

**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 (Pycckuĭ)**

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. poczt. 18  
fax. +/48/ 58 626 22 30

# POLISH HYPERBARIC RESEARCH

**ISSN 1734 – 7009**

**EISSN 2084 – 0535**

Pismo indeksowane w bazie danych o zawartości polskich czasopism  
naukowo – technicznych BazTech: [www.baztech.icm.edu.pl](http://www.baztech.icm.edu.pl)  
oraz w Index Copernicus: [www.indexcopernicus.com](http://www.indexcopernicus.com)



Wersja elektroniczna czasopisma redagowana dzięki dotacji Ministerstwa Nauki.



**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), prof. dr hab. med. Kazimierz Dęga, 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. Zbigniew Jethon, 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 hab. Arvils Lielvards (Łotwa), dr hab. med. Joanna Łaszczyńska, prof. Sam Mesiano (USA), prof. dr hab. Igor Murawow (Ukraina), 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**

2012 NUMER 4 (41)

**SPIS TREŚCI**



**MEDYCYNĄ**

**M. Konarski**

*Narkoza Azotowa. .... str. 7*

**P. Siermontowski, W. Kozłowski, A. Pedrycz, K. Krefft**

*Miejscowy uraz ciśnieniowy płuc - wstępne wnioski z badań doświadczalnych. .... str. 21*

**TECHNIKA**

**Z. Talaska**

*Analiza europejskiego rynku autonomicznych pojazdów podwodnych. Część 1..... str. 43*

**P. Pozański, M. Grabowski**

*Oddziaływanie fal ciśnieniowych na nurków w aspekcie systemów detekcji i przeciwdziałania zagrożeniom podwodnym. .... str. 69*

**MISCELANEA**

**M. Dąbrowiecka, B. Morawiec, Z. Dąbrowiecki, R. Olszański**

*Analiza zagrożenia epidemiologicznego oraz kontrola punktów krytycznych na okrętach Marynarki Wojennej RP. .... str. 101*

**A. Pedrycz, P. Siermontowski, G. Lonc, M. Tomasiak**

*Zewnętrzna droga indukcji sygnału do apoptozy - Receptory śmierci. .... str. 147*

**P. Różański**

*Przygotowanie studentów AWF w Białej Podlaskiej specjalności wychowanie fizyczne w służbach mundurowych do działań interwencyjnych na małych głębokościach. .... str. 159*

**POLISH  
HYPERBARIC  
RESEARCH**

2012 NUMBER 4 (41)

**LIST OF CONTENT**



**MEDICINE**

- M. Konarski**  
*Nitrogen Narcosis. .... p. 7*
- P. Siermontowski, W. Kozłowski, A. Pedrycz, K. Krefft**  
*Local pulmonary barotrauma – initial conclusions from an experimental research p. 21*

**TECHNOLOGY**

- Z. Talaska**  
*An analysis of the European market of autonomus underwater vehicles. Part 1..... p. 43*
- P. Pozański, M. Grabowski**  
*Effects of pressure waves on divers with respect to detection systems and underwater hazard countermeasures..... p. 69*

**MISCELLANEOUS**

- M. Dąbrowiecka, B. Morawiec, Z. Dąbrowiecki, R. Olszański**  
*Epidemiological surveillance and Hazard Analysis and Critical Control Points on the ships' of Poland'sish Naval Forces. .... p. 101*
- A. Pedrycz, P. Siermontowski, G. Lonc, M. Tomasiak**  
*Death receptors – extrinsic pathway of apoptosis. .... p. 147*
- P. Róžański**  
*Training of Biała Podlaska AWF students specialising in physical education for uniformed services for intervention in shallow waters. .... p. 159*



## Maciej Konarski

**kmdr por. dr n. med. Maciej Konarski**

Wojskowy Instytut Medyczny, Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej  
81-103 Gdynia 3, ul. kmdr J. Grudzińskiego 4  
tel./fax: (0-58) 6262405  
e-mail: mkonarski@op.pl

## **NARKOZA AZOTOWA**

*W artykule, na przykładzie azotu, przedstawiono niektóre z problemów, związanych z oddziaływaniem na organizm w warunkach hiperbarycznych gazów obojętnych w normobarii. Ekspozycja powietrzna pod ciśnieniem przewyższającym 4 ATA lub zanurzenie na głębokość większą, niż 30 msw, skutkuje zależnym od aktualnie oddziałującego ppN<sub>2</sub> zespołem objawów, określanym jako narkoza azotowa.*

*W pracy opisano etiologię i charakterystykę kliniczną narkozy azotowej oraz zasady postępowania, minimalizujące ryzyko zaistnienia niebezpiecznych dla zdrowia i życia nurka następstw, związanych z zależnym od ciśnienia narkotycznym oddziaływaniem azotu na organizm.*

**Słowa kluczowe:** nurkowanie, nurek, narkoza azotowa, bezpieczeństwo nurkowania.

## **NITROGEN NARCOSIS**

*The article describes some of the problems associated with the influence of inert gases in hyperbaric conditions on the organism. Air exposure under pressure exceeding 4 ATA, or diving to the depth greater than 30 msw, results in a syndrome dependent on current influence of ppN<sub>2</sub>, referred to as nitrogen narcosis.*

*The paper presents the aetiology and clinical characteristics of nitrogen narcosis, as well as rules of conduct aimed at minimizing the risk to a diver's health and life, connected with the narcotic influence of nitrogen on the organism dependent on a raising pressure.*

**Keywords:** diving, diver, nitrogen narcosis, diving safety.

## WSTĘP

Narkoza azotowa, zwana także ze względu na charakterystyczny obraz kliniczny „pijaństwem głębin” albo „ekstazą głębin” [8], jest klasycznym przykładem na narkotyczne oddziaływanie w warunkach hiperbarycznych gazów, uznawanych w normobarii za obojętne. W warunkach ciśnienia atmosferycznego, tzw. gazy obojętne (inertne) wchodzi w reakcje i/lub oddziałują z poszczególnymi elementami/strukturami w organizmie tylko w niewielkim stopniu. Jednakże ten stan rzeczy zmienia się, kiedy mieszanina gazowa jest wdychana pod ciśnieniem. Dążąc do ustalenia nowego stanu równowagi pod zwiększonym ciśnieniem otoczenia, inertna składowa gazowa ulega rozprzestrzenieniu w organizmie, co zachodzi drogą krwi: z płuc, poprzez płucne naczynia żyłne, serce, dalej poprzez naczynia tętnicze jest dystrybuowana do wszystkich tkanek organizmu.

Specyficzne właściwości fizyczne gazów obojętnych wywierają wpływ zarówno na ich rozprzestrzenianie się w organizmie, jak i rozpuszczalność w tkankach. Szybkość, z jaką konkretny gaz inertny rozprzestrzenia się w organizmie jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego jego masy cząsteczkowej, co wynika z prawa Grahama – stąd gazy o małej masie cząsteczkowej rozprzestrzeniają się szybciej, niż te o masie większej.

Podstawowe właściwości gazów obojętnych, powszechnie używanych jako składowe mieszanin oddechowych oraz tlenu zebrano w tabeli 1.

Tabela 1.

Podstawowe właściwości gazów wykorzystywanych w mieszaninach oddechowych do celów nurkowych, według [4] (zmodyfikowane).

<b>Właściwości fizyczne:</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>He</b>	<b>H<sub>2</sub></b>
Masa cząsteczkowa (atomowa)	32	28	4	2
Gęstość [g/dm <sup>3</sup> ]	1,43	1,25	0,18	0,09
Rozpuszczalność:				
37°C H <sub>2</sub> O [ml/cm <sup>3</sup> ]	0,022	0,013	0,009	0,017
37°C olej [ml/cm <sup>3</sup> ]	0,112	0,067	0,015	0,036
Współczynnik podziału olej/woda	5,0	5,2	1,7	2,1

Podczas oddychania mieszaniną (w tym powietrzem) pod ciśnieniem, gazy obojętne wykazują szczególne powinowactwo do struktur bogatych w substancje lipidowe, a szczególnie struktur układu nerwowego. Od strony klinicznej przejawia się to efektem narkotycznym, a tłumaczone jest (podobnie, jak to ma miejsce w przypadku niektórych anestetyków) zależnością działania narkotycznego od dobrej rozpuszczalności w tłuszczach – koncepcja ta znana jest jako teoria Meyera-Overtona [18]. Aktualnie przyjmuje się, że siła działania narkotycznego poszczególnych gazów obojętnych koreluje zarówno z ich masą cząsteczkową, jak i rozpuszczalnością w tłuszczach [4].

## AZOT – WŁAŚCIWOŚCI

Z racji rozpowszechnienia w atmosferze (ok. 78% jej masy) najczęściej wykorzystywanym inertnym gazem nurkowym jest azot. Azot występujący w powietrzu jest gazem w stanie wolnym. Cząsteczka azotu o masie 28 zbudowana jest z dwóch atomów (masa atomowa 14); jest to gaz bezbarwny, pozbawiony smaku i zapachu oraz chemicznie obojętny w warunkach normobarycznych.

**INTRODUCTION**

Nitrogen narcosis, also known as “drunkenness of depths” or “depth ecstasy” [8] due to its characteristic clinical picture, is in hyperbaric conditions a classical example of narcotic effect of gases perceived as inert in normobaria. In atmospheric pressure, the so-called inert gases enter into reactions and/or interact with particular elements/structures of an organism only to a small extent. However, this changes when a gas mixture is inhaled under pressure. When attempting to obtain a new state of balance in an increased pressure an inert gas component is distributed throughout an organism via blood: from the lungs, through pulmonary blood vessels, the heart, and further through arterial vessels to all the tissues.

The characteristic physical properties of inert gases have an influence both on their effusion in the organism as well as solubility in tissues. The rate at which a given inert gas is distributed throughout an organism is inversely proportional to the square root of its molecular weight, as explained by Graham’s law – thus, gases with lower molecular weight spread faster than those with a higher molecular weight.

Basic properties of inert gases commonly used as components in breathing mixtures and oxygen are presented in Table 1.

Table 1.

Basic properties of gases used in breathing mixtures for diving purposes according to [4] (modified).

<b>Physical properties:</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>He</b>	<b>H<sub>2</sub></b>
Molecular weight (atomic mass)	32	28	4	2
Density [g/dm <sup>3</sup> ]	1.43	1.25	0.18	0.09
Solubility:				
37°C H <sub>2</sub> O [ml/cm <sup>3</sup> ]	0.022	0.013	0.009	0.017
37°C oil [ml/cm <sup>3</sup> ]	0.112	0.067	0.015	0.036
Coefficient of distribution oil/water	5.0	5.2	1.7	2.1

When breathing a mix of blended gases (including air) under pressure, inert gases show a particular affinity to structures rich in lipid substances, and particularly to the structures of the nervous system. From the clinical point of view this is reflected in a narcotic effect and explained (similarly as in the case of certain anaesthetics) by the relation between the narcotic effect and good solubility in fats – a concept known as Meyer-Overton theory [18]. Currently it is assumed that the intensity of narcotic effect of particular inert gases correlates both with their molecular weight as well as solubility in body lipids [4].

**NITROGEN - PROPERTIES**

Nitrogen is the most commonly used inert diving gas due to its distribution in the atmosphere (ca. 78% of its mass). The nitrogen present in the air is a free state gas. Nitrogen particles have a mass of 28 and are composed of two atoms (atomic mass 14); it is a colourless gas, with no taste or flavour and is chemically inactive in normobaric conditions.

Choć azot jest składnikiem każdego żyjącego organizmu, w odróżnieniu od tlenu nie jest on niezbędny do podtrzymania procesów życiowych. Zasadniczą zaletą azotu, warunkującą jego wykorzystanie w ramach działalności nurkowej jest fakt, iż spełnia on rolę naturalnego „rozcieńczalnika” dla tlenu w powietrzu atmosferycznym; mieszaninę taką można łatwo i tanio sprężyć, uzyskując tym samym czynnik oddechowy użyteczny podczas znakomitej większości realizowanych w świecie nurkowań.

Niestety, niektóre z właściwości azotu limitują możliwości jego wykorzystania podczas głębszych nurkowań, co z praktycznego punktu widzenia stanowi poważną wadę w stosunku do innych gazów obojętnych. Zasadnicze znaczenie ma tutaj fakt, iż jest on 5-krotnie lepiej rozpuszczalny w tłuszczach, niż w wodzie, co w warunkach hiperbarycznych skutkuje efektem narkotycznym: oddziałujący z lipidami błon komórkowych pod odpowiednim ciśnieniem azot wywołuje zaburzenia czynności komórek nerwowych. Oddychanie mieszaniną o ciśnieniu cząstkowym azotu powyżej 4 ATA wywiera wyraźny efekt narkotyczny w stosunku do ośrodkowego układu nerwowego, powodując euforię i upośledzając zdolność nurka do trzeźwego rozumowania i oceny sytuacji.

### **NARKOZA AZOTOWA – IMPLIKACJE KLINICZNE**

Chociaż narkoza azotowa została opisana po raz pierwszy już w 1835 r. przez Junod [17], to zaobserwowane objawy zostały jednoznacznie przypisane oddziaływaniu azotu dopiero 100 lat później przez Behnke i wsp. [3]. W 1935 r. scharakteryzowali narkozę azotową jako „stan euforii, spowolnienie wyższych procesów myślowych oraz upośledzenie koordynacji nerwowo-mięśniowej”. Podczas standardowych nurkowań powietrznych, przypadki objawowe mogą wystąpić u słabo wytrenowanych nurków już na głębokości 30-35 msw, a obserwowane symptomy narkozy azotowej narastają w funkcji głębokości [6].

