkowie to członkowie klubu nurkowego w Bydgoszczy. Wszyscy uczestnicy badania posiadali średnio około 4-letnie doświadczenie w nurkowaniu.

Nurkowanie odbyło się w jeziorze w miejscowości Czaplinek. Badani spędzili 40 min w wodzie o temperaturze  $13^{\circ}\text{C}$ , schodząc maksymalnie na głębokość około 9 m. Podczas zanurzenia wszyscy oddychali powietrzem. Przed wejściem do wody każdy z uczestników wypełnił anonimowy kwestionariusz osobowy. Charakterystykę grupy badanej opracowaną w oparciu o wypełnione kwestionariusze przedstawiono w Tab. 1.

Tabela 1.

Charakterystyka badanej grupy.

<b>Nurkowie</b>	
Liczba badanych [n]	11
Wiek [lata]	$32 \pm 6$
BMI [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]	$25.8 \pm 2.7$
Staż nurkowania [lata]	$3.8 \pm 1.7$
Przybliżona całkowita liczba nurkowań [n]	$78.3 \pm 25.5$
Najczęstsza głębokość nurkowania [m]	$11.6 \pm 5.2$
Maksymalna głębokość nurkowania [m]	$43 \pm 7.7$

Krew do badań pobrano od każdego badanego przed zanurzeniem w wodzie (kontrola) oraz bezpośrednio po wynurzeniu. Materiał do badań stanowiła krew żylna pobrana z żyły odłokciowej. W erytrocytach oznaczono aktywność peroksydazy glutationowej (GPx) i katalazy (CAT).

Aktywność katalazy oznaczono metodą Beersa i Seizera [4]. Założenia tej metody bazują na obniżaniu się absorbancji roztworu nadtlenu wodoru rozkładanego przez enzym. Obniżająca się absorbancja jest wprost proporcjonalna do zmniejszającego się stężenia  $\text{H}_2\text{O}_2$  w roztworze. Wykorzystując molowy współczynnik absorbancji możemy obliczyć ilość rozłożonego nadtlenu wodoru w danym przedziale czasowym, w wyniku czego otrzymujemy jednostkę aktywności katalazy (IU). Absorbancja została zmierzona oprogramowaniem kinetycznym firmy Varian wykorzystując falę o długości  $\lambda = 240 \text{ nm}$ . Aktywność katalazy wyrażono w IU/gHb.

Aktywność peroksydazy glutationowej oznaczono metodą Paglia i Valentine [28]. Jest to enzym, który rozkłada  $\text{H}_2\text{O}_2$  z udziałem zredukowanego glutationu (GSH). W wyniku reakcji z nadtlakiem wodoru, GSH zostaje utleniony.

The objective of the present paper is to estimate the effect of ambient pressure changes while diving on the activity of chosen antioxidant enzymes: glutathione peroxidase and catalase.

**MATERIAL AND METHODS**

The study was conducted with 11 divers aged between 18 and 41 years old (average age:  $32 \pm 6.7$  years). The divers are members of a diving club in Bydgoszcz. All subjects had an average of 4-year experience in diving.

The diving site chosen for the study was a lake in the village of Czaplunek. The subjects spent 40 min in water at a temperature of 13°C with the maximum descent of 9 m. All divers breathed air during the descent. Before submergence each participant filled in an anonymous personal questionnaire. The group's general features have been shown in Tab. 1.

Table 1.

Group profile.

<b>Divers</b>	
Number of subjects [n]	11
Age [years]	$32 \pm 6$
BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	$25.8 \pm 2.7$
Diving experience [in years]	$3.8 \pm 1.7$
Average number of dives [n]	$78.3 \pm 25.5$
Most frequent depth [m]	$11.6 \pm 5.2$
Maximum depth [m]	$43 \pm 7.7$

Blood samples were drawn from each subject's basilic vein before submergence and immediately after surfacing. The activity of glutathione peroxidase (GPx) and catalase (CAT) was assayed in erythrocytes.

Catalase activity was assayed with the Beers and Sizer method [4]. The assumption of this method is based on the decrease in absorbance of the hydrogen peroxide solution decomposed by an enzyme. The decreased absorbance is directly proportional to the decreased concentration of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in the solution. With the use of the molar absorbancy index one may estimate the amount of decomposed hydrogen peroxide in a given time interval, the effect of which is one unit of catalase activity (IU). The absorbance was measured with Varian kinetic software with the use of a  $\lambda = 240$  nm length wave. The catalase activity was expressed in IU/gHb.

Glutathione peroxidase, an enzyme which decomposes H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> with the use of the reduced glutathione (GSH), was assayed with the Paglia and Valentine method [28]. As a result of a reaction with hydrogen peroxide, the GSH is oxidized. The oxidized glutathione (GSSG) returns to the reduced form through the glutathione reductase together with the nicotinamide adenine dinucleotide phosphate (NADPH), which is a coenzyme of the reaction.

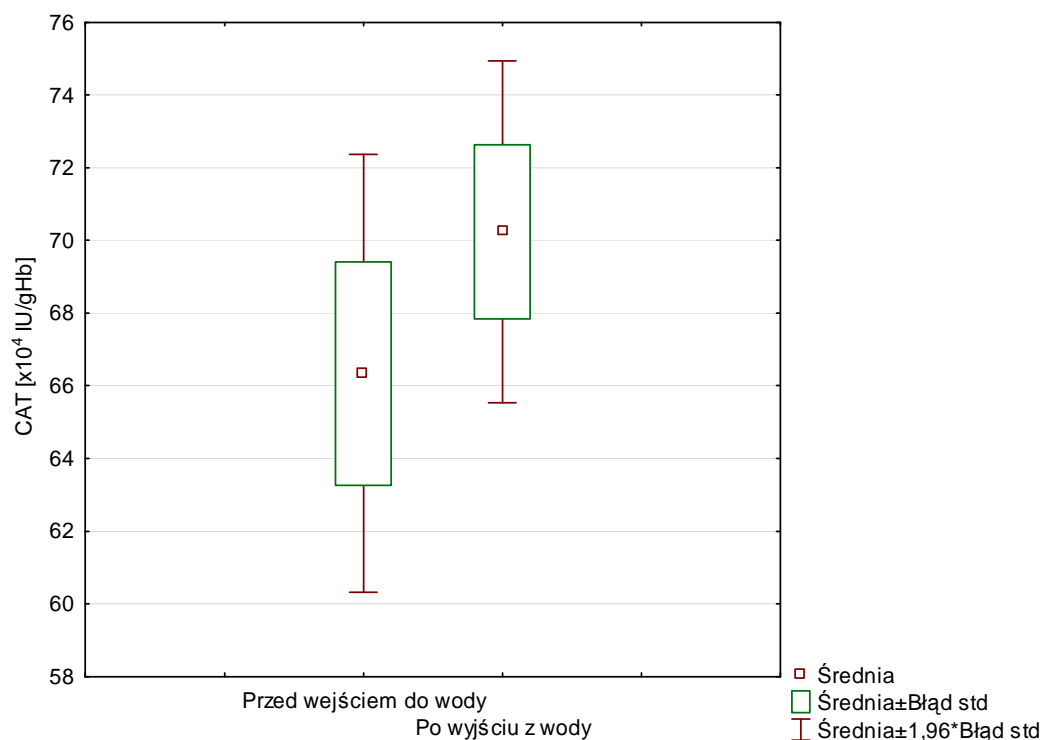
Utloniony glutation (GSSG) wraca do postaci zredukowanej dzięki reduktazie glutationowej przy udziale fosforanu dinukleotydu nikotynamidoadeninowego (NADPH), który jest koenzymem reakcji. W następstwie redukcji utlenionego glutationu, NADPH zostaje utleniony do formy NADP, co powoduje zmianę absorbancji światła przy długości fali  $\lambda = 340$  nm. Aktywność peroksydazy glutationowej została zmierzona na podstawie liczby  $\mu$ moli utlenionego NADPH w trakcie 1 min, którą wyrażono w U/gHb.

Wyniki poddano analizie z użyciem testu T-Studenta. Dla całości wyników przyjęto poziom istotności  $p < 0,05$ .

## WYNIKI

W pracy nie wykazano istotnych statystycznie zmian aktywności enzymów antyoksydacyjnych. Przed wejściem do wody aktywność CAT w erytrocytach nurków wynosiła  $66,34 \pm 10,2 \times 10^4$  IU/gHb. Po zakończeniu nurkowania aktywność tego enzymu wykazała tendencję do wzrostu i była równa  $70,24 \pm 8,0 \times 10^4$  IU/gHb (Rys. 1.1).

W przypadku GPx przed wejściem do wody aktywność tego enzymu w erytrocytach nurków wynosiła  $8,27 \pm 4,5$  U/gHb. Po nurkowaniu aktywność tego enzymu obniżyła się nieznacznie i była równa  $5,27 \pm 4,2$  U/gHb (Rys. 1.2).



Rys 1.1. Średnia aktywność katalazy (CAT) w erytrocytach osób nurkujących przed nurkowaniem i bezpośrednio po nurkowaniu.

Following the reduction of the oxidized glutathione, the NADPH becomes oxidized into the NADP form, which causes a change of light absorbance with a  $\lambda = 340$  nm length wave. The activity of glutathione peroxidase was measured by the number of  $\mu$ moles in the oxidized NADPH in 1min, which was expressed in U/gHb.

The results were given to analysis by the Student's t-test. The statistical significance for the entirety of the results was fixed at  $p < 0.05$ .

## RESULTS

No statistically significant changes in the activity of antioxidant enzymes have been proved. The CAT activity in divers' erythrocytes before submergence was  $66.34 \pm 10.2 \times 10^4$  IU/gHb. After surfacing, the activity of the enzyme showed an upward trend and equalled  $70.24 \pm 8.0 \times 10^4$  IU/gHb (Fig. 1.1).

As for the GPx, its activity in divers' erythrocytes before submergence amounted to  $8.27 \pm 4.5$  U/gHb. After surfacing, the activity of the enzyme decreased insignificantly and amounted to  $5.27 \pm 4.2$  U/gHb (Fig. 1.2).

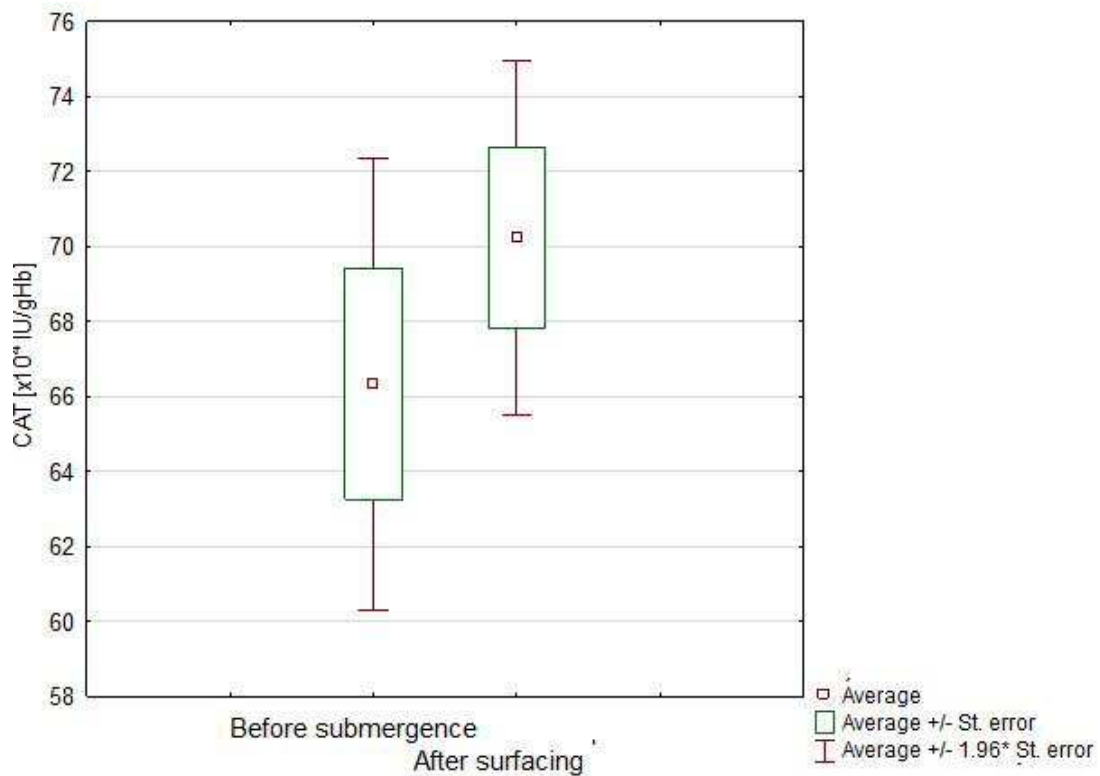
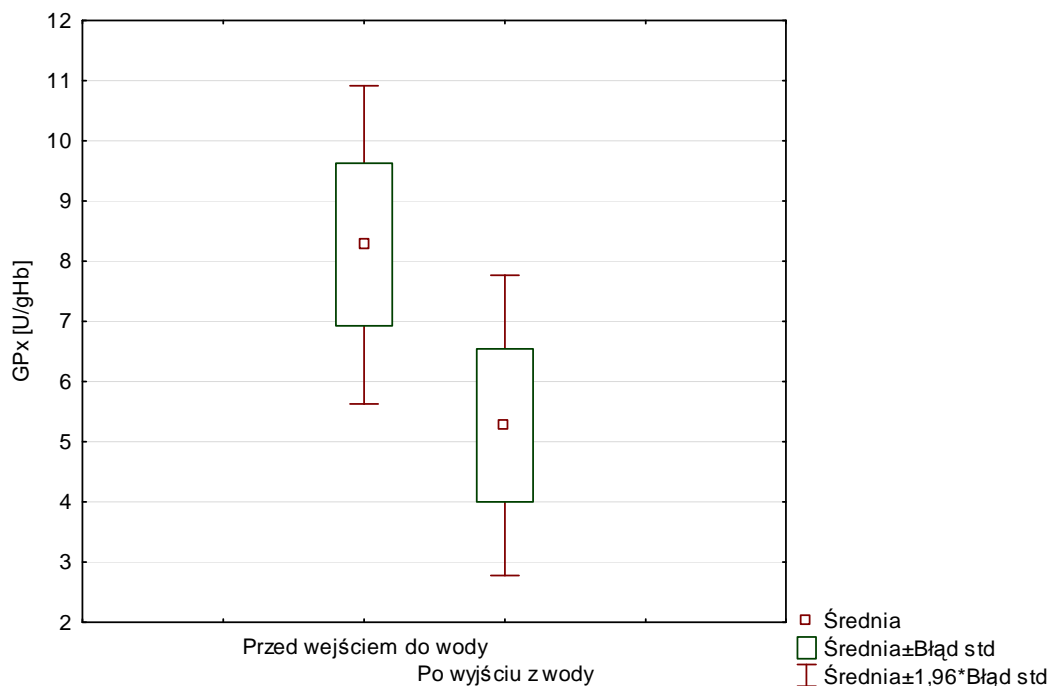


Fig 1.1. Average catalase activity (CAT) in divers' erythrocytes before submergence and immediately after surfacing.



Rys 1.2. Aktywność peroksydazy glutationowej (GPx) w erytrocytach osób nurkujących przed nurkowaniem i bezpośrednio po nurkowaniu.

### DYSKUSJA WYNIKÓW

W niniejszej pracy nie wykazano istotnych statystycznie zmian aktywności enzymów antyoksydacyjnych. Jednak aktywność CAT wykazała tendencję do wzrostu, natomiast w przypadku GPx nieznacznie się obniżyła. Zadaniem zarówno katalazy, jak i peroksydazy glutationowej jest usuwanie  $H_2O_2$  powstałego m.in. w wyniku reakcji dysmutacji anionorodnika ponadtlenkowego [13]. Wykazany niewielki wzrost aktywności CAT po wyjściu z wody mógłby sugerować, że doszło do zwiększonej generacji nadtlenku wodoru w badanych erytrocytach, nie doszło jednak do wzrostu aktywności GPx. Różnice aktywności między GPx a CAT mogą wynikać z faktu, że GPx usuwa nie tylko  $H_2O_2$  ale uczestniczy również w usuwaniu nadtlenków organicznych [36]. Być może zbyt małe stężenie RFT nie indukowało wzrostu aktywności GPx lub CAT przejęła funkcję usuwania  $H_2O_2$ . Możliwe, że miał tu miejsce udział nieenzymatycznych zmiataaczy, które uczestniczą w pierwszej linii obrony przed RFT. Oprócz zdolności usuwania RFT, mogą one również wpływać m.in. na zmniejszenie wpływu elektronów z łańcucha oddechowego [14].

Wpływ nurkowania na aktywność enzymów antyoksydacyjnych w erytrocytach i osoczu krwi nurków badali również Sureda i wsp. [34]. Po wyjściu z wody wykazali oni m.in. niewielki spadek aktywności GPx i CAT oraz niewielki wzrost aktywności SOD w erytrocytach, różnice nie były jednak istotne statystycznie. W osoczu krwi odnotowano natomiast istotny wzrost aktywności CAT bezpośrednio po wyjściu z wody, a także wzrost aktywności SOD po upływie 3 godzin od wyjścia z wody. Wykazano również tendencję do wzrostu aktywności GPx w osoczu krwi bezpośrednio po wyjściu z wody [34]. Odnosząc się do tych wyników można stwierdzić, że w badanej grupie nurków doszło do nadmiernej generacji anionorodnika ponadtlenkowego i  $H_2O_2$  podczas zanurzenia w wodzie, co wywołało aktywację enzymów antyoksydacyjnych w osoczu krwi. Brak wzrostu aktywności enzymów w erytrocytach może wynikać ze skutecznego usuwania WRT w osoczu.

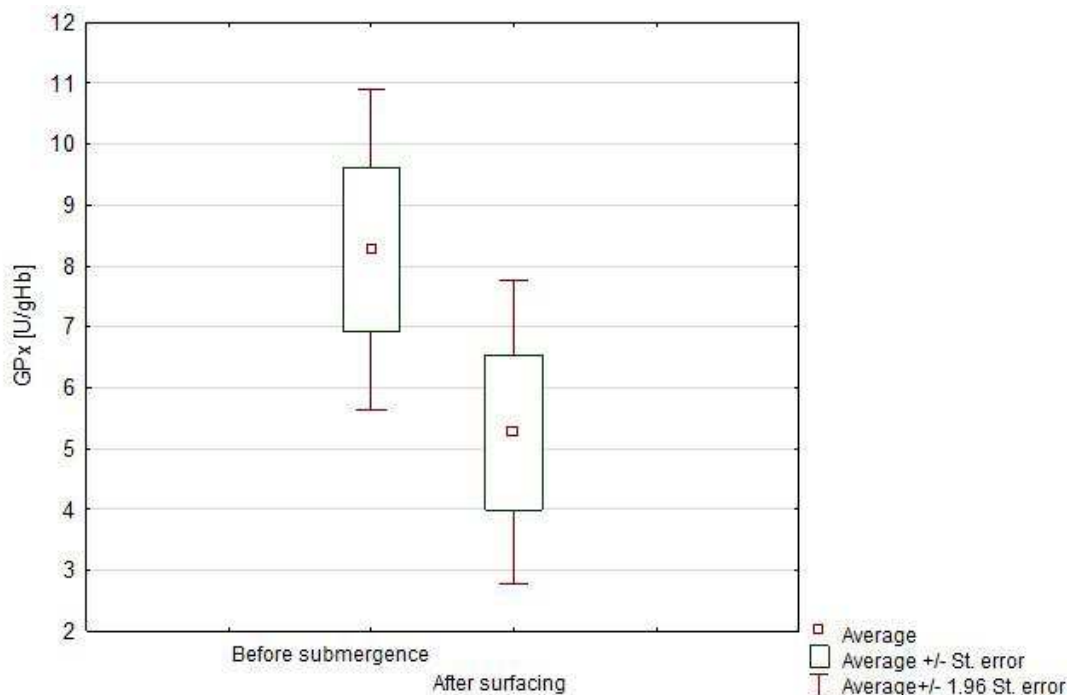


Fig. 1.2. Average glutathione peroxidase activity (GPx) in divers' erythrocytes before submergence and immediately after surfacing.

### INTERPRETATION OF RESULTS

No statistically significant changes in the activity of antioxidant enzymes have been proved in the present paper. However, the CAT activity showed an upward trend, whereas the GPx activity decreased insignificantly. The role of both catalase and glutathione peroxidase is to remove  $H_2O_2$  generated, among others, as a consequence of the dismutation of the superoxide anion radical [13]. The slight increase in the CAT activity after surfacing, as was proved in the experiment, could suggest an increased generation of hydrogen peroxide in the investigated erythrocytes, yet the increase of GPx activity did not take place. The difference between the GPx and CAT activities may arise from the fact that GPx not only removes  $H_2O_2$ , but also plays a part in removing organic peroxides [36]. Perhaps the insufficient ROS concentration did not induce the GPx activity, or the CAT took over the role of removing  $H_2O_2$ . There is a possibility that non-enzymatic antioxidants were involved in the first line of defence against ROS. Apart from being able to remove ROS they may also affect decrease in electron outflow from the respiratory chain [14].

The effect of diving on the activity of antioxidant enzymes in erythrocytes and blood plasma was also researched by Sureda and co-authors [34]. After surfacing, their GPx and CAT activity showed a slight decline and their SOD activity in erythrocytes slightly increased, yet the changes were not statistically significant. However, blood plasma featured a significant increase in CAT activity immediately after surfacing, as well as an increase in SOD activity 3 hours after surfacing. An upward trend of GPx in blood plasma immediately after surfacing was also recorded [34].

Sureda i wsp. wykonali również eksperyment z bezdechem [33]. Autorzy przeprowadzili badanie na grupie nurków, których podzielono na osoby przyjmujące kwas askorbinowy lub placebo. Wykazano m.in. istotny statystycznie wzrost aktywności katalazy między grupą kontrolną, a grupą przyjmującą kwas askorbinowy [33]. Niższa aktywność enzymów antyoksydacyjnych u nurków przyjmujących kwas askorbinowy spowodowana jest prawdopodobnie jego silnymi właściwościami antyoksydacyjnymi [31]. Uzyskane przez badaczy wyniki sugerują, że przyjmowanie kwasu askorbinowego wpływa na aktywność enzymów antyoksydacyjnych.

Wpływ ciśnienia otoczenia na aktywność układu antyoksydacyjnego można prześledzić również w sztucznych warunkach, które stwarza komora hiperbaryczna. Oddziaływanie ciśnienia na procesy pro i antyoksydacyjne w warunkach komory hiperbarycznej badał Kozakiewicz i wsp. [21] w grupie kobiet i mężczyzn, którzy byli doświadczonymi nurkami. W doświadczeniu imitowano ciśnienie jakie panuje na głębokości 30 m (3 ATA) i 60 m (6 ATA). W grupie mężczyzn wykazano, że po ekspozycjach odpowiadających danej głębokości doszło do istotnego wzrostu aktywności SOD w erytrocytach. Wykazano ponadto tendencję do wzrostu stężenia MDA. U kobiet z kolei zaobserwowano istotny wzrost aktywności SOD, CAT i GPx oraz niewielki wzrost stężenia MDA. Autorzy sugerują, że płeć może mieć wpływ na obserwowaną aktywność enzymów antyoksydacyjnych [21].

W innym badaniu z wykorzystaniem komory hiperbarycznej, wyniki uzyskane w grupie nurków porównywano do ochotników, którzy nigdy nie nurkowali i stanowili grupę kontrolną. Nurków poddano ciśnieniu, jakie panuje na głębokości 30 m (3 ATA), przez 3,5 h. Plateau ekspozycji wynosiło 30 minut. Już przed samą ekspozycją stężenie MDA i aktywność SOD w erytrocytach były istotnie wyższe w grupie kontrolnej, w porównaniu do nurków. Po ekspozycji, w grupie nurków odnotowano istotny wzrost wartości wymienionych parametrów. Zdaniem autorów pracy eksperyment wskazuje, że hiperbaria wpływa wyraźnie na generowanie RFT [20].

Podobne badania do prezentowanej wcześniej pracy wykonał Eken i wsp. (2005). Grupa 15 ochotników wchodziła również 3 razy do komory hiperbarycznej na 20 min z 5 min przerwą, ale w tym przypadku sesja została powtórzona 20 razy. Uczestników poddano oddziaływaniu 2,5 ATA i przyjmowali oni witaminę E, która w tym eksperymencie była podawana razem z witaminą C. Krew pobierano przed ekspozycją, po pierwszej oraz po 10 i 20 ekspozycji. Nie wykazano istotnych statystycznie różnic w aktywności oznaczonych enzymów antyoksydacyjnych: (SOD) i (GPx) oraz w stężeniu MDA [11].

Inne wyniki uzyskano u ochotników nienurkujących, których poddano 15 ekspozycjom w komorze hiperbarycznej. Porównano pierwsze wejście z ostatnim i wykazano, że dochodzi do istotnego wzrostu stężenia MDA w osoczu krwi i niewielkiego wzrostu w erytrocytach. Aktywność SOD i CAT zmalała istotnie statystycznie w porównaniu do pierwszego wejścia, natomiast aktywność GPx prawie nie zmieniła swojej wartości [5].

Podsumowując wyniki, które badacze otrzymali w sztucznych warunkach stworzonych przez komorę hiperbaryczną można faktycznie przypuszczać, że ciśnienie działające na człowieka zwiększa generację RFT. Potwierdzają to odnotowane wzrosty stężenia produktów peroksydacji lipidów -MDA. Peroksydacja lipidów jest wieloetapowym procesem utleniania nienasyconych kwasów tłuszczowych, doprowadzając ostatecznie do uszkodzenia błony komórkowej, a nawet śmierci komórki. [23]. W badaniach z użyciem suplementacji witaminowej z kolei nie wykazano istotnych zmian w stężeniu MDA oraz aktywności wybranych enzymów antyoksydacyjnych. Pozwala to sądzić, że nieenzymatyczne zmiatacze wolnych rodników mają znaczny udział w barierze antyoksydacyjnej i wspierają jej pierwszą linię obrony.

In view of the above results, it may be stated that in the investigated group of divers, at the moment of submergence, the superoxide anion radical and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> were excessively generated which caused the antioxidant enzymes in blood plasma to activate. The lack of increase in enzyme activity in erythrocytes may be attributed to an effective free oxygen radicals removal in the plasma.

Sureda and co-authors have also conducted an apnea experiment [33]. The authors conducted the experiment on a group of divers which they then divided into two sub-groups, administering ascorbic acid to one and placebo to the other. One of the observations was a difference in the increase of catalase activity between the control group and ascorbic acid group [33]. A lower activity of antioxidant enzymes with the ascorbic acid group of divers is most likely due to its strong antioxidant properties [31]. The obtained results suggest that ascorbic acid affects the antioxidant enzymes activity.

The effect of the ambient pressure on the antioxidant system activity can be monitored in artificial conditions as provided by a hyperbaric chamber. The effect of pressure on pro- and antioxidant processes in the hyperbaric chamber milieu was researched by Kozakiewicz and co-authors [21] among a group of male and female experienced divers. In the experiment, the researchers imitated the pressure present at 30 metres (3 ATA) and 60 metres (6 ATA). After having been exposed to pressures corresponding to the given depths, there was observed a significant increase in the SOD erythrocytes among the male population. Moreover, an upward trend of MDA concentration was proved. Among the female population, on the other hand, a significant increase in SOD, CAT and GPx activity were recorded, along with a slight increase in MDA concentration. The authors suggest that gender may be responsible for the observed activity of antioxidant enzymes [21].

Yet another study in a hyperbaric chamber was done among a control group of people who had never had a diving experience before. Their results were compared to those of the divers. The divers were exposed to the kind of pressure which corresponds to the depth of 30 m (3 ATA) for 3.5 h. The exposition plateau was 30 minutes. Even before the exposition, the MDA concentration and the SOD activity in erythrocytes were much higher in the control group compared to the divers. After the exposition, the said parameters in the divers significantly increased. The authors argue that this experiment proves that hyperbaria is conducive to the generation of ROS [20].

Similar research was done by Eken and co-authors (2005). A group of 15 volunteers entered the hyperbaric chamber 3 times for 20 minutes with a 5 minute break, but this time the session was repeated 20 times. The subjects were exposed to the pressure of 2.5 ATA and were administered vitamin E, which was complementary to vitamin C in this experiment. Blood was drawn before and after the first exposition, and later after ten and twenty expositions. No statistically significant differences were recorded in the activity of assayed antioxidant enzymes: (SOD) and (GPx) or in the MDA concentration [11].

The experiments done on non-diving volunteers, who were subjected to 15 expositions in the hyperbaric chamber, showed different results. The first and the last expositions were compared and the results showed that the MDA concentration had significantly increased in blood plasma, and slightly increased in erythrocytes. The SOD and CAT activity significantly decreased compared to the first exposition, whereas the GPx activity barely changed [5].

Summing up the results obtained in artificial conditions provided by the hyperbaric chamber, it may be assumed that being under pressure induces a generation of ROS. Increased concentrations of lipid peroxidation products - MDA - only prove this assumption.

W piśmiennictwie można znaleźć wyniki badań dotyczących wpływu zmian ciśnienia również na organizm zwierząt. Celem jednego z nich było sprawdzenie funkcjonowania odpowiedzi enzymatycznej bariery antyoksydacyjnej po ciągłej i przerywanej hiperbarii tlenem u szczurów oraz świnek morskich. Zwierzęta były narażone na oddziaływanie tlenu pod ciśnieniem 2,2 ATA, który dostarczano w sposób ciągły lub z przerwami. W jednym cyklu zwierzęta oddychały przez 10 min czystym tlenem, a następnie przez 2,5 min powietrzem. W otrzymanych wynikach wykazano znaczny wzrost aktywności SOD w płucach zarówno u świnek morskich, jak i u szczurów. Aktywność CAT i GPx w mózgu i płucach obniżyła się w obu grupach. Nie wykazano istotnych różnic w aktywności badanych enzymów między grupą świnek morskich i szczurów [16].

Staniszewska [35] z kolei przeprowadziła badania u szczurów Wistar podzielonych na 3 grupy. Grupę kontrolną (nr I) oraz grupy badane (nr II i III). Grupy II i III podzielone zostały dodatkowo na podgrupy IIa, IIb i IIIa, IIIb. W uzyskanych wynikach stężenie MDA w badanych grupach było istotnie wyższe w podgrupie IIa oraz w IIIa. Aktywność SOD i CAT w erytrocytach oraz GPx w surowicy nie uległy zmianie po ekspozycji hiperbarycznej. Autorka wnioskuję, że ciśnienie znamienne statystycznie wpływa na stężenie MDA w surowicy krwi, a nie wpływa na aktywność głównych enzymów antyoksydacyjnych [35].

Udowodniono, że wysiłek fizyczny wpływa na wytwarzanie RFT i zmienia aktywność enzymów antyoksydacyjnych. Wzrost aktywności CAT i SOD wykazano między innymi w erytrocytach kajakarzy i wioślarzy po treningu w warunkach wysokogórskich [37]. Nurkowanie związane jest również z wysiłkiem fizycznym. Uzyskana niewielka tendencja wzrostowa CAT wynika być może z samej aktywności fizycznej, a nie z wpływu zmian ciśnienia. Nieoznaczony został w badaniach własnych poziom nieenzymatycznych zmiataczy wolnych rodników, a wyniki badań innych autorów wskazują, że mają one istotne znaczenie w obronie antyoksydacyjnej.

Alcaraz-García i wsp. [1] badali wpływ hiperoksji podczas nurkowania gdzie ocenili m.in. całkowity potencjał antyoksydacyjny TAS (total antioxidant status) oraz aktywność peroksydazy glutationowej w surowicy krwi. Odnotowali oni znaczne obniżenie TAS w 6 tygodniu i niewielki jego wzrost w 12 tygodniu. Aktywność GPx była istotnie niższa zarówno w 6, jak i 12 tygodniu. Autorzy uważają, że uzyskane wyniki mają związek z adaptacją do hiperoksji, którą młodość i dobra kondycja fizyczna mogą poprawić [1]. Przypuszczenia te mogą mieć uzasadnienie również w wynikach własnych niniejszej pracy, gdzie większość badanych utrzymuje, że dba o kondycję fizyczną, a średnia wieku wynosi 32 lata. Wszyscy uczestnicy mieli ponadto ok. 3 letnie doświadczenie, co może sugerować, że zjawisko adaptacji wystąpiło również w badanej grupie niniejszej pracy.

Generacja reaktywnych form tlenu może być zwiększona w sytuacji hipoksji/reoksygenacji tkanek. Prócz generacji RFT, zjawisko hipoksja/reoksygenacja powoduje uszkodzenia komórek w narządach przeszczepionych, czy też niedokrwionych, gdzie dochodzi do śmierci komórek w wyniku indukowania procesów martwicy i apoptozy [25]. Tego typu zjawisko towarzyszy nurkom zanurzającym się na bezdechu. Długie niedotlenienie komórek, a następnie zwiększony dopływ tlenu powoduje znaczny wzrost wytwarzania RFT. Badania takie przeprowadził Joulia wraz z zespołem [17] u nurków zanurzających się na bezdechu. Uzyskane w tej grupie rezultaty porównano do wyników grupy kontrolnej. Uzyskany brak wzrostu TBARS w próbie z bezdechem można tłumaczyć mniejszym zużyciem tlenu w łańcuchu oddechowym i tym samym mniejszą generacją RFT w nim [8]. Zmiany stężenia GSH w obu grupach mogą być efektem jego zużycia przez GPx podczas usuwania  $H_2O_2$ .

The lipid peroxidation is a complex process of oxidation of polyunsaturated fatty acids which leads to the damage of a cell membrane or even death of cells [23]. Conversely, the experiments with the use of vitamin supplementation did not reveal any significant changes in the MDA concentration or antioxidant enzymes activity. This indicates that non-enzymatic antioxidants play a major part in the antioxidant barrier and support its line of defence.