Objawy „ekstazy głębin” porównywane są najczęściej do objawów zatrucia alkoholem. I tak, do głębokości ok. 50 msw charakterystyczne jest uczucie „pustki w głowie”, obniżenie krytycyzmu wobec własnych możliwości i zaburzenie procesów decyzyjnych. W zakresie 50-70 msw występuje nieadekwatne do sytuacji, wzmożone lub (rzadziej) pogorszone samopoczucie, osłabienie wrażliwości na docierające do organizmu bodźce zewnętrzne, dezorientacja i zwolnienie toku myślenia. Pomiędzy 70-90 msw znacznemu nasileniu ulegają wcześniejsze objawy; mogą tu wystąpić halucynacje oraz utrata przytomności, co prowadzi zwykle do śmierci przez utonięcie. Podczas nurkowań z wykorzystaniem powietrza jako czynnika oddechowego, przypadki śmiertelne zdarzają się najczęściej na głębokości ok. 100 msw [20]. Z wyżej wymienionych powodów, większość federacji nurkowych zaleca ograniczenie głębokości nurkowania z wykorzystaniem powietrza jako czynnika oddechowego do głębokości mniejszych, niż 50 msw.

Obserwowane efekty narkozy azotowej w zależności od ciśnienia cząstkowego azotu w sprężonym powietrzu zestawiono w tabeli 2.

Although being a component of every living organism, as opposed to oxygen, nitrogen is not essential for maintaining vital processes. The principal advantage of nitrogen, determining its use in the diving activity, lies in the fact that it serves the role of a natural 'diluent' for oxygen in the atmospheric air; such a mix is easy and cheap to compress thus allowing to obtain a breathing mixture used in the majority of dives carried out the world.

Unfortunately, some of nitrogen's properties limit the possibilities of its application during deeper dives which, from a practical point of view, constitutes a serious disadvantage as compared with other inert gases. What is of crucial significance here is the fact that it is 5 times more soluble in fats than in water, which in hyperbaric conditions results in a narcotic effect: nitrogen interacting with cells membrane lipids under a defined pressure leads to the dysfunction of nerve cells. Breathing the mixture with a partial nitrogen pressure above 4 ATA causes a clear narcotic effect in relation to the central nervous system, invoking euphoria and impairing a diver's ability to think clearly and have an accurate assessment of his situation.

### **NITROGEN NARCOSIS – CLINICAL IMPLICATIONS**

Although nitrogen narcosis was described for the first time as early as in 1835 by Junod [17], the observed symptoms were explicitly attributed to the effect of nitrogen only 100 years later by Behnke et al. [3]. In 1935 they characterised nitrogen narcosis as "euphoria, retardation of the higher mental processes and impaired neuromuscular coordination". During standard air dives the symptoms of nitrogen narcosis may occur in poorly trained divers at a depth of 30-35 msw, and grow as the depth increases [6].

The symptoms of "depth ecstasy" are usually compared to the symptoms of alcohol intoxication. And so, a characteristic feeling up to ca. 50 msw involves the so-called "going blank", diminished criticism towards one's capabilities and impeded decisiveness. At the depth of 50-70 msw there is, inadequately to the situation, elevated or (more seldom) worsened mood, weakened sensitivity to external stimuli, disorientation and deceleration of the thinking processes. Between 70-90 msw the previous symptoms become rapidly escalated; at this point it is possible to experience hallucinations and loss of consciousness, which usually leads to death by drowning. During dives with the use of air as a breathing medium, fatalities occur most frequently at the depth of ca. 100 msw [20]. Due to the above reasons, most diving federations recommend limitation of the diving depth to one not exceeding 50 msw.

The observable effects of nitrogen narcosis depending on partial pressure of nitrogen in the compressed air are shown in Table 2.

Tabela 2.

Efekty narkozy azotowej w zależności od ppN<sub>2</sub> (powietrze), według [1].

ppN <sub>2</sub> (ATA)	EAD (ATA)	Efekt
1,6-3,2	2-4	Łagodna euforia. Łagodne upośledzenie sprawności wykonywania zadań u niedoświadczonych nurków.
3,2	4	Rozumowanie i pamięć natychmiastowa upośledzone w większym stopniu, niż koordynacja ruchowa i reakcje wyboru. Opóźniona odpowiedź na bodźce wzrokowe i słuchowe.
3,2-4,8	4-6	Nadmierna wesołość i gadatliwość możliwa do opanowania przez samokontrolę. Nadmierna pewność siebie i wzmożony napęd psychoruchowy. Błędy rachunkowe w prostych testach matematycznych.
4,8	6	Upośledzenie sprawności intelektualnej. Zdolności manipulacyjne mniej upośledzone.
4,8-6,4	6-8	Towarzyskość (w grupie) i rozmowność. Okazjonalnie zawroty głowy. Nadmierna reaktywność emocjonalna. Wybuchy niekontrolowanego śmiechu przechodzące w histerię.
6,4	8	Senność, halucynacje, upośledzenie oceny sytuacji. Pogorszenie czytelności pisma odręcznego.
6,4-8,0	8-10	Krzyżowe opóźnienie w odpowiedzi na bodźce. Zmniejszona koncentracja. Spowolnienie umysłowe.
8,0	10	Otępienie lub euforia, nadpobudliwość. Ciężkie upośledzenie zdolności oceny sytuacji i praktycznego działania. Zaburzenia psychiczne i ubytki/luki pamięci. Prawie całkowita utrata zdolności intelektualnych i percepcji. Pismo odręczne nieczytelne.
> 8,0	> 10	Ciężkie halucynacje. Utrata przytomności. Śmierć.

Znanych jest szereg czynników, nasilających efekty narkotycznego oddziaływania azotu; najważniejsze z nich to [2, 9, 12, 15, 16, 19]:

- a) alkohol,
- b) środki farmakologiczne o działaniu ośrodkowym i substancje psychoaktywne,
- c) zimno,
- d) znużenie, wyczerpanie,
- e) ciężka praca (wysiłek fizyczny),
- f) lęk, napięcie emocjonalne i niepokój,
- g) hiperkapnia (retencja CO<sub>2</sub> w organizmie).

Poszczególne osoby (w tym nurkowie) różnią się pod względem indywidualnej podatności na narkozę azotową. Istnieją przekonywujące dowody, iż wraz z powtarzaniem ekspozycji na wysokie wartości ciśnienia cząstkowego azotu może się wyrobić następcza adaptacja, skutkująca lepszą tolerancją wysokiego ppN<sub>2</sub> przez organizm, a tym samym sprzyjająca podniesieniu bezpieczeństwa realizacji głębszych nurkowań z wykorzystaniem powietrza jako czynnika oddechowego [11, 14].

Z oddziaływania samego efektu narkotycznego azotu o wysokim ciśnieniu cząstkowym nie wynika dla organizmu żadne trwałe następstwo, a obserwowany efekt zostaje zniesiony bardzo szybko po zredukowaniu głębokości zanurzenia (a tym samym oddziałującego ppN<sub>2</sub>).

Table 2.

Nitrogen narcosis effects depending on ppN<sub>2</sub> (air) according to [1].

ppN <sub>2</sub> (ATA)	EAD (ATA)	Effect
1.6-3.2	2-4	Mild euphoria. Mild impairment of performance of unpractised tasks.
3.2	4	Reasoning and immediate memory affected more than motor coordination. Calculation errors and wrong choices. Delayed response to visual and auditory stimuli.
3.2-4.8	4-6	Laughter and loquacity which may be overcome by self-control. Over-confidence and sense of well-being. Calculation errors in simple mathematical tests.
4.8	6	Impairment of intellectual possibilities. Manual dexterity less impaired.
4.8-6.4	6-8	Sociability (in a group) and talkativeness. Occasional dizziness. Uncontrolled laughter occasionally turning into hysteria.
6.4	8	Sleepiness, hallucinations, impaired judgement. Deterioration in hand writing.
6.4-8.0	8-10	Delay in response to stimuli. Impaired concentration. Mental confusion.
8.0	10	Stupefaction or euphoria, hyperexcitability. Severe impairment of judgement and practical activity. Mental abnormalities and memory defects. Nearly complete loss of dexterity and perception. Illegible handwriting.
> 8.0	> 10	Severe hallucinations. Unconsciousness. Death.

Well-known is a number of factors strengthening the results of the narcotic effect of nitrogen; the most important of them include [2, 9, 12, 15, 16, 19]:

- a) alcohol,
- b) medication affecting central nervous system and psychoactive substances,
- c) cold,
- d) fatigue, exhaustion,
- e) hard work (physical effort),
- f) apprehension, emotional tension and anxiety,
- g) hypercapnia (CO<sub>2</sub> retention in the organism).

Particular individuals (including divers) differ in their susceptibility to nitrogen narcosis. Convincing evidence exists that repeated exposure to high values of partial pressure of nitrogen may establish a certain level of adaptation resulting in improved tolerance to high ppN<sub>2</sub> by the organism, increasing at the same time the safety of deeper dives with the use of air as a breathing mixture [11, 14]. The narcotic effect of nitrogen of a high partial pressure is not known to have any permanent impact on the organism, and the observed interaction quickly dissipates after the reduction of the diving depth (together with the existing ppN<sub>2</sub>).

W związku z tym, „ekstaza głębin” nie jest problemem *per se* z klinicznego punktu widzenia, chyba, że równoległe dojdzie do wystąpienia sytuacji noszącej znamiona stanu awaryjnego lub wypadku nurkowego. Lekceważenie zasad bezpiecznego nurkowania oraz bezpieczeństwa osobistego to największe zagrożenia, wynikające z narkotycznego oddziaływania wysokiego ciśnienia cząstkowego N<sub>2</sub>, co w praktyce najczęściej prowadzi do utonięcia nurka.

### NARKOZA AZOTOWA – IMPLIKACJE PRAKTYCZNE

Zapobieganie narkozie azotowej polega na ograniczeniu głębokości nurkowania z wykorzystaniem mieszanin azotowo-tlenowych (w tym powietrza), stosownie do przyjętych normatyw organizacyjnych oraz doświadczenia nurka. Doświadczeni nurkowie o dobrej i stabilnej kondycji psychofizycznej tolerują wartości ppN<sub>2</sub>, które u innych, mniej doświadczonych nurków mogą skutkować objawami narkotycznymi istotnymi z punktu widzenia ich bezpieczeństwa. Równocześnie, znają oni granice własnych możliwości, po przekroczeniu których narkoza azotowa może wpłynąć zarówno na jakość realizacji lub nie osiągnięcie zamierzonego celu nurkowania, jak i doprowadzić do sytuacji awaryjnej, skutkującej w konsekwencji utratą zdrowia, a nawet śmiercią nurka.

Istotnym czynnikiem są w tym względzie świadome działania, ukierunkowane na adaptację nurka do oddziałującego wysokiego ppN<sub>2</sub>. Nie do przecenienia jest tu zarówno odpowiednio zaplanowany trening nurkowy, jak i systematyczna realizacja rutynowych nurkowań roboczych (treningowych) na głębokości leżące w strefie zagrożenia ze względu na narkozę azotową, do których osiągnięcia nurek jest uprawniony ze względu na posiadaną klasę/specjalność; oba rodzaje działań nie zapobiegają, co prawda, wystąpieniu objawów narkozy, ale umożliwiają nurkowi przywyknienie do efektu i wyrobienie swoistego stanu osobniczej tolerancji, nieosiągalnego dla nowicjuszy oraz niewytrenowanych [8, 20, 23, 24]. Niestety, podobnie jak to się obserwuje w przypadku tlenowej toksyczności mózgowej (efekt Paul Bert'a), niezależnie od treningu adaptacyjnego niewielki odsetek populacji wykazuje stałą nadwrażliwość na wysokie ciśnienie cząstkowe azotu – nurkowie ci nie powinni nurkować na większe głębokości lub zastąpić czynnik oddechowy z azotem w roli diluentu sztucznymi mieszaninami oddechowymi o zmniejszonej zawartości lub całkowicie pozbawionymi azotu.

W takich przypadkach, możliwym do wykorzystania alternatywnym gazem obojętnym jest z wyboru hel (He). Hel jest gazem szlachetnym, powszechnie stosowanym w technologii prac podwodnych jako zastępstwo dla azotu już od kilkudziesięciu lat [10]. Wynika to z faktu, iż nie wykazuje on właściwości narkotycznych w zakresie głębokości normalnie osiągalnych dla nurków, a obserwowanych jedynie podczas rekordowych nurkowań eksperymentalnych, tj. pod ciśnieniem równoważnym zanurzeniu na głębokość przekraczającą 400-500 msw [7, 13, 21].

Wykorzystanie mieszanin helowo-tlenowych (helioks) lub helowo-azotowo-tlenowych (trimiks) jest równocześnie jedynym sposobem uniknięcia następstw narkozy azotowej podczas realizacji nurkowań na większe głębokości; tego typu mieszaniny powinny być stosowane rutynowo podczas każdego nurkowania na głębokość przekraczającą 50-60 msw [24]. Należy równocześnie zauważyć, że hel – mimo wielu zalet – nie jest panaceum na wszelkiego rodzaju ograniczenia, związane ze składem mieszanin gazowych stosowanych w celach nurkowych: wystarczy wspomnieć o jego 5-krotnie większej w stosunku do azotu przewodności cieplnej, generowaniu zaburzeń w komunikacji werbalnej (mowa Kaczora Donalda), czy efekcie określanym w piśmiennictwie akronimem HPNS (*ang.* high pressure nervous syndrome) [5, 22].

Consequently, the 'depth ecstasy' does not constitute a *per se* problem from the clinical point of view, unless there is an occurrence of an emergency situation or a diving accident. The greatest threats being a consequence of the narcotic effect of a high partial pressure of N<sub>2</sub> leading to the disregard of the principles of safe diving and personal safety, which in practice frequently leads to diver's drowning.

### **NITROGEN NARCOSIS – PRACTICAL IMPLICATIONS**

The prevention of nitrogen narcosis relies on the limitation of diving depths with the use of nitrogen-oxygen mixtures (including air) accordingly to the adopted organisational standards and divers' experience. Experienced divers of a good and stable psycho-physical condition tolerate such ppN<sub>2</sub> values that in less experienced divers may produce narcotic symptoms that are significant from the point of view of their safety. At the same time, divers that have had more practice are aware of their limitations which, when exceeded, will lead to nitrogen narcosis affecting both the quality of their task realisation or prevent them from reaching the intended target, as well as invoke an emergency situation resulting in an injury or even death.