Literature can also provide information on how pressure changes affect animals. The goal of one such experiment was to verify the functioning of the response of the enzymatic antioxidant barrier after continuous and interrupted oxygen hyperbaria in rats and guinea pigs. The animals were exposed to oxygen at 2.2 ATA which was provided continually or with interruptions. In one cycle, the animals breathed pure oxygen for 10 min., and then air for 2.5 min. The obtained results revealed an increased SOD activity in the lungs in both rats and guinea pigs. The CAT and GPx activity in the brain and lungs declined in both groups. No significant differences in the activity of investigated enzymes between rats and guinea pigs were recorded [16].

Staniszewska [35], in turn, performed an experiment on Wistar rats, which she divided into 3 groups. A control group (no. I) and the research groups (nos. II and III). Groups II and III were further divided into subgroups IIa, IIb and IIIa, IIIb. The obtained results revealed the MDA concentration to be higher in subgroups IIa and IIIa. Neither the SOD and CAT activity in erythrocytes, nor the GPx in blood serum changed after the hyperbaric exposition. The author argues that pressure has a statistically significant effect on the MDA concentration in blood serum, and does not affect the activity of the main antioxidant enzymes [35].

It was proved that physical activity is conducive to the generation of ROS and changes in the activity of antioxidant enzymes. The increase in CAT and SOD activity was revealed in the erythrocytes of canoeists and oarsmen after a training session in high mountains, to name but a few [37]. Diving is also linked with physical activity. Thus the observed slight upward tendency of the CAT may be a result of the physical activity itself, not the pressure changes. The level of non-enzymatic free radical inhibitors was not assayed in our own research, and the experiment results of other authors point to their vital role in antioxidant defence.

Alcaraz-Garcia and co-authors [1] researched the effect of hyperoxia during diving where they estimated the total antioxidant status (TAS) and the glutathione peroxidase activity in blood serum, to name but a few. They recorded a significant decline of TAS in the sixth week and its slight increase in the twelfth. The Gpx activity was considerably lower in the sixth, as well as in the twelfth month. The authors argue that the obtained results are related to the adaptation to hyperoxia, which can be improved by youth and good physical shape [1]. These assumptions can be confirmed by the results of the experiment performed for the sake of the present paper where the majority of the subjects maintain that they are physically active and the average age is 32. Moreover, each participant had 3 years of experience which might suggest that adaptation occurred among the subjects taking part in the present study.

The generation of reactive oxygen species may become increased in the event of hypoxia/reoxygenation of tissue. Apart from the ROS generation, the hypoxia/reoxygenation phenomenon causes cell damage in transplanted or ischemic organs, where the induced processes of necrosis and apoptosis lead to cell death [25]. This type of phenomenon occurs in breath-hold divers. A prolonged hypoxia followed by a substantial flow of oxygen causes the ROS to generate profusely. The research on apnea was conducted by Joulia with his team [17] in breath-hold divers. The results obtained in this group were compared to those of a control group.

Porównanie wyników własnych z wynikami badań przeprowadzonych w innych warunkach lub na różnych grupach osób badanych wskazuje na rozbieżności w określeniu wpływu ciśnienia na aktywność enzymów antyoksydacyjnych. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zmiany ciśnienia otoczenia podczas nurkowania, w prezentowanych w niniejszej pracy warunkach nie wpływają na aktywność oznaczanych enzymów antyoksydacyjnych. Brak istotnych statystycznie różnic może być efektem zmian przystosowawczych w organizmie osób nurkujących. Badania przeprowadzone były jednak na małej grupie i wymagają kontynuowania na większej liczbie osób.

#### **WNIOSKI**

- Ciśnienie otoczenia wywierane przez wodę podczas nurkowania nie wpływa istotnie na aktywność peroksydazy glutationowej oraz katalazy w erytrocytach. Może to oznaczać, że nie doszło do zwiększonej generacji nadtlenku wodoru, będącego substratem reakcji katalizowanych przez te enzymy.
- Obserwowane tendencje mogą jednak wskazywać na pewne zaburzenie równowagi oksydacyjno – antyoksydacyjnej.

No TBARS increase in the apnea trial may be justified by a lower oxygen consumption in the respiratory chain and, consequently, lower ROS generation in it [8]. Changes in the GSH concentration in both groups may be a result of its consumption by GPx while removing H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

The comparison of the results obtained in our own research with the ones conducted in different circumstances or different groups of subjects point to discrepancies in establishing the effect of pressure on the antioxidant enzymes activity. The conducted study allows the conclusion that changes in ambient pressure while diving, in the circumstances adapted for the purpose of the present research, do not affect the assayed antioxidant enzymes. The lack of statistically significant differences may stem from the adaptive changes having occurred in divers' bodies. However, it is important to note that the research was performed on a small group of people and requires a retake with a larger group.

### **CONCLUSIONS**

- The ambient pressure exerted by water while diving does not affect significantly the glutathione peroxidase and catalase in erythrocytes. This may mean that no increased generation of hydrogen peroxide, which is a substrate of a reaction catalyzed by the two enzymes, took place.
- The observed tendencies, however, might be attributed to an oxidant antioxidant balance disorder.

#### LITERATURA/ BIBLIOGRAPHY

1. Alcaraz-García M.J., Albaladejo M.D., Acevedo C. et al.; Effects of hyperoxia on biomarkers of oxidative stress in closed-circuit oxygen military divers; *J Physiol Biochem* 2008; 64(2): 135-141. DOI: 10.1007/BF03168241,
2. Ball S.; *Antyoksydanty w medycynie i zdrowiu człowieka*, Medyk, Warszawa 2001: 13,
3. Beatty S., Koh H., H., Henson D., Boulton M.; The Role of Oxidative Stress in the Pathogenesis of Age-Related Macular Degeneration; *Surv Ophthalmol* 2000; 45(2): 115–134. DOI: 10.1016/S0039-6257(00)00140-5,
4. Beers R. T., Seizer J. W.; A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase; *J Biol Chem* 1952, 195(1): 133-140,
5. Benedetti S., Lamorgese A., Piersantelli M. et al.; Oxidative stress and antioxidant status in patients undergoing prolonged exposure to hyperbaric oxygen; *Clin Biochem* 2004; 37(4): 312-317. DOI:10.1016/j.clinbiochem.2003.12.001,
6. Buczyński A., Pacholski K., Dziedziczak - Buczyńska i inni; Zmiany generacji wolnych rodników w krwinkach płytkowych eksponowanych na promieniowanie elektromagnetyczne emitowane przez monitory ekranowe; *Polish Hyperbaric Research* 2010; 1 (30): 35 – 42,
7. Cejkowa J., Stipek S., Crkovska J. et al.; UV Rays, the Prooxidant/Antioxidant Imbalance in the Cornea and Oxidative Eye Damage; *Physiol Res* 2004; 53: 1-10
8. Czajka A.; *Wolne rodniki tlenowe a mechanizmy obronne organizmu*; *Now Lek* 2006; 75 (6): 582–586,
9. Czarna M., Jarmuszkiewicz W.; Rola mitochondriów w wytwarzaniu i usuwaniu reaktywnych form tlenu, związków z przesyłaniem sygnałów i programowaną śmiercią komórki; *Post Bioch* 2006; 52(2) 145,
10. Davies K., J., A.; Oxidative stress, antioxidant defenses, and damage removal, repair, and replacement systems; *IUBMB Life* 2000; 50(4-5): 279-289. DOI:10.1080/713803728 ,
11. Eken A., Aydin A., Sayal A. et al.; The effects of hyperbaric oxygen treatment on oxidative stress and SCE frequencies in humans; *Clin Biochem* 2005; 38(12): 1133-1137. DOI:10.1016/j.clinbiochem.2005.09.001,
12. Ferrer M. D., Sureda A., Batle J. M. et al.; Scuba diving enhances endogenous antioxidant defenses in lymphocytes and neutrophils; *Free Radic Res* 2007; 41 (3): 274-281. DOI:10.1080/10715760601080371,
13. Gałęcka E., Jacewicz R., Mrowicka M. i inni; Enzymy antyoksydacyjne – budowa, właściwości, funkcje; *Pol Merk Lek* 2008, XXV, 147, 266- 268,
14. Gałęcka E., Mrowicka M., Malinowska K., Gałęcki P.; Wybrane substancje nieenzymatyczne uczestniczące w procesie obrony przed nadmiernym wytwarzaniem wolnych rodników; *Pol Merk Lek* 2008; 25 (147): 269 – 272,
15. Grosicka-Maciąg E.; Biologiczne skutki stresu oksydacyjnego wywołanego działaniem pestycydów; *Postepy Hig Med Dosw* 2011; 65: 357-366 ,
16. Harabin A. L. , Braisted J. C. , Flynn E. T.; Response of antioxidant enzymes to intermittent and continuous hyperbaric oxygen; *J Appl Physiol* 1990 ; 69(1): 328-335,
17. Joulia F., Steinberg J.G., Wolff F. et al.; Reduced oxidative stress and blood lactic acidosis in trained breath-hold human divers; *Respir Physiol Neurobiol* 2002; 133(1-2): 121-30. DOI: 10.1016/S1569-9048(02)00133-7,
18. Kalisz O., Wolski T., Gerkowicz M., Smorawski M.: Reaktywne formy tlenu (RTF) oraz ich rola w patogenezie niektórych chorób; *Ann UMCS* 2007; 62 (1): 88 – 99,

19. Kanter M.; Free radicals, exercise and antioxidant supplementation; *Proc Nutr Soc* 1998; 57 (1): 9-13,
20. Kozakiewicz M., Kędziora J., Kędziora - Kornatowska K. i inni; Wpływ hiperbarii na wybrane parametry stresu oksydacyjnego we krwi nurków; *Polish Hyperbaric Research* 2005; 3(12): 7-12,
21. Kozakiewicz M., Olszański R., Siermontowski P. i inni; Procesy pro- i antyoksydacyjne we krwi nurków; *Polish Hyperbaric Research* 2011; 1(34): 21-26,
22. Krzyżak J.; *Medycyna nurkowa*, Poznań, 2006 wyd. I,
23. Kulbacka J., Saczko J., Chwiłkowska A.; Stres oksydacyjny w procesach uszkodzenia komórek; *Pol Merk Lek* 2009; XXVII, 157, 44,
24. Kumar S.; Free Radicals and Antioxidants: Human and Food System; *Adv Appl Sci Res* 2011; 2 (1): 129-135,
25. Li C., Jackson R.M.; Reactive species mechanisms of cellular hypoxia-reoxygenation injury; *Am J Physiol Cell Physiol* 2002; 282(2): 227-241. DOI: 10.1152/ajpcell.00112.2001,
26. Łatka U., Kuliński W., Knefel G., Sieroń A.; Aktualny stan medycyny hiperbarycznej w Polsce; *Baln Pol* 2009; 51 (1): 7-17,
27. Łuszczewski A., Matyska-Piekarska E., Trefler J, Wawer I, Łącki J, Śliwińska-Stańczyk P.: Reaktywne formy tlenu – znaczenie w fizjologii i stanach patologii organizmu, *Reumatologia* 2007; 45 (5): 284–289,
28. Paglia D. E., Valentine W. N.; Studies on the quantitative and qualitative characterization of erythrocyte glutathione peroxidase; *J Lab Clin Med* 1967, (70) 1: 158-169,
29. Radwańska-Wala B., Buszman E., Drużba D.: Udział reaktywnych form tlenu w patogenezie chorób ośrodkowego układu nerwowego; *Wiad Lek* 2008; 61: 69-72,
30. Roszkowski K.; Mechanizmy naprawy oksydacyjnych uszkodzeń DNA; *Współcz Onkol* 2002; 6 (6): 360–365,
31. Rutkowski M., Matuszewski M., Kędziora J i inni.; Witaminy E, A i C jako antyoksydanty; *Pol Merk Lek* 2010; 29 (174): 377,
32. Siems W., G., Brenke R., Sommerburg O., Grune T.; Improved antioxidative protection in winter swimmers; *QJM*; 1999; 92 (4): 193-198. DOI:10.1093/qjmed/92.4.193,
33. Sureda A., Batle J.M., Tauler P. et al.; Vitamin C supplementation influences the antioxidant response and nitric oxide handling of erythrocytes and lymphocytes to diving apnea; *Eur J Clin Nutr* 2006; 60(7): 838-846. DOI:10.1038/sj.ejcn.1602388,
34. Sureda A., Ferrer M. D., Batle J. M. et al.; Scuba diving increases erythrocyte and plasma antioxidant defenses and spares NO without oxidative damage; *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41 (6): 1271-1276. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181951069,
35. Staniszevska M.; The effect of hyperbaric air exposure on concentrations of malondialdehyde and some parameters of the antioxidant system in rat blood; *Ann Acad Med Stetin* 2004; 50(2): 105-114 ,
36. Takebe G., Yarimizu J., Saito Y. et al.; A comparative study on the hydroperoxide and thiol specificity of the glutathione peroxidase family and selenoprotein P; *J Biol Chem* 2002; 277(43): 41254-41258. DOI 10.1074/jbc.M202773200,
37. Woźniak A., Drewa G., Chesy G. i inni; Effect of altitude training on the peroxidation and antioxidant enzymes in sportsmen; *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33(7): 1109-1113,

38. Yildirim I., Kilinc M., Okur E. et al.; The effects of noise on hearing and oxidative stress in textile workers, *Ind Health* 2007; 45(6): 743-749. DOI:10.2486/indhealth.45.743.

## **ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ГЛУТАТИОНПЕРОКСИДАЗЫ (GSH-PX) И КАТАЛАЗЫ (CAT) В КРОВИ НЫРЯЛЬЩИКА - ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

*Изменение условий окружающей среды вызывает в организме стресс, который может привести к увеличению генерации реактивных форм кислорода и многочисленным повреждениям в клетках. Важную роль в предотвращении этих повреждений выполняют антиоксидантные ферменты. Целью данной работы было определение влияния изменений давления окружающей среды на активность глутатионпероксидазы и каталазы в условиях дайвинга.*

*В исследованию приняло участие 11 водолазов в возрасте от 18 до 41 лет. Субъекты провели 40 минут в озере, в воде при температуре 13 ° C, спускаясь на глубину около 9 м. Во время погружения все дышали воздухом. Образцы крови были взяты из локтевой вены дважды- перед погружением в воду (контроль) и сразу после выхода на поверхность.*

*Исследования показали тенденцию к увеличению активности каталазы и тенденции к снижению активности глутатионпероксидазы, но эти изменения не были статистически значимыми. Окружающее давление, оказываемое водой во время погружения, не имеет значительного влияния на активность глутатионпероксидазы и каталазы в эритроцитах. Это позволяет предположить, что не существует повышенный генерации пероксида водорода, который является субстратом реакции, катализируемой двух ферментов.*

*Это позволяет предположить, что не произошло повышенной генерации пероксида водорода, который является субстратом реакции катализируемой двумя ферментами. Отсутствие статистически значимых изменений в активности изучаемых антиоксидантных ферментов может быть связано с адаптивными изменениями в организме ныряльщиков.*

**Ключевые слова:** давление, дайвинг, глутатионпероксидаза (GPx), каталаза (CAT).

**mgr Adrian Włodarski**

85-796 Bydgoszcz, ul Bartłomieja z Bydgoszczy 6

Tel. 663 054 231

e-mail: ak.wlodarski@gmail.com

**dr hab. Alina Woźniak prof. UMK**

Katedra Biologii Medycznej, Collegium Medicum w Bydgoszczy, UMK w Toruniu

85-092 Bydgoszcz, ul. Karłowicza 24

Tel. 52 585 37 37, fax. 52 585 37 42

e-mail: alina-wozniak@wp.pl

**dr Celestyna Mila-Kierzenkowska**

Katedra Biologii Medycznej, Collegium Medicum w Bydgoszczy, UMK w Toruniu  
85-092 Bydgoszcz, ul. Karłowicza 24  
Tel. 52 585 37 37, fax. 52 585 37 42  
e-mail: celestyna@o2.pl

**mgr Paweł Sutkowy**

Katedra Biologii Medycznej, Collegium Medicum w Bydgoszczy, UMK w Toruniu  
85-092 Bydgoszcz, ul. Karłowicza 24  
Tel. 52 585 37 37, fax. 52 585 37 42  
e-mail: pawel2337@wp.pl



## **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 mieszanki 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 "Piast". 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 "Piaś" -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).

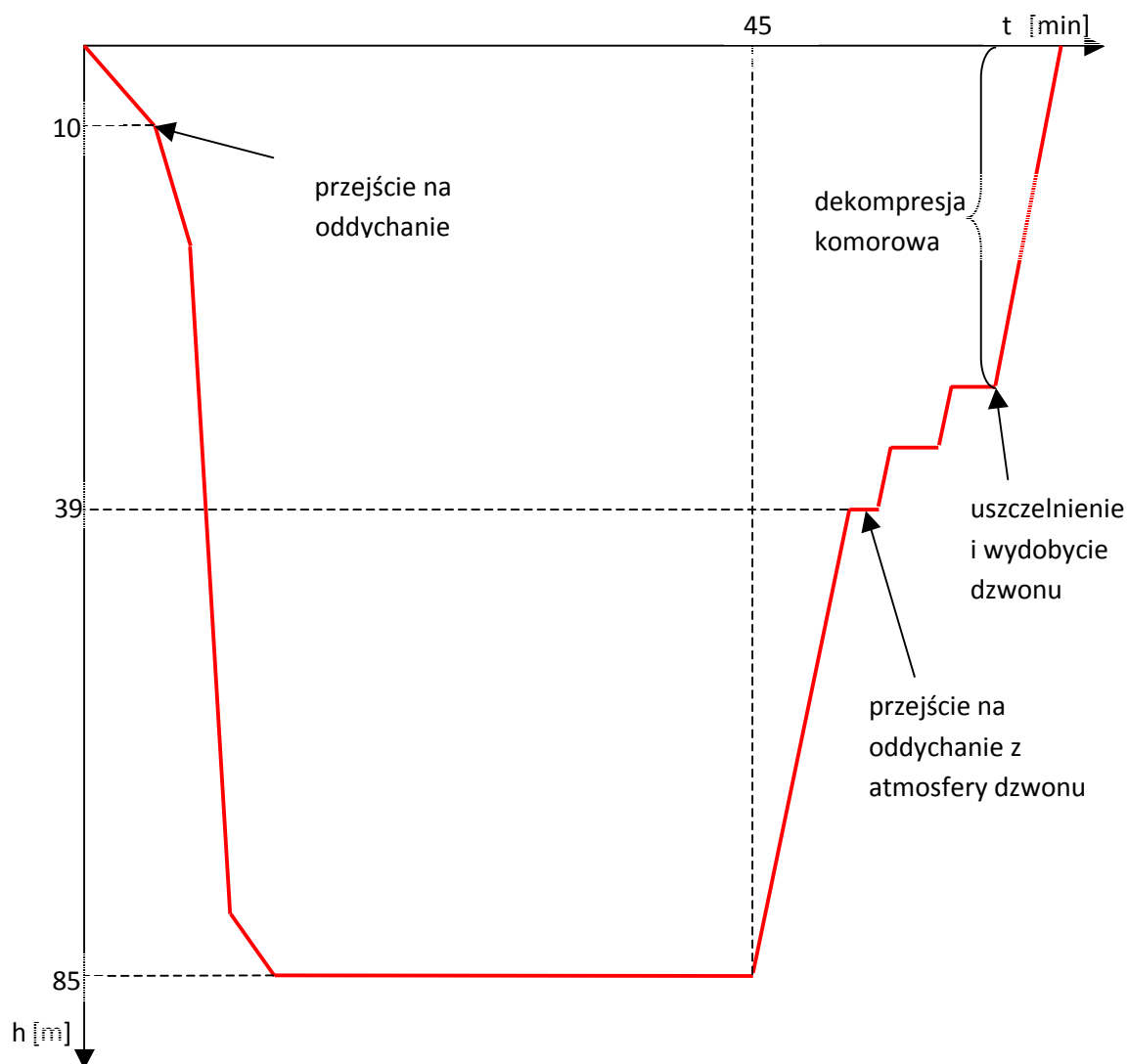
The required dosage of breathing mixes in the rebreather should amount to 35 litres (cubic decimetres) per minute with the admissible dosage deviation per minute of 3 litres (cubic decimetres) both ways (1, 3, 6, 7, 15). According to a detailed instruction it was allowable to change the mix dosage or 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).

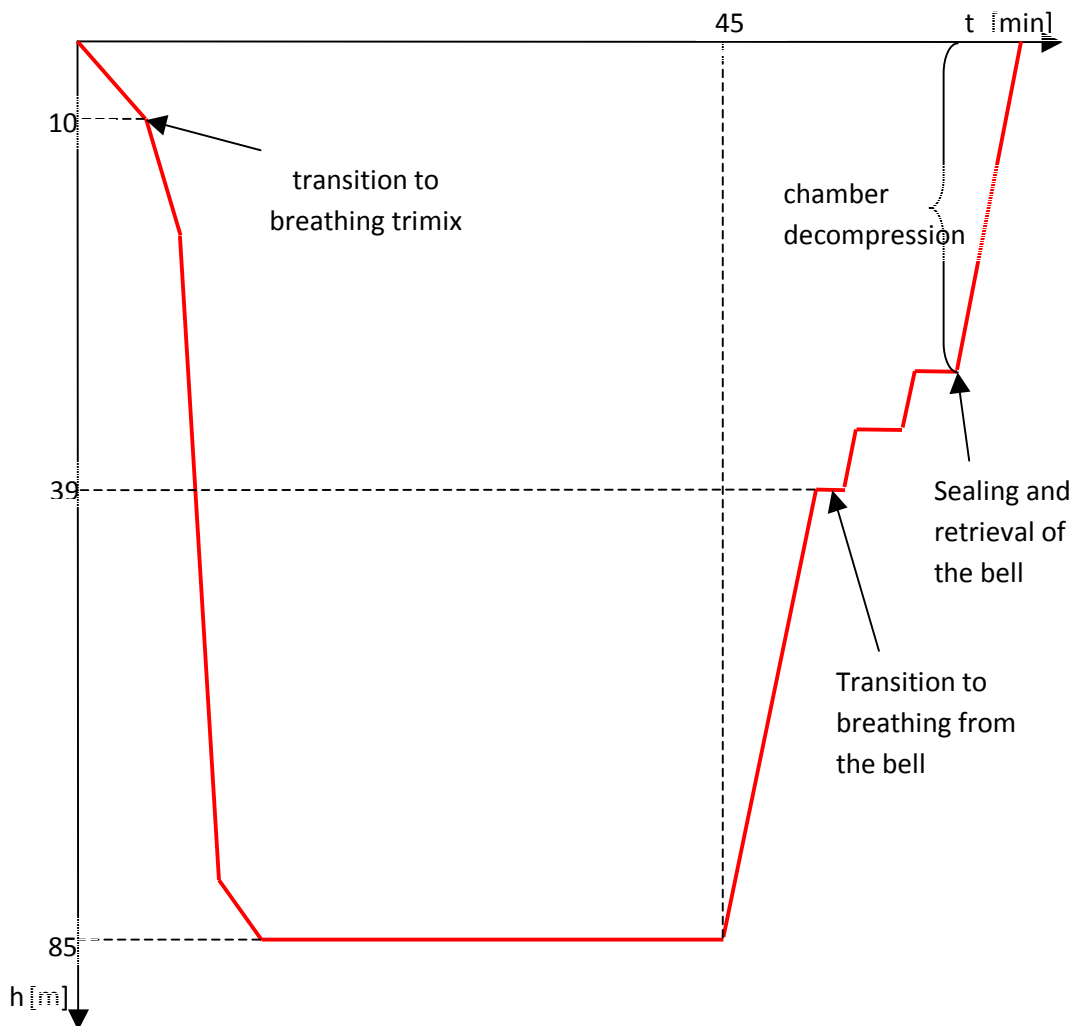


Fig. 1. Demonstrative chart of a single working dive (without scaling).

**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										
<b>65</b>	10	6											3	4	7	6	7	11	22	<b>66</b>					
	15	5										3	3	5	8	9	7	11	16	32	<b>99</b>				
	20	5										3	6	8	8	11	10	12	25	32	<b>120</b>				
	25	4									4	4	8	8	9	17	11	19	26	32	<b>142</b>				
	30	4									6	6	8	8	16	18	15	21	26	37	<b>165</b>				
	35	4									6	6	9	13	16	20	19	22	25	43	<b>183</b>				
	40	4										3	6	7	10	15	15	30	19	22	27	47	<b>205</b>		
	45	4											4	6	8	13	15	19	36	19	22	32	47	<b>225</b>	
	50	4											4	7	11	13	15	28	36	19	22	36	47	<b>242</b>	
	55	4												5	8	12	13	17	32	36	19	24	38	49	<b>257</b>
60	4													5	11	12	13	24	32	36	19	27	38	56	<b>277</b>

**WORKING DECOMPRESSION TABLES CALCULATED FOR THE DESCRIBED UNDERTAKING AND APPLIED IN THE COURSE OF WORKS (1).**

Table 1.

The depth of 65 metres and the breathing mix with the following composition: oxygen = 22%, nitrogen = 42%, helium = 36%.

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												
<b>65</b>	10	6												3	4	7	6	7	11	22	<b>66</b>						
	15	5											3	3	5	8	9	7	11	16	32	<b>99</b>					
	20	5											3	6	8	8	11	10	12	25	32	<b>120</b>					
	25	4										4	4	8	8	9	17	11	19	26	32	<b>142</b>					
	30	4										6	6	8	8	16	18	15	21	26	37	<b>165</b>					
	35	4										6	6	9	13	16	20	19	22	25	43	<b>183</b>					
	40	4												3	6	7	10	15	15	30	19	22	27	47	<b>205</b>		
	45	4													4	6	8	13	15	19	36	19	22	32	47	<b>225</b>	
	50	4													4	7	11	13	15	28	36	19	22	36	47	<b>242</b>	
	55	4														5	8	12	13	17	32	36	19	24	38	49	<b>257</b>
	60	4														5	11	12	13	24	32	36	19	27	38	56	<b>277</b>

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								
<b>75</b>	10	6								3	3	3	7	9	6	9	13	27	<b>86</b>				
	15	6								3	3	6	8	8	10	9	12	21	33	<b>119</b>			
	20	6								7	7	7	8	8	18	11	17	26	33	<b>148</b>			
	25	6								4	6	7	7	9	15	18	17	22	25	38	<b>174</b>		
	30	6								7	7	7	9	14	16	23	19	22	25	45	<b>200</b>		
	35	5								2	4	4	6	8	13	14	16	35	19	22	30	47	<b>225</b>
	40	5								3	4	5	6	12	13	14	26	36	19	22	35	48	<b>248</b>
	45	5								3	4	6	11	12	13	18	32	36	19	24	37	52	<b>272</b>
	50	5								4	5	7	11	12	13	24	32	36	19	29	37	62	<b>296</b>
	55	5								5	6	8	11	12	19	28	32	36	20	31	37	70	<b>320</b>
60	5								5	7	9	11	12	26	28	32	36	23	31	37	77	<b>339</b>	

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											
<b>75</b>	10	6									3	3	3	7	9	6	9	13	27	<b>86</b>				
	15	6									3	3	6	8	8	10	9	12	21	33	<b>119</b>			
	20	6									7	7	7	8	8	18	11	17	26	33	<b>148</b>			
	25	6											4	6	7	7	9	15	18	17	22	25	38	<b>174</b>
	30	6											7	7	7	9	14	16	23	19	22	25	45	<b>200</b>
	35	5									2	4	4	6	8	13	14	16	35	19	22	30	47	<b>225</b>
	40	5									3	4	5	6	12	13	14	26	36	19	22	35	48	<b>248</b>
	45	5									3	4	6	11	12	13	18	32	36	19	24	37	52	<b>272</b>
	50	5									4	5	7	11	12	13	24	32	36	19	29	37	62	<b>296</b>
	55	5									5	6	8	11	12	19	28	32	36	20	31	37	70	<b>320</b>
	60	5									5	7	9	11	12	26	28	32	36	23	31	37	77	<b>339</b>

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								
<b>85</b>	15	6								3	5	7	7	8	13	19	11	16	26	32	<b>153</b>	
	20	6							4	5	6	7	8	15	17	19	16	21	26	37	<b>187</b>	
	30	5			2	3	4	5	6	11	13	14	15	23	38	19	22	31	47	<b>258</b>		
	45	5		2	4	5	6	7	9	11	12	13	24	30	33	38	19	32	37	84	<b>371</b>	
	60	5		4	7	8	8	9	10	14	22	25	27	30	33	43	28	31	59	93	<b>456</b>	

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								
<b>85</b>	15	6								3	5	7	7	8	13	19	11	16	26	32	<b>153</b>	
	20	6							4	5	6	7	8	15	17	19	16	21	26	37	<b>187</b>	
	30	5			2	3	4	5	6	11	13	14	15	23	38	19	22	31	47	<b>258</b>		
	45	5		2	4	5	6	7	9	11	12	13	24	30	33	38	19	32	37	84	<b>371</b>	
	60	5		4	7	8	8	9	10	14	22	25	27	30	33	43	28	31	59	93	<b>456</b>	

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 3<sup>rd</sup> 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 kostno-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:
  - - 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,
  - - 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.),
  - - 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 – powierzchnia. Nie używano wtedy przetwornika głosowego, stosowanego do komunikacji "helowej" a należało uwzględnić termiczne straty ustrojowe, jakie zwielokrotniają 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:

- - 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,
- - 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.),
- - 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 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> 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 1<sup>st</sup> and partly on the 2<sup>nd</sup> 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 10<sup>th</sup> and 25<sup>th</sup> 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 10<sup>th</sup> and 30<sup>th</sup> minute, and the 20<sup>th</sup> and 60<sup>th</sup> 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 4<sup>th</sup> 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 9<sup>th</sup> 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 kąpieli (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 18<sup>th</sup> 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 6<sup>th</sup> minute of the second oxygen station. The patient's behaviour indicated the feeling of relief and mood improvement. In the 4<sup>th</sup> 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 unaocznili 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, 1<sup>st</sup> - 4<sup>th</sup> 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 12<sup>th</sup> Annual Scientific Diving Symposium Sept. 24<sup>th</sup> - 27<sup>th</sup> 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. NURSSELF: 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.



## **ANALIZA WYPADKÓW NURKOWYCH ZWIĄZANYCH Z ZAMARZANIEM AUTOMATÓW ODDECHOWYCH**

## **AN ANALYSIS OF DIVING ACCIDENTS RELATED TO THE FREEZING OF DIVING REGULATORS**

Krzysztof Iwankiewicz, Remigiusz Iwańkiewicz

*W artykule opisano zjawisko zamarzania automatów oddechowych, przedstawiono statystykę wypadków nurkowych oraz ich związek z zamarzaniem automatów. Przedstawiono także wyniki badań awaryjności automatów oddechowych związanych z zamarzaniem zarówno w laboratorium, jak i w warunkach rzeczywistych.*

**Słowa kluczowe:** nurkowanie, zamarzanie automatów, wypadki nurkowe.

*The article describes the phenomenon of freezing of diving regulators and presents the statistics of diving accidents and their relation to regulator freeze-ups. The article also presents the results of failure frequency tests on diving regulators conducted in the laboratory as well as in real conditions.*

**Keywords:** diving, free-flow regulators, diving accidents.

## **АНАЛИЗ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ НЫРЯНИЯ, СВЯЗАННЫЙ С ЗАМЕРЗАНИЕМ АППАРАТА ДЫХАНИЯ**

*Эта статья описывает явление замерзания аппарата дыхания и представляет статистику несчастных случаев ныряния и их связь с замерзанием аппаратов. В статье представлены результаты исследования отказа аппаратов дыхания, связанные с замораживанием как в лабораторных условиях так и в реальном мире.*

**Ключевые слова:** Ныряние, замерзание аппаратов, несчастные случаи ныряния.

## WSTĘP

Automat oddechowy jest urządzeniem umożliwiającym (wraz z zestawem butlowym tworzącym tzw. aqualung) swobodne oddychanie człowieka pod powierzchnią wody. Zasada działania automatu oddechowego polega na redukcji ciśnienia z butli do ciśnienia otoczenia. Współczesne automaty osiągają to poprzez dwa stopnie redukcji połączone węzłem. Pierwszy stopień redukuje ciśnienie czynnika oddechowego do tzw. średniego nadciśnienia względem otoczenia (8-12 bar), następnie drugi stopień obniża ciśnienie do poziomu ciśnienia otoczenia oraz dostarcza czynnik oddechowy tylko podczas wdechu. Szybki przepływ gazów podczas wdechu znacznie obniża temperaturę gazu oddechowego. Badania Dive Lab wykazały, że różnica temperatur przed pierwszym stopniem i za nim może wynosić  $-27,8$  -  $-55,6^{\circ}\text{C}$  lub nawet więcej przy ciśnieniu w butli rzędu 413,7 bar [14].

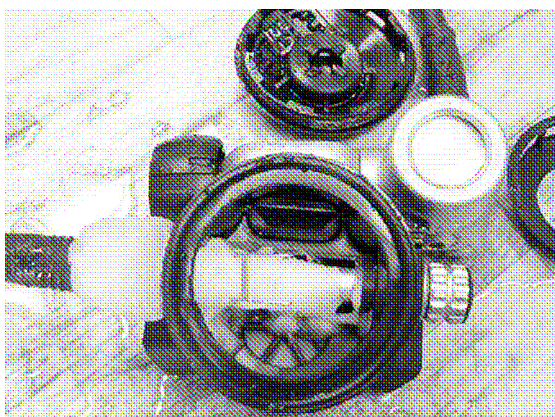
Spadek temperatury jest liniowo zależny od ciśnienia w butli. Im wyższe ciśnienie w butli tym większy spadek temperatury.

Wpływ na temperaturę gazu ma temperatura otoczenia, gdy nurk zanurza się w stosunkowo ciepłej wodzie  $23,9^{\circ}\text{C}$  i oddycha z butli o ciśnieniu 206,8 bar, czynnik oddechowy ma w takim przypadku temperaturę za pierwszym stopniem  $-3,9^{\circ}\text{C}$ , czyli poniżej zera. Większość nurków nie odczuwa tej temperatury jako dyskomfortu.