An important factor in this regard consists in taking deliberate actions towards diver' adaptation to high values of ppN<sub>2</sub>, as is systematic realization of routine working dives (training) at the depths within the risk zone of nitrogen narcosis, to which the diver is authorized with regard to his class/specialization; although both kinds of activities do not prevent the occurrence of narcosis symptoms, they allow divers to become habituated to the effect and work out a sort of individual tolerance unattainable to novices and untrained divers [8, 20, 23, 24]. Unfortunately, as observed in the case of cerebral oxygen toxicity (Paul Bert's effect), irrespective of adaptation training, a small percentage of the population indicates permanent hypersensitivity to a high partial pressure of nitrogen – these divers should not dive at greater depths or should replace the breathing mixture with nitrogen as diluent to artificial breathing media with a lower content or completely devoid of nitrogen.

In such cases, the possible alternative inert gas is helium (He). Helium is a noble gas commonly used in underwater works technology as a replacement for nitrogen already for several dozen years [10]. This is due to the fact that it does not reveal narcotic properties at the depths normally achievable for divers and observable only during record-breaking experimental dives, i.e. under the pressure equivalent for dives at the depths exceeding 400-500 msw [7, 13, 21].

The use of helium-oxygen mixtures (heliox) or helium-nitrogen-oxygen (trimix) also constitutes the only way to avoid the consequences of nitrogen narcosis during the realisation of dives at greater depths; this type of mixtures should be routinely used in each dive to a depth exceeding 50-60 msw [24]. At the same time it should be noticed that helium – despite its numerous advantages – is not a panacea to all kinds of limitations related to the composition of gas mixtures used for diving purposes: it is enough to mention its 5 times greater heat conductivity as compared to nitrogen, being a factor in the impairment to verbal communication (Donald Duck voice) or the effect known in literature under the acronym HPNS (high pressure nervous syndrome) [5, 22].

W razie podejrzenia „ekstazy głębin” postępowaniem z wyboru jest kontrolowane zmniejszenie głębokości nurkowania, co skutkuje szybkim ustąpieniem objawów narkozy zaraz po zredukowaniu oddziałującego ciśnienia cząstkowego azotu. W poważniejszych przypadkach, które są na szczęście bardzo rzadkie, „pijany” nurek powinien zostać wynurzony w możliwie najbezpieczniejszy sposób na powierzchnię przez partnera lub personel zabezpieczający nurkowanie [1, 24].

Należy pamiętać, że każdy objawowy przypadek narkozy azotowej obarczony jest większym prawdopodobieństwem wystąpienia choroby dekompresyjnej (DCS) po nurkowaniu, a to ze względu na fakt, iż realizowany profil nurkowania z założenia prawdopodobnie wymagał odbycia przystanków dekompresyjnych, które (potencjalnie) mogły zostać ominięte lub mógł nie być ściśle przestrzegany chronometraż ekspozycji nurkowej. Osobny problem stanowić może zależny od głębokości nurkowania wzrost gęstości czynnika oddechowego, skutkujący utrudnieniem oddychania, a tym samym możliwą retencją CO<sub>2</sub> i nasileniem objawów narkozy [15].

In the case of suspicion of the “depth ecstasy” the most common procedure is controlled reduction of the diving depth which results in quick recession of narcotic symptoms immediately after the reduction of the partial pressure of nitrogen. In more serious cases, which are fortunately extremely rare, a ‘drunk’ diver should be surfaced in the safest way by his partner or the personnel securing the diving activity [1, 24].

It should be remembered that each symptomatic case of nitrogen narcosis enhances the risk of occurrence of decompression sickness (DCS) after diving completion. This stems from the fact that the realised diving profile probably required the application of decompression stops which (potentially) could have been omitted or the timing of diving exposure was not possible to observe. A separate issue may be seen in the increase of density of a breathing mixture dependent on the diving depth, which leads to impeded breathing and, consequently, to possible retention of CO<sub>2</sub> and the intensification of the symptoms of narcosis [15].

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

1. ADivP-2(B): "Allied guide to diving medical disorders" (STANAG 1432). Military Agency for Standardization (MAS), NATO HQ; Brussels 2009;
2. Adolfson J: "Deterioration of mental and motor functions in hyperbaric air" *Scand. J. Psychol.* 1965; 6: 26-31;
3. Behnke AR, Thomas RM, Motley EP: "The psychologic effects from breathing air at 4 atmospheres pressure" *Am. J. Physiol.* 1935; 112: 554-558;
4. Bennett PB: "Inert gas narcosis". W: PB Bennett i DH Elliott [red.] "The physiology and medicine of diving". WB Saunders Company Ltd, London 1993: 170-193;
5. Bennett PB: "Inert gas narcosis and high pressure nervous syndrome". W: AA Bove i JC Davis [red.] "Diving medicine". WB Saunders, Philadelphia 1997: 117-130;
6. Bennett PB, Papahadjopoulos D, Bangham AD: "The effect of raised pressures of inert gases on phospholipid model membranes" *Life Sci.* 1967; 6: 2527-2533;
7. Bennett PB, Coggin R, Roby J, i wsp.: "Prevention of HPNS in man by rapid compression with trimix to 2132 ft". W: AJ Bachrach [red.] *Proceedings of the 7th Underwater Physiology Symposium*. Undersea Medical Society, Bethesda (MD) 1981: 345-355;
8. Cousteau JY: "The silent world". Reprint Society, London 1953;
9. Davis FM, Osborne JP, Baddeley AD, i wsp.: "Diver performance: nitrogen narcosis and anxiety" *Aerospace Med.* 1972; 43: 1079-1082;
10. End E: "The use of new equipment and helium gas in a world record dive" *J. Ind. Hyg. Toxicol.* 1938; 20: 511-520;
11. Fowler B, Ackles KN, Porlier G: "Effects of inert gas narcosis on behavior: A critical review" *Undersea Biomed. Res.* 1985; 12: 369-402;
12. Fowler B, Hamilton K, Porlier G: "Effects of ethanol and amphetamine on inert gas narcosis in humans" *Undersea Biomed. Res.* 1986; 13: 345-354;
13. Fructus X, Gardette B, Carlioz M, i wsp.: "Hydrogen narcosis". W: T Nome, G Susbielle, M Comet, i wsp. [red.] *Proceedings of the X Congress of European Undersea Biomedical Society*. Undersea Biomedical Society, Marseille 1984: 87-96;
14. Hamilton K, Laliberte MF, Fowler B: "Dissociation of the behavioral and subjective components of nitrogen narcosis and diver adaptation" *Undersea Hyperb. Med.* 1995; 22: 41-49;
15. Hesser CM, Fagraeus L, Adolfson J: "Roles of nitrogen, oxygen and carbon dioxide in compressed air narcosis" *Undersea Biomed. Res.* 1978; 5: 391-400;
16. Jones AW, Jennings RD, Adolfson J, i wsp.: "Combined effects of ethanol and hyperbaric air on body sway and heart rate in man" *Undersea Biomed. Res.* 1979; 6: 15-25;
17. Junod T: "Recherches sur les effets physiologiques et therapeutiques de la compression et de rarefaction de l'air, tant sur le corps que les membres isolés" *Ann. Gen. Med.* 1835; 9: 157;
18. Meyer KH, Hopff H: "Narcosis by inert gases under pressure" *Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem.* 1923; 126: 288-298;
19. Michalodimitrakis E, Patsolis JD, Patsolis A: "Nitrogen narcosis and alcohol consumption – a scuba diving fatality" *J. Forensic Sci.* 1987; 32: 1095-1097;
20. Olszański R, Konarski M, Siermontowski P: „Wpływ środowiska hiperbarycznego na organizm nurka. Przyczyny wypadków nurkowych”. W: K Klukowski [red.] "Medycyna wypadków w transporcie". PZWŁ, Warszawa 2005: 143-174;

21. Rostain JC: "Nervous system at pressure". W: PB Bennett i RE Marquis [red.] "Basic and applied high pressure biology". University Press, Rochester 1994: 157-172;
22. Rostain JC, Naquet R: "Le Syndrome Nerveux des Hautes Pressions. Caracteristiques et evolution en fonction de divers modes de compression" Rev. EEG Neurophysiol. 1974; 4: 107-124;
23. Siermontowski P, Kobos Z, Olszański R, i wsp.: „Ocena wpływu środowiska hiperbarycznego – narkozy azotowej na sprawność umysłową i percepcyjną podczas saturowanych ekspozycji powietrznych za pomocą testów arytmetycznych” Curr. Probl. Psychiatry 2011; 12 (2): 137-140;
24. US Navy Diving Manual (Rev. 6): "Nitrogen narcosis" (3-9.1.). Naval Sea Systems Command, Washington (DC) 2008;

## **АЗОТНЫЙ НАРКОЗ**

*В статье на примере азота представлены некоторые вопросы, связанные с воздействием на организм в условиях гипербарических инертных газов при нормобарии. Экспозиция воздуха под давлением, превышающим 4 АТА или погружение на глубину более 30 msw, эффектуе зависимым от текущего влияющего ррN<sub>2</sub> комплекса симптомов, известного как азотный наркоз.*

*Эта статья описывает этиологию и клиническую характеристику азотного наркоза и правила процедур, сводя к минимуму риск возникновения опасных для жизни и здоровья дайвинга последствий, зависимых от наркотического давления под воздействием азота на организм.*

**Ключевые слова:** дайвинг, дайвер, азотный наркоз, безопасность дайвинга.



**Piotr Siermontowski, Wojciech Kozłowski, Agnieszka Pedrycz,  
Karolina Krefft**

**dr med. Piotr Siermontowski**

Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej  
Wojskowy Instytut Medyczny  
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3 skr. poczt. 18  
tel./fax. 58/6264109  
e-mail: nurdok@tlen.pl

**prof. dr hab. med. Wojciech Kozłowski**

Zakład Patomorfologii Wojskowy Instytut Medyczny  
ul. Szaserów 128 01-141 Warszawa 44  
tel. 22/6816645 tel. MON 816645  
e-mail: wojciechkozowski@interia.pl

**dr hab. med. Agnieszka Pedrycz**

Katedra i Zakład Histologii i Embriologii  
z Pracownią Cytologii Doświadczalnej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie.  
ul. Radziwiłłowska 11 20-080, Lublin  
e-mail: apw4@wp.pl

**mgr inż. Karolina Krefft**

Katedra i Zakład Fizyki i Biofizyki  
Wydział Lekarski z Oddziałem Stomatologicznym  
Gdański Uniwersytet Medyczny  
ul. Dębinki 1, 80-211, Gdańsk  
tel.:58/349 14 80  
e-mail: karolina@snowy.pl

**MIEJSCOWY URAZ CIŚNIENIOWY PŁUC - WSTĘPNE WNIOSKI Z BADAŃ  
DOŚWIADCZALNYCH**

*Uraz ciśnieniowy płuc związany jest z nagłym wzrostem objętości mieszaniny oddechowej w płucach, przy niemożności jej odpływu przez drogi oddechowe. Za główne przyczyny urazu uważa się utratę przytomności, panikę nurka oraz wynurzenie się z zaciśniętą głosinią. Jednak liczne publikacje i doświadczenia własne autorów wskazują, że do większości przypadków pełnoobjawowego urazu ciśnieniowego płuc dochodzi bez ewidentnego błędu w technice wynurzenia. Autorzy postanowili wykorzystać własny, wcześniej opracowany model doświadczalny urazu ciśnieniowego płuc do zbadania takich przypadków na modelu zwierzęcym.*

*Badanie przeprowadzono na 32 królikach. Grupa porównawcza nie była poddawana żadnym zabiegom, grupa doświadczalna miała wykonywany uraz ciśnieniowy płuc a grupa porównawcza zabiegu poddawana była jedynie sprężeniu a następnie szybkiej dekompresji. Zarówno w grupie doświadczalnej, jak i porównawczej zabiegu, stwierdzono takie same, choć różnie nasilone wykładniki morfologiczne urazu ciśnieniowego w płucach.*

**Słowa kluczowe:** uraz ciśnieniowy płuc, uraz miejscowy, morfologiczne badania doświadczalne.

## WSTĘP

Uraz ciśnieniowy (barotrauma) jest następstwem nagłego wzrostu lub spadku ciśnienia gazu otaczającego żywy organizm, bądź nagłego wzrostu lub spadku objętości gazu w przestrzeniach gazowych organizmu [6]. W warunkach nagłego spadku, czy wzrostu ciśnienia urazowi ulegają wszystkie narządy, które zawierają powietrze i/lub inny gaz, w tym również płuca.

Uraz ciśnieniowy płuc (UCP), inaczej nazywany barotraumą płuc (ang. *pulmonary barotrauma*, PBT, PB, "burst lung"), dawniej również chorobą pseudociśnieniową, pseudokesonową, jest to każde uszkodzenie mięszu płucnego spowodowane wzrostem objętości gazu w nich zawartego przy braku możliwości odpływu tego gazu przez drogi oddechowe, w następstwie zmian ciśnienia w środowisku zewnętrznym [7].

Zmiany w płucach morfologicznie podobne, choć wywoływane innym mechanizmem stwierdzamy u osób narażonych na działanie powietrznej fali uderzeniowej. Również powikłania (w tym zatorowość gazowa tętnicza AGE) są podobne jak w urazie ciśnieniowym płuc u nurków [1, 6, 37].

Warunkiem koniecznym do powstania urazu ciśnieniowego płuc podczas nurkowania jest wzięcie choćby jednego oddechu pod wodą, czynnikiem oddechowym o ciśnieniu większym niż atmosferyczne, na ogół odpowiadającym ciśnieniu otaczającej wody.

Do sytuacji mogących mieć związek z powstaniem urazu ciśnieniowego płuc należą [7, 13, 33]:

1. Odruchowe zaciśnięcie krtani podczas wynurzania, spowodowane m.in. przedostaniem się wody do dróg oddechowych, utratą przytomności pod wodą, paniką.
2. Świadome lub przypadkowe zatrzymanie wydechu, nawet na krótki okres czasu (manewr Valsalvy, kaszel), podczas wynurzania.
3. Nagłe zwiększenie ilości mieszaniny oddechowej podawanej przez automat.
4. Zbyt szybkie wynurzanie (rozprężanie) niezależnie od przyczyny.

Równocześnie, liczni autorzy podkreślają udział zabiegów resuscytacyjnych w powstawaniu UCP, szczególnie prowadzonych z zastosowaniem oddechu zastępczego z nadciśnieniem oddechowym, a także leczenia hiperbarią [2, 5, 8, 9, 10, 16, 21, 22, 23, 35, 36].

Najcięższym i najczęściej spotykanym powikłaniem UCP jest powietrzny zator tętniczy AGE (ang. *arterial gas embolism*) [1, 2, 3, 14]. Dochodzi do niego wówczas, gdy powietrze znajdujące się w świetle pęcherzyków płucnych uległo zassaniu (lub wtłoczeniu pod ciśnieniem) do rozerwanych naczyń krwionośnych leżących w uszkodzonej ścianie pęcherzyka płucnego. Bezpośrednim następstwem pojawienia się wewnątrznaczyniowych pęcherzyków gazu w większej ilości jest zamknięcie przepływu krwi w naczyniu i miejscowe niedotlenienie z następowym uszkodzeniem tkanek [27].

W takiej sytuacji dalszy przebieg kliniczny zależy od lokalizacji anatomicznej zatorów gazowych w łożu naczyniowym i średnicy pęcherzyków, która na ogół wynosi od 0,003 do 2 mm. Oczywiście największym zagrożeniem i niestety bardzo częstym, jest lokalizacja zatorów w krążeniu mózgowym [18].

Dopiero w 1985 roku Caldera i wsp. przedstawili publikację, opartą na większej liczbie przypadków, dotyczącą oceny wykładników morfologicznych UCP. Wykonali oni 13 autopsji po niepomyślnym zejściu wypadków nurkowych związanych z UCP. Wyniki tych autopsji porównali z wynikami badań 19 zawodowych nurków zmarłych z innych, niż UCP przyczyn oraz z autopsjami 97 zmarłych nagle lub gwałtownie, bez związku z nurkowaniem. Ponadto w płucach u 6 zwłok wykonali doświadczenia UCP [3].

## INTRODUCTION

Barotrauma is a consequence of a rapid increase or decrease in the pressure of gas surrounding a living organism, or a sudden increase or decrease of gas volumes in the organism's gas spaces [6]. In the conditions of a rapid decrease or increase of pressure all organs containing the air and/or other gases are subjected to barotrauma, including the lungs.

Pulmonary barotrauma (PBT, PB, "burst lung"), earlier known as a pseudo-decompression sickness, means any damage to the lung parenchyma induced by an increase of gas in the lungs without the possibility of its release through the respiratory tract, resulting from pressure changes in the ambient environment [7].

Similar morphological changes in the lungs, though evoked by a different mechanism, are observed in people subjected to the impact of an air shock wave. Also the complications (including the arterial gas embolism, AGE) are similar as in the pulmonary barotrauma observed in divers [1, 6, 37].

The condition necessary to induce pulmonary barotrauma while diving is taking at least one breath under water with a breathing mix of a pressure higher than the atmospheric pressure, usually corresponding to the pressure of ambient water.

Situations that may be related to the occurrence of pulmonary barotrauma include [7, 13, 33]:

1. Involuntary stricture of the larynx during emergence caused by, for instance, water entering the respiratory tract, loss of consciousness under water and, panic.
2. Conscious or accidental stoppage of exhalation even for a short period of time (Valsalva manoeuvre) during emergence.
3. Sudden increase in the quantity of the breathing mix fed by the apparatus rebreather.
4. Too rapid emergence (decompression), irrespective of the reason.

At the same time, numerous authors emphasise the involvement of resuscitation activities in the occurrence of PB, especially those with the application of mechanical breathing with positive pressure, as well as hyperbaria treatment [2, 5, 8, 9, 10, 16, 21, 22, 23, 35, 36].

The most severe and common complication of PB is arterial gas embolism (AGE) [1, 2, 3, 14]. It is induced when the air located in the lumen of alveoli is sucked in (or forced in under pressure) into burst blood vessels of a damaged wall of an alveolus. The direct consequence of an appearance of intravascular gas sacs in a greater quantity is stoppage of the blood flow in a vessel and local oxygen deficiency with subsequent tissue damage [27].

In such a situation further clinical course depends on the anatomical location of the gas embolism in the vessels and the diameter of gas sacs, which usually reaches from 0.003 to 2 mm. Of course, the greatest threat, and unfortunately a very common one, is the placement of embolisms in cerebral circulation [18].

It was as late as in 1985 that Caldera and others presented a publication based on a greater number of cases concerned with the evaluation of morphological exponents of PB. They performed 13 autopsies on divers deceased as a result of PB. Autopsy results were compared with the test results on 19 professional divers who died due to other reasons, and 97 autopsy results of people whose death was sudden, however not related to diving. Moreover, they invoked experimental PB in the lungs of 6 corpses [3]. Test results showed that both in the PB resulting from diving accidents as well as in the ones invoked as an experiment during the autopsy, the constant morphological exponents included: delamination of the pleura (subpleural sacs) and lung emphysema.

Badania te wykazały, że w UCP powstałym zarówno wskutek wypadków nurkowych, jak i w UCP doświadczalnie wykonanym w płucach podczas autopsji, stałymi wykładnikami morfologicznymi były: rozwarstwienie blaszek opłucnej (pęcherze podopłucnowe) oraz rozcięcie płuc. Wśród innych publikacji dotyczących morfologicznych wykładników UCP przeważają doniesienia kazuistyczne, stosunkowo nieliczne [15, 20], dotyczące opisu pojedynczych przypadków badań autopsyjnych [3, 18, 20, 34, 36]. Obok podkreślenia specyficznych dla tego typu przypadków technik badań autopsyjnych, prace te zawierają również opis dotychczas zaobserwowanych wykładników narządowych UCP u ludzi. Rzadziej, autopsje te były poszerzone o badanie histologiczne [20].

W samych płucach, w przypadkach, w których nie doszło do odmy opłucnowej, stwierdza się najczęściej wzmożone upowietrzenie mięszu płucnego [4, 25, 28, 29, 30] z linijnymi jego rozerwaniem [21, 25, 28, 29], przeważnie bez towarzyszących ognisk niedodmy. Występować mogą również pojedyncze lub mnogie pęcherze podopłucnowe, spowodowane przez rozprężający się gaz, który odwarstwia opłucną płucną od mięszu płuca lub wywołuje rozedmę śródmięszową po przerwaniu ścian pęcherzyków płucnych [11, 12, 15, 17, 28, 29]. Zmianom powietrzości w większości przypadków towarzyszy wynaczynienie krwi, związane z uszkodzeniem mięszu płuca [20, 28, 29]. Wynaczynione krwinki pojawiają się bądź to w świetle pęcherzyków płucnych, bądź w ich pogrubiałych ścianach lub też w obu tych strukturach równocześnie [20, 28, 29]. Znacznie rzadziej erytrocyty występują w świetle drobnych oskrzeli. W okolicy pęknięć mięszu płucnego stwierdza się niekiedy granulocyty lub wysięk włóknikowy.

Natomiast wyjątkowo rzadko pęcherzyki gazowe pojawiają się w świetle żylnych naczyń płucnych. Jest to zrozumiałe, gdyż łożysko żylnie płucne rozszerza się w kierunku przepływu krwi od pęcherzyka płucnego do lewej komory serca, w związku z czym pęcherzyki gazowe są przemieszczane do jam serca lewego [3, 20, 21, 24].

Dane z piśmiennictwa [13, 32] a także własne doświadczenia autorów [20, 26] wskazują, że większość pełnoobjawowych, czasem kończących się niepomysłnie przypadków urazu ciśnieniowego płuc u nurków, następuje w sytuacji, gdzie nie daje się wykazać błędu w technice wynurzania.

Przypadki takie zaliczane są do tzw. „miejscowego urazu ciśnieniowego”, gdzie zamknięcie dróg oddechowych następuje nie na poziomie gardła, czy krtani, lecz w mniejszych oskrzelach.

Autorzy postanowili wykorzystując własny, zwierzęcy model doświadczalny, odtworzyć warunki takiego wypadku i przedstawić jego wykładniki morfologiczne zarówno makro- jak i mikroskopowe. Dokonano także porównania z „klasycznym” urazem ciśnieniowym płuc.

#### **MATERIAŁ I METODA**

W doświadczeniu przeprowadzonym według autorskiej metody [30, 31] użyto 32 królików 28 - 34 tygodniowych, rasy Srokacz Niemiecki, o masie ciała od 2240 do 4630 g.

Króliki podzielono na trzy grupy: porównawczą P, porównawczą zabiegu PZ i doświadczalną K. Zwierzęta wszystkich grup przebywały w identycznych warunkach hodowlanych. W pierwszej fazie badań makroskopowych i mikroskopowych każda grupa doświadczalna i kontrolna była podzielona na dwie podgrupy w zależności od płci zwierzęcia. Jednak już wstępna analiza wyników pozwoliła na stwierdzenie, że uzyskiwane wartości nie są zależne od płci, co pozwoliło traktować zwierzęta obu płci jako jedną grupę badaną. Z uwagi na brak różnic w wynikach badań jakościowych i ilościowych u zwierząt obu płci, w dalszym ciągu doświadczenia traktowano je jako jedną grupę, bez podziału ze względu na płeć.

Among other publications on morphological exponents of PB the reports are rare, relatively sparse [15, 20], and involve descriptions of single autopsy examinations [3, 18, 20, 34, 36]. Apart from emphasising the typical autopsy examination techniques these publications also contain the description of the so far observed PB organ exponents in humans. Rarely were they enhanced with histological tests [20].

In the cases where pneumothorax was not observed, there was an increased inflation in the parenchyma [4, 25, 28, 29, 30] with linear ruptures [21, 25, 28, 29], predominantly without the accompanying foci of atelectasis. The occurrence of single or multiple subpleural sacs is also possible due to gas decompression leading to the detachment of the pleura from the parenchyma or causing interstitial emphysema after rupturing the walls of pulmonary alveoli [11, 12, 15, 17, 28, 29]. Alterations in the aeration is in the majority of cases accompanied by haemorrhages related to the damage in the parenchyma [20, 28, 29]. Blood cells appear either in the lumen of pulmonary alveoli or in their thickened walls, or in both structures simultaneously [20, 28, 29]. Much more seldom, erythrocytes occur in the lumen of small airways. At times, granulocytes or fibrinous exudate is detected in the area of parenchyma bursts.

Gas sacs are exceptionally rare in the lumen of venous pulmonary vessels. It is understandable, since the pulmonary venous bed widens towards the blood flow from a pulmonary alveolus to the left ventricle as a result of which gas sacs are dislocated into the left side of the heart [3, 20, 21, 24].

According to the data taken from the related literature [13, 32] as well as the authors' own experience [20, 26] indicate that the majority of fully symptomatic cases of pulmonary barotrauma in divers, sometimes with the an unfavourable outcome, are observed in situations where no errors in the emergence techniques may be proved. Such cases are recognized as the so-called "local pulmonary barotrauma" where the blockage of the respiratory tract does not occur at the level of the throat or larynx but rather in the small airways.

Using their own animal experimental model the authors decided to recreate the conditions of such a trauma and present its morphological exponents, both macro- and microscopic. The study is moreover enhanced with the juxtaposition with a "classical" pulmonary barotrauma.

#### **MATERIAL AND METHOD**

The experiment conducted according to an auteur method [30, 31] involved 32 rabbits of the German Checkered Giant breed, of the age between 28 – 34 weeks, and the body weight ranging between 2240 and 4630 g.

The rabbits were divided into three groups: comparative P, comparative treated PZ and experimental K. All of the animals were kept in identical breeding conditions. In the first stage of macro- and microscopic examination each experimental and control group was divided into two subgroups with regard to the animals' sex. However, already an initial analysis of results led to the conclusion that the obtained values were not sex-related, which allowed to for the treatment of animals of both sexes as a single research group. Due to lack of differences in qualitative and quantitative research, results regarding animals of both sexes in the further course of the experiment they were treated as one group, without the division with regard to the sex.

Group P consisted of 12 animals, none of which were subjected to any procedures nor administered pharmacological preparations. Group PZ consisted of 10 animals that were prepared, intubated and compressed in an analogous manner as compared to the rabbits in the experimental group, however during decompression the lumen of the intubation tube was not closed, i.e. PB was not induced. 10 rabbits comprising group D were subjected to the effects of pulmonary barotrauma.

Grupę P stanowiło 12 zwierząt, u których nie wykonywano żadnych zabiegów, jak również nie podawano żadnych preparatów farmakologicznych. Grupę PZ stanowiło 10 zwierząt, które przygotowywano, intubowano i sprężano analogicznie do królików grupy doświadczalnej, natomiast podczas rozprężania nie zamykano światła rurki intubacyjnej, czyli nie wykonywano UCP. Króliki grupy D 10 sztuk, były podane działaniu urazu ciśnieniowego płuc.

Króliki znieczulano podając leki domięśniowo. Gdy królik był głęboko uśpiony (co trwało najczęściej 20-30 min), w położeniu na grzbiecie intubowano go za pomocą rurki intubacyjnej z balonem uszczelniającym, o średnicy wewnętrznej 6 lub 5 mm, w zależności od wielkości zwierzęcia. Przed intubacją znieczulano powierzchniowo błony śluzowe gardła i tchawicy zwierzęcia i aerozolem gardło. W intubacji wprowadzano rurkę "pod kontrolą palców" do tchawicy. Następnie napełniano balonik uszczelniający rurki mocując ją w tchawicy. Dla redukcji sztucznie powiększonej intubacją martwej przestrzeni oddechowej, skracano rurkę intubacyjną o ok. 4-5 cm, tak, aby tylko 2-3 cm długości jej fragment wystawał z pyszczka zwierzęcia.

Badania przeprowadzono w skonstruowanej specjalnie dla małych zwierząt komorze hiperbarycznej. Znieczulonego i zaintubowanego królika umieszczano w komorze na grzbiecie. Ułożenie takie podczas doświadczenia umożliwiało obserwację głowy zwierzęcia przez iluminator w pokrywie komory, oraz ruchów oddechowych klatki piersiowej i powłok brzusznych przez iluminatory górny i boczny. Koniec rurki intubacyjnej łączono z zaworem zaciskowym (rys. 1). Komorę zamykano, następnie w czasie 1 minuty podwyższano ciśnienie w komorze do ciśnienia odpowiadającego głębokości 20 m słupa wody (200 kPa nadciśnienia) (rys. 2). Po jednonumutowym pobycie w hiperbarii powietrznej, pod kontrolą wzroku, zamykano rurkę intubacyjną na szczycie wdechu i w czasie 1 minuty obniżano ciśnienie w komorze do poziomu ciśnienia atmosferycznego. Po dekompresji natychmiast ponownie udroźniano rurkę intubacyjną, otwierając zawór odcinający i wydobywano zwierzę z komory.