Jednak nawet w przypadku takiej temperatury wody organizm musi niwelować straty ciepła. Im niższa temperatura gazu tym większe wychłodzenie nurka i dyskomfort nurkowania a oprócz strat ciepła, zimne i suche powietrze powoduje zwiększone odwodnienie nurka.

Gdy temperatura wody wynosi  $4,5^{\circ}\text{C}$  to temperatura gazu (przy ciśnieniu początkowym w butli 206,8 bar) za pierwszym stopniem redukcji wynosi  $-23,3^{\circ}\text{C}$ , a przy temperaturze wody  $0^{\circ}\text{C}$  odpowiednio  $-28^{\circ}\text{C}$ . Może to doprowadzić do tzw. zamarzania automatu oddechowego zarówno na pierwszym, jak i drugim stopniu.

Jak wykazały testy przeprowadzone w Dive Lab na Florydzie w skrajnych przypadkach przyrost lodu na automacie wyniósł aż pół cala powłoki lodu wewnątrz i na zewnątrz drugiego stopnia, także pierwszy stopień był zalodzony - bryła lodu pokryła niemal cały automat [14].



Rys. 1. Oblodzony 2 stopień automatu.



Rys. 2. Oblodzony 1 stopień automatu.

W rzeczywistych warunkach następuje wymiana ciepła z otaczającą wodą, co niweluje w pewnym stopniu niekorzystny efekt spadku temperatury [5].

## INTRODUCTION

A breathing apparatus (together with a cylinder set creating the so-called aqua-lung) is a device allowing people to breathe freely under water. Its function is centred around the reduction of cylinder pressure to ambient pressure. Modern regulators achieve this goal with two reduction stages connected with a hose. The first stage reduces the pressure of a breathing mix to the so-called average overpressure in relation to ambience (8-12 bars), whereas the second stage decreases the pressure to the level of ambient pressure and supplies the breathing mix only during inhalation. A fast flow of gases during inhalation significantly lowers the temperature of the breathing gas. Dive Lab studies showed that temperature differences before the first stage and after it may reach from -27.8 to -55.6°C or even more with cylinder pressure of 413.7 bars [14].

Temperature decrease is linearly dependent on the pressure in the cylinder. The higher the cylinder pressure the greater the temperature decrease.

Ambient temperature has an impact on gas temperature. When a diver is submerged in relatively warm water of say 23.9°C and breathes from a cylinder with the pressure of 206.8 bars, the temperature of the breathing mix after the first stage is equal to -3.9°C, i.e. has a value below zero. Most divers do not experience this temperature as uncomfortable.

However, even with such water temperatures, the human body will experience heat loss. The lower the gas temperature the greater the diver's cooling and discomfort during the dive, and, in addition to heat losses, cold, dry air will lead to increased dehydration of the diver.

When the water temperature is 4.5°C the gas temperature (with initial cylinder pressure of 206.8 bars) after the first reduction stage is equal to -23.3°C, whereas with water temperature of 0°C it reaches -28°C. This may lead to regulator freeze-up both at the first and the second stage.

As the tests carried out at Dive Lab in Florida indicated, in extreme cases the thickness of icing of a regulator reached as much as half an inch inside and outside the second stage, with the first stage being covered with ice as well – a cake of ice covered nearly the entire apparatus [14].

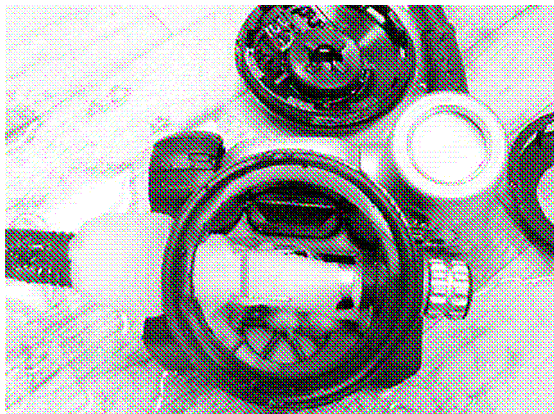


Fig. 3. Icing of the 2<sup>nd</sup> stage of a regulator.



Fig. 4. Icing of the 1<sup>st</sup> stage of a regulator.

In real conditions heat exchange with ambient water takes place, which to a certain extent diminishes the unfavourable effect of temperature decrease [5].

## 1. ZAMARZANIE AUTOMATU

Zamarzanie automatu jest sytuacją, w wyniku której nurek może zostać pozbawiony dopływu czynnika oddechowego lub, co zdarza się częściej, przepływ czynnika będzie niekontrolowany i w konsekwencji doprowadzi do szybkiej utraty powietrza w butli. Temperatura powietrza przepływającego przez automat obniża się w granicach  $-27,8$  do  $-55,6^{\circ}\text{C}$  (w zależności od początkowego ciśnienia w zestawie butlowym i temperatury otoczenia) w wyniku efektu Joule'a-Thomsona. Skutki tego efektu można zniwelować polepszając wymianę ciepła (jak np. w przypadku grzałki Michalaka lub ożebrowania gniazda II stopnia) lub zmniejszając wydatek automatu. Sposoby te tylko opóźniają zamarznięcie automatu, zwłaszcza, jeżeli nurkowanie jest prowadzone w zimnych wodach ( $0-4^{\circ}\text{C}$ ). Przepływające przez automaty powietrze podczas rozprężania ochładza się poniżej temperatury zamarzania wody i jeśli I stopień odseparuje się od wody i użyje odpowiednio suchego powietrza, to w II stopniu zawsze będzie obecna woda (choćby para z wydechu). Lód osadzający się w gnieździe i na grzybku zaworu uniemożliwi w konsekwencji szczelne zamknięcie, co spowoduje niekontrolowany wypływ powietrza z butli lub też całkowicie uniemożliwi przepływ czynnik [5].

ZAMARZANIE ZEWNĘTRZNE - występuje w komorze wodnej pierwszego stopnia redukcji, uwidacznia się powstawaniem bryły lodu na korpusie automatu I stopnia. Lód w komorze wodnej blokuje prace znajdujące się tam sprężyny uniemożliwiając szczelne zamknięcie grzybka. Zamarzanie wywołane jest spadkiem temperatury przepływającego przez automat gazu na skutek jego rozprężania. Spadek temperatury występuje zawsze ale zamarznięcie występuje tylko przy zbyt dużym obciążeniu automatu i niskich temperaturach zewnętrznych.

ZAMARZANIE WEWNĘTRZNE - występuje wewnątrz komór powietrznych automatu, dotyczy obu stopni. Wywołane jest spadkiem temperatury czynnika oddechowego poniżej zera po przejściu przez pierwszy i drugi stopień automatu. Spadek ten powoduje wykraplanie pary wodnej z czynnika oddechowego i przywieranie kawałków lodu do elementów automatu [21].

Czynniki wpływające na zamarzanie automatów oddechowych:

- zbyt duży wydatek automatu,
- sposób oddychania i używanie jednocześnie inflatora lub skafandra suchego,
- zbyt duże ciśnienie w zestawie butlowym (np. 300 bar i więcej),
- temperatura otoczenia,
- głębokość nurkowania,
- wilgotności czynnika oddechowego,
- skład czynnika oddechowego,
- budowa automatu (materiał, wielkość obudowy, możliwość pobierania ciepła).

## 2. STATYSTYKI WYPADKÓW NURKOWYCH

Szacunkowo na świecie jest ok. 15 milionów nurków rekreacyjnych, którzy wykonują ponad 250 milionów nurkowań. Magazyn „Diver Skin” na podstawie własnych badań szacuje, że każdy nurek przeprowadza średnio 12 nurkowań rocznie [17].

Zależnie od badającego przyjmuje się różne ryzyka wystąpienia wypadku śmiertelnego. I tak dr Taylor na podstawie własnych badań określił ryzyko wypadku ze skutkiem śmiertelnym na poziomie 1 na 200.000 nurkowań, natomiast doktor Elliot i doktor Bennet na 2 do 4 przypadków na 100.000 nurkowań – obie wartości dla Stanów Zjednoczonych.

## **1. REGULATOR FREEZE-UP**

Regulator freeze-up can result in a diver being deprived of a breathing mix or, what is more common, its flow becoming uncontrolled and, consequently, leading to its quick loss from the cylinder. The temperature of the air flowing through the apparatus is decreased within the range of -27.8 and -55.6°C (depending on initial cylinder pressure and ambient temperature) as a result of the Joule Thomson effect. The results of this effect may be diminished by an improvement of heat exchange (as e.g. in the case of Michalak's heater or by ribbing of the 2<sup>nd</sup> stage socket) or by decreasing the regulator's output. These methods however only delay the icing, especially if diving is carried out in cold waters (0-4°C). The temperature drop comes when compressed gas which is stored in a cylinder is stepped down in pressure via a regulator to its working pressure, the reduction cooling the gas to below the freezing point of water – water is always present within the 2<sup>nd</sup> stage of the apparatus (even if just the resulting vapour from exhalation), even if the 1<sup>st</sup> stage is separated from the water, and the correct volume of dry air is used. In consequence, the ice settling in the socket and on the valve head will impair the regulator's tightness and lead to an uncontrolled outflow of air from the cylinder or completely empty it [5].

- EXTERNAL FREEZE-UP – results in an ice cake forming on the body of the 1<sup>st</sup> stage. The ice blocks the work of an externally located spring that is a key component to the setting of the regulator's inter-stage pressure, preventing the tight closing of the valve head within the 1<sup>st</sup> stage. The icing is caused by the decrease of temperature of the gas flowing through the apparatus as a result of its reduction in pressure in the first stage. Temperature loss is a common phenomenon, whereas icing occurs only when the load on the regulator is too high and external temperatures are too low.

- INTERNAL FREEZE-UP – occurring inside the regulator, concerns both stages of the equipment. It is invoked by a temperature decrease of the breathing mix below zero after passing through the first and the second stage. The said decrease causes condensation of water vapour from the breathing mix and the adherence of ice to the regulator's components [21].

Factors having an influence on regulator icing are:

- too large an output of the regulator,
- breathing manner combined with the use of a buoyancy compensator's inflator or a dry suit inflate
- too high a pressure in the cylinder set (e.g. 300 bars or more),
- ambient temperature,
- diving depth,
- breathing mix humidity,
- breathing mix composition,
- apparatus construction (material, body size, heat reception capacity).

## **2. DIVING ACCIDENTS STATISTICS**

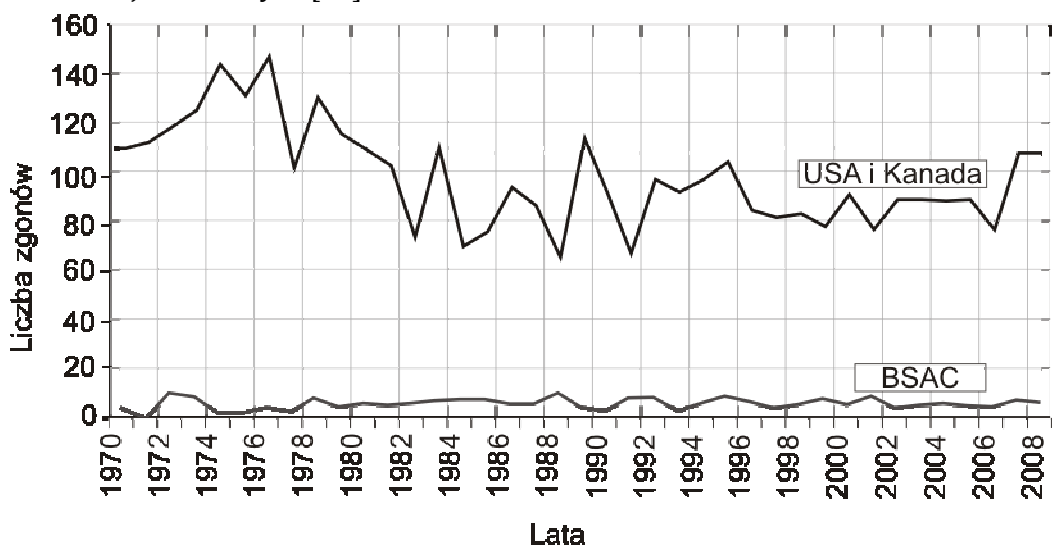
The estimated number of recreational divers in the world reaches approximately 15 million, with 250 million dives performed by them. Based on its own research, "Diver Skin" magazine assessed that each diver carried out on average 12 dives a year [17].

Various sources adopt different risk ratios regarding fatal accidents. And so, according to Taylor, Ph.D., the risk of a diving accident resulting in the diver's death reaches 1 per 200,000 dives, whereas according to Elliot, Ph.D., and Bennet, Ph.D., there are 2 to 4 such cases per 100,000 dives – both values determined for the USA.

Inne wartości podaje z kolei Santoro, gdzie dla Stanów Zjednoczonych przyjmuje ryzyko na poziomie 1 na 100.000 nurkowań, natomiast dla Australii 1 na 120.000 a dla Japonii aż 6,5 na 100.000 nurkowań [17].

Jak podaje Poleszak, statystyka wypadków nurkowych w Polsce w badanym okresie (1999-2007) wyniosła 1 na 667.000 nurkowań, jednak autor artykułu zastrzega, że tak optymistyczne wartości mogą być spowodowane błędnym oszacowaniem ilości nurkowań (4 mln w badanym okresie), bądź nierzetelnymi informacjami na temat wypadków nurkowych (60 zgonów) [17].

Każdego roku około 125 nurków ginie w trakcie nurkowania (dane z Ameryki Północnej, Europy i Azji). Z tej liczby 50-60 płetwonurków umiera w samych tylko Stanach Zjednoczonych [12].



Rys. 3. Liczba zgonów nurków w latach 1970-2008.

Poniżej przedstawiono statystyki wypadków nurkowych opierając się na raportach największych światowych organizacji PADI, DAN, BSAC podając przyczyny śmierci.

Raport Padi (Professional Association of Diving Instructor) przedstawia statystyki wypadków nurkowych biorąc pod uwagę dwa okresy - lata 1989-1998 oraz 1999-2008 [18]. Każdy z nich podzielono na 3 grupy:

- śmiertelne wypadki w trakcie kursów PADI,
- śmiertelne wypadki certyfikowanych nurków PADI poza kursem,
- oraz zgony profesjonalnych instruktorów, asystentów i divemasterów PADI podczas pracy.

Z danych PADI wynika, że przez 20 lat przeprowadzono 63,041,231 nurkowań szkoleniowych i wydano 17,224,125 certyfikatów a liczba zgonów podczas szkoleń wyniosła 304. Śmiertelne wypadki certyfikowanych nurków PADI poza kursem wyniosły 808 a zgony wśród instruktorów, asystentów i divemasterów wyniosły 22 przypadki w okresie 1989-2008 roku. Od momentu powstania PADI w 1967 stowarzyszenie wydało 20 milionów certyfikatów (2011 underwater journal PADI), co stanowi 60-70 % wszystkich wydawanych na świecie certyfikatów. Liczba instruktorów i divemasterów wyniosła w 2008 - 134,959.

Other results, on the other hand, determined by Santoro, state that the risk of a fatal diving accident is equal to 1 case per 100,000 dives for the USA, whereas for Australia 1 per 120 000, and for Japan as many as 6.5 cases per 100,000 dives [17].

According to Poleszak the statistics of diving accidents in Poland in the period in question (1999-2007) indicated 1 fatal accident per 667,000 dives; however, the author stipulated that such optimistic values may result from an erroneous estimation of the number of dives (4 million in the indicated period) or unreliable information concerned with diving accidents (60 deaths) [17].

Each year approximately 125 divers die while performing dives (data from North America, Europe and Asia). From this number, 50-60 divers die in the United States [12].

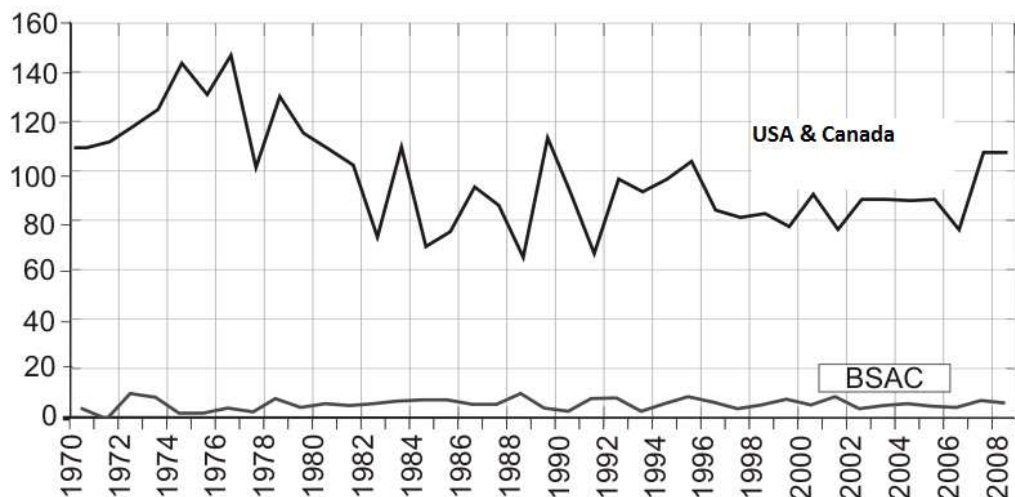


Fig. 3. Number of divers' deaths in the years 1970-2008.

The table below presents diving accidents statistics based on the reports prepared by the largest world organisations PADI, DAN, BSAC with the specification of the causes of deaths.

The PADI report (Professional Association of Diving Instructors) presents the statistics concerning two periods – the years 1989-1998 and 1999-2008 [18]. Both periods were divided into 3 groups:

- fatal accidents during PADI courses,
- fatal accidents of certified PADI divers outside the course,
- deaths of professional PADI instructors, assistants and dive-masters at work.

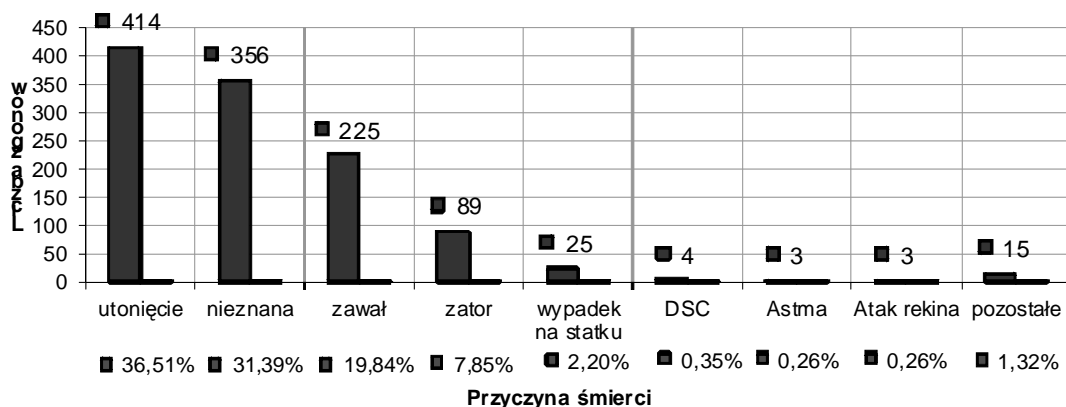
According to PADI data, 63,041,231 training dives were carried out and 17,224,125 certificates were issued in the specified period of 20 years, and the number of deaths during training courses reached 304. Fatalities among certified PADI divers outside the course amounted to 808, whereas deadly incidents among instructors, assistants and dive-masters reached 22 in the period 1989-2008. Since PADI's establishment in 1967, the association has issued 20 million certificates (2011 underwater journal PADI), i.e. 60-70% of all such certificates issued worldwide. The number of instructors and dive-masters in 2008 was equal to 134,959.

Tabela 1.

## Zestawienie zgonów z raportu PADI w latach 1989-2008.

Przyczyna śmierci	Wypadki po za kursem		Wypadki podczas kursu		Wypadki Instruktorów		SUMA	
	Liczba	Procent	Liczba	Procent	Liczba	Procent	Liczba	Procent
Utonięcie	329	40,72%	80	26,32%	5	22,73%	414	36,51%
Nieznana	263	32,55%	85	27,96%	8	36,36%	356	31,39%
Zawał	125	15,47%	96	31,58%	4	18,18%	225	19,84%
Zator	61	7,55%	27	8,88%	1	4,55%	89	7,85%
Wypadek na statku	14	1,73%	7	2,30%	4	18,18%	25	2,20%
DSC	3	0,37%	1	0,33%			4	0,35%
Astma	2	0,25%	1	0,33%			3	0,26%
Atak rekina	2	0,25%	1	0,33%			3	0,26%
Pozostałe	9	1,11%	6	1,97%			15	1,32%
							SUMA	100,00%
Mężczyźni	636	78,71%	218	71,71%	19	86,36%	873	0,7698413
Kobiety	166	20,54%	86	28,29%	3	13,64%	255	0,2248677
Niezidentyfikowani	6	0,74%	0	0	0	0,00%	6	0,005291
Wszyscy	808	100%	304	100%	22	100,00%	1134	100,00%

W raporcie DAN przeanalizowano grupę 814 ofiar wypadków z lat 1992-2003 [12]. Raport ten nie uwzględnia nieznaną przyczyn zgonów jak w przypadku raportu PADI, natomiast liczba utonięć pozwala sądzić, że raport DAN łączy obie grupy, ponieważ suma zgonów w z raportu PADI (utonięcia i nieznane) 67,9 % jest bardzo zbliżona do danych o utonięciach z raportu DAN – 70 %.



Rys. 4. Przyczyny śmiertelnych wypadków nurkowych z lat 1992-2003 (raport PADI).

Table 1.

Fatalities according to PADI report for the years 1989-2008.

Cause of death	Accidents outside the course		Accidents during the course		Instructor accidents		TOTAL	
	Number	Per cent	Number	Per cent	Number	Per cent	Number	Per cent
Drowning	329	40.72%	80	26.32%	5	22.73%	414	36.51%
Unknown	263	32.55%	85	27.96%	8	36.36%	356	31.39%
Heart attack	125	15.47%	96	31.58%	4	18.18%	225	19.84%
Embolus	61	7.55%	27	8.88%	1	4.55%	89	7.85%
Accident on board a ship	14	1.73%	7	2.30%	4	18.18%	25	2.20%
DSC	3	0.37%	1	0.33%			4	0.35%
Asthma	2	0.25%	1	0.33%			3	0.26%
Shark attack	2	0.25%	1	0.33%			3	0.26%
Other	9	1.11%	6	1.97%			15	1.32%
							TOTAL	100.00%
Men	636	78.71%	218	71.71%	19	86.36%	873	0.7698413
Women	166	20.54%	86	28.29%	3	13.64%	255	0.2248677
Unidentified people	6	0.74%	0	0	0	0.00%	6	0.005291
Total	808	100%	304	100%	22	100.00%	1134	100.00%

The DAN report provided an analysis of a group of 814 fatalities from the years 1992-2003 [12]. The report did not take into consideration the unknown causes of deaths as was the case with the PADI report; however, the number of cases of drowning allows one to conclude that the DAN report combines both these categories (drowning and unknown) as the total number of such deaths from PADI report – 67.9 % - comes very close to the drowning data from the DAN report – 70 %.

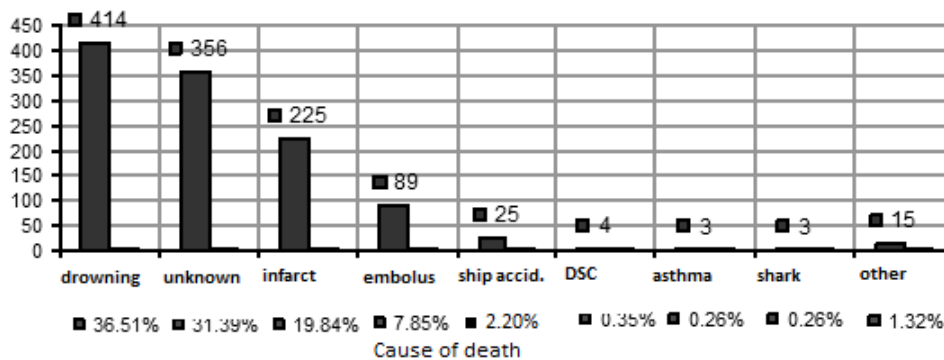
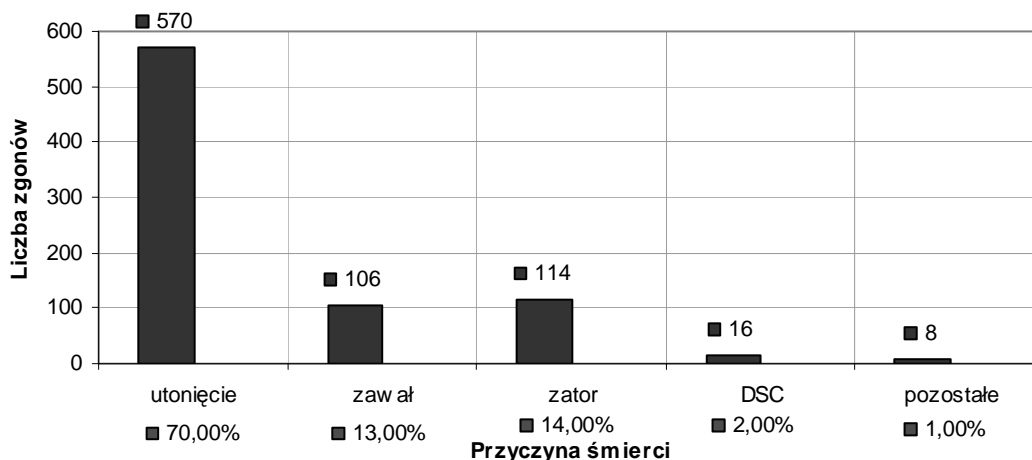


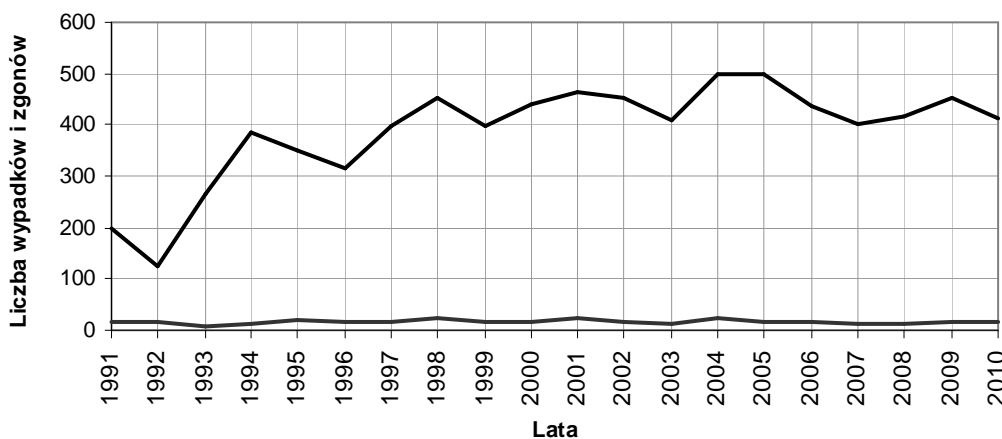
Fig. 4. The causes of fatal diving accidents in the years 1992-2003 (PADI report).



Rys. 5. Przyczyny wypadków nurkowych (raport DAN).

Należy wspomnieć, że przedstawiono tu tylko wypadki ze skutkiem śmiertelnym, nie wspominając nic o wypadkach, które nie zakończyły się tragicznie. Ich liczba jest wielokrotnie większa.

W raportach BSAC (British Sub-Aqua Club) z lat 1991-2010 przeanalizowano 7764 wypadki, średnia roczna wyniosła zatem 388,2 wypadków a średnia zgonów odpowiednio 15,8 [10,11]. Na podstawie tych danych można wnioskować, że na 24,5 wypadków przypada 1 zgon a biorąc pod uwagę średnią liczbę zgonów jaką podaje Denoble i Vann (2009) w latach 1970-2008, która wyniosła 125 zgonów można wnioskować, że statystycznie w roku (opierając się na w/w danych) liczba zgłoszonych wypadków może wynosić ok. 3062 [12]. Powstaje pytanie ile przypadków wypadków nurkowych nie jest zgłaszanych.



Rys. 6. Liczba wypadków i zgonów nurków (raport BSAC 1991-2010).

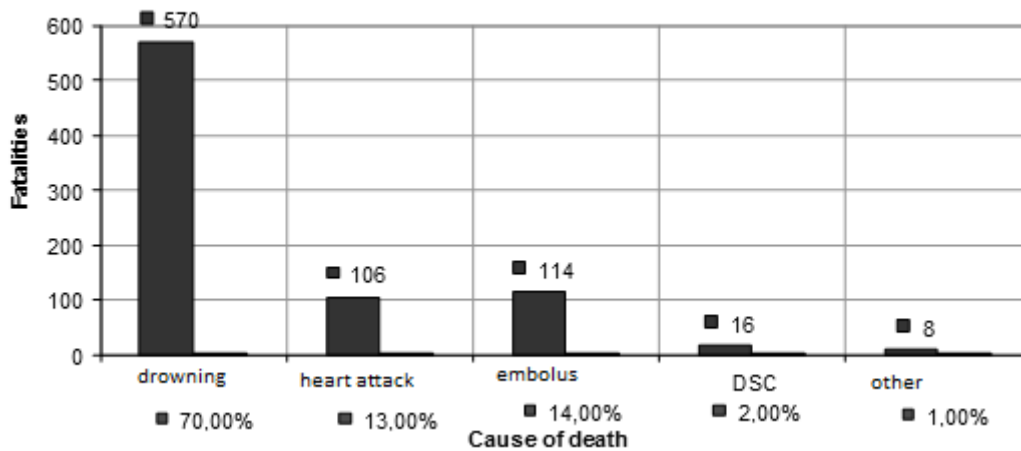


Fig. 5. The causes of diving accidents (DAN report).

It needs to be mentioned that the above tables only present fatal accidents and not the incidents with a less tragic ending. Their number is much higher.

BSAC reports (British Sub-Aqua Club) from the years 1991-2010 provided an analysis of 7,764 diving accidents, which gives the yearly average of 388.2 with the average number of deaths of 15.8 [10, 11]. Based on these data we may assume that there is 1 fatality per 24.5 accidents, and considering the average number of fatalities reported by Denoble and Vann (2009) in the years 1970-2008 that reached 125 deaths, we may conclude that the statistical number of reported accidents with regard to the above data may amount to approximately 3,062 [12]. It remains unknown how many diving accidents are never reported.

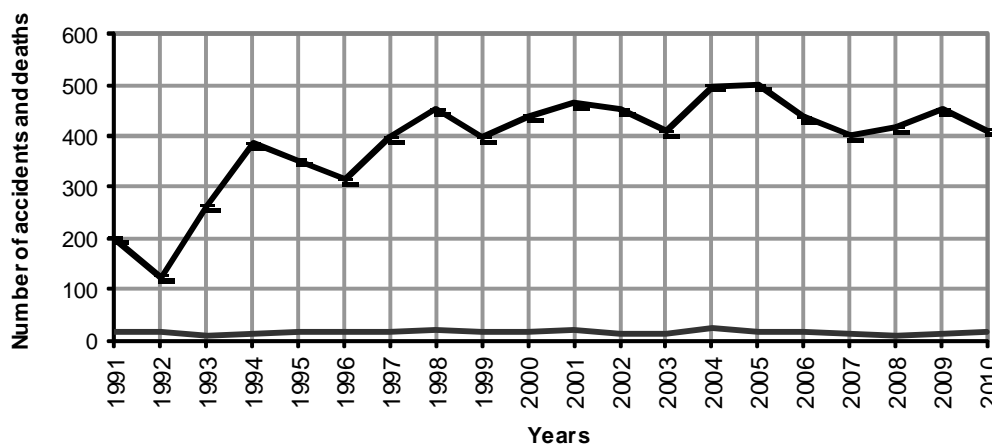


Fig. 6. Number of diving accidents and fatalities among divers (BSAC report 1991-2010).

Bezpośrednią przyczyną większości zgonów jest utonięcie (blisko 70%), natomiast należy odpowiedzieć na pytanie, jaka jest pośrednia przyczyna.

Informacje na temat pośredniej przyczyny śmierci, jaką może być zamarznięty automat, są stosunkowo nieliczne. W większości przedstawianych raportów opierano się głównie na bezpośredniej przyczynie śmierci nie wnikając, co mogło być jej pośrednią przyczyną i w konsekwencji doprowadzić do tragicznego zdarzenia. W nielicznych publikacjach można jednak odnaleźć informację na temat zamarzania automatu jako pośredniej przyczynie zgonu.

W roku 2006 w raporcie the Health and Safety Laboratory można odnaleźć informację o pośrednich przyczynach zgonów, gdzie ujmuję się jako jedną z nich zamarzanie automatu oddechowego. W raporcie przeanalizowano 54 wypadki gdzie 46 zakończyło się zgonem. W 4 przypadkach przyczyną problemów był zamarznięty automat oddechowy, co stanowiło 7 % przeanalizowanej grupy [2].

Dr C.J. Acott przeanalizował 457 wypadków, gdzie wśród nich 136 zakończyło się śmiercią nurka spowodowanych problemem ze sprzętem [1]. Na drugim miejscu znalazły się problemy z automatem oddechowym - 18 zgonów, co stanowi ponad 13 % wszystkich zgonów.

Dopiero od 2008 roku BSAC (British Sub Aqua Club) w swoich raportach wprowadził jako pośrednią przyczynę śmierci zamarzanie automatów. W poszczególnych latach wyniosła ona odpowiednio:

- 2008 – 17 % wszystkich zgonów,
- 2009 – 3% wszystkich zgonów,
- 2010 – 9 % wszystkich zgonów.

Przedstawione powyżej dane są stosunkowo skromne, pozwalają jednak stwierdzić, że problem zamarzania automatów oddechowych jest nadal nierozwiązany, co potwierdzają zgony nurków, a także badania z Dive Lab Kirby Morgan na Florydzie oraz R. Stinton w publikacji z roku 2007 gdzie czytamy: „Brak jest aktywnych systemów ogrzewania gazów oddechowych dostępny dla nurkowań swobodnych” [19].