Rys. 1. Ułożenie zwierzęcia w komorze, podłączenie rurki intubacyjnej.

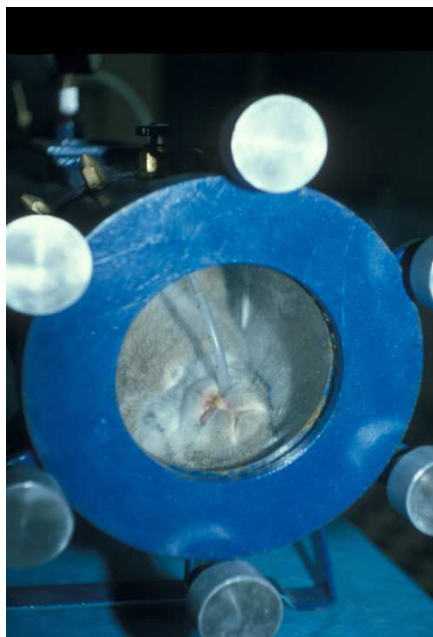
The rabbits were anaesthetized with an intramuscular injection. Once they were put in deep sleep (which usually took 20-30 min) they were intubated lying on the back with intubation tubes supplied with sealing balloons, of the internal diameter of 6 or 5 mm, depending on animal size. Intubation was preceded with surface analgesia of the animals' mucous membranes of the pharynx and the trachea, as well as by spraying the pharynx with an anaesthetic aerosol. Intubation was performed with "finger control" by inserting the tube into the trachea. Then, the sealing balloons were filled with water fixing the tubes in the trachea. In order to reduce the artificially enlarged dead breathing space, the intubation tube was shortened by ca. 4-5 cm so that only its fragment of 2-3 cm stuck out of an animal's snout.

The research was conducted in a hyperbaric chamber constructed specially for small animals. An anaesthetized and intubated rabbit was placed in the chamber on its back. Such positioning allowed observation of an animal's head through the viewing port illuminator in the chamber's lid as well as the respiratory movement of the chest and abdomen through upper and side viewing ports/illuminators. The end of the intubation tube was connected to the break valve (fig. 1). The chamber was closed and then within 1 minute the pressure in the chamber was increased to the value corresponding to hydrostatic pressure present at the depth of 20 m (overpressure value of 200 kPa) (fig. 2).

After a one-minute stay in the conditions of hyperbaria, the intubation tube was closed with the break valve at the rabbit's inhalation peak under visual eye observation and within another one minute the pressure in the chamber was decreased to reach the value of the atmospheric pressure. After the decompression, patency of the intubation tube was immediately restored by opening the break valve, and the animal was removed from the chamber.



Fig. 1. Animal placement in the chamber, intubation tube connection.



Rys. 2. Zwierzę widziane przez iluminator przedni. Ciśnienie w komorze 200 kPa.

Dokładny opis własnej metody doświadczalnej wywoływania urazu ciśnieniowego płuc, odtwarzającą zachodzące tam procesy patologiczne opublikowano w osobnych publikacjach [30, 31].

Zwierzęta uśmiercano bezpośrednio po zakończeniu doświadczenia, niezwłocznie przenoszono na salę sekcijną i wykonywano badanie autopsyjne.

Po rozcięciu powłok szyi, wypreparowywano i podwiązywano w dwóch miejscach tchawicę, celem niedopuszczenia do zapadnięcia się płuc po otwarciu klatki piersiowej.

Przed otwarciem klatki piersiowej wykonywano w sposób typowy dla tej techniki sekcyjnej obustronnie próbę wodną na obecność odmy opłucnowej. Podczas dalszego preparowania narządów klatki piersiowej, rutynowo poszukiwano zatoru gazowego serca w sposób typowy. Następnie wydobywano w całości pakiet narządów klatki piersiowej.

Pakiety narządów umieszczano w oznaczonych, jednolitrowych pojemnikach, zawierających roztwór 10%, zubożonej formaliny i utrwalano przez okres 14-u dni w temperaturze 0 - 4°C.

Preparaty mikroskopowe wykonywano z całych płuc utrwalonych w 10% zubożonej i zbuforowanej formalinie metodą parafinową. Każde płuco przekrawano na pół od powierzchni zewnętrznej do wnętrza starając się każdorazowo uzyskać przekrój oskrzela głównego.

Skrawki tkankowe grubości ok. 5 mikrometrów sporządzano metodą parafinową przy użyciu mikrotomu i barwione hematoksyliną - eozyną oraz srebrzone wg. Gomoriego w sposób typowy, opisywany w podręcznikach i standartowo stosowany w zakładach histopatologii.

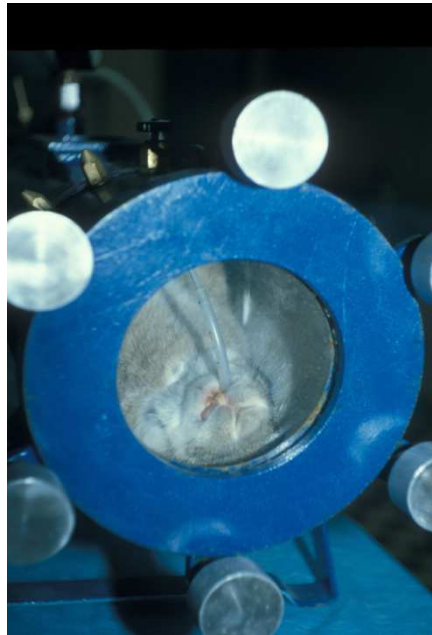


Fig. 2. An animal seen through the viewing portfront illuminator. Pressure in the chamber. 200 kPa.

A detailed description of the own experimental method of inducing pulmonary barotrauma, recreating the accompanying pathological processes, have been published separately in [30, 31].

The animals were put to death immediately following completion of the experiment completion and transferred to the autopsy room where post-mortem examinations were was performed.

After the dissection of the neck area, two ligatures were provided around the trachea in order to prevent lung collapse after opening the chest. Opening of the chest was preceded by water tests for the presence of pneumothorax, separately for each chamber. In further making of specimens of the chest organs, arterial gas embolism was searched for routinely, in a typical manner. Next, the entire set of organs was removed from the chest.

The specimens were placed in labelled one-litre containers containing the solution of 10% formalin and stored for the period of 14 days in the temperature of 0 - 4°C.

Sections were made from the whole lungs fixed in 10% formalin buffered with paraffin method. Each lung was cut in half from the external surface towards the inside with the an attempt to receive the cross-section of the main bronchi.

Tissue scraps of the width of ca. 5 micrometres were prepared with the paraffin method with the use of microtome and stained with haematoxylin – eosin, as well as silver stained according to Gomori's method in a typical manner described in manuals and commonly applied by institutes of histopathology.

## WYNIKI

Wyniki badań makroskopowych – autopsyjnych przedstawia tabela 1.

Tabela 1.

Obserwowane podczas autopsji zmiany makroskopowe.

Badanie makroskopowe	P (12)	PZ (10)	D (10)
Śmierć zwierzęcia w komorze	0	0	1
Obustronna odma opłucnowa	0	0	1
Jednostronna odma opłucnowa	0	0	1
Odma śródpiersiowa	0	0	1 †
Śródmiąższowa rozedma podopłucnowa	0	2	7
Pęknięcie płuca (opłucnej)	0	0	2
Wybroczyny podopłucnowe	0	3	10
Krwotok do tchawicy	0	0	1
Zator gazowy serca	0	0	1
"Marmurkowatość" powierzchni płuca	0	2	4

Bezpośrednio po przebytych UCP, jeszcze przed otwarciem komory ciśnieniowej, padło jedno zwierzę grupy D. Podczas badania sekcijnego stwierdzono u niego zator gazowy lewej komory serca. Również jeden królik tej samej grupy padł po zakończeniu doświadczenia (znak † w tabeli). Podczas badania autopsyjnego stwierdzono u niego odmę śródpiersia i podskórną okolicy szyi.

Za krwotok z dróg oddechowych uznawano wydobywanie się z rurki intubacyjnej lub, po jej usunięciu, z dróg oddechowych, płynnej, pianistej krwi, a nie samej wydzieliny śluzowej jedynie podbarwionej krwią. Krwotok bezpośrednio po przebytych urazie stwierdzono u jednego z królików z grupy D. Krew miała barwę ciemnoczerwoną.

Spośród zwierząt grupy porównawczej zabiegu PZ podczas badania makroskopowego u niektórych również stwierdzono zmiany morfologiczne w płucach, charakterystyczne dla urazu ciśnieniowego. Były to pęcherze podopłucnowe, wybroczyny podopłucnowe i cechy rozděcia z towarzyszącą niedodmą, a także nierównomierne ukrwienie powierzchni płuc (marmurkowatość). Nasilenie tych zmian było znacznie mniejsze w porównaniu z grupą doświadczalną.

Badanie mikroskopowe płuc tych zwierząt potwierdziło obserwacje makroskopowe. U wszystkich zwierząt grupy doświadczalnej D i grupy porównawczej zabiegu PZ stwierdzono mikroskopowe wykładniki uszkodzenia mięszu płucnego, charakterystyczne dla urazu ciśnieniowego płuc.

Wyniki badań mikroskopowych przedstawiono w tabeli 2.

## RESULTS

Macroscopic examination (autopsy) results – are collectively presented in table 1.

Table 1.

Macroscopic changes detected in autopsy.

Macroscopic examination	<b>P</b> <b>(12)</b>	<b>PZ</b> <b>(10)</b>	<b>D</b> <b>(10)</b>
Death of an animal in the chamber	0	0	1
Bilateral pneumothorax	0	0	1
Unilateral pneumothorax	0	0	1
Pneumomediastinum	0	0	1 †
Interstitial subpleural emphysema	0	2	7
Rupture of the lung (pleura)	0	0	2
Petechia in the subpleural area	0	3	10
Haemorrhage into the trachea	0	0	1
Gas embolism of the heart	0	0	1
"Marbling" of the lung surface	0	2	4

One animal from group D died immediately after experiencing PB, before opening the hyperbaric chamber. Autopsy showed gas embolism of the left ventricle. Also one rabbit from the same group died on experiment completion († symbol in the table). The autopsy showed pneumomediastinum and pneumoderma in the neck area.

What was determined as a haemorrhage from the respiratory tract was liquid, foamy blood coming out from an intubation tube or from the respiratory tract after the removal of the tube and not just mucous secretion coloured with blood. Haemorrhage immediately following the trauma was confirmed in one of the rabbits from group D. The blood had a dark red colour.

Among some of the animals from the comparative treated group PZ the macroscopic examination indicated morphological changes in the lungs characteristic of pulmonary barotrauma. The changes involved subpleural sacs, petechia in the subpleural area and traits of emphysema with an accompanying atelectasis and uneven blood-supply to the lungs (marbling). The intensification of these changes was significantly lower than compared with the experimental group.

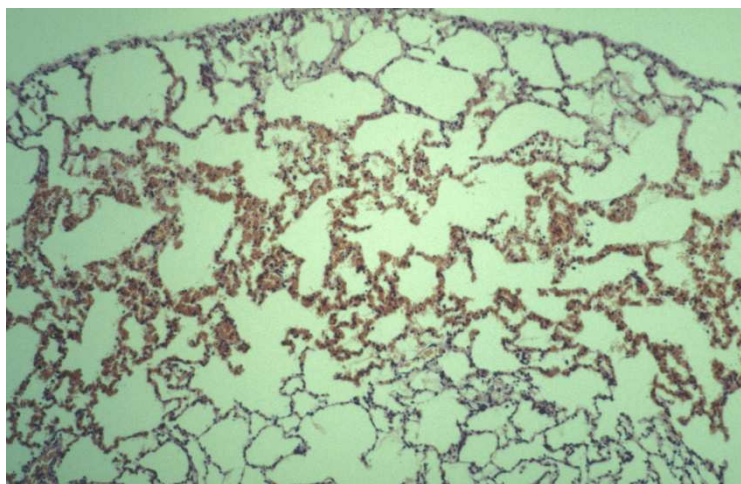
Microscopic examination of the lungs of the above animals confirmed macroscopic observations. Microscopic exponents of the damage to parenchyma characteristic of pulmonary barotrauma were confirmed in all animals of the experimental group D and the comparative treated group PZ. The results of microscopic examination are presented in table 2.

Tabela 2.

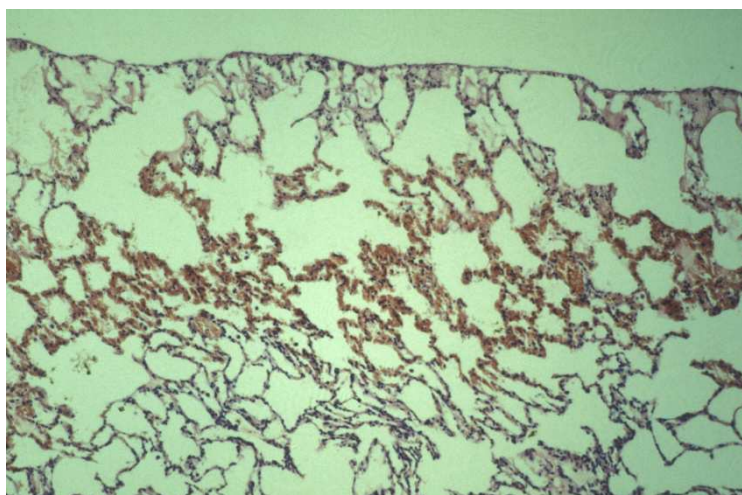
Zmiany obserwowane podczas badania mikroskopowego.