Oprócz braku rozwiązania tego problemu w badaniach Dive Lab znajduje się informacją dotyczącą temperatury czynnika oddechowego, która oprócz znaczącego wpływu na zamarzanie wody w automacie oddechowym może mieć też wpływ na liczbę zgonów przypisanych utonięciom [14]. Czytamy w nim, że: „...zimne powietrze oddziałując na drogi oddechowe stanowi poważne niebezpieczeństwo powodujące zaburzenia oddechu (szok oddechowy – respiratory shock), w wyniku którego nurek nie jest w stanie oddychać” a także: „fizyczny mechanizm szoku oddechowego nie jest w pełni zrozumiały (dla autorów). Prawdopodobnie spowodowany jest kurczem krtani. Drogi oddechowe zostają całkowicie zablokowane przez nagłośnię uszczelniającą tchawicę. Szok może wystąpić nawet w stosunkowo płytkiej wodzie, niezależnie od dokładnego mechanizmu fizycznego skutki mogą być katastrofalne.” Zjawisko to może być przyczyną wielu niewyjaśnionych zgonów wśród nurków, gdzie nie ustalono, bądź trudno było ustalić pośrednią przyczynę śmierci.

Temperatura gazu oddechowego może mieć wpływ nie tylko na sam automat oddechowy, ale także bezpośrednio oddziałuje na nurka. Powstaje więc pytanie jaka powinna to być temperatura.

### **3. GRANICE KOMFORTU CIEPLNEGO I TEMPERATUR GAZÓW ODDECHOWYCH**

Zapewnienie komfortu cieplnego pod wodą wymaga określenia granic w obrębie, których nurek powinien być w stanie bezpiecznie wykonywać swoje zadanie. Granicę tę wyznaczano eksperymentalnie przyjmując średnią wagę nurka na poziomie 81 kg [3].

The direct cause of most deaths is drowning (nearly 70%), yet the real question is what constitutes the indirect cause.

Information on fatalities, in which the indirect cause of death was a frozen regulator, is relatively scarce. The majority of the presented reports were based mainly on direct causes of deaths omitting indirect causes that led to the tragic incident. Yet, in some publications it is possible to find information pointing to regulator freeze-up as one of the indirect causes of death.

In 2006, the Health and Safety Laboratory report published information on indirect causes of deaths among which one could find free-flowing regulators. The report analysed 54 cases, 46 of which ended in divers' deaths. In 4 cases the root cause of the problem was a frozen regulator, which constituted 7% of the analysed group [2].

C.J. Acott, Ph.D., conducted an analysis of 457 accidents, 136 of which ended in divers' deaths due to equipment failure [1]. The second highest cause involved regulator problems – 18 deaths, i.e. 13% of all fatal incidents.

It was as late as 2008 that the BSAC (British Sub Aqua Club) introduced regulator freeze-up as an indirect cause of death to its reports. The number of such accidents for particular years was as follows:

- 2008 – 17% of all deaths,
- 2009 – 3% of all deaths,
- 2010 – 9% of all deaths.

The above numbers are relatively low, yet they allow one to conclude that the problem of free-flowing regulators remains unsolved, a fact that is confirmed by numerous divers' deaths as well as studies conducted by Dive Lab Kirby Morgan in Florida and R. Stinton<sup>[S1]</sup> published in 2007 where we read: "There is a lack of active heating systems for breathing gases in freediving" [19].

Besides the lack of a valid solution for this problem, Dive Lab research provided information concerning breathing mix temperature, which, besides having a significant impact on the freezing of water in a regulator may also have an impact on the number of deaths attributed to drowning [14]. We read that "... a serious threat is the effect of cold air on the respiratory tract which leads to a respiratory disorder (respiratory shock) as a result of which a diver will not be able to breathe", and also: "the physical mechanism of a respiratory shock is not fully understood (for the authors). It is probably caused by a laryngeal spasm. The respiratory tract becomes completely blocked by the epiglottis sealing the trachea. The shock may occur even in relatively shallow water, and irrespective of the physical mechanism its results may be catastrophic." This phenomenon may be the reason of numerous unexplained deaths among divers.

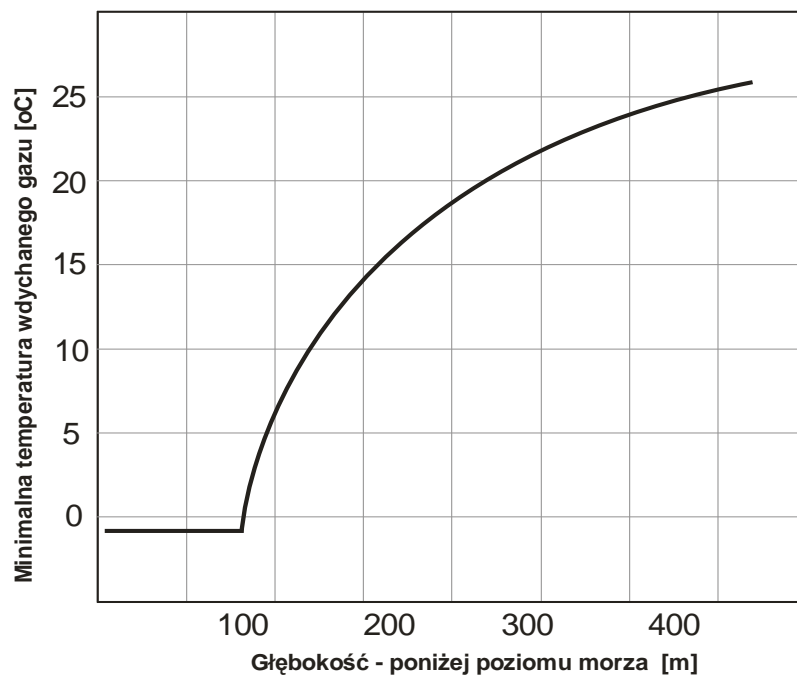
The temperature of the breathing gas may have an influence not only on the regulator itself but it may also have a direct impact on a diver. Thus, we should ask questions as to what the breathing mix's proper temperature should be.

### **3. THERMAL COMFORT AND BREATHING GAS TEMPERATURES LIMITS**

Ensuring thermal comfort under water requires providing the specification of limits within which a diver should be able to safely perform his tasks. The said limits were defined by means of experiments with the adopted average diver weight of 81 kg [3].

Wyznaczono następujące wartości:

- maksymalna utrata ciepła 200 kcal (3 kcal/kg) przy założeniu normalnej początkowej temperatury ciała 36.6° C,
- temperatura ciała powinna utrzymywać się na poziomie 36° C a minimalnie 35° C,
- średnia temperatura skóry powinna być nie niższa niż 25° C, natomiast minimalna temperatura nie powinna być niższa niż 20° C, z wyjątkiem dłoni, których temperatura nie powinna być niższa niż 15° C. Niższe wartości temperatur mogą prowadzić do wychłodzenia organizmu.
- minimalną temperaturę gazu oddechowego w zależności od głębokości, przedstawiono na rysunku 1 [20]. Dla głębokości do 100 m powinna ona wynosić nie mniej niż -1° C [4].



Rys. 7. Wykres minimalnej temperatury gazu oddechowego w funkcji głębokości.

Określono także górne granice temperatur gdzie:

- temperatura ciała nie powinna być wyższa niż 38,5° C,
- średnia temperatury skóry nie powinna przekraczać 42° C,
- maksymalna temperatura gazu oddechowego dla ekspozycji nie dłuższej niż 1 godzina powinna wynosić nie więcej niż 45° C a dla dłuższych ekspozycji 40° C.

Podsumowując granice temperatur powinny zawierać się w przedziałach jak w tabeli 2.

Tabela 2.

Granice temperatur ciała, skóry oraz gazu oddechowego.

Granice temperatur	Minimalna	Maksymalna
Ciała	35° C	38,5° C
Skóry	20° C	42° C
Gazu oddechowego	-1 ° C	45 ° C

The following values were defined:

- maximum heat loss of 200 kcal (3 kcal/kg) with initial body temperature of 36.6°C,
- body temperature should be maintained at the level of 36°C or a minimum of 35°C,
- average skin temperature should not be lower than 25°C, whereas the minimum temperature should not be lower than 20°C, with the exception of hands, the temperature of which should not be below 15°C. Lower temperature values may lead to excessive cooling of the organism.
- minimum breathing gas temperature depending on the depth (presented in fig.1) [20]. Its value for the depth up to 100 m should not be lower than -1°C [4].

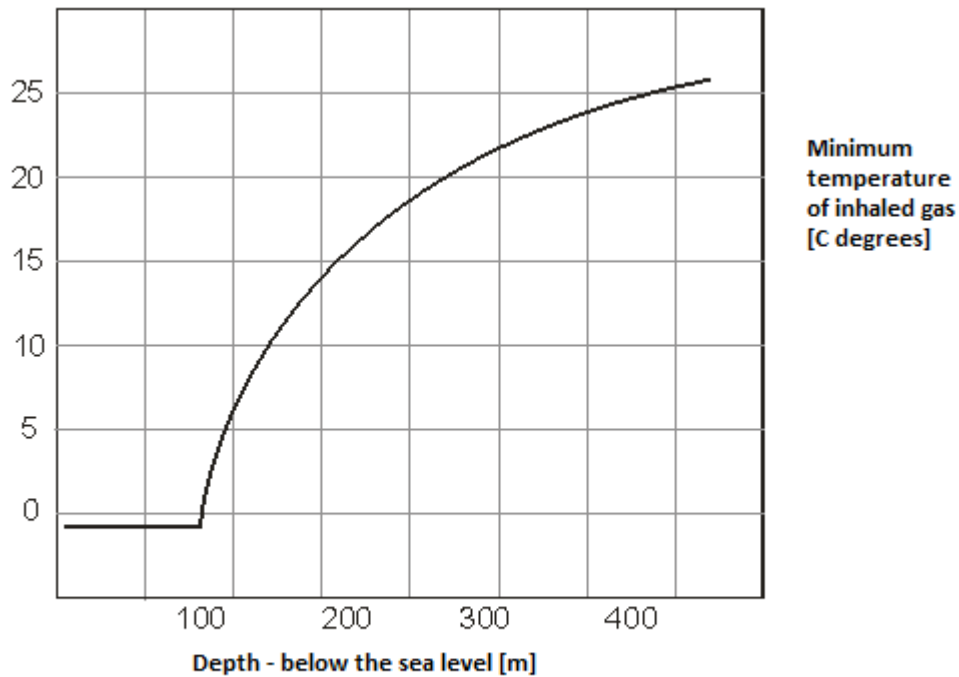


Fig. 7. Minimum breathing gas temperature in the function of depth.

Also upper temperature limits were defined, where:

- body temperature should not exceed 38.5°C,
- average skin temperature should not exceed 42°C,
- maximum breathing gas temperature for an exposition not exceeding 1 hour should not amount to more than 45°C and for longer expositions 40°C.

In conclusion, temperature limits should correspond to the ranges presented in table 2.

Table 2.

Limits for body, skin and breathing gas temperatures.

Temperature limits	Minimum	Maximum
Body	35°C	38.5°C
Skin	20°C	42°C
Breathing gas	-1°C	45°C

Piotrowski jako granice temperatur komfortu w skafandrze podaje wartości 18-24° C [16].

#### 4. STATYSTYKA ZAMARZANIA AUTOMATÓW

##### 4.1. BADANIA POLIGONOWE

Dane do badania poligonowych opracowane zostały przez J. Bozanic'a oraz J. Mastro Podczas badań w Australijskiej bazie na Antarktydzie (McMurdo) w latach 1989-1991 przeprowadzono łącznie 1191 nurkowań z użyciem 11 różnych automatów oddechowych, zarówno jedno jak i dwu węzowych. Konstrukcje jednowęzowe okazały się być bardziej niezawodne – tylko w przypadku 6,8 % automatów wystąpiło zjawisko zamarzania, natomiast zawodność konstrukcji dwuwęzowych wyniosła aż 17,4%. Temperatura wody w tym rejonie (McMurdo Station, Ross Island) wynosi -1,8° C.

Najbardziej niezawodny okazał się Posejdon Cyklon (4,0%) oraz Posejdon Odin (5,3%) [6].

Tabela 3

Liczba awarii automatów podczas badań.

	Liczba nurkowań	Awarie	Procent
<b>Automaty</b>			
<b>Dwuwęzowe</b>			
Ram	259	45	17,4
<b>Jednowęzowe</b>	932	57	6,1
Cyklon 300	427	17	4,0
Cyklon /Odin	87	1	1,1
Cyklon/AGA	3	0	0,0
Odin	263	14	5,3
Conshelf Supr	5	2	40,0
Pro Diver	3	2	66,7
Mk200/G200	8	8	100,0
Mk10/G200	121	13	10,7
Mk10/G250	1	1	100,0
Mk10/D350	14	2	14,3
<b>Wszystkie</b>	<b>1191</b>	<b>102</b>	<b>8,6</b>

##### 4.2. BADANIA ANKIETOWE

Badania ankietowe opracowane zostały przez Ricka Layton'a i przeprowadzone na grupie 132 nurków zapytanych o najczęstsze problemy z automatem oddechowym. Wykazały one, że zamarzanie automatu oddechowego stanowi największy problem tego typu urządzeń aż 49 ankietowanych wskazało zamarzanie automatu, co stanowiło aż 37 % badanych. W tabeli poniżej przedstawiono pozostałe wyniki [13].

According to Piotrowski, thermal comfort limits in a diving suit range from 18 to 24°C [16].

#### 4. REGULATOR FREEZING STATISTICS

##### 4.1. MILITARY TRAINING GROUND TESTS

Data for military training ground tests were prepared by J. Bozanic and J. Mastro. The tests conducted in an Australian base in Antarctica (McMurdo) in the years 1989-1991 consisted in 1191 dives with the use of 11 different regulators, both one- and two-hose versions. One-hose constructions proved to be more reliable – freezing occurred only in 6.8% of regulators; whereas the reliability of two-hose constructions reached as much as 17.4%. Water temperature in this region (McMurdo Station, Ross Island) is -1.8° C.

The most reliable regulators were the Poseidon Cyklon (4.0%) and the Poseidon Odin (5.3%) [6].

Table 3.

Number of regulator failures during tests.			
Regulators	Number of dives	Failures	Per cent
<b>Two-hose</b>			
Ram	259	45	17.4
<b>One-hose</b>	932	57	6.1
Cyklon 300	427	17	4.0
Cyklon /Odin	87	1	1.1
Cyklon/AGA	3	0	0.0
Odin	263	14	5.3
Conshelf Supr	5	2	40.0
Pro Diver	3	2	66.7
Mk200/G200	8	8	100.0
Mk10/G200	121	13	10.7
Mk10/G250	1	1	100.0
Mk10/D350	14	2	14.3
<b>Total</b>	<b>1191</b>	<b>102</b>	<b>8.6</b>

##### 4.2. SURVEY

The survey was prepared by Rick Layton and carried out on a group of 132 divers interviewed with regard to their most common problems with a diving regulator. The results indicated that the freezing of a regulator constitutes the greatest problem for this type of devices since as many as 49 respondents pointed to this answer, i.e. 37% of those surveyed. The table below presents this as well as the remaining results [13].

Tabela 4.

Przyczyny problemów z automatem oddechowym.	
Problemy z automatem oddechowym	Liczba przypadków
Zamarzanie automatu	49
Przedostawianie się wody do automatu	28
Awaria ustnika	21
Duże opory oddechowe/w spoczynku	14
Duże opory oddechowe/podczas pływnięcia	13
Awaria dostarczania czynnika	3
Nieczystości w automacie	2
Inne	2

### 4.3. BADANIA W LABORATORIUM

Badania laboratoryjne NEDU (Navy Experimental Diving Unit) przeprowadzone zostały w solance o temperaturze  $-2,2^{\circ}\text{C}$  do  $-0,5^{\circ}\text{C}$  na stanowisku sztucznego płuca, gdzie ciśnienie zasilania automatów wynosiło 103,4 barów oraz 34,5 barów a głębokość testowa wahała się od 0 do 60 metrów. Powietrze „wydychane” ze sztucznego płuca było nawilżane i podgrzewane w granicach  $10^{\circ}\text{C}$  -  $20^{\circ}\text{C}$ . Istotność statystyczna testu wyniosła  $P < 0.05$ .

Badania NEDU (Navy Experimental Diving Unit) opierały się na dwóch profilach nurkowych, gdzie:

- w pierwszym przypadku (test 1) głębokość próby wynosiła 60,7 m przy wydatku automatu wynoszącym 62,5 l/min a czas próby wynosił 30 minut. Próbę powtarzano na głębokości 40 oraz 10 metrów,

- w drugim przypadku (test 2) nurkowanie symulowane było na głębokości 58,2 m z czasem 20 minut i przepływem 50 l/min a następnie przeprowadzono symulowaną dekompresję na głębokościach 12, 9, 6 oraz 3 metry.

Istotnym przy badaniu była zarówno liczba zamarzniętych automatów, jak i czas po jakim zjawisko wystąpiło [7,8,9].

Przebadano 5 typów automatów oddechowych, liczebność próby wyniosła 5 sztuk na jeden typ automatu.

Prawdopodobieństwo awarii automatu określono wzorem:

$$Pf = \sum_{i=1}^n \left( \frac{n^{-1} \cdot E_i}{t_i^k} \right)$$

gdzie:

$Pf$  – prawdopodobieństwo zamarznięcia automatu,

$n$  – liczba automatów,

$E_i$  – wystąpienie zjawiska – 0 nie zamarzł, 1- zamarzł,

$t_i$  – czas do momentu wystąpienia awarii,

$k$  – stała empiryczna równa 0,3.

Table 4.

Causes of diving regulator problems.

Problems with a diving regulator	Number of cases
Regulator freezing	49
Water leakage into the regulator	28
Mouthpiece failure	21
High breathing resistance at rest	14
High breathing resistance while swimming	13
Breathing mix supply failure	3
Impurities in the regulator	2
Other	2

### 4.3. LAB TESTS

NEDU (Navy Experimental Diving Unit) laboratory tests were conducted in salt water with the temperature from -2.2°C to -0.5°C at an artificial lung station, where supply pressure for regulators was equal to 103.4 bars and 34.5 bars, and the test depth ranged from 0 to 60 metres. The air “exhaled” from the artificial lung was humidified and heated to the temperatures between 10°C - 20°C. The statistical significance of the test was equal to P<0.05.

NEDU (Navy Experimental Diving Unit) tests were based on two diving profiles, where:

- in the first case (test 1) the trial depth was 60.7 m with regulator output of 62.5 l/min and the trial time was set at 30 minutes. The test was repeated at the depths of 40 and 10 metres,

- in the second case (test 2) the simulated dive was performed at the depth of 58.2 m in 20 minutes and the output of 50 l/min, followed by simulated decompression at the depths of 12, 9, 6 and 3 metres.

What was considered significant in the test was both the number of frozen regulators as well as the time after which this phenomenon occurred [7, 8, 9].

The trial was carried out on 5 diving regulator types, 5 pcs of each type. Regulator failure rate was defined with the following formula:

$$Pf = \sum_{i=1}^n \left( \frac{n^{-1} \cdot E_i}{t_i^k} \right)$$

where :

*Pf* – probability of regulator’s freeze-up,

*n* – number of regulators,

*E<sub>i</sub>* – incidence – 0 no freeze-up, 1- freeze-up,

*t<sub>i</sub>* – time until failure,

*k* – empirical constant equal to 0.3.

Przykładowo dla 5 automatów, gdzie wszystkie zamarzły po pierwszej minucie pracy, prawdopodobieństwo przedstawiało się następująco:

$$Pf = \left( \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} \right) = 1$$

Jeżeli żaden z automatów nie ulegnie awarii podczas testu, prawdopodobieństwo zamrożenia automatu  $Pf = 0$ . Natomiast jeżeli 2 automaty ulegną awarii w czasie np. 18 i 28 minut, prawdopodobieństwo wyniesie  $Pf = 0,158$ , ponieważ:

$$Pf = \left( 0 + 0 + 0 + \frac{0,2 \cdot 1}{18^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{28^{0,3}} \right) = 0,158$$

Przebadano następujące automaty: Scubapro Mk10 i Mk20, Sherwood Blizzard oraz Maximus a także Posejdon Odin Jetstream.

Wszystkie automaty z grupy Mk10 zamarzły zarówno podczas testu 1, jak i 2. W pierwszym przypadku czas zamrożenia automatu wynosił od 5 do 20 minut a średnia 13 minut. W przypadku drugiego testu czasy wyniosły odpowiednio od 5 do 34 ze średnią 19 minut. Lepsze wyniki zanotowano w przypadku Mk20 w czasie testu 1 zamarzły 3 automaty tego typu natomiast w przypadku testu 2 zamrożeniu uległy 2 automaty [7].

Automaty Sherwood Maximus w czasie pierwszego testu zamarzły w liczbie 5 na 5 badanych (z czasami 1, 5, 6, 11 i 16 minut), natomiast drugim teście zamarzły 3 automaty tego typu. Model Blizzard w czasie pierwszego testu zamarzył w liczbie 3 (dwa w czasie 7 minut, trzeci w czasie 14 minut) a w trakcie drugiego testu zamarzły 2 automaty (9 i 26 minut) [8].

W przypadku automatu Odin przeprowadzono tylko pierwszy test, gdzie zamarzył tylko 1 automat tego typu w 28 minucie testu [9].

Zestawienie prawdopodobieństwa wystąpienia zamrażania wśród badanych automatów przedstawia tabela poniżej.

Tabela 5.

Prawdopodobieństwo wystąpienia zamrażania w testowanych automatach.

Automat	Test 1	Test 2
Mk10	0,459	0,446
Mk20	0,149	0,274
Blizzard	0,314	0,179
Maximus	0,625	0,463
Odin	0,074	

Z 5 badanych typów automatów tylko 1 został rekomendowany przez NEDU do nurkowania w zimnych wodach. Należy jednak podkreślić, że testy NEDU są znacznie bardziej restrykcyjne niż obecnie stosowane testy automatów (do cywilnego zastosowania) - zgodnie z normą EN 250, gdzie czas trwania testu wynosi raptem 5 minut przy temperaturze wody w granicach 2 - 4° C, głębokości 50 m oraz przepływie 62,5 l/min.

By way of example, failure probability for 5 regulators of which all froze after the first minute of work may be expressed as follows:

$$Pf = \left( \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{1^{0,3}} \right) = 1$$

If none of the regulators failed during the test the probability of its freezing would be equal to  $Pf = 0$ . If, on the other hand, 2 regulators failed within e.g. 18 and 28 minutes, the probability would amount to  $Pf = 0.158$  as:

$$Pf = (0 + 0 + 0 + \frac{0,2 \cdot 1}{18^{0,3}} + \frac{0,2 \cdot 1}{28^{0,3}}) = 0,158$$

The following diving regulators were tested: Scubapro Mk10 and Mk20, Sherwood Blizzard and Maximus, and the Poseidon Odin Jetstream.

All of the Mk10 regulators froze both during test 1 and test 2. In the first case the regulator freeze-up occurred between the 5<sup>th</sup> and the 20<sup>th</sup> minute of the test, which gives the average of 13 minutes. In the case of the second test the freezing occurred between the 5<sup>th</sup> and the 34<sup>th</sup> minute, which gave the average of 19 minutes. Better results were noted for Mk20 regulators. During the first test the freeze-up was observed in 3 regulators of this type, whereas in the second test the freeze-up concerned 2 regulators [7].

The first test on Sherwood Maximus regulators showed that all 5 regulators froze (with the times of 1, 5, 6, 11 and 16 minutes), whereas during the second test 3 such occurrences took place. As for the Blizzard model, 3 freeze-up incidents were noted during the first test (2 at the time of 7 minutes, the third one at the time of 14 minutes), whereas during the second test 2 regulators failed (9 and 26 minutes) [8].

In the case of the Odin regulators, only the first test was carried out as a result of which only 1 regulator froze at the 28<sup>th</sup> minute of the test [9]. Probability of freeze-up occurrence among the tested regulators is presented in the table below.

Table 5.

Probability of freeze-up in the tested regulators.

Regulator	Test 1	Test 2
Mk10	0.459	0.446
Mk20	0.149	0.274
Blizzard	0.314	0.179
Maximus	0.625	0.463
Odin	0.074	

Of the 5 tested regulator types only 1 was recommended by NEDU for diving in cold water. However, it should be emphasized that NEDU tests are much more restrictive than the presently applied regulator tests (for civil use) – in accordance with EN 250 standard where the test duration time is only 5 minutes with water temperature of 2 - 4° C, the depth of 50 m and the output of 62.5 l/min.

## WNIOSKI

Bezpośrednią przyczyną większości zgonów podczas nurkowania jest utonięcie (blisko 70%), a jedną z pośrednich przyczyn jest zamarzanie automatu oddechowego.

Skala występowania zjawiska zamarzania automatów, jak i jego wpływ na wypadki nurkowe, nie jest dostatecznie poznana. Brak jest także spójnych całościowych raportów ze wszystkich federacji nurkowych, w których pod uwagę jako przyczynę pośrednią należy wziąć zamarzanie automatów – jak w przypadku federacji BSAC.

Poza tym należy przeciwdziałać samemu zjawisku zamarza automatu a także – a może i przede wszystkim - skupić się na rozwiązaniu problemu temperatury gazu oddechowego. Należy opracować system, który oprócz przeciwdziałania zamarzaniu automatu będzie utrzymywał minimalną temperaturę gazu oddechowego, jednak wyższą od tej, którą podaje Denoble, Marroni i Richardson jako temperaturę minimalną nie będącą dyskomfortową dla nurkującego. Temperatura ta musi być wyższa od 0° C, aby eliminować możliwość zalodzenia automatu oddechowego i w konsekwencji zmniejszyć liczbę zgonów spowodowanych opisywanym w artykule zjawiskiem.

Badania poligonowe wykazały, że automaty dwuwężowe są znacznie bardziej podatne na zamarzanie, zjawisko to wystąpiło w 17,4 % przypadków. Automaty jednowężowe zamarzły natomiast w 6,8 % przypadków.

Wyniki badań ankietowych wykazały, że największym problemem związanym z automatami oddechowymi jest zamarzanie – aż 37 % ankietowanych (1 pozycja w rankingu) wskazało to jako największą wadę automatów oddechowych.

Badania laboratoryjne zgodnie z normami NEDU wykazały, że większość automatów nie jest należycie zabezpieczona przed zamarzaniem.

Badania laboratoryjne potwierdziły także wyniki badań poligonowych – wyraźnie widać, że istnieje grupa automatów, których konstrukcja znacznie poprawia bezpieczeństwo nurkowania. Niestety istnieje też grupa automatów, które zarówno w badaniach poligonowych, jak i laboratoryjnych wykazały się dużą podatnością na zamarzanie. Tym bardziej dziwi fakt, że normy badań sprzętu cywilnego znacznie odbiegają od rygorystycznych testów przeprowadzanych przez wojsko i wszystkie przebadane automaty posiadają certyfikat zgodność z Normą EN 250, która mówi o użytkowaniu ich w tak zwanych zimnych wodach [15].

## CONCLUSIONS

Drowning is the direct cause of most deaths when diving (nearly 70%) whereas one of the indirect causes is a diving regulator freeze-up.

The scale of regulator freeze-up incidents, as well as its influence on diving accidents has not been sufficiently explored. Moreover, there is a lack of comprehensive reports from all diving federations that would consider regulator freezing as an indirect cause of death – as it is the case with BSAC federation.

Besides that, proper means should be applied to prevent the occurrence of the phenomenon itself – or maybe the focus should rather be placed on solving the problem of the breathing mix temperature. It is necessary to prepare a system which, apart from preventing regulator freeze-up will maintain the temperature of the breathing gas at a level, greater than that specified by Denoble, Marroni and Richardson as the minimum temperature comfortable for a diver. The said temperature must be higher than 0°C in order to eliminate the possibility of regulator icing and, consequently, to reduce the number of deaths as a result of the phenomenon described in this article.

Military training ground tests indicated that two-hose regulators are much more susceptible to freezing, the phenomenon occurred in 17.4 % cases. The freeze-up in one-hose regulators, on the other hand, was observed in 6.8 % cases.

Survey results showed that regulator freezing is the greatest problem related to these devices – as many as 37% of the respondents (the 1<sup>st</sup> position in the ranking) pointed to this answer as the most serious flaw of diving regulators.

Lab tests conducted in accordance with NEDU standards showed that the majority of regulators are not properly protected from freezing.

The lab tests also confirmed the results of the military ground tests – it is clearly visible that there is a group of regulators whose construction significantly improves the safety of diving. Unfortunately there is also a group of regulators which, both in lab and military ground tests demonstrated high susceptibility to freezing. This makes it difficult to understand why the test norms for civil equipment are so different from the rigorous tests carried out by the army and all of the tested regulators receive compliance certificate with EN 250 standard allowing their use in the so-called cold waters [15].

#### LITERATURA/ BIBLIOGRAPHY

1. Acott C., „457 Equipment Incident Reports.” SPUMS J 31(4); 2001, str. 182-195,
2. Bailey N., Bolsover J., Parker C. „Performance of diving equipment”, Health and Safety Executive, Sheffield 2006, str. 5,
3. Beatty H., Berghage T.; „Diver Anthropometrics”. Washington: USN Experimental Diving Unit, Report No 10-72, 1972, DOI 10.1016/0003-6870(73)90181-6,
4. Beckman P., Sexton E., Vaughn P., Physiological Design Goals and Proposed Thermal Limits for U.S. Navy Thermal Garments: Proceedings of Two Conferences Sponsored by the Naval Medical Research and Development Command, WS 1991 str. A8,
5. Bolek W., „Jak wyeliminować zamrażanie automatów?”, Biuletyn Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, nr 2 Gdynia 2000, str.3,
6. Bozanic J, Mastro J., „Regulator Function in the Antarctic - McMurdo Dive cocker” - Lang and Stewart (Eds.): AAUS Polar Diving Workshop, Sun Diego, CA, May 1991, str.18,
7. Clarke J., Rainone M., Evaluation of the Scubapro MK10 and MK20 SCUBA Regulators for Use In Cold Water, Panama City: USN Experimental Diving Unit 1996 Report No 1-96 str.3-6,
8. Clarke J., Rainone M., Evaluation of Sherwood Scuba Regulators for Use In Cold Water, Panama City: USN Experimental Diving Unit 1995 Report No 9-95 str. 1-5,
9. Clarke J., Rainone M., Evaluation of Poseidon Odin Scuba Regulators for Use In Cold Water, Panama City: USN Experimental Diving Unit 1995 Report No 14-95 str.1-5,
10. Cumming B., „National Diving Committee Diving Incidents Report” 2009, str. 43-44,
11. Cumming B., „National Diving Committee Diving Incidents Report” 2009, str. 40-41,
12. Denoble P. Marroni A, Vann R. , „Annual fatality rates and associated risk factors for recreational scuba diving”. In: Vann R, Lang M, eds. Recreational Diving Fatalities. Proceedings of the Divers Alert Network 2010 April 8-10 Workshop. ISBN #978-0-615-54812-8. Durham, N.C.: Divers Alert Network, 2011, str. 73-86,
13. Layton R., “Catching Your Breath; „Alert Diver” Asia-Pacific Edition May- August 2009, str. 16-20,
14. Morgan B., Ryan P., Schultz T., “Solving Cold Water Breathing Problems”, Underwater Magazine, July 2001, str. 15-18,
15. Praca zbiorowa PN-EN 250:2003/A1:2006 „Sprzęt do oddychania - Aparaty powietrzne butlowe do nurkowania ze sprężonym powietrzem, z obiegiem otwartym - Wymagania, badanie, znakowanie”
16. Piotrowski K., „Zmechanizowane narzędzia ręczne do prac podwodnych – elementy metodyki badań”, Szczecin 1991, str. 47,
17. Poleszak S., „Wypadki nurkowe ze skutkiem śmiertelnym w Polsce”, „Polish Hyperbaric Research” Nr 4(25) 2008 str. 9-11,
18. Richardson D., „Training Scuba Divers: A Fatality and Risk Analysis”, In: Vann R, Lang M, eds. Recreational Diving Fatalities. Proceedings of the Divers Alert Network 2010 April 8-10 Workshop. ISBN #978-0-615-54812-8. Durham, N.C.: Divers Alert Network, 2011 str. 119-164,
19. Stinton R., „A Review Of Diver Passive Thermal Protection Strategies,
20. For Polar Diving: Present And Future”, In: Lang, M.A. And M.D.J. Sayer (Eds.) 2007. Proceedings Of The International Polar Diving Workshop. Svalbard, March 15-21, 2007. Smithsonian Institution, Washington, DC. 213 Pp. str.30,

21. Weinberg R.P., Ackerman N.J., Bradley N.E. Proposed thermal limits for divers  
Naval Medical Research Institute, Bethesda, Maryland 1984,  
22. Zieleniec G., „Poradnik instruktora płetwonurkowania KDP/CMAS”, Gdańsk 1997  
str. 44-45.

**mgr inż. Krzysztof Iwankiewicz**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Techniki Morskiej i Transportu  
71-065 Szczecin Al. Piastów 41  
Katedra Konstrukcji, Mechaniki i Technologii Okrętów  
Tel. (48 91) 449 46 96 fax.: (48 91) 449 47 48  
e-mail: obi@onet.pl

**dr inż. Remigiusz Iwańkiewicz**

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
Wydział Techniki Morskiej i Transportu  
71-065 Szczecin Al. Piastów 41  
Katedra Konstrukcji, Mechaniki i Technologii Okrętów  
Tel. (48 91) 449 41 80 fax.: (48 91) 449 47 48  
e-mail: iwankow@zut.edu.pl



## **ROŚLINNOŚĆ BENTOSOWA JAKO INDYKATOR STANU ŚRODOWISKA MORZA BAŁTYCKIEGO**

### **MACROPHYTOBENTHOS AS AN INDICATOR OF THE ENVIRONMENTAL STATUS OF THE BALTIC SEA**

**Michał Saniewski**

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy

Oddział Morski w Gdyni

Ul. Waszyngtona 42

81-342 Gdynia

Tel. (58) 6288265

e-mail: [michal.saniewski@imgw.pl](mailto:michal.saniewski@imgw.pl)

*Roślinność denna może być wykorzystana do oceny stanu ekologicznego środowiska morskiego poprzez analizy gatunkowe, analizy biomasy oraz określenie wskaźnika stanu makrofitów opartego na stosunku biomasy taksonów pozytywnych do biomasy taksonów negatywnych. Makroglony ze względu na swoją zdolność do bioakumulacji zanieczyszczeń mogą być również wykorzystane do oceny stanu środowiska pod kątem skażeń substancjami niebezpiecznymi. Przykładem może być wykorzystanie fitobentosu do oceny poziomu skażenia wody substancjami radioaktywnymi. Najwyższe średnie aktywności  $^{90}\text{Sr}$  pomierzono w tkankach roślin w akwenach, w których stan ekologiczny określony na podstawie makrofitobentosu był najgorszy.*

**Słowa kluczowe:** makrofitobentos, indykator,  $^{90}\text{Sr}$ , Morze Bałtyckie.

*„Autor jest laureatem stypendium Naukowego im. Antoniego Dębskiego przyznanego w roku 2012 przez Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej”.*

*Phytobenthos can be used to assess the ecological status of the marine environment by the analyses of species, the analyses of biomass and the determination of the macrophyte index based on the ratio of the biomass in negative and positive species. On account of their ability to bioaccumulate, macroalgae can also be used to assess the contamination of the sea by hazardous substances. Phytobenthos is used to assess the level of the radioactive substances in water. The highest average activity of  $^{90}\text{Sr}$  was measured in plant tissues in the areas where the ecological status determined using macrophytobentos was by far the poorest.*

**Keywords:** Marine macroalgae, indicator,  $^{90}\text{Sr}$ , the Baltic Sea.

*"The author is a recipient of the Antoni Dębski Scholarship awarded in 2012 by the Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society".*

## WSTĘP

Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej nałożyło obowiązek wdrożenia Ramowej Dyrektywy Wodnej 2000/60/WE. Dyrektywa ta nakłada wymóg oceny stanu ekologicznego wód na podstawie elementów biologicznych i wspomagających elementów fizykochemicznych. Roślinność dennej może być wykorzystana do oceny stanu ekologicznego środowiska morskiego poprzez określenie składu gatunkowego lub określenie wskaźnika stanu makrofitów opartego na stosunku biomasy taksonów pozytywnych do biomasy taksonów negatywnych. Makroglony ze względu na powszechność występowania oraz zdolność do bioakumulacji zanieczyszczeń mogą być również wykorzystane do oceny stanu środowiska pod kątem skażeń substancjami niebezpiecznymi [1, 2, 3]. Makroglony szczególnie dobrze sprawdzają się jako bioindykatory rozpuszczonych form metali i pierwiastków śladowych [1]. Organizmy te efektywnie akumulują niektóre pierwiastki promieniotwórcze [2, 3], w tym radioizotopy pochodzenia antropogenicznego, np.  $^{90}\text{Sr}$ , które mogą być absorbowane przez komórki aktywnie i pasywnie [4]. Dlatego właśnie fitobentos wykorzystywany jest także do oceny poziomu skażenia substancjami radioaktywnymi [5, 6].

Morze Bałtyckie jest jednym z bardziej zanieczyszczonych mórz izotopem  $^{90}\text{Sr}$  [7]. Głównym źródłem tego izotopu był opad atmosferyczny z testów broni jądrowej w latach 50 i na początku lat 60 [8, 9]. Prawie 90% całkowitego ładunku  $^{90}\text{Sr}$  uległo uwolnieniu przed rokiem 1963 i tylko 1% pochodził z testów broni jądrowej w okresie 1976-1980 [8, 9]. Szacuje się, że w Morzu Bałtyckim, całkowita aktywność izotopu  $^{90}\text{Sr}$  pochodzącego z testów broni jądrowej wynosiła 500TBq [7]. Drugim źródłem tego izotopu była awaria elektrowni atomowej w Czarnobylu, dostarczając do Bałtyku 80TBq tego radioizotopu [10]. 40 TBq  $^{90}\text{Sr}$  zdeponowanego w Bałtyku pochodzi z zakładów przerobu paliwa jądrowego w Sellafield (Anglia) i La Hague (Francja) [11]. Zrzuty z 9 elektrowni atomowych zlokalizowanych w obrębie zlewni Morza Bałtyckiego dostarczyły około 1,03TBq  $^{90}\text{Sr}$  i były mało istotne w porównaniu do wymienionych wyżej trzech podstawowych źródeł [12].

## MATERIAŁY I METODY

W roku 2011 dokonano poboru flory dennej, w skład której wchodzi rośliny naczyniowe zakorzenione w dnie oraz makroglony, na czterech transektach pomiarowych: Klif Orłowski, Jama Kuźnicka, Ławica Słupska oraz Głazowisko Rowy (rys.1.). Pobór prób przeprowadzono w okresie szczytu rozwoju zarówno roślin zakorzenionych jak i makroglonów (czerwiec) oraz w okresie spowolnionego wzrostu makroglonów (wrzesień). W przypadku transektów Klif Orłowski i Jama Kuźnicka prace podwodne obejmowały pobór prób makrofitobentosu od głębokości 1 metr do maksymalnej głębokości występowania roślin. Na pozostałych dwóch transektach - Ławica Słupska oraz Głazowisko Rowy, na skutek braku stałej zmiany głębokości, poboru prób dokonano na wcześniej wyznaczonych punktach.

Rodzaj dna określono na podstawie bezpośrednich obserwacji podwodnych i opisano wg. kategorii podanych przez HELCOM dla programu COMBINE [13], który uwzględnia występowanie takich elementów, jak: skały, głązy >30 cm, kamienie >10 cm, żwir, piasek, piasek (dno ubite), dno luźne, muszle, małże (*Mytilus edulis*), oraz inne (torf, glina, muł). Materiał roślinny zbierano z powierzchni wyznaczonej przy pomocy rozmieszczanej trzykrotnie, losowo na każdej głębokości ramki o wymiarach 0,5 m x 0,5 m do worków siatkowych.

## INTRODUCTION

Polish accession to the European Union imposed the obligation of implementing the Water Framework Directive 2000/60/EC. This directive imposes a requirement to assess the ecological status in waters based on biological and supporting physicochemical elements. Benthic vegetation may be used to assess the ecological status of the maritime environment through defining the composition of its species or by determining the macrophyte index based on the ratio of biomass in positive and negative species. On account of their prevalence and ability to bioaccumulate contamination, macroalgae may be used to assess environmental status as regards contamination with hazardous substances. Macroalgae turn out to be particularly useful as bioindicators for dissolved metals and trace elements [1]. These organisms effectively accumulate some radioactive elements [2, 3], including anthropogenic radioisotopes such as  $^{90}\text{Sr}$ , which may be actively or passively absorbed by cells [4]. For this reason phytobenthos is used to make an assessment of radioactive contamination levels.

The Baltic Sea is among the most  $^{90}\text{Sr}$  isotope contaminated seas [7]. The main source of the isotope was the fallout as an aftermath of nuclear weapons tests in the 1950s and early 1960s [8, 9]. Nearly 90% of the total  $^{90}\text{Sr}$  charge was released before 1963 and only 1% came from nuclear tests in the years 1976 and 1980 [8, 9]. It is estimated that the total quantity of nuclear test related  $^{90}\text{Sr}$  isotope in the Baltic Sea amounts to 500TBq [7]. The second largest source of the isotope came from the disaster in the Chernobyl Power Plant, which was responsible for the deposition of another 80TBq of the isotope [10]. Yet another 40 TBq deposited in the Baltic comes from the nuclear reprocessing plants in Sellafield, England [11] and La Hague, France [11]. Discharges from the nine nuclear plants located in the area of the Baltic reception basins have been responsible for 1.03TBq of  $^{90}\text{Sr}$  and are but negligible compared with the said main sources [12].

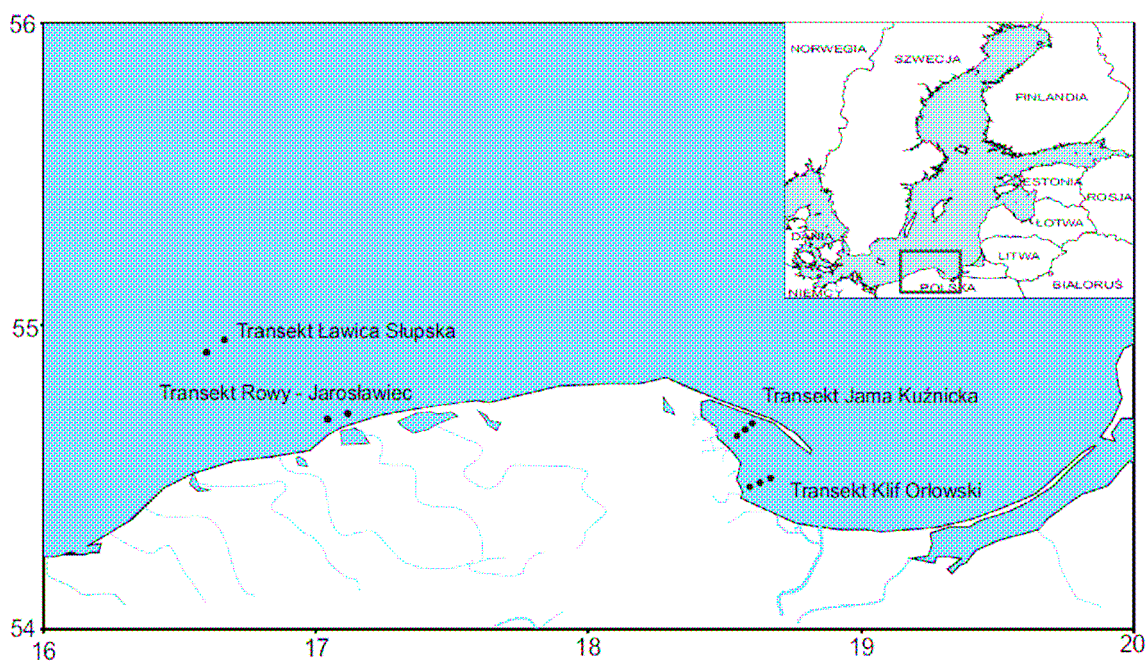
## MATERIALS AND METHODS

In 2011, samples of benthic flora were collected, including vascular plants rooted in the bottom as well as macroalgae. The samples were collected in four transects: Klif Orłowski (The Orłowski Cliff), Jama Kuźnicka (The Depth of Kuznica), Ławica Słupska (The Słupsk Bank) and Głazowisko Rowy (the Rowy boulder deposit area) (fig. 1). Samples were collected in the peak of development of both macroalgae and anchored plants (June), as well as in the period of slow developmental for macroalgae (September). In the case of Klif Orłowski and Jama Kuźnicka transects, underwater works encompassed macrophytobenthos sample collection at the depth of 1 metre up to the maximum depth of the plants' occurrence. In the two remaining transects – Ławica Słupska and Głazowisko Rowy, as the changes in depth are not constant, the collection of samples was carried out in places fixed in advance. Seabed types were determined on the basis of direct underwater observations and were characterised by the categories given by HELCOM for the COMBINE programme [13] which allows for the occurrence of the following elements: rocks, boulders >30 cm, stones >10, gravel, sand, sand [14] (firm bottom), soft substrate, shells, common mussels (*Mytilus edulis*), as well as many others (peat, clay, silt). Plant material was collected into net bags from the area which had been marked out by placing a 0.5 m x 0.5 m frame in three randomly chosen spots on each depth interval. In the case of a firm bottom, organisms were removed from the surface of boulders and stones with a scraper. From loose seabed on the other hand, benthic flora with roots was scooped into net bags using bare hands. Pebbles and small stones were also scooped up, provided they were no danger to the structure of the net bag.

W przypadku dna twardego, do usuwania organizmów z powierzchni głazów i kamieni używana była szpachelka. W przypadku dna miękkiego, flora denna wraz z korzeniami (w przypadku roślin zakorzenionych) pobierana była do worków siatkowych dłonią. Drobne kamienie, które nie stanowiły zagrożenia dla siatki pobierane były w całości.

Pobrano materiał po dotarciu na ląd przechowywany był do czasu analiz w stanie zamrożonym, w temperaturze  $-18^{\circ}\text{C}$  [13]. Stopień pokrycia dna przez makrofitobentos oceniano na podstawie analizy materiału filmowego i fotograficznego uzyskanego podczas poboru prób.

Do oceny pokrycia dna wykorzystano siedmiostopniową skalę, rekomendowaną przez HELCOM COMBINE [13]. Stopień pokrycia dna oceniano osobno dla dna twardego (kamienistego) i miękkiego (piaszczystego) na każdym punkcie pomiarowym transektu. Do analizy ilościowej i jakościowej próby rozmrażano, a taksony makrofitobentosu oznaczano makroskopowo oraz pod mikroskopem. Rozdzielony materiał suszono w suszarce w temperaturze  $60^{\circ}\text{C}$  -  $80^{\circ}\text{C}$  do osiągnięcia stałej wagi. Następnie określano suchą masę poszczególnych taksonów, którą wyrażono w gramach [ $\text{g}_{\text{s.m.}}$ ] i przeliczano na  $1\text{ m}^2$  powierzchni dna.



Rys. 1. Lokalizacja profili Klif Orłowski, Jama Kuźnicka, Ławica Słupska oraz Głazowisko Rowy.

Na podstawie zebranych próbek wyliczono wskaźnik stanu makrofitów (SM), oparty na stosunku biomasy taksonów pozytywnych (Bp) w przeliczeniu na % pokrycia dna z oznaczeń w czerwcu i wrześniu do biomasy taksonów negatywnych (Bn) w przeliczeniu na % pokrycia dna z oznaczeń w czerwcu i wrześniu ( $\text{SM} = \text{Bp}/\text{Bn}$ ). Za gatunki pozytywne uznaje się taksony występujące w akwenach niezanieczyszczonych, np: (*Fucus vesiculosus*, *Furcellaria lumbricalis*, *Coccolytus truncatus*, *Polysiphonia fucoides*, *Ceratophyllum demersum*, *Chara spp.*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton spp.*, *Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris*, *Zostera marina*) [14]. Do gatunków negatywnych zaliczono taksony uznawane za wskaźniki eutrofizacji, np: (*Cladophora glomerata*, *Enteromorpha spp.*, *Pilayella littoralis*, *Ectocarpus siliculosus*) [14].

When on surface, the collected material was kept frozen in  $-18^{\circ}\text{C}$  until the analyses were undertaken [13].

The degree to which the seabed was covered with macrophytobenthos was determined after the analysis of films and photographs taken while the samples were being collected. The assessment of the seabed coverage was made with the use of a seven-degree scale recommended by HELCOM COMBINE [13]. The degree of the seabed coverage was estimated for the firm bottom (stony) and soft substrate (sandy) individually on each measurable point along the transect. For the purpose of quantitative and qualitative analyses, the samples were defrosted, whereas the macrophytobenthos species were marked macro and microscopically. The separated material was dried in  $60^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$  until a constant weight was reached. Then the dried weight of separate species was established (expressed in grammes [ $\text{g}_{\text{s.m.}}$ ] and calculated per  $1\text{m}^2$  of the bottom area.

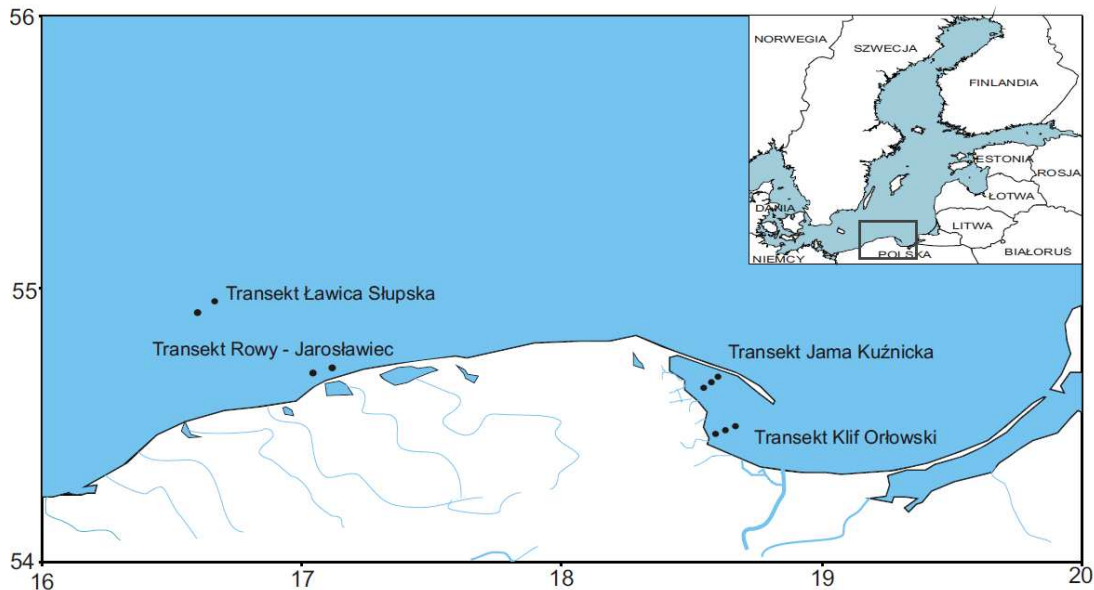


Fig. 1 The profiles location: Klif Orłowski (The Orłowski Cliff), Jama Kuźnicka (the Kuznica Depth), Ławica Słupska (the Słupsk Bank) and Głazowisko Rowy (the Rowy boulder deposit area).

Having analysed the collected samples, the macrophyte index (SM) was calculated based on the ratio of positive species biomass ( $B_p$ ), as calculated in the percentage of bottom coverage from the June and September markings, to the biomass of negative species ( $B_n$ ), as calculated in the percentage of bottom coverage in June and September ( $SM = B_p/B_n$ ). Under the category of positive species were the denizens of uncontaminated waters, such as: (*Fucus vesiculosus*, *Furcellaria lumbricalis*, *Coccolytus truncatus*, *Polysiphonia fucoides*, *Ceratophyllum demersum*, *Chara spp.*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton spp.*, *Ruppia maritima*, *Zannichellia palustris*, *Zostera marina*) [14].

Among negative species were species known to be indicators of eutrophication, such as: (*Cladophora glomerata*, *Enteromorpha spp.*, *Pilayella littoralis*, *Ectocarpus siliculosus*) [14]. The calculated macrophyte indices were compared with reference values outlined on the basis of a 1950's bibliography from the southern Baltic. On the grounds of this comparison, ecological quality of the waters was estimated ( $EQR = SM/\text{ref.}$ ) [14].

Wyliczone wskaźniki stanu makrofitów porównano z wartościami referencyjnymi wyznaczonymi na podstawie danych literaturowych z lat 50 dla rejonu południowego Bałtyku. Na tej podstawie oceniono jakość ekologiczną wód (EQR=SM/ref.) [14].

W celu oznaczenia  $^{90}\text{Sr}$  w próbkach roślinnych, wysuszony materiał spalano przez 8 godzin w temperaturze  $450^{\circ}\text{C}$ . Próbę przenoszono następnie do zlewki, dodawano 100 ml  $\text{HNO}_3$  i ogrzewano przez 8 godzin. Ostudzone próbki przesączono, wypłukując pozostałość wodą destylowaną. Do 150 ml próby dodawano 100 ml roztworu kwasu szczawowego (8%) i 1 ml nośnika strontu (20 mg Sr/1 ml). Dodając amoniaku do pH 4,0-4,5 wytrącano szczawiany strontu. Wysuszone szczawiany strontu przenoszono na sączku do tygla i spalano przez 5 godzin w temperaturze  $650^{\circ}\text{C}$ . W temperaturze  $650^{\circ}\text{C}$  następuje rozkład szczawianów do węglanów, które następnie rozpuszcza się w kwasie azotowym. W wyniku utleniania osadu następuje uwolnienie jonów  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Sr}^{2+}$ . Dzięki znikomej rozpuszczalności  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ , dokonuje się rozdzielenie Sr od Ca, który pozostaje w roztworze. Usuwanie jonów, które mogłyby zwiększyć aktywność końcową preparatu przeprowadzono przez dodanie  $\text{Fe}^{3+}$  w środowisku alkalicznym. Wytrącony  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  absorbuje z roztworu wszystkie łatwo hydrolizujące jony ( $\text{Th}^{4+}$ ,  $\text{UO}_2^{2+}$ ,  $\text{Ru}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ ). Następnie do roztworu dodawano dziesięć miligramów stabilnego itru i pozostawiano na 21 dni do osiągnięcia równowagi  $^{90}\text{Sr}$  z  $^{90}\text{Y}$  w roztworze [15]. Pomiar aktywności  $^{90}\text{Y}$  równoważnej aktywności  $^{90}\text{Sr}$  mierzono w Beta Counter FHT 7700T (ESM Eberline).

## WYNIKI I DYSKUSJA

### KLIF ORŁOWSKI

W 2011 roku na profilu Klif Orłowski odnotowano występowanie łącznie 13 gatunków makrofitobentosu. W skład zbiorowisk roślinnych wchodziło 12 taksonów makroglonów i 1 gatunek rośliny zakorzenionej. Makroglony reprezentowane były najliczniej przez *Chlorophyceae* i *Bangiophyceae* - po 5 taksonów, a wśród *Fucophyceae* zidentyfikowano tylko 2 gatunki. Latem, przy wyższej temperaturze wody, intensywniej rozwijały się *Chlorophyceae*. Również glony nitkowate *Pilayella littoralis* i *Ectocarpus siliculosus* pojawiły się w czerwcu (11% całkowitej biomasy). Zdecydowanym dominatem w biomacie, rzędu 52%, charakteryzowała się *Cladophora glomerata*, która pod koniec sezonu wegetacyjnego ustąpiła miejsca *Polysiphonia fucoides*, stanowiącej aż 83% całkowitej biomasy. Układ ten spowodowany był typową strefowością występowania makroglonów. W czerwcu na płytkich głębokościach 1-3 m dominowały *Chlorophyceae*, które wraz ze wzrostem głębokości ustępowały miejsca *Bangiophyceae*. Pod koniec sezonu wegetacyjnego, we wrześniu, *Chlorophyceae* dominowały już tylko w najpłytszej strefie - 1 m, podczas gdy na pozostałych głębokościach zdecydowanym dominatem były *Bangiophyceae*. W obu badanych miesiącach w rejonie Klifu Orłowskiego największą różnorodność gatunkową makrofitobentosu stwierdzono na głębokościach od 1m do 5 m w czerwcu (średnio 50% wszystkich taksonów) oraz od 2 m do 5 m we wrześniu (średnio 55% wszystkich taksonów). W czerwcu 2011 roku, ze względu na dogodne dla rozwoju roślin warunki fizykochemiczne, na płytszych głębokościach (1-4 m) masowo występowała *Cladophora glomerata*, która pokrywała dno kamieniste aż w 60-95%. Na większych głębokościach, tj. 5-8 m, dominowała *Polysiphonia fucoides*, porastająca od 20-90% kamieni. W okresie letnim, gatunki nieprzytwierdzone do dna, tj. *Pilayella littoralis* i *Ectocarpus siliculosus*, pokrywały dno oraz inne gatunki przytwierdzone do podłoża w 10%. We wrześniu dominowała *Polysiphonia fucoides* całkowicie porastająca substrat kamienisty na głębokościach od 2-7 m, natomiast *Chlorophyceae* występowały w znikomych ilościach.

In order to mark  $^{90}\text{Sr}$  in plant samples, the dried material was placed in a furnace [54] for 8 hours at a temperature of  $450^\circ\text{C}$ . The sample was then placed in a beaker and heated for 8 hours with the addition of 100 ml of  $\text{HNO}_3$ . The cooled samples were filtered with the remainder having been rinsed out with distilled water. To a 150 ml sample was then added 100 ml of oxalic acid solution (8%) and 1 ml of strontium carrier (20 mg Sr/1 ml). Strontium oxalate was precipitated with the addition of ammonia to pH 4.0 - 4.5. Dried strontium oxalates were carried on a filter to a crucible and was placed in a furnace [55] for 5 hours at a temperature of  $650^\circ\text{C}$ . In this temperature oxalates are resolved into carbonates which are later dissolved in nitric acid. As a result of the sediment oxidation the  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Sr}^{2+}$  ions are released. Due to low solubility of  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ , the Sr is separated from Ca, the latter of which remains in the solution. The removal of ions, which might increase the preparation's activity, was effected by adding  $\text{Fe}^{3+}$  in an alkaline environment. The precipitated  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  absorbs all the hydrolysing ions ( $\text{Th}^{4+}$ ,  $\text{UO}_2^{2+}$ ,  $\text{Ru}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ ) from the solution. Next, 10 milligrammes of stable yttrium was added to the solution and left for 21 days to create a balance between the  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Y}$  in the solution [15]. The  $^{90}\text{Y}$  activity equivalent to  $^{90}\text{Sr}$  activity was measured in Beta Counter FHT 7700T (ESM Eberline).

## RESULTS AND DISCUSSION

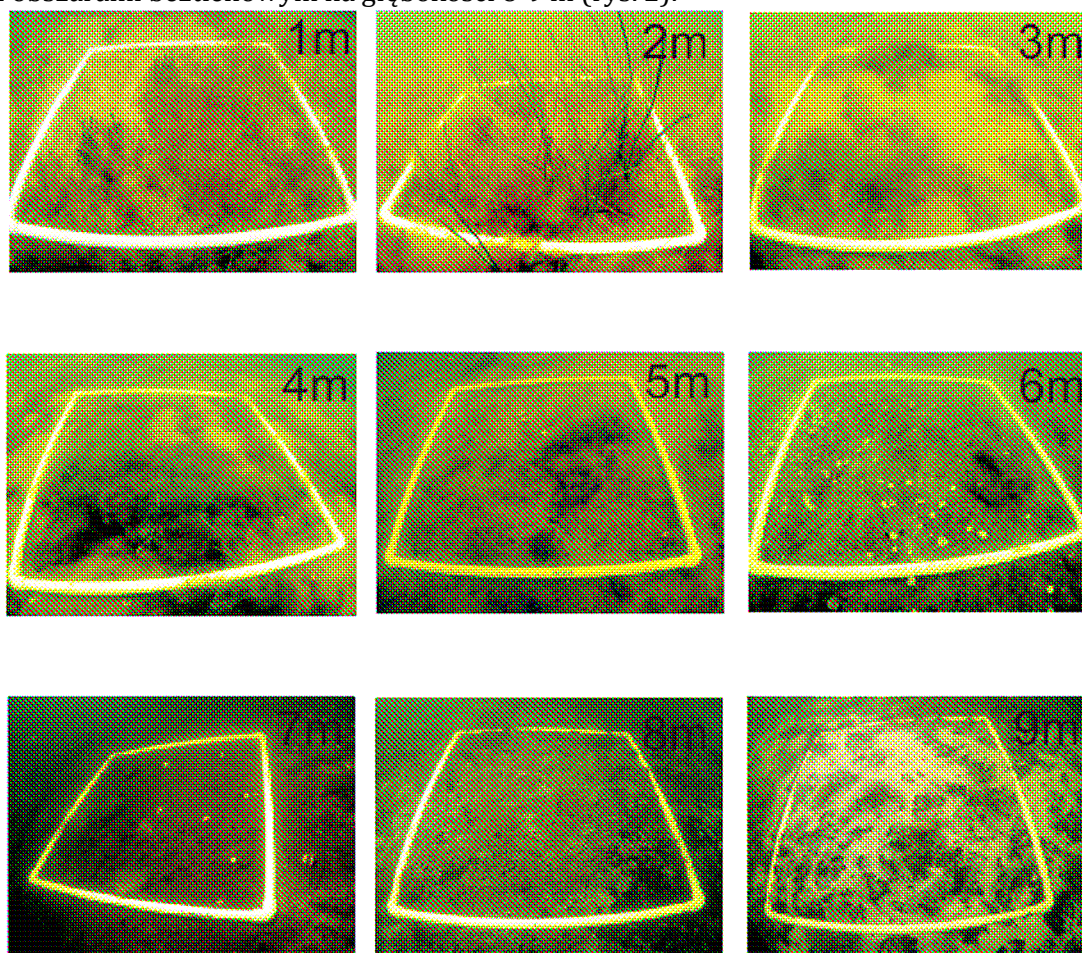
### KLIF ORŁOWSKI

In 2011 the total of 13 macrophytobenthos species were recorded on the profile of the Klif Orłowski. The vegetation included 12 species of macroalgae and one species of an anchored plant. The most numerous representatives of macroalgae were *Chlorophyceae* and *Bangiophyceae* - 5 species apiece, whereas only 2 species were identified among the *Fucophyceae*. In summer, with increased water temperatures, the *Chlorophyceae* were developing the most intensely. Also the filamentous algae *Pilayella littoralis* and *Ectocarpus siliculosus* made an appearance in June (11% of biomass). A dominant role in the biomass (52%) was occupied by *Cladophora glomerata* which gave the lead to *Polysiphonia fucoides* at the end of the vegetation period, which then constituted 83% of the total biomass. Such a proportion was a result of a typical zoning of the macroalgae. In June, the shallow areas (1-3 m) were dominated by the *Chlorophyceae* which later gave way to the *Bangiophyceae* as the depth increased.

At the end of the vegetation period, in September, the *Chlorophyceae* dominated only in the shallowest zone - 1 m, whereas the *Bangiophyceae* predominated in the remaining depths. In both investigated months near the Klif Orłowski, the macrophytobenthos was most varied at the depth of 1 to 5 metres in June (the average of 50% of all species), and 2 to 5 metres in September (the average of 55% of all species). In June 2011, on account of favourable physicochemical conditions for vegetation, shallow regions were abundantly inhabited by *Cladophora glomerata* which covered the stony bottom in as much as 60-95%. Deeper regions, i.e. 5-8 m, were dominated by *Polysiphonia fucoides*, which covered 20-90% of the stones. In summer the species that are not anchored to the seabed, such as *Pilayella littoralis* and *Ectocarpus siliculosus*, along with the anchored ones, covered 10% of the seabed. September was when the *Polysiphonia fucoides* predominated, having thoroughly overgrown the stony substrate at a depth of 2-7 m, whereas the *Chlorophyceae* were scarce.

### JAMA KUŹNICKA

W 2011 roku na profilu Jama Kuźnicka zidentyfikowano 14 taksonów makrofitobentosu, w tym 4 taksony *Chlorophyceae*, 2 gatunki *Fucophyceae*, 2 gatunki *Bangiophyceae* i 6 gatunków *Angiospermae*. W czerwcu, zdecydowanym dominantem były nitkowate *Fucophyceae*: *Pilayella littoralis* i *Ectocarpus siliculosus*, tworzące na dnie zwarte maty pokrywające rośliny naczyniowe. Pod koniec sezonu wegetacyjnego ich biomasa zmalała z 69% do 11%, dając tym samym przewagę *Angiospermae* w biomacie, które latem stanowiły 20% całkowitej masy zebranych makroglonów. W okresie jesiennym ich udział w biomacie wzrósł do 70%. W czerwcu, w zakresie głębokości 1-3 m, zbiorowiska makrofitobentosu zajmowały największe obszary dna piaszczystego, które średnio pokrywały ponad 50% dna. Charakterystycznym zjawiskiem w tym rejonie było intensywne porastanie roślin naczyniowych, zwłaszcza *Potamogeton pectinatus*, przez *Ceramium diaphanum*, a także obfite występowanie nitkowatych *Fucophyceae*, które oplatały łodygi roślin *Angiospermae* (rys. 2). We wrześniu procent pokrycia dna przez gatunki makrofitobentosu był większy niż w czerwcu w całym zakresie głębokości występowania roślin, tj. od 1m do 4 m. Gatunkami występującymi najobficiej były *Potamogeton pectinatus* i *Zannichellia palustris*. W obu badanych miesiącach w 2011 roku procent pokrycia dna przez zbiorowiska makrofitobentosu malał generalnie wraz ze wzrostem głębokości. Poniżej głębokości 4 m nie odnotowano makrofitobentosu, wzrastała natomiast ilość materii organicznej pokrywającej powierzchnię dna, z obszarami beztlenowym na głębokości 8-9 m (rys. 2).



Rys. 2. Rozkład makrofitobentosu wraz z wzrostem głębokości na profilu Jama Kuźnicka.

**JAMA KUŹNICKA**

In 2011, in the profile of Jama Kuźnicka, 14 species of macrophytobenthos were identified, including 2 species of *Bangiophyceae* and 6 species of *Angiospermae*. June was largely dominated by the filamentous *Fucophyceae*: *Pilayella littoralis* and *Ectocarpus siliculosus*, which made up tightly pressed mats covering vascular plants below. At the end of the vegetation season their biomass dropped from 69% to 11%, which gave advantage to *Angiospermae* in biomass, which by summer had constituted 20% of all collected macroalgae. By autumn, their share in the biomass had grown to 70%. In June, at a depth of 1-3 m, the macrophytobenthos community spread over the sandy bottom which took up an average of 50% of the seabed. The typical occurrence in this region was for vascular plants, most commonly *Potamogeton pectinatus*, to be overgrown by *Ceramium diaphanum*, as well as an abundance of the filamentous *Fucophyceae* that coiled around the stems of *Angiospermae* (fig. 2). In September, the seabed was covered with macrophytobenthos in a degree far exceeding the status quo from June in the entire spectrum of plant-supporting depths, i.e. from 1 metre to 4 metres, the dominant species being *Potamogeton pectinatus* and *Zannichellia palustris*. In both investigated months in 2011, the percentage of macrophytobenthos seabed coverage decreased with depth. Below the level of 4 metres no macrophytobenthos traces were ever recorded. What *did* increase, however, was the amount of organic matter covering the seabed along with anaerobic zones at 8-9 m (fig. 2).