Badanie mikroskopowe	<b>P (12)</b>	<b>PZ (10)</b>	<b>D (10)</b>
Rozdęcie	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
Pęcherze podopłucnowe (odwarstwienie opłucnej)	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
Niedodma	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
Krwinkotoki do światła pęcherzyków	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>9</b>
Zawały parakortykalne (podopłucnowe)	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

Najczęstszą zmianą obserwowaną zarówno w grupie doświadczalnej, jak i porównawczej zabiegu były cechy rozdęcia mięszu płucnego, co przedstawiają rysunki 3 i 4. Wystąpiło ono u wszystkich zwierząt grupy doświadczalnej.



Rys. 3. Cechy rozdęcia i krwinkotoki do śródmiąższu płuca. Zdjęcie pochodzi z preparatu uzyskanego od zwierzęcia grupy D.



Rys. 4. Cechy rozdęcia i krwinkotoki do śródmiąższu płuca. Zdjęcie pochodzi z preparatu uzyskanego od zwierzęcia grupy PZ.

Table 2.

Changes observed in microscopic examination.

Microscopic examination	<b>P (12)</b>	<b>PZ (10)</b>	<b>D (10)</b>
Emphysema	<b>0</b>	<b>4</b>	<b>10</b>
Subpleural sacs (detachment of the pleura)	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
Atelectasis	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>7</b>
Erythrorrhagiae into the lumen of alveoli	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>9</b>
Paracortical infarctions (subpleural)	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

The most frequently observed changes, both in the experimentation and comparative experimental, were the traits of emphysema of parenchyma, as shown on fig. 3 & 4. They were detected in all the animals of the experimental group.

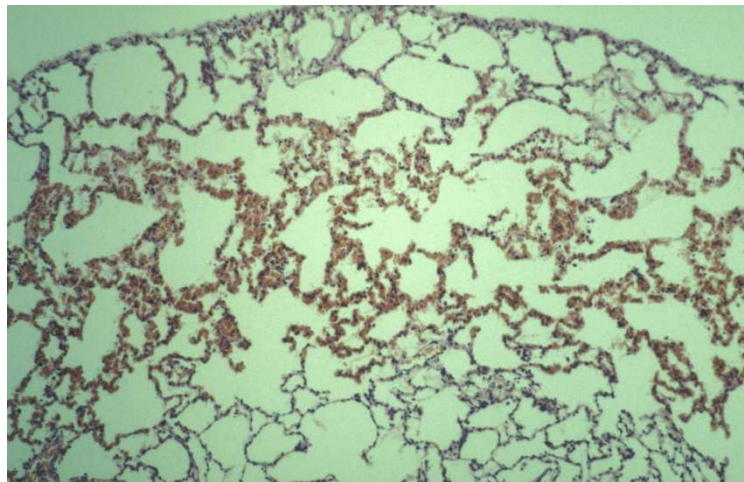


Fig. 3. Traits of emphysema and erythrorrhagiae into the parenchyma. The photograph comes from group D specimens.

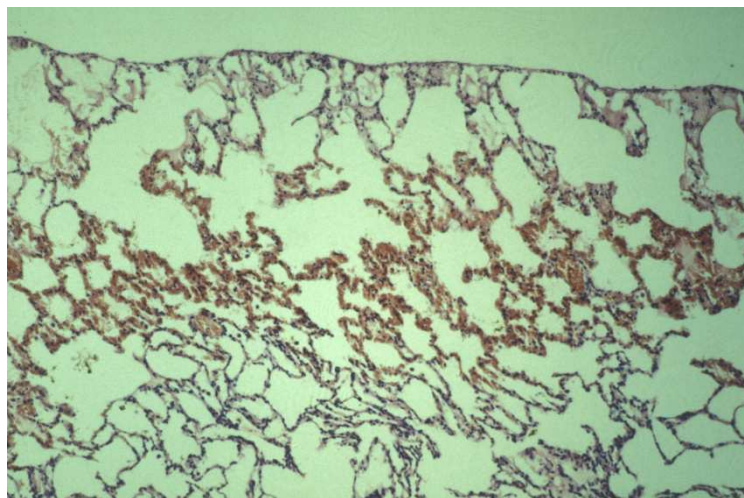
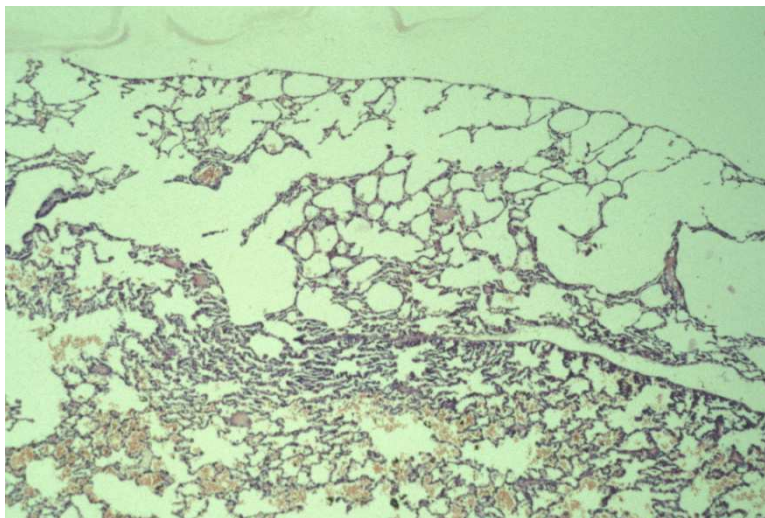
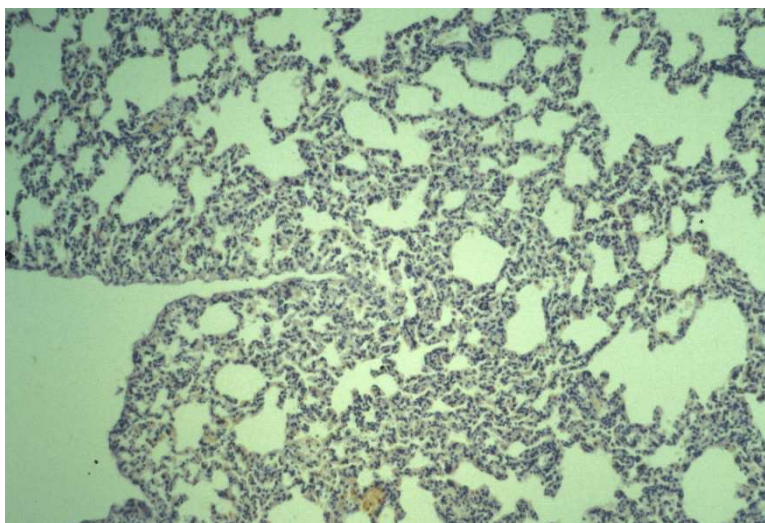


Fig. 4. Traits of emphysema and erythrorrhagiae into the parenchyma. The photograph comes from group PZ specimens.

U większości zwierząt grupy D i kilku grupy PZ rozdęciu towarzyszyła niedodma (rysunki 5 i 6) krwinkotoki (rys. 4, 5 i 7) oraz cechy odwarstwienia opłucnej (rys. 7).



Rys. 5. Cechy niedodmy i rozdęcia, oraz krwinkotoki do światła pęcherzyków. Zdjęcie pochodzi z preparatu uzyskanego od zwierzęcia grupy D.



Rys. 6. Cechy niedodmy i rozdęcia. Zdjęcie pochodzi z preparatu uzyskanego od zwierzęcia grupy PZ.

In the majority of group D animals and in several animals from group PZ the emphysema was accompanied by atelectasis (fig. 5 & 6), erythorrhagiae (fig. 4, 5 & 7) as well as traits of the detachment of the pleura (fig. 7).

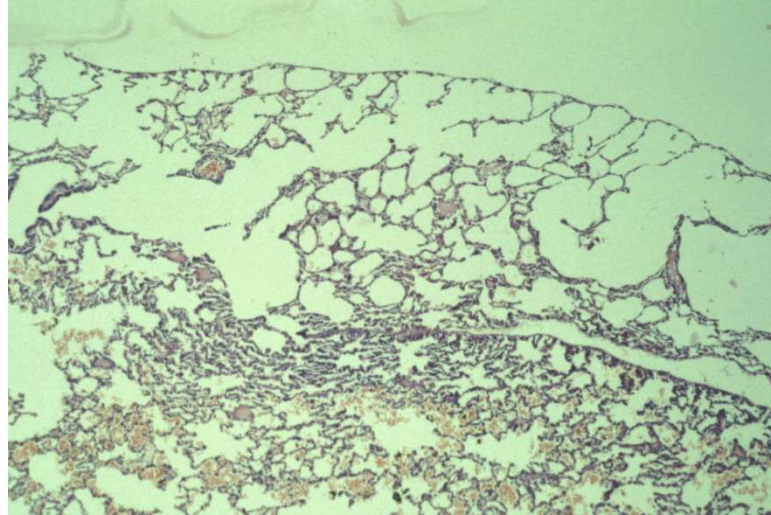


Fig. 5. Traits of emphysema and atelectasis, and erythorrhagiae into the lumen of the alveoli. The photograph comes from group D specimens.

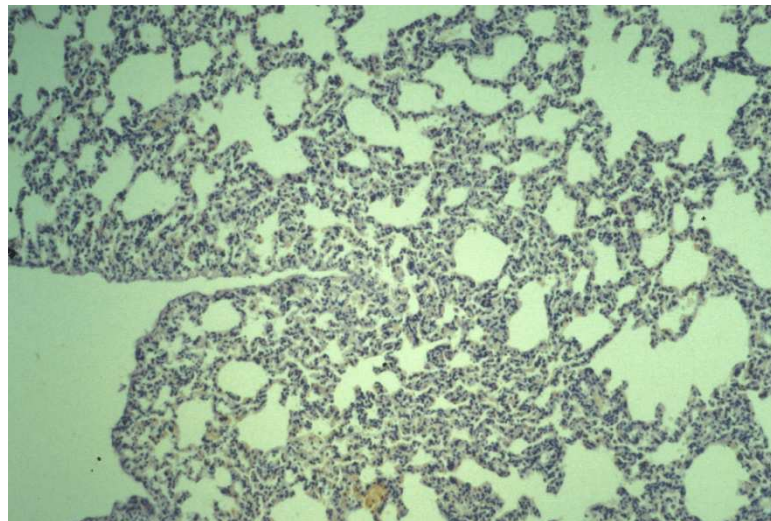
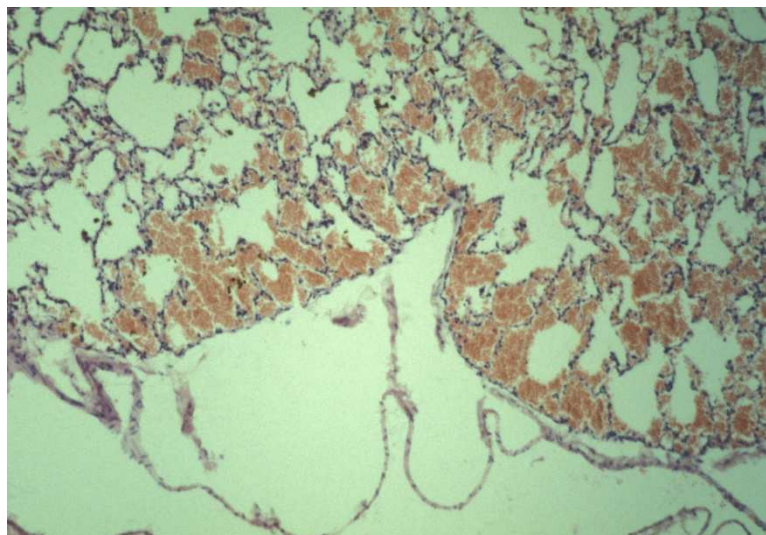


Fig. 6. Traits of emphysema and atelectasis. The photographs comes from group PZ specimens.



Rys. 7. Odwarstwienie opłucne, oraz krwinkotoki do światła pęcherzyków.

W preparatach srebrzonych metodą Gomoriego stwierdzono uszkodzenie, bądź przerwanie włókien łącznotkankowych w przegrodach międzypęcherzykowych zarówno w grupie D, jak i (w mniejszym nasileniu) w grupie PZ.

#### **OMÓWIENIE WYNIKÓW I Dyskusja**

Wykładniki morfologiczne charakterystyczne dla UCP, zarówno mikro- i makroskopowe stwierdzono w płucach zwierząt zarówno grupy doświadczalnej, jak i grupy porównawczej zabiegu, w której to grupie nie zamykano rurki intubacyjnej, czyli nie uruchamiano podstawowego czynnika sprawczego wywołującego UCP – niedrożności dróg oddechowych podczas wynurzania. W grupie tej jedynym narażeniem było sprężenie na krótki okres czasu i eksplozywna dekompresja. Wystarczyło to jednak do powstania zmian morfologicznych w płucach analogicznych jak te, które stwierdzono w grupie doświadczalnej.

Stwierdzenie zmian w tej grupie badawczej nie było zaskoczeniem, gdyż [13, 32] w większości przypadków pełnoobjawowego urazu ciśnieniowego płuc nie daje się stwierdzić błędu w technice wynurzania, czyli np. wynurzania z zamkniętą głośnią. Podobnie było w przypadku tego doświadczenia – nie dokonano uniedrożnienia dróg oddechowych a dyskretne wykładniki morfologiczne zostały stwierdzone.

Nasilenie zmian i częstotliwość ich występowania była znacznie mniejsza w grupie PZ niż w grupie D. Należy przypuszczać, przynajmniej jeśli chodzi o wykładniki mikroskopowe, iż częściowo odpowiedzialny za te różnice jest sposób pobierania materiału. Jeżeli dochodzi do urazu miejscowego, którego przyczyną jest najprawdopodobniej zaburzenie drożności drzewa oskrzelowego na poziomie mniejszych oskrzeli, to wykładniki morfologiczne lokalizują się jedynie w okolicy powstania urazu; w części płuca drenowanej przez to właśnie oskrzele. Z tego też powodu, przy pobieraniu tylko jednego przekroju z każdego płuca, a nie warstwowemu ich skrawaniu, część ich może nie zostać uwidoczniła w preparacie mikroskopowym.