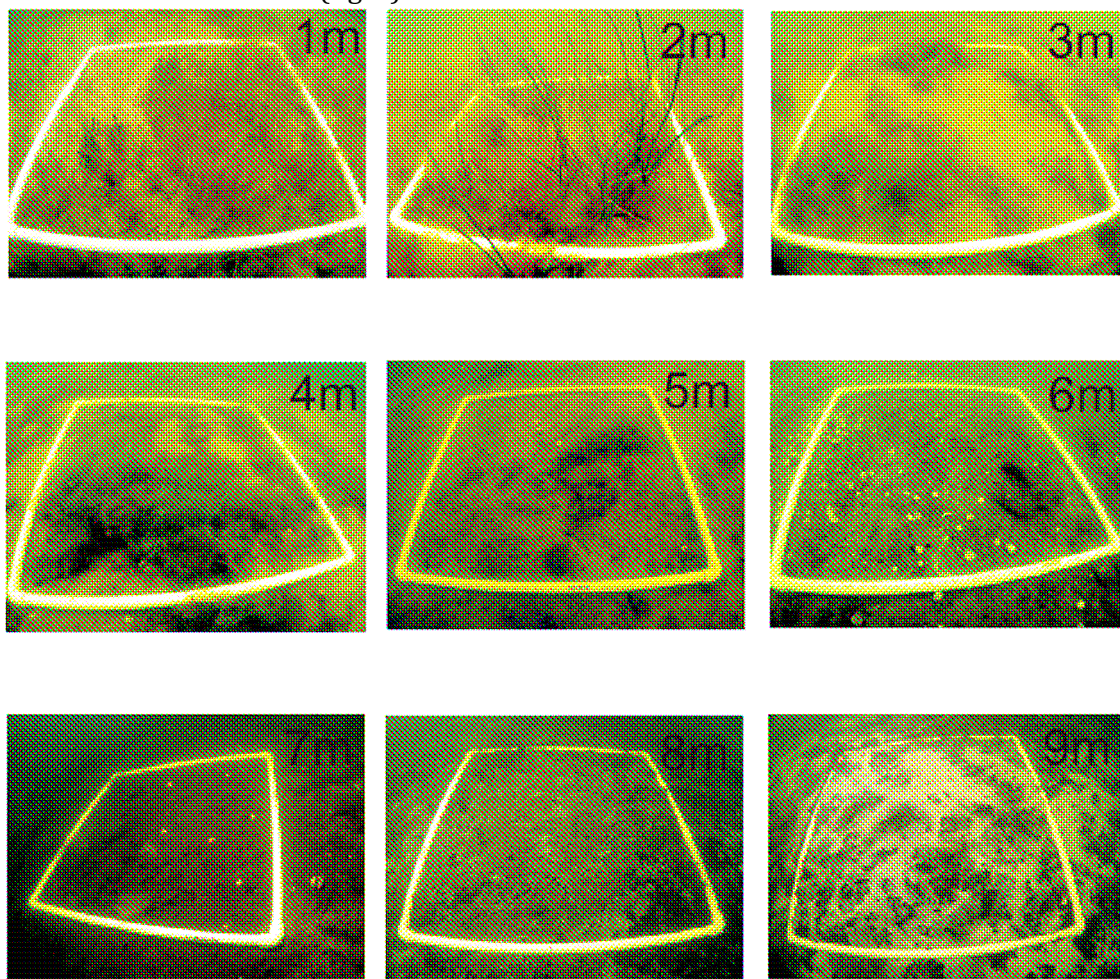


Fig. 2. Distribution of macrophytes along depth profile in Jama Kuznicka in 2011.

#### ŁAWICA SŁUPSKA

W obszarze głazowiska Ławicy Słupskiej w 2011 roku odnotowano ogółem 7 gatunków makroglonów, wśród których najliczniejsze były *Bangiophyceae* (5 gatunków). W wrześniu liczba gatunków zmalała w porównaniu do czerwca do 4 - nie stwierdzono występowania nitkowatych *Fucophyceae*: *Pilayella littoralis* i *Ectocarpus siliculosus*, które szczyt rozwoju osiągają na początku sezonu wegetacyjnego oraz *Bangiophyceae*: *Rhodomela confervoides*. W całym sezonie wegetacyjnym gatunkiem o największym udziale w biomacie całkowitej zbiorowisk makroglonów był *Furcellaria lumbricalis*, który latem stanowił 60% odnotowanej masy wszystkich glonów, a w okresie jesiennym aż 85%. W czerwcu znaczny udział miały również *Pilayella littoralis* i *Ectocarpus siliculosus* (28% biomasy). W 2011 roku makroglony porastały rejon głazowiska zaledwie w 18%. W czerwcu dno porastały najobficiej *Fucophyceae*, natomiast we wrześniu *Bangiophyceae*.

#### GŁAZOWISKO ROWY

W 2011 roku na głazowisku Rowy stwierdzono łącznie 9 taksonów makroglonów, w tym 2 gatunki *Chlorophyceae*, 2 gatunki *Fucophyceae* i 5 gatunków *Bangiophyceae*. Gatunkiem dominującym w całym sezonie wegetacyjnym był *Bangiophyceae*: *Polysiphonia fucoides*, która latem stanowiła 49% masy wszystkich glonów, a w okresie jesiennym jej udział w biomacie był jeszcze wyższy i stanowił 89%. W czerwcu znaczny udział miał również *Ectocarpus siliculosus* (*Fucophyceae*) (39% biomasy). Największe obszary dna kamienistego makroglony porastały w czerwcu (średnio 75% dna). We wrześniu występowały jedynie w rzadkich, pojedynczych kępkach, osiągając zaledwie 10% średniego pokrycia dna.

W porównaniu do poprzedniego roku, w 2011 roku odnotowano podobną liczbę gatunków na profilach Klif Orłowski, Jama Kuźnicka, Ławica Słupska (rys. 3a, b, c) [16]. Na trzech transektach pomiarowych w roku 2011 stwierdzono mniejszą ilość gatunków glonów uważanych za wskaźniki eutrofizacji (*Chlorophyceae*, *Fucophyceae*) (rys. 3a, b, c). Na profilu Klif Orłowski liczba *Chlorophyceae* i *Fucophyceae* w stosunku do roku poprzedniego zmalała z 9 taksonów do 7, przy zachowaniu takiej samej liczby *Bangiophyceae* oraz *Angiospermae* (rys. 3a). Podobna sytuacja wystąpiła na profilu Jama Kuźnicka, gdzie w roku 2010 suma taksonów *Chlorophyceae* i *Fucophyceae* wynosiła 6 gatunków, a w roku 2011 te same gromady reprezentowane były przez 4 gatunki, odnotowano również o jednego przedstawiciela *Angiospermae* więcej (rys. 3b).

Na profilu w rejonie głazowiska Ławicy Słupskiej w roku 2011 nie odnotowano żadnych *Chlorophyceae* oraz dwa gatunki *Fucophyceae*, podczas gdy w 2010 roku na tych samych punktach pomiarowych występowały zarówno *Chlorophyceae* jak i *Fucophyceae* (rys. 3c). W roku 2011 na transekcie w rejonie głazowiska Rowy odnotowano o jeden gatunek więcej *Bangiophyceae* (rys. 3d). W roku 2010 pomiary na transekcie przeprowadzone były jedynie w okresie jesiennym, przez co nie znaleziono już *Chlorophyceae* i *Fucophyceae* (gatunków preferujących wyższe temperatury wody). W roku 2011 *Chlorophyceae* i *Fucophyceae* występowały jedynie w okresie letnim, natomiast w okresie jesiennym glony te stanowiły zaledwie ułamek promila biomasy *Bangiophyceae* (rys. 3b). Odnotowanie takiej samej liczby taksonów na wszystkich transektach pomiarowych przy jednoczesnym spadku liczby *Chlorophyceae* i *Fucophyceae* może świadczyć o poprawiających się warunkach fizykochemicznych w wodach Morza Bałtyckiego (rys. 3a, b, c, d). Natomiast analizując zmiany zachodzące na transektach Klif Orłowski, Jama Kuźnicka oraz głazowisko Ławicy Słupskiej można sądzić, iż sytuacja na głazowisku w rejonie Rowów w okresie letnim w roku poprzednim była porównywalna lub nieco gorsza niż w roku bieżącym.

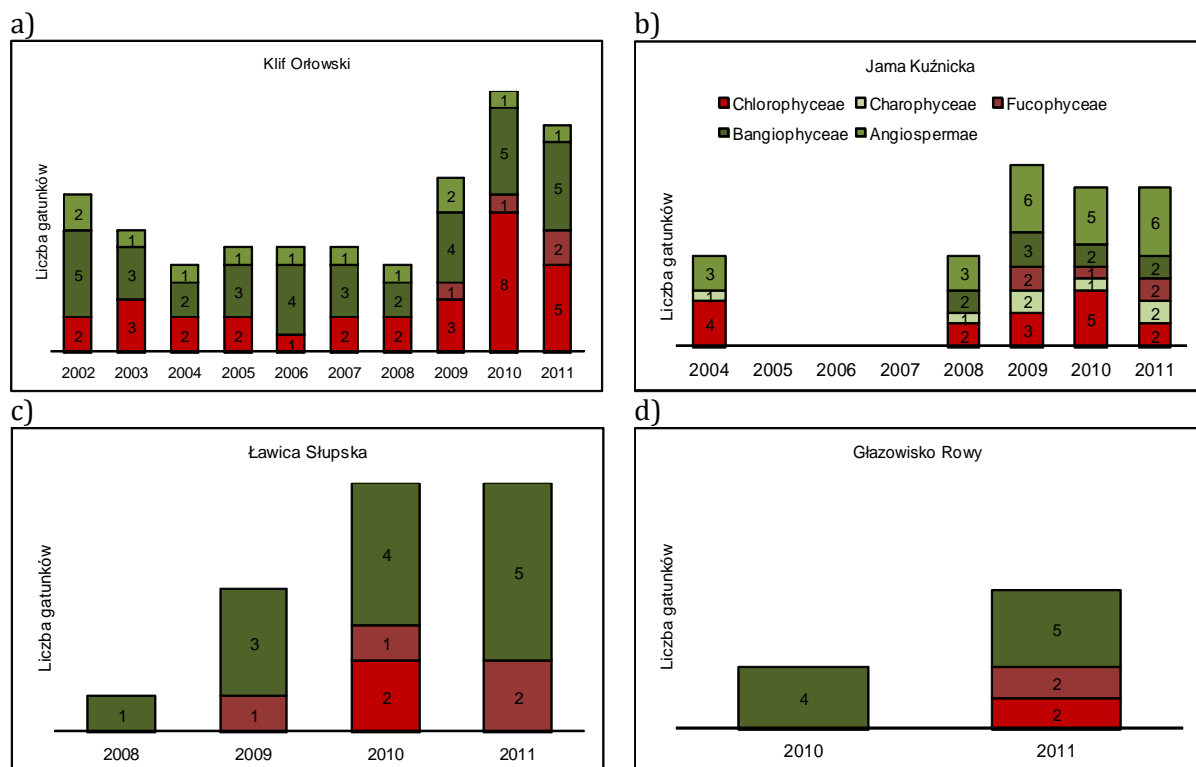
### ŁAWICA SŁUPSKA

In the boulder deposit area of the Ławica Słupska, 7 species of macroalgae were recorded, *Bangiophyceae* being the most numerous (5 species). In September, the number of species was reduced to 4 as compared with June - the record showed an absence of filamentous *Fucophyceae*: the *Pilayella littoralis* and *Ectocarpus siliculosus*, which reach their prime at the beginning of the vegetation season, as well as the *Bangiophyceae*: *Rhodomela confervoides*. In the entire vegetation period, the species that contributed to the biomass in the largest degree was *Furcellaria lumbricalis*, which constituted respectively 60% of the total biomass in summer, and as much as 85% in autumn. In June the total biomass was complemented with the occurrence of *Pilayella littoralis* i *Ectocarpus siliculosus* (28% of biomass). In 2011 the macroalgae overgrew the boulder deposit area by a mere 18%. In June the seabed was most densely inhabited by *Fucophyceae*, whereas in September by *Bangiophyceae*.

### GŁAZOWISKO ROWY

In Głazowisko Rowy in 2011, a total of 9 species of macroalgae were recorded, including 2 species of *Chlorophyceae*, 2 species of *Fucophyceae* and 5 species of *Bangiophyceae*. The species that was dominant all along the vegetation season was *Bangiophyceae*: *Polysiphonia fucooides* which constituted 49% of the entire algae population, while by autumn its contribution in the biomass had risen to 89%. In June the total biomass was complemented with the *Ectocarpus siliculosus* (*Fucophyceae*) (39% of biomass). The largest stretches of stony bottom were overgrown with macroalgae in June (75% of the bottom on average). In September their population was reduced to occasional single tufts that covered an area of just 10% of the bottom.

In 2011, compared with the previous year, a similar number of species was recorded in the Klif Orłowski, Jama Kuznicka and Ławica Słupska profiles (fig. 3a, b, c) [16]. On three of the measuring transects in 2011, a decreasing number of the algae regarded as indicators of eutrophication (*Chlorophyceae*, *Fucophyceae*) was recorded (fig. 3a, b, c). On the Klif Orłowski profile the number of *Chlorophyceae* and *Fucophyceae* was reduced from 9 to 7 species compared to the previous year, with the number of *Bangiophyceae* and *Angiospermae* remaining constant (fig. 3a). The Jama Kuznicka profile was a venue of a similar occurrence where the number of *Chlorophyceae* and *Fucophyceae* species amounted to 6 in 2010, to be reduced to 4 species in the following year, with the addition of one more species of *Angiospermae* (fig. 3b). On the profile of the Ławica Słupska boulder deposit area in 2011, two species of *Fucophyceae* and no *Chlorophyceae* were recorded, whereas in 2010 the same measuring transect showed the occurrence of both (fig. 3c). In 2011 an additional *Bangiophyceae* species was recorded on the transect near Głazowisko Rowy (fig. 3d). In 2010, the surveying on the transect was done only in autumn which meant that *Chlorophyceae* and *Fucophyceae* were no longer to be found (the species with predilections to warmer water temperatures). In 2011 the *Chlorophyceae* and *Fucophyceae* were prevalent only in summer, whereas in autumn these algae constituted but a thousandth of the total *Bangiophyceae* biomass (fig. 3b). The same number of species on all transects with the concurrent decline of *Chlorophyceae* and *Fucophyceae* may testify to the improving physicochemical conditions in the waters of the Baltic (fig. 3a, b, c, d). The diagrams below demonstrate the analysis of changes along the transects of the Klif Orłowski, Jama Kuznicka and the boulder deposit area of Ławica Słupska.



Rys. 3. Zmiany liczby gatunków makrofitobentosu na profilu a) Klif Orłowski b) Jama Kuźnicka c) Ławica Słupska d) Głazowisko Rowy [16].

Zmienność gatunkowa odzwierciedlała się poprzez udział poszczególnych gromad w całkowitej biomasy makrofitobentosu. Wzdłuż profilu Klif Orłowski biomasa glonów pozytywnych latem i jesienią w 2010 roku wynosiła odpowiednio 30% i 83% [16], natomiast w 2011 roku wynosiła 36% i 83%. W Jamie Kuźnickiej w roku 2010 masa glonów pozytywnych w czerwcu i wrześniu wynosiła 23% oraz 93% [16], a w tych samych miesiącach następnego roku była odpowiednio 30% oraz 88%. Również na transekcie w obrębie głazowiska Ławica Słupska odnotowano wzrost biomasy glonów pozytywnych, w roku 2010 glony te stanowiły odpowiednio latem i jesienią 47% oraz 88% [16] a w roku 2011 70% i 100%. W okresie jesiennym, zarówno w 2010 jak i 2011 glony pozytywne stanowiły 100% biomasy odnotowanej na transekcie w rejonie głazowiska Rowy, podczas gdy w lecie 2011 roku glony pozytywne stanowiły jedynie 57% całkowitej masy makrofitów.

Stan ekologiczny przedstawionych regionów oceniany, na podstawie roślinności dennej, jest dobry w strefie płytkowodnej środkowego wybrzeża (Głazowisko Rowy), słaby w Zalewie Puckim (Jama Kuźnicka) oraz umiarkowany w Zewnętrznej Zatoce Puckiej (Klif Orłowski) (tab. 1,2,3). Oceny Ławicy Słupskiej nie przeprowadzono ze względu na małą ilość danych literaturowych.

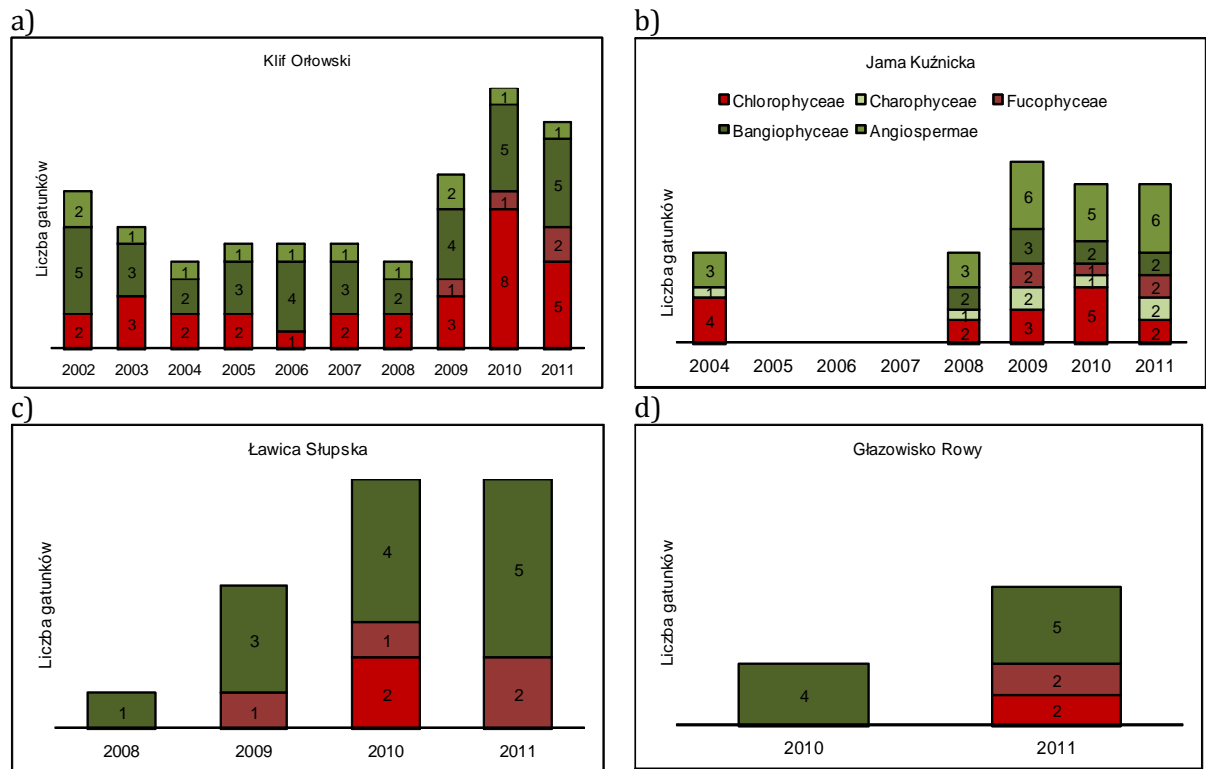


Fig. 3. Long-term and interannual changes in the number of macrophyte species along a) Klif Orłowski b) Jama Kuźnicka c) Ławica Słupska d) Głazowisko Rowy.

The variability of species was reflected through the contribution of individual classes in the total biomass of macrophytobenthos. Along the Klif Orłowski profile, the positive algae biomass in summer and autumn 2010 amounted to 30% and 83% respectively, whereas in 2011 - 36% and 83%. In Jama Kuźnicka in 2010, the positive algae biomass in June and September amounted to 23% and 93% [16], whereas in the following year in the very same months, it amounted to 30% and 88% respectively. Likewise, the transect in the area of a boulder deposit on the Ławica Słupska recorded an increase of positive algae biomass; in the summer of 2010 the proportion of these algae amounted to 47% and 88% [16], while in 2011 - 70% and 100%. In autumn, both in 2010 and 2011, positive algae comprised 100% of the biomass recorded on the transect near Głazowisko Rowy, whereas in summer 2011 positive algae comprised merely 57% of the total macrophyte biomass.

The ecological status of the presented regions assessed on the basis of benthic vegetation is good in the shallow waters of the middle coast (Głazowisko Rowy), poor in the Puck Lagoon (Jama Kuźnicka), and moderate in the Outer Puck Bay (Klif Orłowski) (tab. 1, 2, 3,). The assessment of Ławica Słupska was not carried out due to insufficient data.

Tabela 1.

Ocena stanu środowiska Zalewu Puckiego na podstawie makroglonów i okrytozależkowych.

	Stan						Wskaźnik	2011	Ocena
	ref.	b. dobry	dobry	umiarkowany	słaby	zły			
Granica	3,3	2,97	1,98	0,99	0,33	<0,33	SM	0,45	
EQR	1	>0,9	0,6	0,3	0,1	<0,1		0,14	słaby

ref. – wartość referencyjna; bardzo dobry, dobry, umiarkowany, słaby, zły- wartości graniczne klasyfikacji; kod kolorystyczny wg RDW.

Tabela 2.

Ocena stanu środowiska Zewnętrznej Zatoki Puckiej na podstawie makroglonów i okrytozależkowych.

	Stan						Wskaźnik	2011	Ocena
	ref.	b. dobry	dobry	umiarkowany	słaby	zły			
Granica	4,9	4,41	3,43	1,96	0,98	<0,98	SM	3	
EQR	1	>0,9	0,7	0,4	0,2	<0,2		0,612	umiarkowany

Tabela 3.

Ocena stanu środowiska strefy płytkowodna środkowego wybrzeża na podstawie makroglonów i okrytozależkowych.

	Stan						Wskaźnik	2011	Ocena
	ref.	b. dobry	dobry	umiarkowany	słaby	zły			
Granica	4,9	4,41	3,43	1,96	0,98	<0,98	SM	3,62	
EQR	1	>0,9	0,7	0,4	0,2	<0,2		0,739	dobry

Stan ekologiczny określony na podstawie biomasy taksonów pokrywał się z aktywnością  $^{90}\text{Sr}$  zmierzoną w tych roślinach na poszczególnych transektach pomiarowych (rys. 4). Najwyższą aktywność  $^{90}\text{Sr}$  w roślinności bentosowej stwierdzono w Jamie Kuźnickiej (mediana  $4,23 \text{ Bq g}_{\text{s.m.}}^{-1}$ ), a następnie w okolicy Klifu Orłowskiego (mediana  $2,8 \text{ Bq g}_{\text{s.m.}}^{-1}$ ), natomiast najniższą w obszarze Głazowiska Rowy (mediana  $1,53 \text{ Bq g}_{\text{s.m.}}^{-1}$ ) i Ławicy Słupskiej (mediana  $0,91 \text{ Bq g}_{\text{s.m.}}^{-1}$ ) (rys. 4). Fakt ten spowodowany był dominacją *Fucophyceae* w Jamie Kuźnickiej i *Bangiophyceae* w okolicach Klifu Orłowskiego, w których średnia aktywność  $^{90}\text{Sr}$  wynosiła odpowiednio  $4,66 \text{ Bq g}_{\text{s.m.}}^{-1}$  i  $3,56 \text{ Bq g}_{\text{s.m.}}^{-1}$ . Podobnie jak w przypadku  $^{137}\text{Cs}$ , porównanie aktywności  $^{90}\text{Sr}$  w tkankach glonów do aktywności tego izotopu w wodzie (współczynnik koncentracji) wskazuje, że najbardziej intensywnie procesy bioakumulacji zachodzą w *Bangiophyceae* i *Fucophyceae* [4, 5]. W przypadku  $^{90}\text{Sr}$  współczynnik koncentracji był najwyższy w *Pilayella littoralis* i wynosił 750 i był prawie 2 razy wyższy niż współczynnik biokoncentracji w *Polysiphonia fucoides*. Jednak ze względu na zdecydowanie częstsze występowanie *Polysiphonia fucoides* w różnych regionach Morza Bałtyckiego, to właśnie ten gatunek można rekomendować jako bioindykator stanu ekosystemu morskiego.

Table 1.

Assessment of the environmental status in Puck Lagoon based on macroalgae and angiosperms.

	Status						Indicator	2011	Assessment
	ref.	Very good	Good	Moderate	Poor	Bad			
Borderline	3.3	2.97	1.98	0.99	0.33	<0.33	SM	0.45	
EQR	1	>0.9	0.6	0.3	0.1	<0.1		0.14	Poor

ref. - reference value; very good, good, moderate, poor, bad- borderline values; the colour code with the requirements of the Water Framework Directive.

Table 2.

Assessment of the environmental status in Outer Puck Bay based on macroalgae and angiosperms.

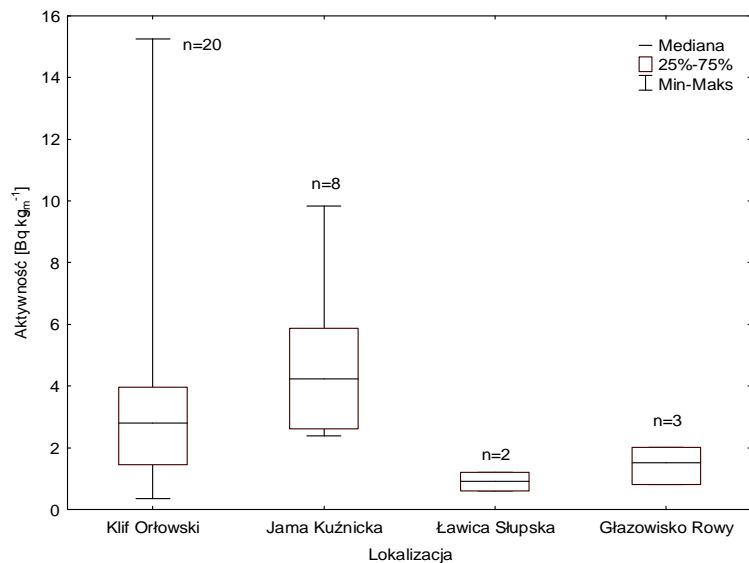
	Status						Indicator	2011	Assessment
	ref.	Very good	Good	Moderate	Poor	Bad			
Borderline	4.9	4.41	3.43	1.96	0.98	<0.98	SM	3	
EQR	1	>0.9	0.7	0.4	0.2	<0.2		0.612	Moderate

Table 3.

Assessment of the environmental status in shallow coastal zone along the central Polish coast based on macroalgae and angiosperms.

	Status						Indicator	2011	Assessment
	ref.	Very good	Good	Moderate	Poor	Bad			
Borderline	4.9	4.41	3.43	1.96	0.98	<0.98	SM	3.62	
EQR	1	>0.9	0.7	0.4	0.2	<0.2		0.739	Good

The ecological status defined on the basis of species biomass corresponded to the <sup>90</sup>Sr activity gauged in plants on respective transects. The highest <sup>90</sup>Sr activity in benthic vegetation was detected in Jama Kuźnicka (median 4.23 Bq g<sub>s.m.</sub><sup>-1</sup>), the second highest near the Klif Orłowski (median 2.8 Bq g<sub>s.m.</sub><sup>-1</sup>); the lowest <sup>90</sup>Sr activity was detected near Głazowisko Rowy (median 1.53 Bq g<sub>s.m.</sub><sup>-1</sup>) and Ławica Słupska (median 0.91 Bq g<sub>s.m.</sub><sup>-1</sup>) (fig. 4). Such a distribution was due to the dominant presence of *Fucophyceae* in Jama Kuźnicka and *Bangiophyceae* near the Klif Orłowski where the average <sup>90</sup>Sr activity amounted to 4.66 Bq g<sub>s.m.</sub><sup>-1</sup> and 3.56 Bq g<sub>s.m.</sub><sup>-1</sup> respectively. Similar to <sup>137</sup>Cs, the comparison of <sup>90</sup>Sr activity in the algae tissue with its activity in water (concentration index) reveal that the *Bangiophyceae* and *Fucophyceae* show the most intense bioaccumulation properties [4, 5]. In the case of <sup>90</sup>Sr the concentration index was the highest in *Pilayella littoralis* and amounted to 750, which made it twice as high as the index in *Polysiphonia fucooides*. However, on account of a significantly more frequent occurrence of *Polysiphonia fucooides* in various regions of the Baltic, it is *the* species to be recommended as a bioindicator of maritime ecosystem status.



Rys. 4. Aktywność  $^{90}\text{Sr}$  w makrofitobentosie na poszczególnych transektach w 2011.

Analizując zmiany sezonowe, można zaobserwować identyczną tendencję, jak w przypadku zmian przestrzennych - w okresie letnim na wszystkich transektach w większym lub mniejszym stopniu występowały glony negatywne, a w okresie jesiennym ich udział był znacznie niższy. Średnia aktywność  $^{90}\text{Sr}$  w tkankach makrofitobentosu w okresie letnim wynosiła  $3,9 \text{ Bq g}_{\text{s.m.}}^{-1}$  i była o około 25% wyższa niż w okresie jesiennym. Spowodowane to było głównie zwolnieniem tempa wzrostu makrofitów, a w związku z tym ograniczeniem tempa akumulacji  $^{90}\text{Sr}$  w tkankach [17].

#### WNIOSKI

- Najbardziej intensywny proces bioakumulacji  $^{90}\text{Sr}$  zachodzi w krasnorostach (*Bangiophyceae*) i brunatnicach (*Fucophyceae*).
- Stan ekologiczny akwenu określony na podstawie biomasy makrofitobentosu pokrywa się z klasyfikacją na podstawie aktywności  $^{90}\text{Sr}$  zmierzonej w roślinach.

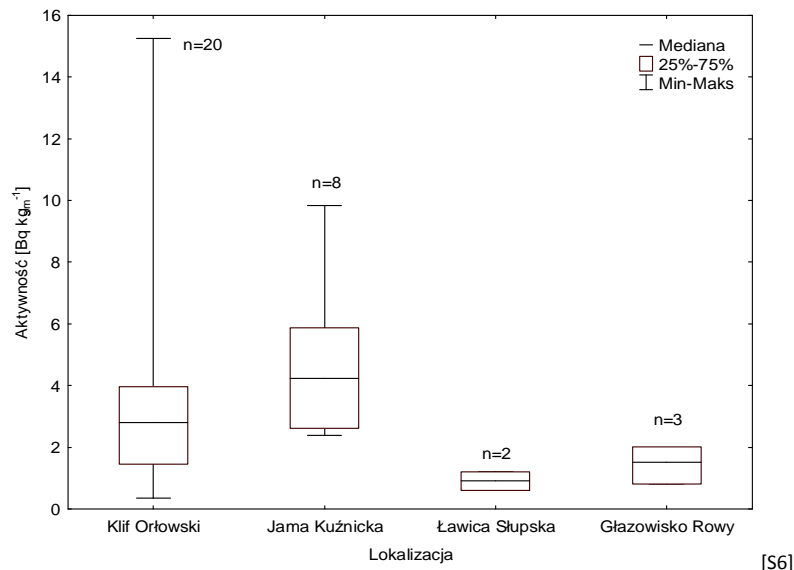


Fig 4.  $^{90}\text{Sr}$  activity in macrophytes at monitoring transects in 2011(\*Vertical axis-activity, horizontal axis-location). [S6]

The analysis of seasonal changes brings to light a tendency which is identical to spatial changes - the prevalence of negative algae on all transects, in smaller or larger numbers, in summer, and their decline in autumn. The average  $^{90}\text{Sr}$  activity in macrophytobenthos tissue in summer amounted to  $3.9 \text{ Bq g}_{\text{s.m.}}^{-1}$ , 25% higher than in autumn. The cause for this change lay in a slower growth rate of macrophytes, and the consequent hampering of the  $^{90}\text{Sr}$  accumulation rate in the tissue.

## CONCLUSIONS

- The most intense process of  $^{90}\text{Sr}$  bioaccumulation takes place in red algae (*Bangiophyceae*) and brown algae (*Fucophyceae*).
- The ecological status of any body of water defined on the basis of the macrophytobenthos biomass corresponds to the classification of  $^{90}\text{Sr}$  activity in plants.

#### LITERATURA/ BIBLIOGRAPHY

1. Szefer P.; Metal pollutants and radionuclides in the Baltic Sea - an overview; *Oceanologia*, 2 (44) 2002, 129-178;
2. Burger J., Gochfeld M., Kosson D.S., Powers C.W., Jewett S., Friedlander B., Chenelot H., Volz, C.D., Jeitner C.; Radionuclides from Amchitka and Kiska Islands in the Aleutians: establishing a baseline for future biomonitoring; *Journal of Environmental Radioactivity*, 1-2 (91) 2006; 27-40;
3. Pinder J.E., Hinton T.G., Whicker F.W.; Foliar uptake of cesium from the water column by aquatic macrophytes; *Journal of Environmental Radioactivity*, 1 (85) 2006, 23-47; DOI: 10.1016/j.jenvrad.2005.05.005;
4. Lobban C. S., Harrison P. J.; *Seaweed ecology and physiology*; Cambridge University Press, ISBN 0-521-40897-0, New York 1997, 366 pp; <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511626210>;
5. Zalewska T., Saniewski M.; Bioaccumulation of gamma emitting radionuclides in red algae from the Baltic Sea under laboratory conditions; *Oceanologia*, 2 (53) 2011, 631-650; doi:10.5697/oc.53-2.631
6. Zalewska T, Saniewski M.; Bioaccumulation of <sup>137</sup>Cs by benthic plants and macroinvertebrates; *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 3 (40) 2011,1-8; doi:10.2478/s13545-011-0023-6;
7. HELCOM; Radioactivity in the Baltic Sea 1999-2006; HELCOM thematic assessment, Baltic Sea Environment Proceedings No. 117 2009, 64pp.;
8. HELCOM; Long-lived radionuclides in the seabed of the Baltic Sea; Report of the Sediment Baseline Study of HELCOM MORS-PRO in 2000-2005, Baltic Sea Environment Proceedings No. 110 2007, 44pp;
9. UNSCEAR; Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York 1982, 773 pp; DOI: 10.1118/1.595436. ISSN: 0094-2405;
10. Nielsen S. P., Bengtson U. P., Bojanowsky R., Hageld P., Herrmanne J., Ilus E., Jakobsong E., Motiejunash S., Panteleev Y., Skujinaj A., Suplinskak M.; The radiological exposure of man from radioactivity in the Baltic Sea, *The Science of the Total Environment*, 10 (237/238) 1999, 133-141; DOI:10.1016/S0048-9697(99)00130-8;
11. HELCOM; Radioactivity in the Baltic Sea 1984-1991; Baltic Sea Environment Proceedings No. 61 1995, 187pp;
12. Vesa-Pekka V., STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority, Finland; Liquid discharges of Cs-137, Sr-90 and Co-60 into the Baltic Sea from local nuclear installations; HELCOM Indicator Fact Sheets 2008; Online ([http://www.helcom.fi/BSAP\\_assessment/ifs/ifs2011/en\\_GB/Cs137Discharges/](http://www.helcom.fi/BSAP_assessment/ifs/ifs2011/en_GB/Cs137Discharges/)) [visited 12.02.2012]
13. HELCOM; Guidelines for monitoring of phytobenthic plant and animal communities in the Baltic Sea, Annex for HELCOM COMBINE programme, Annex C-9, 1999,12pp;
14. Osowiecki A., Krzysiński W., Nowicki W., Kruk-Dowgiałło L., Błęńska M., Brzeska P., Michałek-Pogorzelska M., Dubiński M., Łysiak-Pastuszek E., Góralski J., Chojnacki W., Marcinkow A., Kazała P.; Opracowanie metodyki badania i klasyfikacji elementów biologicznych w procedurze oceny stanu ekologicznego jednolitych części morskich wód przejściowych i przybrzeżnych wraz z udziałem w europejskim ćwiczeniu interkalibracyjnym; IM, Gdańsk 2009, 99pp;
15. Han-Soeb Y., Dong-Woon H., Haeng-Pil L., Guebuem K.; Distribution of <sup>90</sup>Sr in coastal seawater, sediments and organisms off two atomic power stations in Korea; *Journal of Environmental Radioactivity*, 1 (59) 2002, 105-112;

[http://dx.doi.org/10.1016/S0265-931X\(01\)00040-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0265-931X(01)00040-6)

16. Brzeska P., Saniewski M.; Fitobentos, 120-128, „w” T. Zalewska, E. Jakusik, E. Łysiak-Pastuszak, W. Krzymiński, Bałtyk Południowy w 2011 roku - Charakterystyka wybranych elementów środowiska, IMGW-PIB, ISBN 978-83-61102-73-1, Warszawa 2012;
17. Entry J. A., Watrud L. S.; Potential remediation of 137Cs and 90Sr contaminated soil by accumulation in Alamo Switchgrass; Water, Air, and Soil Pollution, 3-4 (104) 1998, 339-352, DOI:10.1023/A:1004994123880.

## **БЕНТИЧЕСКАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ КАК ИНДИКАТОР ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

*Донные растительности могут быть использованы для оценки экологического состояния морской среды на основе анализа видов, анализа биомассы и определения показателя состояния макрофитов, основанного на соотношении биомассы таксонов положительных к биомассе таксонов отрицательных. Макроводоросли, благодаря своей способности к биоаккумуляции загрязнений, также могут быть использованы для оценки состояния окружающей среды с точки зрения загрязнения опасными веществами. Примером может служить использование фитобентоса для оценки уровня загрязнения воды радиоактивными веществами. Самая высокая средняя активность 90Sr была измерена в тканях растений в водоемах, в которых экологическое состояние определенное на основе макрофитов было самым слабым.*

**Ключевые слова:** макрофиты, индикатор, 90Sr, Балтийское море.



## **ПРАВНО – МІДЗНАРОДОВЕ УВАРУНКОВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОЙСКОВИХ СЛУЖБ МЕДИЧНИХ**

### **INTERNATIONAL LEGISLATIVE CINDITIONS OF THE FUNCTIONING OF MILITARY MEDICAL SERVICES**

Włodzimierz Leszczyński, Wojciech Bieńkowski, Lech Borkowski, Andrzej Buczyński

*Przez wiele stuleci zasady działalności medyków wojskowych nie były ujęte w prawnych ramach traktatów międzynarodowych, a opierały się jedynie na prawie zwyczajowym. W 1864 r. przyjęto tekst pierwszej Konwencji Genewskiej. Ta międzynarodowa umowa zapewniła ochronę prawną ofiarom wojen oraz personelowi medycznemu. Artykuł przedstawia obowiązujące rozwiązania Międzynarodowego Prawa Humanitarnego, dotyczące działalności wojskowych służb medycznych podczas konfliktów zbrojnych.*

**Słowa kluczowe:** Międzynarodowe Prawo Humanitarne, Wojskowe Służby Medyczne, Konwencje Genewskie.

*For many centuries, policies describing the activity of military medics were not included in the legal framework of international treaties but were only based on common law. In 1864 the text of the first Geneva Convention was adopted. This international agreement provided legal protection to victims of war and medical personnel. This article presents current solutions of International Humanitarian Law concerning the activities of military medical services during armed conflicts.*

**Keywords:** International Humanitarian Law, Military Medical Services, Geneva Conventions.

## **МЕЖДУНАРОДНО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНОВАНИЯ ВОЕННО - МЕДИЦИНСКОЙ СЛУЖБЫ**

*На протяжении многих веков, правила деятельности военных медиков не были включены в правовую основу международных договоров, а были основаны исключительно на общем праве. В 1864 году принято текст первой Женевской конвенции. Данное международное соглашение обеспечивает правовую защиту жертвам войны и медицинскому персоналу. В договоре представлены существующие решения международного гуманитарного права, связанные с деятельностью военно-медицинских служб во время конфликтов.*

**Ключевые слова:** международное гуманитарное право, военно-санитарная служба, Женевская конвенция.

ISSN 1734 – 7009, EISSN 2084 – 0535, PHR 2013 1(42), 103 – 122

NR DOI: [HTTP://DX.DOI.ORG/10.13006/PHR.42.5](http://dx.doi.org/10.13006/PHR.42.5)

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

## WSTĘP

Wojskowe służby medyczne stanowią integralną część sił zbrojnych współczesnych państw. W obecnych czasach trudno sobie wyobrazić, aby siły zbrojne któregośkolwiek kraju funkcjonowały bez odpowiednio przygotowanych formacji medycznych. Traumatycznym skutkiem działań wojennych zawsze były rany, urazy i kontuzje, których doznawali walczący. Wtórny skutkiem wynikającym często z braku higieny były zarazy i epidemie, które pustoszyły znaczną część populacji krajów oraz miały niewątpliwą wpływ na przebieg działań wojennych. Przykładem zaniechania działań wojennych z powodu chorób zakaźnych było odstępianie wojsk litewskich od oblężenia Malborka w 1410 r. z powodu epidemii czerwonki [8]. Wszystkie te czynniki spowodowały, że pojawiła się potrzeba stosowania skutecznych metod leczenia rannych i chorych oraz zapobiegania chorobom.

Obecność personelu medycznego zawsze dodawała otuchy i utwierdzała żołnierzy w przekonaniu, że w sytuacji, gdy doznają kontuzji lub odniosą rany to zostanie im udzielona pomoc medyczna. Współczesna medycyna wojskowa to nie tylko chirurgia polowa kojarząca się z filmowym wizerunkiem chirurga w zakrwawionym fartuchu. To również wiele dziedzin nauk wojskowo-medycznych nie mających swoich odpowiedników w cywilnych dziedzinach medycyny, takich jak: interna polowa, patologia urazów wojennych, organizacja ochrony zdrowia wojsk, toksykologia i ochrona radiologiczna, higiena i epidemiologia wojskowa. Chociaż medycy na przestrzeni wieków często towarzyszyli wojskom, to jednak status personelu medycznego przez długi czas nie był uregulowany stosownymi rozwiązaniami prawa międzynarodowego. XIX wiek obfitował w liczne wojny i toczono podczas nich bitwy, których efektem często były klęski humanitarne. Przykładem tego są walki, podczas wojen napoleońskich, wojny krymskiej oraz wojna francusko-austriacka o Mediolan, której tragicznym finałem była bitwa pod Solferino w dn. 24 czerwca 1859 r. W bitwie udział wzięło łącznie ok. 300 000 żołnierzy, z czego zginęło ok. 6000 ok. 40 000 zostało rannych.

Naocznemu świadkowi tych wydarzeń, człowiekowi niezwykle wrażliwemu na ludzką krzywdę i niedolę, którym był obywatel Szwajcarii Henry Dunant zawdzięczamy współczesne regulacje prawa międzynarodowego. Pokłosiem napisanej przez niego książki pt. *Wspomnienie Solferino* stało się przyjęcie 22. 08. 1864 r. pierwszej Konwencji Genewskiej, dokumentu biorącego w ochronę ofiary wojen i personel medyczny niosący pomoc poszkodowanym.

Idee te postulowane w książce Dunanta sprowadzają się do czterech podstawowych zasad. Pierwsza z nich mówi, iż wojskowe służby medyczne na polu walki powinny być szanowane i chronione. Kolejna wprowadziła znak wyróżniający wojskowe służby medyczne, jakim jest czerwony krzyż umieszczony na białym tle. Trzecia zasada określiła ich status wskazując, że wojskowe służby medyczne na polu walki zachowują się w sposób neutralny. Ostatnia zasada – bezstronności – nakazała objąć opieką medyczną wszystkich rannych i chorych zebranych z pola walki bez względu na kraj, z którego pochodzą. Doświadczenia wynikające z każdej kolejnej wojny lub konfliktu zbrojnego powodowały, że zwiększała się ilość zapisów w Konwencjach Genewskich.

## **INTRODUCTION**

Military medical services constitute an integral part of military forces in contemporary countries. In present times it would be difficult to imagine that any armed forces of any country could function without properly prepared medical formations. The traumatic outcome of military operations always involves multiple wounds and injuries of combatants. Historically, an after effect of the lack of proper hygiene consisted in plagues and epidemics that laid waste to significant parts of populations and had an unquestionable effect on the course of military actions. An example of a situation where military operations had to be aborted due to an outburst of contagious diseases was the retraction of Lithuanian forces from the siege of Malbork in 1410 (dysentery epidemic [8]).

All of these factors led to a growing demand for efficient treatment for the wounded and the sick as well as ensuring sufficient preventative measures were taken to avoid illness. The presence of medical personnel always lifted the soldiers' spirits and convinced them that they would be provided with medical assistance when injured or wounded. Modern military medicine does not consist only of the mobile surgery that is commonly depicted in films along with images of a surgeon in a blood-stained apron. This kind of medicine also involves many other military-medical sciences that do not have their equivalent in civil medicine, such as: internal medicine[s1], war injury pathology, army health protection organization, toxicology and radiological protection, military hygiene and epidemiology. Although throughout the centuries medics often accompanied their armies, the status of medical personnel was for a long time deprived of proper regulations specified by international law. The 19<sup>th</sup> c. abounded in wars and battles resulting in humane disasters. This is illustrated by battles fought during the Napoleonic wars, the Crimean war or the French-Austrian war over Milan, whose tragic ending was the battle of Solferino on 24 June 1859. This last battle was attended altogether by 300,000 soldiers, of whom 6,000 were killed and nearly 40,000 wounded.

The person to whom we should be grateful for the existence of the modern regulations of international law was an eye witness of those events, a man exceptionally sensitive to human harm and misery and a citizen of Switzerland – Henry Dunant. The first Geneva Convention was adopted on 22 August 1864 in the aftermath of a book written by him titled *A Memory of Solferino*. The aim of the adopted document was to protect victims of war and medical personnel providing assistance to those suffering.

The ideas postulated in Dunant's book may be narrowed down to four fundamental principles. The first one stipulates that military medical services present on a battlefield should be respected and protected. The next one introduced a sign distinguishing military medical services, i.e. a red cross on a white background. The third principle defined their status by pointing to the fact that military medical services behave in a neutral manner. The last rule – the rule of impartiality – placed an obligation on medical services to provide medical aid to all the sick and wounded from the battlefield, irrespective of their place of origin. The experiences gathered from each war or military conflict taking place after the issuance of the said document has resulted in the regulations recorded in the Geneva Conventions constantly expanding.

## 1. KONWENCJE GENEWSKIE

Problemy humanitarne, które unaoczniała II wojna światowa spowodowały konieczność ponownego opracowania Konwencji Genewskich, w których wyróżniono cztery kategorie ofiar konfliktów zbrojnych i przyjęto również cztery odpowiadające im rozwiązania prawne. O ile w Konwencji Genewskiej z 22. 08. 1864 r. pod nazwą *Konwencja w sprawie polepszenia losu rannych wojskowych w armiach w polu będących* wyodrębniono jedną kategorię ofiar, jakimi są ranni w wojnie lądowej, to obecne obowiązujące cztery Konwencje Genewskie z dn. 12 sierpnia 1949 r. wyróżniają cztery kategorie ofiar wojen. Są nimi:

- ranni i chorzy w armiach czynnych;
- ranni, chorzy i rozbitkowie sił zbrojnych na morzu;
- jeńcy wojenni;
- osoby cywilne.

W I Konwencji Genewskiej, znajdują się zapisy, których znaczna część określa zasady funkcjonowania wojskowych służb medycznych podczas konfliktów zbrojnych. Przyjęte 06. 06. 1977 r. Protokoły Dodatkowe do Konwencji Genewskich doprecyzowały zasady ochrony wojskowych służb medycznych jak również wzmocniły ich ochronę. Należy wspomnieć, że w następnych latach, w zakresie ochrony personelu medycznego w Międzynarodowym Prawie Humanitarnym pojawiły się kolejne dokumenty. Jest nim Protokół Dodatkowy III z dn. 8. 12. 2005 r. wprowadzający neutralny znak ochronny – czerwonego kryształu – dla wojskowych służb medycznych.

Bez względu na kierunki ewolucji prawa wojennego, które nastąpiły od czasu przyjęcia I Konwencji Genewskiej w 1864 r. należy stwierdzić, że przepisy prawa wojennego dotyczące funkcjonowania wojskowych służb medycznych przyjęte w późniejszych Konwencjach Genewskich z 1949 oraz w Protokółach Dodatkowych z 1977 r. stanowią rozwinięcie idei zapoczątkowanej przez Henry Dunanta.

Przed omówieniem roli i zadań wojskowego personelu medycznego na polu walki, konieczne jest wyjaśnienie statusu kombatanta. W Polsce zwyczajowo mianem kombatanta określa się byłego uczestnika regularnych formacji wojskowych lub ruchu oporu biorącego czynny udział w walce towarzysza broni [7]. Po raz pierwszy definicję uczestnika walki zbrojnej – wojującego – określono w Regulaminie Haskim z 1907 r. Kombatantami (wojującymi) są osoby, które odpowiadają następującym warunkom:

1. mają na czele osobę odpowiedzialną za swych podwładnych;
2. noszą stałą i dającą się rozpoznać z daleka odznakę wyróżniającą;
3. jawnie noszą broń;
4. przestrzegają w swych działaniach praw i zwyczajów wojennych [2].

Powyższa definicja została powtórzona w I Konwencji Genewskiej oraz Protokole Dodatkowym I. Jak jednak wyraźnie zaznaczono definicja kombatanta nie dotyczy personelu medycznego i duchownego sił zbrojnych. Z definicji wynika jednoznacznie, że jedynie kombatanci mogą brać czynny udział w walce. Wyłączenie personelu medycznego z grona kombatantów wynika ze specyficznych i wyjątkowych zadań, jakie mają do spełnienia podczas wojen wojskowe służby medyczne. Celem takiego zapisu jest konieczność zapewnienia ochrony prawnej personelowi sanitarnemu sił zbrojnych. Zawarte w dokumentach Międzynarodowego Prawa Humanitarnego przepisy wyraźnie określają zadania oraz priorytety działalności służb medycznych na polu walki.

## 1. GENEVA CONVENTIONS

The humanitarian issues manifested by World War Two imposed a necessity to reorganize the aspects of the Geneva Convention that distinguished the four categories of victims of military conflicts, and the adoption of four corresponding legal solutions. Inasmuch as the Geneva Convention of 22 August 1864 titled *The Convention for the Amelioration of the Condition of the Wounded and Sick in Armies in the Field* defined one category of victims, i.e. those wounded in a land war, the currently effective four Geneva Conventions of 12 August 1949 provide for four such categories of war victims. They are as follows:

- the wounded and sick in active armies;
- the wounded, sick and shipwrecked from military forces at sea;
- prisoners of war;
- civilians.

The First Geneva Convention includes mainly regulations concerned with the functioning of military medical services during military conflicts. Additional Protocols to Geneva Conventions adopted on 6 June 1977 particularized the principles of protection of military medical services as well as expanding them. It should be mentioned that the subsequent years resulted in the issuance of further documents of International Humanitarian Law regarding medical personnel protection. One such document is the Third Additional Protocol issued on 8 December 2005 that introduced a neutral protective symbol – a red crystal – for military medical services. Irrespective of the martial law evolution initiated by the adoption of the First Geneva Convention in 1864, it needs to be emphasized that the martial law regulations concerned with the functioning of military medical services stipulated in further Geneva Conventions (1949 and Additional Protocols of 1977) constitute an extension of the idea first proposed by Henry Dunant.

Before moving on to discuss the role and tasks of military medical personnel in a field of battle it is necessary to define the status of a combatant. In Poland, customarily, a combatant is an ex-participant of regular military formations or a resistance movement taking an active part *in the fight of companions*<sup>[S2]</sup> [7]. The first definition of an armed combat participant was provided by the Hague Regulations of 1907. The combatants are characterised by having the following traits:

1. they are commanded by a person responsible for his subordinates;
2. they are provided with a fixed distinctive sign recognisable at a distance;
3. they carry arms openly;
4. they conduct their operations in accordance with the laws and customs of war [2].

The above definition was repeated in the First Geneva Convention and the First Additional Protocol. However, as it was explicitly indicated, the combatant definition does not relate to medical or clerical personnel of military forces. The definition clearly states that only combatants may take an active part in military operations. The exclusion of medical personnel from those recognized as combatants comes from the specific and exceptional tasks imposed on them in the time of war. The aim of such a record was to point to the necessity of ensuring legal protection for the medical personnel of military forces. The regulations included in the documents of International Humanitarian Law precisely define the tasks and priorities in the activity of medical services on a battlefield.

Z tego względu Międzynarodowe Prawo Wojenne definiując personel medyczny dokładnie określa rodzaj zadań, które stoją przed nim do wypełnienia.

Zatem określenie *personel medyczny* oznacza osoby wyznaczone przez Strony konfliktu do celów medycznych, takich jak:

- odszukiwanie i zbieranie rannych,
- transportowanie rannych i chorych,
- badanie i leczenie – włącznie z pierwszą pomocą – rannych, chorych i rozbitków,
- zapobieganie chorobom [6].

Ponadto status personelu medycznego przysługuje osobom, które kierują formacjami medycznymi albo zarządzają lub kierują transportem medycznym.

## **2. ZNAKI ROZPOZNAWCZE WOJSKOWYCH SŁUŻB MEDYCZNYCH**

Znaki rozpoznawcze wojskowych formacji medycznych określone przez prawo genewskie, są podstawą skutecznej działalności humanitarnej podczas konfliktów zbrojnych i powinny chronić zarówno ofiary, jak i tych, którzy spieszą im z pomocą. Istota ochrony wojskowych służb medycznych na polu walki polega na łatwości rozpoznania ich przez przeciwnika i nie traktowania jako celu wojskowego. Z tego względu muszą one posiadać odpowiedni znak rozpoznawczo–ochronny. I Konwencja Genewska z 1864 r. wprowadziła dla wojskowych służb medycznych znak czerwonego krzyża na białym tle. Choć znak czerwonego krzyża nie nawiązuje do symboli religijnych, to nie wszystkie kraje go zaakceptowały. Powszechną praktyką jest stosowanie znaku czerwonego krzyża w krajach, w których dominuje religia chrześcijańska. W krajach muzułmańskich odpowiednikiem czerwonego krzyża jest czerwony półksiężyc na białym tle wprowadzony w 1929 r. przez Turcję.

Kolejnym znakiem ochronnym wojskowych służb medycznych jest znak czerwonego lwa i słońca na białym tle. Znak był używany przez służby sanitarne Iranu. Jednak w 1980 r. kraj ten zaprzestał używania tradycyjnego dla siebie znaku i zastosował znak czerwonego półksiężyca, tak jak ma to miejsce we wszystkich krajach muzułmańskich. W dniu 8 grudnia 2005 r. przyjęto kolejny znak tym razem neutralny – czerwonego kryształu, który może zastępować wymienione wcześniej znaki. Należy zaznaczyć, że każdy z tych znaków posiada taki sam status i wynikającą z tego taką samą „siłę oddziaływania ochronnego”.

Zgodnie z ogólnymi zasadami stosowania znaków rozpoznawczych powinien on być tak duży jak jest to konieczne oraz widoczny z wielu kierunków, jeżeli pozwala na to sytuacja taktyczna. W Polsce szczegółowe rozmiary znaku ochronnego w postaci czerwonego krzyża dla Wojsk Lądowych określa *Norma obronna nr NO-02-A032. Emblemata genewski. Maskowanie na lądowych obiektach medycznych*, wprowadzona Decyzją nr 302 Ministra Obrony Narodowej z 17 grudnia 2001 r. w sprawie norm obronnych [Dz. Urz. MON z 2001 r., poz. 186].

### **2.1 POSZANOWANIE WOJSKOWYCH SŁUŻB MEDYCZNYCH**

Poszanowanie wojskowych służb medycznych jest podstawową zasadą określającą sposób ochrony wojskowych służb medycznych na polu walki. Należy zaznaczyć, że wymienione nakazy zawarte w dokumentach prawa humanitarnego są również trwale wpisane do prawa zwyczajowego.

For this reason, when defining medical personnel the International Laws of War also provide a list of the types of tasks that they are obliged to fulfil.

Thus, the term *medical personnel* is used to refer to persons assigned by a party to the conflict for medical purposes, such as:

- the search for and the collection of the wounded;
- transportation of the wounded and the sick;
- diagnosis and treatment – including first-aid treatment – of the wounded, sick and shipwrecked,
- disease prevention [6].

Moreover, the medical personnel status is assigned to persons responsible for the administration of medical units or the operation or administration of medical transports.

## **2. MILITARY MEDICAL SERVICES IDENTIFICATION**

The use of distinctive signs by military medical units as specified by the Geneva law constitute the basis for conducting humanitarian activity during military conflicts and should be enough to protect both the victims as well as those providing them with medical aid. The essence of protection of military medical services in a battlefield relies on facilitating their recognition by the opponent in order to prevent them from being treated as a military target. For this reason, medical units need to be supplied with a proper protective and distinctive sign. The First Geneva Convention of 1864 introduced the symbol of a red cross placed on a white background for military medical services. However, even though the red cross does not refer to religious symbolism, it has not been approved by all countries. The red cross symbol is commonly used in countries where the prevailing religion is Christianity. In Muslim countries, on the other hand, the equivalent of the red cross is a red crescent on a white background introduced in 1929 by Turkey. Another protective sign of military medical services was a symbol of a red lion and a sun on a white background. This symbol was used by Iranian medical services; however, in 1980 this country ceased to use it and instead replaced the symbol with a red crescent as is the practice in all Muslim countries. On 8 December 2005, another symbol was adopted – a neutral red crystal that may be used to replace all the previously mentioned signs. It needs to be highlighted that each of the above symbols has the same status emanating with the same “protective force”.

In accordance with general regulations on the use of distinctive signs, the sign should be large enough to make it visible from various directions if a tactical situation allows for it. In Poland, detailed information concerning the size of the red cross sign for Military Land Forces is specified in the *Defence Standard no. NO-02-A032. Geneva Emblem. Camouflage on the medical facilities* introduced by the Decision no. 302 of the Minister of National Defence of 1 December 2001 on defence standards [Journal of Laws, Ministry of National Defence of 2001, it. 186].

### **2.1 RESPECTING MILITARY MEDICAL SERVICES**

Respecting military medical services is a basic principle defining the manner of protecting military medical services in a battlefield. It should be emphasized that the obligations stipulated in the humanitarian law documents are also permanently inscribed in the regulations of the common law.

Zasada nr 25 wyraźnie wskazuje, że *personel medyczny przydzielony wyłącznie do prowadzenia działalności medycznej powinien być szanowany i chroniony we wszelkich okolicznościach. Traci ochronę, wówczas, gdy poza ramami swojej funkcji humanitarnej, dopuszcza się działań szkodliwych dla nieprzyjaciela* [4]. Taki sam zakres ochrony dotyczy również formacji medycznych (zasada 28) oraz transportów medycznych (zasada 29) [4].

W myśl ww. zasad nie wolno wykorzystywać formacji medycznych oraz środków transportu medycznego do celów niezgodnych z działalnością medyczną. Wszelkie takie działania noszą znamiona wiarołomstwa i uznawane są za zbrodnię wojenną.

Konieczność poszanowania personelu medycznego wynika z jego specjalnego statusu jako członków sił zbrojnych, których zadaniem jest niesienie pomocy rannym i chorym.

Zgodnie z ogólną ideą prawa genewskiego wynikającą z praktyki i potrzeb sił zbrojnych, wojskowy personel medyczny dzieli się na dwie grupy tj. na personel wykonujący wyłącznie zadania medyczne oraz personel, który może być użyty do wykonania pomocniczych zadań medycznych. Podział jest uzasadniony tym, że do wykonywania czynności związanych z wyszukiwaniem i zbieraniem rannych oraz ich transportowaniem nie są wymagane wysokie kwalifikacje. Najczęściej do wykonywania tego rodzaju zadań wystarczy krótkotrwałe przeszkolenie. Natomiast do wykonywania zadań mających na celu ratowanie życia i leczenie chorych wymagane są wysokie kwalifikacje. Zgodnie z Protokołem Dodatkowym I z 1977 r. wojskowy personel medyczny dzieli się na:

- personel stały – wyznaczony do celów medycznych na czas nieokreślony (Art. 8. pkt. k.),
- personel czasowy – przeznaczony do celów medycznych przez czas ograniczony. (Art. 8. pkt. k.) [2].

Do stałego personelu medycznego zalicza się tych członków sił zbrojnych, którzy ze względu na swoje wykształcenie i przygotowanie zawodowe wykonują zawody medyczne.

Do drugiej grupy należą osoby, które nie wykonują zawodów medycznych, ale na podstawie decyzji przełożonych wykonują proste zadania medyczne, jakimi mogą być zbieranie rannych i chorych (noszowi) oraz ich transportowanie (np. kierowcy). W czasie wykonywania zadań medycznych zakres ochrony czasowego personelu medycznego jest taki sam jak personelu stałego. Ważne jest, aby podczas wykonywania czynności medycznych personel czasowy nie wykonywał zadań bojowych, ani nie był do nich zmuszany. Personelu medycznego nie wolno atakować środkami wojskowymi i zawsze należy udzielać mu pomocy przy wykonywaniu powierzonych zadań. Personel medyczny nie może być niepokoiony ani karany za działalność medyczną wykonywaną zgodnie z zasadami sztuki lekarskiej niezależnie od tego na czyją korzyść i w jakich okolicznościach działa. Nie może być w żaden sposób przymuszany do wykonywania zadań medycznych, które naruszają zasady deontologii medycznej. Wykonując czynności medyczne członkowie wojskowego personelu sanitarnego powinni kierować się własną wiedzą medyczną i doświadczeniem. Z konieczności poszanowania wojskowych służb medycznych przez wszystkie walczące strony wynikają również obowiązki i uprawnienia personelu medycznego sił zbrojnych. Ponieważ personel medyczny wykonuje zadania o szczególnym znaczeniu, jego służba na rzecz rannych i chorych jest nie tylko jego obowiązkiem, ale i powinnością wobec każdego potrzebującego pomocy medycznej. Ponadto biorąc pod uwagę fakt, iż są to osoby wykonujące zawód medyczny, a więc zgodnie z Przyrzeczeniem Lekarskim zobowiązane do niesienia pomocy chorym i rannym, nie mogą zrzec się swych szczególnych uprawnień nadanych im przez Międzynarodowe Prawo Humanitarne.

Rule 25 clearly states that “*medical personnel exclusively assigned to medical duties must be respected and protected in all circumstances. They lose their protection if they commit, outside their humanitarian function, acts harmful to the enemy*” [4]. The same scope of protection also applies to medical units (rule 28) and medical transports (rule 29) [4].

According to the above rules medical units and medical means of transport must not be used for purposes that do not comply with medical activity. Any such actions carry the traits of embezzlement and are perceived as a war crime. The obligation of respecting medical personnel stems from its special status as a member of military forces whose task is to provide aid to the wounded and sick.

In accordance with the general concept of the Geneva law resulting from the practices and needs of military forces, military medical personnel may be classified into two groups, i.e. personnel performing only medical tasks, and personnel that can be used to perform auxiliary medical tasks. Such a categorisation is justified by the fact that the activities consisting in the search and collection of the wounded and their transportation do not require high qualifications. Commonly, a short training programme is sufficient to prepare personnel for this type of tasks. The tasks consisting in life-saving activities as well as treatment of the sick, on the other hand, require highly qualified staff. In concord with the First Additional Protocol adopted in 1977, military medical personnel can be divided into:

- permanent personnel – assigned to medical purposes for an indeterminate period (art. 8., pt. k.):
- temporary personnel – devoted to medical purposes for limited periods. (art. 8., pt. k.) [2].

Permanent personnel’ encompasses those military forces members who perform medical professions according to their education and professional training.

The second group consists of persons without a medical profession who, based on the decision of their superiors, are assigned to perform simple medical tasks, such as the collection of the wounded and the sick (stretcher bearers) or their transportation (e.g. drivers). The scope of protection for the temporary medical personnel while performing medical tasks is the same as that regarding permanent personnel. It is important that at the time of carrying out medical activities temporary medical personnel do not execute any military tasks or are coerced to perform them. Medical personnel must not be attacked with the use of military means and should at all times be provided assistance in performing the assigned tasks. Medical personnel must not be disturbed or punished for performing medical activities in accordance with the principles of medical craft, irrespective of aid recipients and circumstances. They must not, in any way, be forced into performing medical tasks that violate the principles of medical deontology. In conducting medical activities the members of military medical personnel should act accordingly to their own medical knowledge and experience.

The requirement to respect military medical services by all parties involved in a conflict also results in certain rights and duties of the military medical personnel. Since medical personnel perform tasks of particular significance, their service for the wounded and sick is their duty with regard to any person requiring medical assistance. Moreover, considering the fact that they are persons performing a medical profession, according to the doctor’s oath they are obliged to provide aid to the sick and wounded and may not relinquish the special rights assigned to them by the provisions of International Humanitarian Law.

Tak więc podjęcie życiowej decyzji o wyborze zawodu medycznego powoduje, że taka osoba nie może w przyszłości zmienić swojego uprzywilejowanego statusu i stać się kombatantem. Równoczesne posiadanie przez jedną osobę statusu kombatanta i statusu personelu medycznego jest niemożliwe, zgodnie z wymienioną zasadą nr 25 Zwyczajowego Prawa Humanitarnego, osoby naruszające tę zasadę tracą swój uprzywilejowany charakter. Niedopuszczalne zatem z punktu widzenia Prawa Humanitarnego jest łączenie funkcji bojowej z medyczną. Z doświadczeń zawodowych autorów wynika, że ta zasada nie zawsze była przestrzegana zwłaszcza w stosunku do żołnierzy o niższych stopniach wojskowych. Łączenie funkcji następowało zapewne w celu ograniczenia kosztów osobowych poprzez tworzenie etatów o nazwie np. strzelec-sanitariusz. Prawdopodobną przyczyną takiego stanu rzeczy była niezajomość podstawowych zasad Międzynarodowego Prawa Humanitarnego przez osoby odpowiedzialne za realizację polityki kadrowej w Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej.

Nierozwiązanym problemem w świetle Prawa Humanitarnego pozostanie kwestia możliwości współistnienia statusu kombatanta i „personelu medycznego”. Pomysł ten można „ureczywistnić” przez wprowadzenie wśród żołnierzy (kombatantów) powszechnej umiejętności udzielania pierwszej pomocy rannym na polu walki, a więc na miejscu gdzie istnieje bardzo duże ryzyko odniesienia ran i urazów oraz istotne jest udzielenie natychmiastowej pomocy po zdarzeniu. W Siłach Zbrojnych RP podjęto w tym celu działania polegające na przygotowaniu „ratowników przedmedycznych” mających podstawową wiedzę i umiejętności udzielania pierwszej pomocy na polu walki.

Program ten tzw. CLS (*Combat Lifesaver*) ma za zadanie wyszkolenie ratowników przedmedycznych, których działalność na polu walki opiera się na zasadzie samopomocy koleżeńskiej. Dąży się aby w składzie drużyny znajdował się przynajmniej jeden żołnierz przeszkolony w zakresie CLS. Zdaniem autorów ich liczba w strukturach wojskowych nie powinna wynikać z limitów określonych przepisami kadrowymi a raczej potrzebami posiadania umiejętności ratowniczych przez jak największą liczbę żołnierzy. Wyposażenie ratownika przedmedycznego powinno składać się ze standardowego niedużego zestawu medycznego pierwszej pomocy, który swoimi rozmiarami nie utrudniałby żołnierzowi działania na polu walki. Ratownicy CLS nie mogą być chronieni znakami ochronnymi.

### **3. OCHRONA WOJSKOWEGO PERSONELU MEDYCZNEGO**

Personel medyczny tradycyjnie nosi opaskę ze znakiem czerwonego krzyża albo czerwonego półksiężyca na lewym ramieniu. Posiadanie znaku genewskiego przez personel medyczny nie jest jednak obligatoryjne. W niektórych sytuacjach, ze względu na charakter prowadzonej operacji wojskowej zgodnie z decyzją dowódcy, personel medyczny może występować bez znaków ostrzegawczo-ochronnych. W takiej sytuacji pozostaje on bez prawnej ochrony na polu walki. W celu uwiarygodnienia, że noszona opaska ochrania osobę wykonującą zadania medyczne powinna być opatrzona stosowną pieczęcią władz wojskowych. Ponadto powinna być odporna na działanie wody. Personel medyczny nie może nikomu oddawać lub udostępniać znaków ochronnych. Sam fakt przekazania znaków ochronnych kombatantowi w celu zapewnienia mu ochrony byłby aktem wiarołomstwa (popętnienie wrogich działań pod pozorem korzystania z ochrony prawnej np. udawanie statusu niekombatanta – uwaga aut.) a tym samym zbrodnią wojenną. Przykład działań wiarołomnych podaje w swojej pracy *Wojna a prawo międzynarodowe* R. Bierzanek opisując przypadek skazania Hagendorfa przez Amerykański Sąd Wojskowy za ostrzelanie żołnierzy amerykańskich z ambulansu sanitarnego ze znakiem Czerwonego Krzyża [1].