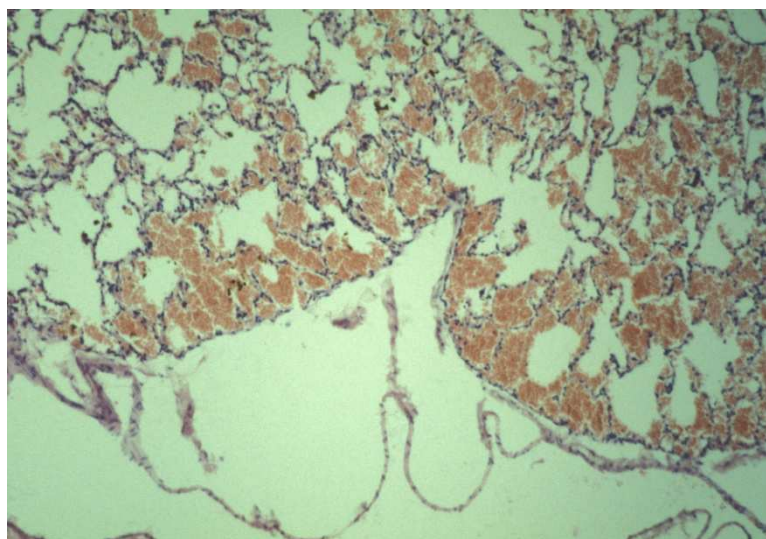


Fig. 7. Detachment of the pleura and erythrorrhagiae into the lumen of the alveoli.

In the specimens silver stained with Gomori's method damage or rupture of connective tissues or interalveolar septa was detected both in group D and, to a smaller extent, in group PZ.

#### **DISCUSSION OF THE RESULTS**

Morphological exponents characteristic of PB, both in the micro- and macroscopic examination, were detected in the lungs of animals of the experimental as well as the comparative treated group, where the intubation tubes were not closed, i.e. without the activation of the primary factor inducing PB – the obstruction of the respiratory tract during emergence. In this group the only exposure consisted in a short-term compression and rapid decompression. Nonetheless, this was enough to induce morphological changes in the lungs analogous to those detected in the experimental group.

The detection of changes in this group was not surprising as [13, 32], in the majority of cases of fully symptomatic pulmonary barotrauma, it is impossible to confirm an error in the ascending technique, i.e. for instance ascending with an accompanying stricture of the glottis. The situation in the case of this experiment was similar – the respiratory tract was not obstructed and yet it was possible to localize discreet morphological exponents.

The intensification of changes and frequency of their occurrence was significantly lower in group PZ than in group D. It should be assumed, at least in relation to microscopic exponents, that the factor that is partly responsible for those differences is the manner of material sampling. In the case of a local trauma induced in all likelihood by disturbance of patency of the bronchial system at the level of the small airways, the morphological exponents will be localized only in the area of the trauma; in the part of the lung drained by this particular bronchi. For this reason, when sampling only one section of each lung instead of cutting the lungs in layers some of the exponents may not become visible in a microscopic specimen.

Jednak obecność w grupie porównawczej zabiegu zmian charakterystycznych dla urazu ciśnieniowego płuc, jakościowo analogicznych jak stwierdzane w grupie doświadczalnej i nieobecność jakichkolwiek zmian morfologicznych w grupie porównawczej pozwala na stwierdzenie, że zarówno w grupie D jak i PZ do UCP doszło.

Przeprowadzone badania doświadczalne potwierdzają, iż wymienione we wstępie wśród przyczyn UCP zbyt szybkie wynurzenie, nawet przy prawidłowym oddychaniu istotnie może prowadzić do powstania urazu. Na podstawie wyników badań można również zaproponować jeszcze jeden czynnik ryzyka: Niedrożność dowolnego odcinka dróg oddechowych wywołana przez przeszkodę w drzewie oskrzelowym podczas wynurzania się.

### **WNIOSKI**

1. Zastosowany model doświadczalny wykazał występowanie wykładników morfologicznych urazu ciśnieniowego płuc zarówno u zwierząt, u których uniedrażniano rurkę intubacyjną, jak i u tych, które narażone były jedynie na szybką dekompresję.
2. Doświadczenie potwierdziło możliwość występowania pełnoobjawowego urazu podczas szybkiej dekompresji, przy zachowanym normalnym oddechu.
3. Wykładniki morfologiczne urazu ciśnieniowego płuc były bardziej nasilone w grupie, w której odtworzono przebieg urazu poprzez uniedrożnienie tchawicy.

However, the presence of changes characteristic of pulmonary barotrauma in the comparative treated group, qualitatively analogous to those detected in the experimental group and the absence of any morphological change in the comparative group, allows the confirmation of PB in both groups D and PZ.

The conducted experimental examinations confirm that too quick an emergence enumerated among the reasons for PB may indeed lead to the occurrence of the trauma even with correct breathing. Based on examination results, we may also stipulate another risk factor: occlusion of any segment of the respiratory tract evoked by an obstacle in the bronchial system during emergence.

### **CONCLUSIONS**

1. The applied experimental model indicated morphological exponents of pulmonary barotrauma both in animals whose intubation tube was obstructed as well as in those subjected only to rapid decompression.

2. The experiment confirmed the possibility of occurrence of fully symptomatic barotrauma during rapid decompression with a regular breathing activity.

3. The morphological exponents of pulmonary barotrauma were more intense in the group where the course of the trauma was evoked through the occlusion of the trachea.

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

- 1) Beckett A, Kordick M.F.: Risk factors for dive injury: a survey study. *Res Sports Med.* 2007 Jul-Sep;15(3):201-11;
- 2) Bitterman H., Melamed Y.: Delayed hyperbaric treatment of cerebral air embolism. *Isr.J.Med.Sci.* 1993, 29 1: 22 – 6;
- 3) Calder I.M.: Autopsy and experimental observations on factors leading to barotrauma in man. *Undersea Biomed.Res.* 1985, 12, 2: 165 – 182;
- 4) Chen H., Wang Z., Ye Z.: Rabbit lung injury induced by explosive decompression. *Chin J Traumatol.* 2000 May 15;3(2):81-84;
- 5) Craft T.M., Chambers P.H., Ward M.E., Goat V.A.: Two cases of barotrauma associated with transtracheal jet ventilation. *Br.J.Anaesth.* 1990, 64, (4): 524 7;
- 6) Eckert W.G.: Injuries from increased atmospheric pressure. w "Textbook of Military Medicine" published by Office of the Surgeon General, Dep. of the Army USA red. ccol. Russ Zajtchuk. 1991: 636 – 640;
- 7) Ehm O.F.: Pulmonary Barotrauma: Reflections on its causes. *Europ J of Underwater and Hyperbaric Med* 2001, 2(1) 4-7;
- 8) Fuhrman T.M.: Pulmonary barotrauma in mechanical ventilation. *Chest* 1993, 104(3) 987-99;
- 9) Gammon R.B., Shin M.S., Buchalter S.E.: Pulmonary barotrauma in mechanical ventilation. Patterns and risk factors. *Chest.* 1992, 102, (2): 568 – 72;
- 10) Hillman K., Albin M.: Pulmonary barotrauma during cardiopulmonary resuscitation. *Crit.Care.Med.* 1986, 14, 7: 606 – 609;
- 11) Iwao Y., Masuda J, Ochiai R, Higa S, Takeda J, Sekiguchi H, Nagano M.: Does pulmonary air embolism affect the pulsatility of pulmonary capillary blood flow in dogs? *Nippon. Kyobu. Shikkan. Gakkai. Zasshi.* 1991, 29, (3): 338 – 44;
- 12) Lee D.R., Hutchins G.M.: Pneumomyocardium: an unusual complication of barotrauma. *Pediatr.Pathol.* 1990, 10, (5): 8258;
- 13) Leitch D.R., Green R.D.: Recurrent pulmonary barotrauma. *Aviat. Space. Environ. Med.* 1986, 57 (11): 1039 – 43;
- 14) Lim E.B., How J.: A review of cases of pulmonary barotrauma from diving. *Singapore.Med.J.* 1993, 34, (1): 169;
- 15) Mellem H., Emhjellen S., Horgen O.: Pulmonary barotrauma and arterial gas embolism caused by an emphysematous bulla in a SCUBA diver. *Aviat.Space.Environ.Med.* 1990, 61, (6): 559 62;
- 16) Miller R.S., Nelson L.D., Di Russo S.M., Rutherford E.J., Safcsak K., Morris J.A. Jr.: Highlevel positive endexpiratory pressure management in traumaassociated adult respiratory distress syndrome. *J.Trauma.* 1992, 33, (2): 284 90: 290 – 291;
- 17) Myers D.P., de LeonCasasola O.A., Bacon D.R., Slowik W.P., Lema M.J.: Bilateral pneumothoraces from a malfunctioning resuscitation valve. *J.Clin.Anesth.* 1993, 5, (5): 433 5;
- 18) Novomesky F., Ehm O.: Fatal air embolism in diving. A morphological approach. *Z.Rechtsmed.* 1985, 95, (2): 105-111;
- 19) Olszański R., Siermontowski P., Dąbrowiecki Z.: Uraz ciśnieniowy płuc w przebiegu hipoksji u pletwonurka pod wodą. *PHR* 3(32) 2010: 67 – 71;
- 20) Olszański R., Stencel J., Filipek B., Siermontowski P., Kręczkowski T.: Dwa przypadki urazu ciśnieniowego płuc o nietypowo długim okresie bezobjawowym. *Biuletyn WAM*, 1994 37, 1/4: 193 – 196;
- 21) Parker J.C., Hernandez L.A., Peevy K.J.: Mechanisms of ventilatory induced lung injury. *Crit.Care.Med.* 1993, 21: 131 43;

- 22) Rodeberg D.A., Maschinot N.E., Housinger T.A., Warden G.D.: Decreased pulmonary barotrauma with the use of volumetric diffusive respiration in pediatric patients with burns: the 1992 Moyer Award. *J.Burn.Care.Rehabil.* 1992, 13, (5): 506 – 511;
- 23) de Roux S.J., Prendergast N.C.: Large sub-pleural air cysts: an extreme form of pulmonary interstitial emphysema. *Pediatr Radiol.* 1998 Dec;28(12):981-3;
- 24) Schaefer K.E., McNulty W.P., Carey C., Liebow A.A.: Mechanisms in development of intestinal emphysema and air embolism on decompression from depth. *J.Appl.Physiol.* 1958, 13, (1): 15 – 29;
- 25) Siermontowski P., Koktysz R.: Badania powietrzności płuc po doświadczalnym urazie ciśnieniowym. *PHR* 2008 2(23) 25-34;
- 26) Siermontowski P., Konarski M.: Odma opłucnowa podczas nurkowania – opis przypadku. IX Konferencja Naukowa PTMiTH Sopot 2007;
- 27) Siermontowski P., Kozłowski W., Koktysz R., Kulig A., Olszański R. : Morphological assessment of the effect of experimental pulmonary barotrauma on the bronchioalveolar tree and the pulmonary vascular bed . *Proc. International Joint Meeting on Hyperbaric and Underwater Medicine* 1996, 229-231;
- 28) Siermontowski P., Kozłowski W., Koktysz R., Kulig A., Olszański R., Konarski M.: Macroscopic and microscopic indices of changes in experimental pulmonary barotrauma. *Proc. Diving and Hyperbaric Medicine – Bled, Slovenia, EUBS* 1997: 107-111;
- 29) Siermontowski P., Kozłowski W., Koktysz R., Olszański R.: Morfologiczna ilościowa ocena dynamiki zmian w płucach po doświadczalnym urazie ciśnieniowym płuc. *PHR* 2005, 3 (12): 19-26;
- 30) Siermontowski P., Kozłowski W., Kulig A., Gałach R., Wojcieszek P., Niedziałkowski P.: Model doświadczalny urazu ciśnieniowego płuc. *Lek.Wojsk.* 1996, 72, 5-6 (III): 293-298;
- 31) Siermontowski P., Kozłowski W., Olszański R., Pedrycz A.: Znaczenie modelu doświadczalnego urazu ciśnieniowego płuc w badaniu wypadków nurkowych. *PHR* 2012 1(38): 7-28;
- 32) Stuhr LE, Bergø GW, Skei S, Maehle BO, Tyssebotn I.: Repeated normoxic hyperbaric exposures induce haemodynamic and myocardial changes in rats. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1993;66(3):226-34;
- 33) Tetzlaff K., Reuter M., Leplow B., Heller M., Bettinghausen E.: Risk factors for pulmonary barotrauma in divers. *Chest* 1997, 112: 654-659;
- 34) Williamson J.A., King G.K., Callanan V.I., Lanskey R.M., Rich K.W.: Fatal arterial gas embolism: detection by chest radiography and imaging before autopsy. *Med. J. Aust.* 1990, 153, (2): 97 – 100;
- 35) Williams T.J., Tuxen D.V., Scheinkestel C.D., Czarny D., Bowes G.: Risk factors for morbidity in mechanically ventilated patients with acute severe asthma. *Am.Rev.Respir.Dis.* 1992, 146, (3): 607 – 615;
- 36) Wolf H.K., Moon R.E., Mitchell P.R., Burger P.C.: Barotrauma and air embolism in hyperbaric oxygen therapy. *Am.J.Forensic.Med.Pathol.* 1990, 11, (2): 149 – 53;
- 37) Zuckerman S.: Experimental study of blast injuries to the lungs. *The Lancet* 1940, 24: 219 – 226.