Thus, choosing a medical profession as one's career results in that person being unable to change his or her privileged status in the future so as to become a combatant. It is not possible for one person to have at the same time the status of a combatant and of a medical personnel member. According to rule 25 of the Customary International Humanitarian Law, persons violating this rule are deprived of their privileged character. Therefore, from the point of view of Humanitarian Law the combination of military and medical functions is inadmissible. The authors' professional experience indicates that the above rule has not always been observed, especially in relation to soldiers with a lower military rank. The combination of those functions was presumably applied in order to reduce personnel costs by creating such jobs as e.g. a rifleman-medic. A probable reason for this state of affairs was ignorance of the basic principles of International Humanitarian Law by people responsible for human resources policies in the Military Forces of the Republic of Poland.

An issue that remains unresolved in the light of Humanitarian Law is the possibility of co-existence of the status of a combatant and a "medical personnel member". This idea may be "realized" by implementing among soldiers (combatants) training in the provision of first aid to all the wounded in a battlefield, that is to say, in the place where the risk of suffering wounds and injuries is extremely high and where immediate assistance is required. The Military Forces of the Republic of Poland implemented for this purpose activities aimed at the preparation of "paramedics" equipped in the basic knowledge and skills required in providing first aid in a battlefield.

The objective of the programme, the so-called CLS (*Combat Lifesaver*), is to train paramedics whose main task would be based on mutual aid in a battlefield. The idea is that there is at least one soldier trained within CLS per team. According to the authors of the programme the number of such soldiers in a military structure should not rely on the limits imposed by personnel regulations but rather be based on the need of having as many soldiers as possible with proper rescue skills. The equipment of a paramedic should be comprised of a standard first-aid kit whose size would not impede the soldiers' action in a battlefield. CLS rescuers may not be protected with protective signs.

### **3. THE PROTECTION OF MILITARY MEDICAL PERSONNEL**

Traditionally, medical personnel members wear on their left arm a band with the symbol of a red cross or a red crescent. However, wearing the Geneva sign by medical personnel is not obligatory. In some situations, due to the character of a military operation imposed by a commanding officer, medical personnel may not be equipped in the protective signs. In such a case they become deprived of legal protection on a battlefield.

In order to ensure that a given armband is worn by a person performing medical tasks it should have a proper stamp from the military authorities. Moreover, it should be water resistant. Medical personnel must not render the signs available or hand them over to any person. The deed of handing over protective signs to combatants for their protection would constitute an act of embezzlement (hostile action under the pretence of applying legal protection, e.g. pretending to have a non-combatant status – author's remark), i.e. a war crime. An example of such a deed was described by R. Bierzanek in his work entitled *War vs. International Law* where the author writes about Hagendorf being sentenced by American Martial Court for firing on American soldiers from an ambulance carrying the Red Cross sign [1].

Opaski oprócz funkcji ochronnej pełnią również funkcje informacyjne pozwalając odróżnić personel stały od personelu czasowego. Zgodnie z I Konwencją Genewską personel stały nosi opaski szerokie a czasowy wąskie [2]. Personel czasowy może je nosić tylko podczas wykonywania czynności medycznych. W sytuacjach, gdy personel sanitarny jest szczególnie narażony na niebezpieczeństwo a sytuacja taktyczna na to pozwala, zgodnie z zaleceniami zawartymi w Załączniku I do Protokołu Dodatkowego I powinien zostać wyposażony w nakrycie głowy i odzież ze znakiem rozpoznawczym. W celu ułatwienia rozpoznania personelu sanitarnego znak powinien pokrywać największą część powierzchni ciała osoby. Oprócz zewnętrznych oznak służb medycznych personel sanitarny, podobnie jak każdy żołnierz, powinien posiadać kartę tożsamości. Zgodnie z art. 40 I Konwencji Genewskiej karty te powinny zawierać podstawowe informacje o jej posiadaczu jak: imię i nazwisko, datę rodzenia, stopień wojskowy i numer legitymacji. Karty dla stałego personelu medycznego powinny być jednolite dla całych sił zbrojnych i opatrzone znakiem czerwonego krzyża. Obecnie ze względu na nowe standardy opracowywania wojskowych dokumentów tożsamości, karty te wykonywane są z tworzywa sztucznego. Szczegółowe zasady wydawania kart oraz ich wielkość i kolor oraz sposób ewidencji określa *Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z dnia 4 lipca 2003 r. w sprawie kart i tabliczek tożsamości* (D. U. z dn. 4. 07. 2003 r., Nr 133, poz. 1240).

### **3.1 OZNACZANIE ŚRODKÓW TRANSPORTU MEDYCZNEGO**

Do przewozu rannych i chorych mogą być wykorzystywane trzy podstawowe rodzaje środków transportu: lądowy, lotniczy oraz wodny. Każdy sprzęt służący do transportu medycznego podlega ochronie. Sprzęt ten powinien być oznakowany znakiem rozpoznawczym określonym w Konwencjach Genewskich. Podobnie jak w przypadku personelu medycznego nie istnieje obowiązek oznaczania środków transportu medycznego znakami rozpoznawczymi. Praktyka wojenna wskazuje jednak, że takie oznaczenie jest ważne dla ochrony życia i zdrowia transportowanych rannych i chorych. Sprzęt transportu medycznego nie może być używany do działań na szkodę nieprzyjaciela. Szczególnie dotyczy to sanitarnych statków powietrznych, które nie mogą być wykorzystywane do prowadzenia rozpoznania, przewozu żołnierzy i zaopatrzenia oraz sprzętu bojowego. Gdyby wystąpiła jednak konieczność wykorzystania środków transportu medycznego do innych zadań niż sanitarne, to może on zostać użyty pod warunkiem zakrycia znaków rozpoznawczych. Środki transportu sanitarnego nie mogą być uzbrojone, jednak na ich pokładach może znajdować się broń odebrana rannym, którą po dostarczeniu rannych do punktów opatrunkowych, należy przekazać właściwym służbom wojskowym.

### **3.2 TRANSPORT LOTNICZY**

Statki powietrzne wojskowego transportu sanitarnego również powinny być oznaczone znakiem rozpoznawczym. Konwencje Genewskie z 1949 r. zalecają, aby powietrzne środki transportu medycznego były oznakowane znakiem rozpoznawczym umieszczonym na górnej i dolnej powierzchni płatów oraz na bokach kadłuba w pobliżu znaków przynależności państwowej. Przyjęte rozwiązanie ze względu na właściwości sprzętu lotniczego (duża prędkość lotu) nie sprzyja łatwemu rozpoznaniu oraz zidentyfikowaniu samolotu lub śmigłowca zwłaszcza z dużej odległości i zapewnieniu mu ochrony należącej środkom transportu medycznego.

Apart from the protective function the armbands also serve an informative role as they allow to distinguish permanent personnel from temporary staff. In accordance with the First Geneva Convention permanent personnel wear broad bands whereas temporary personnel wear their narrow versions [2]. Temporary personnel may wear the bands only while performing medical activities. In situations where medical personnel are particularly exposed to danger and when the tactical situation is favourable, according to the recommendations enlisted in Appendix I to the First Additional Protocol, they should be provided with headgear and clothes with the recognisable sign. In order to make it easy to distinguish medical personnel the sign should cover as large an area on a person's body as possible.

Besides external symbols, each member of medical personnel, like any soldier, should have an identity card. Following the provisions of Art. 40 of the First Geneva Convention, such cards should provide basic data concerning their owners, such as: name and surname, date of birth, military rank and ID number. The cards of permanent medical staff should be the same for the entire military forces and have a symbol of the red cross. Currently, due to new standards concerning military identity documents the cards are made of plastic. Detailed regulations concerning the issuance of cards as well as their size, colour and registration are specified by the *Regulation of the Minister of National Defence as of 4 July 2003 on identity cards and plates* (Journal of Laws of 4 July 2003, No. 133, it. 1240).

### **3.1 MARKING OF MEDICAL MEANS OF TRANSPORT**

Transportation of the wounded and the sick may be carried out with the use of three basic types of transport: by land, by air and by water. Any equipment used for medical transport is protected. Such equipment should be marked with the distinctive sign defined by the Geneva Convention. As is the case with medical personnel, there is no obligation to label the means of medical transport with distinctive signs. However, martial practice shows that such marking is important for the protection of the life and health of the wounded and sick in transit. Medical transportation equipment may not be used in acts to the detriment of the enemy. This concerns in particular medical aircraft that must not be used for the purpose of reconnaissance, transportation of soldiers, supplies and combat equipment. However, in a situation when it is necessary to use the means of medical transport for other tasks, it is possible on condition that the distinctive signs are removed. Vehicles used for medical transports must not be armed; however, they may carry the arms of the wounded which, after delivering the wounded to their destinations, must be handed over to the proper military services.

### **3.2 AIR TRANSPORT**

Military aircraft used for medical transport also should be marked with the distinctive sign. Geneva Conventions from 1949 recommend that the symbols are placed on the upper and lower surfaces of the wing panels[s3] as well as on the sides of the fuselage near to national identification symbols. Due to aircraft properties (especially their high speed) the adopted solution does not guarantee easy identification at large distances or ensure the proper protection of a plane or a helicopter - a fact that is further complicated by the capability of modern surveillance and weapons systems to both detect and subsequently shoot down an aircraft beyond that which is visible to the human eye.

Nowoczesne środki rozpoznania i niszczenia celów powietrznych umożliwiają wykrycie i zestrzelenie obiektu w dużej odległości, poza zasięgiem rozpoznania wzrokowego. Rozwiązania prawne przyjęte w Protokole Dodatkowym I z 1977 r. wzmocniły zakres możliwości identyfikacji środków transportu sanitarnego poprzez zastosowanie sygnałów rozpoznawczych. W zakresie rozpoznania wzrokowego ww. sprzęt sanitarny może zostać wyposażony w sygnał świetlny w postaci niebieskiego światła błyskowego. Parametry techniczne błysku określa Art. 6 Załącznika do Protokołu Dodatkowego I. Innym środkiem przewidzianym w PD I jest sygnał radiowy emitowany przez statek powietrzny składający się z przekazu radiotelefonicznego lub radiotelegraficznego poprzedzonego sygnałem pierwszeństwa określający m. in. sygnał wywoławczy i parametry lotu. Kolejnym elementem ochronnym jest zastosowanie systemu radaru wtórnego dozoru, pozwalającego na zidentyfikowanie przelatującego statku powietrzego, jako jednostki sanitarnej. Protokół Dodatkowy I przewiduje możliwość wezwania przez nieprzyjaciela do lądowania powietrznych statków sanitarnych w czasie, gdy przelatują nad kontrolowaną przez niego strefą i przeprowadzenia na ich pokładzie kontroli. Celem takich działań jest upewnienie się, że środki transportu lotniczego wykorzystywane są zgodnie z przeznaczeniem. Kontrola powinna zostać prowadzona szybko i sprawnie a ranni podczas jej trwania nie powinni być wyładowywani z pokładu. W przypadku stwierdzenia naruszenia zasad wykorzystywania sprzętu niezgodnie z przeznaczeniem medycznym podlega on zajęciu [2].

### **3.3 TRANSPORT WODNY**

W odniesieniu do statków medycznych sposób ich ochrony jest podobny, jak lotniczych środków transportu sanitarnego. Podstawę ochrony stanowią znaki rozpoznawcze, które powinny pokrywać największą część powierzchni burt statku (od linii wodnej do krawędzi burty) oraz pokładów i odróżniać się od swego tła. Dodatkowo statki szpitalne w celu wzmocnienia ich ochrony mogą stosować nieobowiązkowe sygnały rozpoznawcze podobnie, jak to ma miejsce w odniesieniu do statków powietrznych. Ponadto zaleca się, aby posiadały one urządzenia do emitowania sygnałów podwodnych, umożliwiających identyfikację przez okręty podwodne [6]. Podobnie jak w przypadku transportu powietrzego statki szpitalne mogą zostać poddane kontroli przez okręty przeciwnika.

### **3.4 URZĄDZENIA MEDYCZNE**

W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy personelu oraz ochrony rannych i chorych należy zadbać o oznaczenie urządzeń medycznych. Określenie „urządzenie medyczne” w polskiej terminologii wojskowej oznacza siły i środki wojskowych służb medycznych rozmieszczone w terenie w celu wypełnienia zadań medycznych. Pod tym określeniem należy rozumieć punkty opatrunkowe oraz szpitale polowe wraz z niezbędną infrastrukturą. Wojskowe urządzenia medyczne powinny być oznakowane znakiem ochronnym. Szczególnego znaczenia nabiera problem rozpoznania znaku ochronnego w nocy oraz w warunkach złej widoczności. Protokół Dodatkowy I uszczegółowił tę kwestię w załączniku I określając, że znak ochronny powinien być dobrze oświetlony lub mieć postać znaku świetlnego. Ponadto powinien być wykonany z materiału, który zapewni możliwość jego wykrycia za pomocą technicznych środków rozpoznania.

The legal solutions adopted by the First Additional Protocol in 1977 enhanced the scope of medical transport identification by the implementation of distinctive signals, such as a blue flashing light. Technical parameters of the flashing light are specified in art. 6 of the Appendix to the First Additional Protocol. Another measure provided for in AP I is a radio signal emitted by aircraft consisting of a radio-telephone or radiotelegraphic transfer preceded by a priority signal determining e.g. the call sign and flight parameters. Another protective element is the secondary surveillance radar system allowing the identification of an aircraft as a medical unit.

The First Additional Protocol provides for the possibility of the enemy calling medical aircraft to land as they fly over a zone remaining under their control in order to carry out an onboard inspection. The aim of such an operation is to make sure that the aircraft is being used for the specified purpose. The inspection should be conducted with haste [5] and during that time the wounded should remain aboard. In the case when the equipment is not used for medical purposes it can be seized [2].

### **3.3 WATER TRANSPORT**

The protection of medical vessels is similar to the protection of aircraft, namely it is based on the use of distinctive signs that should cover the largest possible areas of the ships' sides (from the water line to the edge) and decks, and be distinguishable from the background on which they are placed. Additionally, to enhance the protection, hospital ships may use optional signals, as is the case with aircraft. Moreover, it is recommended that they are equipped with devices emitting underwater signals enabling their identification by submarines [6]. As with air transportation, hospital ships may be subjected to inspection by the opponent's ships.

### **3.4 MEDICAL FACILITIES**

In order to ensure the safety of medical personnel and the protection of the wounded and sick, it is also necessary to provide the proper markings for medical facilities. The term "medical facility" used in Polish military terminology stands for the means and forces of military medical services positioned in the field with the purpose of performing medical tasks. This term encompasses medical care points and field hospitals together with their infrastructure. Military medical facilities should be supplied with a protective sign. What poses a serious problem however is the difficulty of recognising the sign at night, and in conditions of poor visibility. The First Additional Protocol provided a detailed recommendation with regard to this issue by stipulating in Appendix I that the protective signs should be well illuminated or take the form of a light sign.

Dodatkowym sygnałem mogącym wskazać, że dany obiekt jest urządzeniem medycznym podlegającym ochronie jest umieszczenie na nim napisu SZPITAL lub HOSPITAL. Czynnikiem zwiększającym ochronę wojskowych urządzeń medycznych jest ich odpowiednie usytuowanie w terenie w taki sposób, aby znajdowały się w dużym oddaleniu od celów wojskowych.

#### **4. NEUTRALNOŚĆ WOJSKOWYCH SŁUŻB MEDYCZNYCH**

Członkowie wojskowego personelu medycznego na polu walki zachowują neutralność. Oznacza to, że sami nie mogą brać czynnego udziału w walce, chociaż mogą znajdować się na terenie, na którym toczą się walki. Ze względu na zadania humanitarne, jakie ma do spełnienia personel medyczny, ma on obowiązek powstrzymywania się od czynnego udziału w walce. Może jednak posiadać broń osobistą, której użycie może być uzasadnione warunkami obrony koniecznej [I KG art. 22]. Posiadana broń może zostać użyta do obrony osobistej, do obrony rannych i chorych oraz do wymuszenia porządku i dyscypliny wśród rannych i chorych. Chociaż wojskowy personel medyczny zobowiązany jest do powstrzymywania się od wszelkiej działalności militarnej to urządzenia medyczne, szpitale polowe oraz transporty rannych i chorych mogą być ochraniające przez uzbrojonych wartowników ze względu na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa służbom medycznym oraz rannym i chorym.

##### **4.1 BEZSTRONNOŚĆ WOJSKOWYCH SŁUŻB MEDYCZNYCH**

Bezstronność jest istotą działalności medycznej na polu walki, gdyż personel medyczny obowiązany jest do udzielania pomocy wszystkim potrzebującym, w tym rannym i chorym kombatantom przeciwnika. Zasada bezstronności nakazuje objąć opieką medyczną wszystkich rannych i chorych zebranych z pola walki bez względu na kraj, z którego pochodzą. Zasada ta akcentowana szczególnie przez H. Dunanta stanowi obecnie podstawę działalności humanitarnej na wojnie i pomocy ofiarom konfliktów zbrojnych.

Aby personel medyczny mógł wykonywać swoje obowiązki zgodnie z zasadą bezstronności, musi być wyposażony w stosowne uprawnienia. Tak, więc za działalność o charakterze medycznym nikt nie może być karany lub niepokojony o ile wykonywana jest ona zgodnie z zasadami sztuki i wiedzy medycznej. Personel medyczny zobowiązany jest do bezwzględnego poszanowania życia ludzkiego i dlatego musi powstrzymać się od jakiegokolwiek dyskryminacji na tle religijnym, rasowym, narodowym, politycznym lub społecznym podczas ratowania ludzkiego życia. Osoby nie należące do służb sanitarnych (kombatanci) nie mogą wydawać poleceń lub stosować innych sposobów wpływania na członków personelu medycznego w określaniu pierwszeństwa lub kolejności udzielania pomocy poszkodowanym.

Przedstawione w niniejszym artykule zasady funkcjonowania wojskowych służb medycznych w świetle Konwencji Genewskich, odnoszą się w zasadzie do sytuacji mających miejsce w konfliktach międzynarodowych. W przypadku konfliktów wewnętrznych sytuacja prawna służb medycznych zmienia się w niewielkim zakresie. W takich okolicznościach należy przestrzegać podstawowej zasady określającej status służb medycznych, która stanowi, że personel medyczny zarówno wojskowy jak i cywilny powinien być szanowania i chroniony w każdej sytuacji.

Moreover they should be made from materials ensuring their detection with the use of technical reconnaissance devices. A supplementary signal indicating that a given facility serves medical purposes and is legally protected may consist in marking it with an inscription: SZPITAL or HOSPITAL.

A factor contributing to increased protection of military medical facilities is their proper positioning in the field, at a large distance from military targets.

#### **4. NEUTRALITY OF MILITARY MEDICAL SERVICES**

Members of military medical personnel present in a battlefield maintain their neutrality. This means that they themselves must not actively participate in battles although they may be present in the area where such battles take place. Due to the humanitarian tasks assigned to medical personnel it is their obligation to refrain from taking an active part in combat. Still, they are allowed to carry personal arms the use of which must be justifiable by the conditions of necessary defence [I GC, art. 22]. Such weapons may be used for personal protection, for the protection of the wounded and sick as well as for imposing order and discipline among them. Although military medical personnel are obliged to refrain from any military operations the medical facilities, field hospitals and transports of the wounded and sick may be guarded by armed sentries in order to ensure the safety of medical services and the sick and wounded.

##### **4.1 IMPARTIALITY OF MILITARY MEDICAL SERVICES**

Impartiality constitutes the essence of medical activity in a battlefield, as medical personnel are obliged to aid all the needy, including the wounded and sick combatants from the hostile army. The principle of impartiality demands ensuring medical care to all the wounded and sick collected from a battlefield, irrespective of their origin. This principle was especially emphasized by H. Dunant and at present it is seen as the basis of humanitarian activity at the time of war as well as aid offered to the victims of military conflicts.

In order for medical personnel to be able to perform their duties in accordance with the principle of impartiality they need to be guaranteed proper rights. One such right is that no one may be punished or disturbed for performing medical activity as far as they do it in concord with the principles of medical craft and knowledge. Medical personnel are obliged to absolute respect of human life and are required to restrain from any religious, racial, national, political or social prejudices while performing life-saving operations. Persons that do not belong to medical services (combatants) must not give orders or in any way exert influence on medical personnel members concerning the establishment of priorities or order in the provision of medical aid.

The rules defining the function of military medical services presented in this article in the context of the Geneva Convention, in principle refer to situations occurring during international conflicts. In the case of internal conflicts the legal situation of medical services is slightly different. In such circumstances it is necessary to observe the fundamental rule defining the status of medical services which states that medical personnel, both military and civilian, should be respected and protected at all times.

Obecne czasy generują nowe wyzwania przed Międzynarodowym Prawem Humanitarnym ze względu na zmieniający się charakter konfliktów zbrojnych, które w większości rzadko są konfliktami międzynarodowymi a raczej umiędzynarodowionymi konfliktami wewnętrznymi. Znaczną część współczesnych działań militarnych stanowią operacje pokojowe i misje stabilizacyjne, gdzie wojskowe służby medyczne oprócz ochrony sanitarnej własnych sił zbrojnych muszą podejmować działania lecznicze i profilaktyczne na rzecz miejscowej ludności. Działania te niewątpliwie mają na celu zyskanie przychylności ludności terenu, na którym prowadzona jest operacja wojskowa i poprawienie wizerunku państwa zaangażowanego w działania militarne. W tej sytuacji niepomiernie wzrasta rola wojskowych służb medycznych.

Innym problemem dzisiejszych czasów są konflikty asymetryczne, w których celem ataku często są służby medyczne, ze względu na łatwość rozpoznania, oraz możliwość pozbawienia wojsk opieki sanitarnej. Z tego względu paradoksem współczesności jest zakrywanie znaków rozpoznawczych wojskowych służb sanitarnych w celu ochrony przed atakiem. Być może w najbliższej przyszłości problematyka funkcjonowania wojskowych służb medycznych w warunkach konfliktu asymetrycznego zdominuje kierunki ewolucji Międzynarodowego Prawa Humanitarnego.

The present times generate new challenges for the International Humanitarian Law due to the changing character of military conflicts, which seldom may be recognised as international ones but rather as internationalized internal conflicts. A significant part of contemporary military activities consists in peace operations and stabilization missions in which military medical services, besides providing medical aid to their own military forces, are required to undertake treatment and preventative measures directed at the local population. Undoubtedly such activities are carried out with the purpose of winning the favour of the people on whose territory a given military operation is conducted as well as improving the image of the country involved in it. In such a situation the role of military medical services significantly grows.

Another problem of contemporary times consists in asymmetric warfare in which medical services often are used as targets due to the ease of their recognition and the possibility of depriving armies of medical care. Paradoxically, this results in covering the distinctive signs of military medical services with the purpose of ensuring them proper protection against attacks. Perhaps in the near future the problematique of the functioning of military medical services during asymmetric conflicts will dominate the directions of evolution of the International Humanitarian Law.

#### **LITERATURA/BIBLIOGRAPHY**

1. Bierzanek R.; „Wojna a prawo międzynarodowe”, wyd. MON, Warszawa 1982,
2. Flemming M. (red.); „Międzynarodowe Prawo Konfliktów Zbrojnych, Zbiór dokumentów”, wyd. Artekon, Warszawa 1991,
3. Grzelak E. (oprac.); „Chirurgia praktyczna Rafała Józefa Czerniakowskiego”, wyd. MON, Warszawa 1969,
4. Jean-Marie Henckaerts; „Studium poświęcone zwyczajowemu międzynarodowemu prawu humanitarnemu: wkład w zrozumienie i poszanowanie zasad dotyczących konfliktu zbrojnego”, Ośrodek Upowszechniania MPH przy ZG PCK, Warszawa 2006,
5. Majewski A.; „Wojna ludzie i medycyna”, Wydawnictwo Lubelskie, Lublin 1972,
6. Mulinem F.; „Podręcznik prawa wojennego dla sił zbrojnych”, wyd. Bellona, Warszawa 1998,
7. Słownik języka polskiego, wyd. PWN, Warszawa 1978,
8. Wojtkowiak S., J. Talar, Majewski W., Piotrowski F.; „Zarys dziejów wojskowej służby zdrowia”, wyd. MON, Warszawa 1974.

#### **Skróty**

1. I KG - Konwencja o polepszeniu losu rannych i chorych w armiach czynnych (I konwencja genewska),
2. PD I - Protokół dodatkowy do konwencji genewskich z 12 sierpnia 1949 r. dotyczący ochrony ofiar międzynarodowych konfliktów zbrojnych (protokół I).

**dr n. wojsk. Włodzimierz Leszczyński**

Zakład Edukacji Obronnej i Koordynacji Kształcenia  
Wydział Wojskowo-Lekarski  
Uniwersytet Medyczny w Łodzi  
90-647 Łódź, pl. Hallera 1  
tel. 042 639 33 38, faks 042 639 33 39  
wlodzimierz.leszczynski@umed.lodz.pl

**dr n. wojsk. Wojciech Bieńkowski**

Zakład Edukacji Obronnej i Koordynacji Kształcenia  
Wydział Wojskowo-Lekarski  
Uniwersytet Medyczny w Łodzi  
90-647 Łódź, pl. Hallera 1  
tel. 042 272 51 22  
wojciech.bienkowski@umed.lodz.pl

**mgr Lech Borkowski**

Zakład Edukacji Obronnej i Koordynacji Kształcenia  
Wydział Wojskowo-Lekarski  
Uniwersytet Medyczny w Łodzi  
90-647 Łódź, pl. Hallera 1  
tel. 042 272 51 24  
lech.borkowski@umed.lodz.pl

**prof. dr hab. n. med. Andrzej Buczyński**

Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego  
Wydział Wojskowo-Lekarski  
Uniwersytet Medyczny w Łodzi  
90-752 Łódź, ul. Żeligowskiego 7/9  
tel/fax: 042 639 32 60  
andrzej.buczynski@umed.lodz.pl

# XIV KONFERENCJA POLSKIEGO TOWARZYSTWA MEDYCyny I TECHNIKI HIPERBARYCZNEJ

SOPOT  
17 - 18 LISTOPADA 2012 ROKU

W dniach 17 i 18 listopada 2012 roku po raz kolejny odbyła się Konferencja Naukowa Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej (PTMiTH). To już nasze czternaste konferencyjne spotkanie zorganizowane tradycyjnie w WDW Sopot. Uroczystość inauguracyjną konferencji poprowadził aktualny Prezes Towarzystwa dr inż. Adam Olejnik (Fot. 1.) W czasie inauguracji wręczono doroczne wyróżnienia nadawane przez Towarzystwo za działalność naukową i na rzecz stowarzyszenia. W bieżącym roku nagrodę za osiągnięcia w dziedzinie techniki hiperbarycznej otrzymał **dr hab. inż. Lech Rowiński** z Politechniki Gdańskiej.

W imieniu Towarzystwa nagrodę tę wręczył **Zastępca Dowódcy Marynarki Wojennej wiceadmirał Ryszard Demczuk** (Fot. 2). Natomiast nagrodę za działalność na rzecz towarzystwa otrzymał **Stephen Burke** z Wielkiej Brytanii, który od kilku lat społecznie pełni obowiązki redaktora językowego w czasopiśmie Polish Hyperbaric Research. Tę nagrodę w imieniu Towarzystwa wręczył vice Prezes Zarządu dr hab. inż. Ryszard Kłos (Fot. 3). Oprócz nagród Towarzystwa wręczono też nagrody *Polish Hyperbaric Research* za działalność publikacyjną w roku 2012. Nagrody z rąk redaktora naczelnego PHR dr. Med. Piotra Siermontowskiego odebrali pracownicy firmy Sprint S.A. Panowie **Artur Baranowski i Marcin Czepczyński**. Po raz drugi w czasie inauguracji konferencji przewodniczący Kapituły Stypendium Naukowego im. Antoniego Dębskiego dr med. Maciej Konarski ogłosił wyniki konkursu ogłoszonego w roku 2012. Laureatem drugiego konkursu o stypendium został pracownik Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Gdyni Pan **Michał Saniewski**. Pamiątkową statuetkę i dyplom laureatowi konkursu wręczyła wdowa po patronie Pani Halina Dębska, a okolicznościowy czek Prezesi Towarzystwa – Fot. 4 i Fot. 5.



Fot. 1. Prezes PTMiTH dr A. Olejnik podczas inauguracji obrad XIV Konferencji Naukowej PTMiTH, Sopot 2012r.



Fot. 2. Wiceadmiral Ryszard Demczuk wręcza nagrodę dla dr hab. inż. Lecha Rowińskiego z Politechniki Gdańskiej z osiągnięcia w dziedzinie techniki hiperbarycznej.



Fot. 3. dr hab. inż. Ryszard Kłós wręcza nagrodę za działalność na rzecz Towarzystwa Stephenowi Burke z Wielkiej Brytanii.



Fot. 4. Pani Halina Dębska wręcza pamiątkową statuetkę laureatowi konkursu o Stypendium Naukowe im. Antoniego Dębskiego.



Fot. 5. Prezesi PTMiTH wręczają okolicznościowy czek stypendyście z roku 2012 Panu Michałowi Saniewskiemu z IMiGW Gdynia.

Po wręczeniu nagród nastąpiło otwarcie obrad konferencji przez Zastępcę Dowódcy Marynarki Wojennej *Wiceadmirala Ryszarda Demczuka*, po którym wykład inauguracyjny na temat „*Nowy wymiar turystyki – hotele podwodne*” wygłosił *dr hab. inż. Lech Rowiński*.

Pierwszą sesję plenarną poświęconą medycynie podwodnej otworzył wykład *prof. Kazimierza Dęgi* poświęcony pamięci zmarłego w 2012 roku ***kmdr prof. dr hab. med. Tadeusza Doboszyńskiego*** – twórcy polskiej medycyny podwodnej. Następnie wykłady wygłosili profesorowie: *Bronisław K. Głód* z Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach na temat „*Zmiany całkowitego potencjału antyoksydacyjnego podczas hipermetabolizmu*”, *Romuald Olszański* z Wojskowego Instytutu Medycznego na temat: „*Przypadek leiszmaniozy leczony hiperbarią tlenową*” oraz *Paweł Zarzycki* z Politechniki Koszalińskiej na temat: „*Wybrane problemy*”

*toksykologiczne związane z pracami podwodnymi oraz ekosystemami wód powierzchniowych”.*

Druga sesja referatowa poświęcona była problemom techniki podwodnej, swoje referaty wygłosili przedstawiciele Zakładu Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej oraz Zakładu Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie. W referatach omawiano problematykę planowania nurkowań z aparatami o zamkniętym i półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego, zasady doboru zaworów bezpieczeństwa oraz techniczne wymagania realizacji prac podwodnych z wykorzystaniem technologii nurkowań saturowanych.

Przedstawiono także analizę europejskiego rynku producentów podwodnych pojazdów bezzałogowych.



Fot. 6. Wiceadmirał Ryszard Demczuk prowadzi obradę pierwszej sesji plenarnej podczas XIV Konferencji Naukowej PTMiTH, Sopot 2012r.

W kolejnej sesji poświęconej ponownie medycynie podwodnej referaty wygłosili zespoły interdyscyplinarne i międzyuczelniane.



Fot. 7. Prof. Kazimierz Dęga podczas wykładu poświęconemu prof. T. Doboszyńskiemu.

Poruszano szeroki aspekt problemów od wpływu ekspozycji hiperbarycznej na organizm nurka, poprzez ocenę ryzyka wystąpienia incydentu dekompresyjnego po długotrwałych ekspozycjach powietrznych na głębokościach do 15 metrów, do oceny

zasadności stosowania metody Dopplera w analizie zagrożenia chorobą dekompresyjną. Czwarta sesja referatowa poświęcona była problematyce Morza Bałtyckiego.

Jako pierwszy w tej sesji swój referat wygłosił laureat konkursu o Stypendium Naukowe im. Antoniego Dębskiego *Michał Saniewski* na temat: „Wykorzystanie roślinności podwodnej do oceny stanu Morza Bałtyckiego”.

Kolejne referaty w tej sesji poświęcone były podwodnym badaniom archeologicznym oraz omawianiem wyników badań miejsc zatopienia amunicji chemicznej po Drugiej Wojnie Światowej w Bałtyku i zasadom organizowania zabezpieczenia medycznego międzynarodowych operacji morskich. Czwarta sesja referatowa zakończyła obrady konferencji w dniu 17 listopada.

W niedzielę 18 listopada odbyły się trzy sesje plenarne poświęcone bezpieczeństwu na wodzie oraz technice i medycynie podwodnej. Wygłoszono szereg ciekawych i interesujących referatów przygotowanych przez przedstawicieli różnych środowisk naukowych na przykład z Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, organizację Ratownictwo Wodne Rzeczypospolitej, Akademię Wychowania Fizycznego w Białej Podlaskiej, Collegium Medicum Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Centrum Techniki Morskiej S.A. w Gdyni oraz innych jednostek badawczych i akademickich. Po zakończeniu obrad konferencji odbyło się doroczne zebranie członków PTMiTH podczas którego Prezes dr Adam Olejnik przedstawił roczne sprawozdanie z działalności zarządu a Redaktor Naczelny PHR dr Piotr Siermontowski omówił działalność wydawniczą towarzystwa w roku 2012.



Fot. 8. Profesor Bronisław K. Głód podczas wykładu.



Fot. 9. Sala obrad w czasie sesji plenarnej XIV Konferencji Naukowej PTMiTH Sopot 2012.



**ISSN 1734 - 7009**