## **LOCAL PULMONARY BAROTRAUMA – INITIAL CONCLUSIONS FROM AN EXPERIMENTAL RESEARCH**

*Pulmonary barotrauma is connected with a rapid increase in the volume of a breathing mix in the lungs accompanied by inability of its release through the respiratory tract. The main reasons for the trauma are seen in the loss of consciousness or a diver's panic attack and emergence with stricture of the glottis. However, numerous publications and the authors' own experiences indicate that the majority of cases of fully symptomatic pulmonary barotrauma are observed without an evident error in the ascending technique. The authors decided to apply their own previously prepared experimental model for pulmonary barotrauma to examine such cases on an animal model.*

*The experiment was conducted on 32 rabbits. The comparative group was not subjected to any treatment, the experimental group was subjected to pulmonary barotrauma, whereas the comparative treated group was subjected only to compression followed by quick decompression. In both the experimental and the comparative treated group, the same morphological exponents of pulmonary barotrauma, though varying in their intensity, were detected in the lungs.*

**Keywords:** *pulmonary barotrauma, local injury, morphological experimental investigation.*

## **ЛОКАЛЬНАЯ БАРОТРАВМА ЛЕГКОГО - ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

*Легочная баротравма связана с резким увеличением объема дыхательной смеси в легких во время невозможности ей отлива при вдохе. Основными причинами травм считается потеря сознания, паника дайвера и подъем с закрытой голосовой щелью. Тем не менее, число публикаций и опыт авторов показывает, что большинство полномасштабных случаев легочной баротравмы происходит без явной ошибки в технике подъема. Авторы решили использовать свой собственный ранее разработанный экспериментальный модель легочной баротравмы для расследования таких случаев на модели животного.*

*Исследование было проведено на 32 кроликах. Контрольная группа не подвергалась какой-либо обработки, экспериментальная группа имела легочную баротравму, а группа сравнения подвергалась только компрессии и быстрой декомпрессии. Как в группе экспериментальной, так и в группе сравнительного лечения, показало такие же, но повышенные морфологические особенности тяжелой легочной баротравмы.*

**Ключевые слова:** *легочная баротравма, локальная травма, морфологические экспериментальные исследования.*

**Zbigniew Talaśka**

**dr inż. Zbigniew Talaśka**

Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte  
81-103 Gdynia 3, ul. Śmidowicza 69  
Zakład Technologii Prac Podwodnych  
tel. + 58 626 27 46, fax. +58 625 38 82  
e-mail: zbigniew\_talaska@wp.pl

**ANALIZA EUROPEJSKIEGO RYNKU AUTONOMICZNYCH POJAZDÓW  
PODWODNYCH  
część 1**

*W artykule przedstawiono analizę produktów i producentów autonomicznych pojazdów podwodnych na terenie Europy.*

**Słowa kluczowe:** *technologia prac podwodnych, autonomiczny pojazd podwodny (AUV).*

**AN ANALYSIS OF THE EUROPEAN MARKET OF AUTONOMOUS  
UNDERWATER VEHICLES  
PART 1**

*The article presents an analysis of products and manufacturers of autonomous underwater vehicles in Europe.*

**Keywords:** *underwater works technology, autonomous underwater vehicle (AUV).*

## WSTĘP

Automatyzacja i robotyzacja procesów technologicznych oraz usługowych, jest nieodłącznym elementem współczesnej techniki. Pojawia się coraz więcej rozwiązań i ich zastosowań praktycznie w każdej dziedzinie działalności człowieka. Podstawowym celem jest eliminowanie udziału i wpływu ludzi na pracę skomplikowanych systemów technicznych, wykorzystujących różne maszyny i urządzenia, aby zwiększyć dokładność, powtarzalność, efektywność i bezpieczeństwo ich działania. Jednym z obszarów, w którym obserwuje się dynamiczny rozwój i postęp konstrukcyjno-technologiczny jest technika podwodna. Poprzez zastosowanie nowych rozwiązań, możliwa jest eksploracja dotychczas niedostępnych akwenów wodnych. Jej wynikiem jest eksploatacja morskich i oceanicznych bogactw naturalnych, jak również gospodarcze wykorzystanie flory i fauny. Jedną z grup urządzeń, wspomagających m.in.: prace naukowo-badawcze z zakresu hydrografii, kartografii, biologii, monitorowania środowiska, a także techniczne operacje wydobywcze, militarne i szereg innych, są autonomiczne pojazdy podwodne. Liczba produkowanych tego typu urządzeń oraz liczne zastosowania wskazują na znaczny ich rozwój. Stąd też wynika potrzeba stałego śledzenia tendencji i kierunków, za którymi podążają producenci. Istotny wpływ na nie mają potrzeby potencjalnych klientów. Oni stanowią rynek nabywców, stwarzając warunki popytu. Ważnym jest zatem, aby znali podaż konkurujących firm, w postaci oferowanych produktów, ich możliwości wykorzystania do własnych celów oraz parametrów techniczno-użytkowych. Dlatego też w artykule przedstawiono analizę produktów z grupy autonomicznych pojazdów podwodnych, ograniczając rynek producentów do obszaru Europy.

## ANALIZA PRODUKTU

Autonomiczne Pojazdy Podwodne (ang. Autonomous Underwater Vehicle - AUV) stanowią część dużej grupy systemów podwodnych, znanych jako bezzałogowe pojazdy podwodne (ang. Unmanned Underwater Vehicles - UUV). Konstrukcyjnie i funkcjonalnie, stanowią one programowalne roboty. Komputery umieszczone w kadłubach pojazdów, po zaaplikowaniu odpowiedniego programu, są zdolne do samodzielnego prowadzenia i sterowania pojazdem, zgodnie z wprowadzonym zadaniem. W oparciu o wewnętrzne źródła zasilania, poruszają się w wodzie w czasie rzeczywistym, bez ingerencji operatora z powierzchni, tak, jak jest to w przypadku pojazdów sterowanych ręcznie typu ROV (ang. Remotely Operated Vehicles). Komunikacja z pojazdem odbywa się okresowo lub w sposób ciągły, poprzez sygnały satelitarne albo sygnały akustyczne, emitowane pod wodą przez np. stawy lub statki nawodne. Do niedawna AUV używano w stosunkowo ograniczonym zakresie. Wynikało to m.in. z niedostępnych w tym czasie i ograniczonych możliwości technicznych. Jednak wraz ze znacznym i szybkim rozwojem zaawansowanych technologii, w tym szczególnie źródeł zasilania, AUV zostały wprowadzone do szerokiego stosowania. W obecnym czasie, autonomiczne pojazdy podwodne mają liczne i zróżnicowane w sposobie zastosowania. Wiele źródeł informacji, w przedmiotowym zakresie wskazuje, że rynek pojazdów AUV podzielony jest zasadniczo na trzy podstawowe obszary projektowo-produkcyjne i aplikacji. Są to:

- a) komercja podmorska związana z przedsięwzięciami eksploracji i eksploatacji dna morskiego,
- b) zastosowania militarne związane z działaniami obronnymi, bezpieczeństwa i ochrony portów oraz granic państwa,
- c) zastosowania naukowo-badawcze zarówno w sektorach cywilnych i wojskowych, włączając w to uniwersytety i agencje badawcze.

## **INTRODUCTION**

Automation and robotization of technological and operational processes has come to be an inseparable element of modern technology. We are faced with more and more solutions and their applications in practically any domain of human activity. Their basic goal is to eliminate the participation and impact of people on the functioning of complicated technical systems using various types of machines and devices in order to enhance the accuracy, repetitiveness, efficiency and safety of their operation. Underwater technology is one of such areas where a dynamic development and constructional-technological progress may be observed. Application of new solutions enables the exploration of previously unavailable bodies of water. The result is exploitation of marine and oceanic natural resources as well as economic use of the flora and fauna. One of the groups of devices supporting, among others, the scientific-research works within hydrography, cartography, biology, environmental monitoring, as well as technological mining, military and other kinds of operations is the group of autonomous underwater vehicles. The number of these types of devices being manufactured, as well as the vast scope of their application, indicate the significance of their development. Hence, there is a need for constant observance of the tendencies and directions followed by their producers, but it must not be forgotten that the needs of potential clients are of crucial importance. It is the clients that constitute the market and create the conditions for demand on such products. Thus, it is important that they know the supply of products offered by competing companies, their possibilities of use within the clients' needs and their technical parameters. For this purpose, this article presents an analysis of products belonging to the group of autonomous underwater vehicles, with the limitation to manufacturers operating in Europe.

## **PRODUCT ANALYSIS**

Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) make up a large group of underwater systems known as Unmanned Underwater Vehicles (UUVs). They have the construction and functions of programmable robots. After the application of a suitable programme the computers placed in vehicles' bodies are capable of an independent control and operation of the vehicle in accordance with an assigned task. They move in water in real time based on internal power supply sources without the interference of an operator on the surface, as it is the case with manually controlled vehicles of the ROV (Remotely Operated Vehicles) type. Communication with the vehicle is maintained periodically or continuously with satellite or acoustic signals emitted under water by e.g. surface vessels. Until recently, AUVs were used in a relatively limited scope. This resulted from the unavailable and limited technical possibilities. However, due to significant and rapid development of advanced technologies, including power supply systems, AUVs have been introduced into broad use. At present, autonomous underwater vehicles are characterised by numerous and diversified applications. Many sources of information indicate that the AUV market is divided into the three following basic design and application areas:

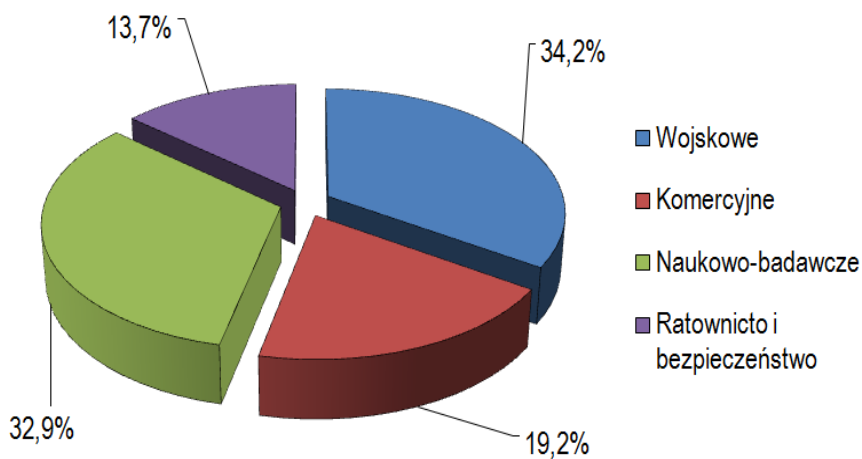
- a) seawater commerce connected with enterprises dealing with the exploration and exploitation of the sea bottom,
- b) military applications connected with defence actions, port and country borders safety and protection,
- c) scientific-research applications both in civil and military sectors including universities and research agencies.

Komercyjne użycie pojazdów AUV występuje szczególnie w przemyśle wydobywczym ropy oraz gazu ziemnego. Znajdują one zastosowanie przede wszystkim do wykonywania dokładnych map dna morskiego, przed rozpoczęciem budowy podwodnej infrastruktury. Kolejne z licznych zastosowań to m.in. nadzory, inspekcje, przeglądy, ekspertyzy różnych obiektów podwodnych, w tym położonych na dnie rurociągów i ich zakończeń wydobywczych. AUV umożliwiają prowadzenie bardzo precyzyjnych pomiarów na obszarach, gdzie tradycyjne pomiary batymetryczne (pomiar głębokości) byłyby najmniej efektywne lub zbyt kosztowne. Istotnym jest też fakt, że wykorzystanie autonomicznych pojazdów zmniejsza koszty prac podwodnych i zapewnia minimalne zakłócenia środowiska morskiego. Część modeli jest przystosowana i wykorzystywana, jako wspomaganie akcji ratowniczych, poszukiwawczych oraz wydobywczych.

Militarne wykorzystanie pojazdów AUV, w większej części sprowadza się do misji sporządzania map dna morskiego, z lokalizacją rozpoznanych i nierozpoznanych min morskich, a także monitorowania ich, w tym niszczenia lub usuwania. Służą one ponadto do zabezpieczania i ochrony portów wojennych oraz cywilnych przed nowymi, niezidentyfikowanymi obiektami. Są również wykorzystywane w działaniach wojennych przeciw okrętom podwodnym, w tym przede wszystkim do ich wykrywania. Podobnie jak komercyjne część pojazdów jest przystosowana do działań ratowniczych i wydobywczych.

Naukowo-badawcze wykorzystanie AUV daje naukowcom i różnym instytucjom badawczym nieocenione narzędzie do badania akwenów wodnych oraz ich dna, jak również prowadzenia zróżnicowanych w zakresach i formach eksperymentów. Stosunkowo duża różnorodność czujników i przyrządów pomiarowych, które mogą być umieszczone na i w pojazdach, umożliwia m.in. prowadzenie badań hydrograficznych, kartograficznych, archeologicznych, mapowania dna morskiego i zasobów naturalnych, monitorowania flory oraz fauny podmorskiej i szeregu innych działań.

Na rys. 1. przedstawiono procentowy udział obszarów zastosowania modeli pojazdów AUV, zbudowanych na obszarze Europy.



Rys.1. Procentowy udział obszarów zastosowania modeli pojazdów AUV zbudowanych w Europie.

The commercial use of AUVs is particularly visible in the oil and natural gas extraction industry. The vehicles are used most of all to produce accurate maps of the sea bottom before the commencement of works on underwater infrastructure. Numerous applications involve the supervision, inspection and assessment of various underwater objects, including those located at the bottom of pipelines and their extraction endings. AUVs enable conduction of extremely precise measurements in areas where traditional bathymetric measurements (depth measurements) would be much less effective or too costly. What is also important is the fact that the use of autonomous underwater vehicles helps reduce the costs of underwater works and ensures minimal disturbances of the marine environment. Some models are adjusted to be used as a support to rescue, search and extraction operations.

The military use of AUVs is mostly limited to missions involving drawing up maps of the sea bottom with the location of recognized and unrecognized floating mines as well as their monitoring; including their destruction or disposal. Moreover, they are used to secure and protect military and civil ports against new unidentified objects. They are also applied in military operations involving detection of submarines. Similarly to the vehicles used for commercial purposes, a group of vehicles is adjusted to perform rescue and extraction operations.

The scientific-research use of AUVs provides scientists and various research institutions with an invaluable tool to study bodies of water and their bottoms, as well as to conduct diversified experiments in terms of their scopes and forms. A relatively diversified group of sensors and measurement tools that may be placed in and on the vehicles makes it possible to carry out hydrographic, cartographic and archaeological research, create maps of the sea bottom and natural resources, monitor the sea's flora and fauna, as well as many other activities.

Fig. 1 presents a percentage share of the fields of application of AUVs constructed in Europe.

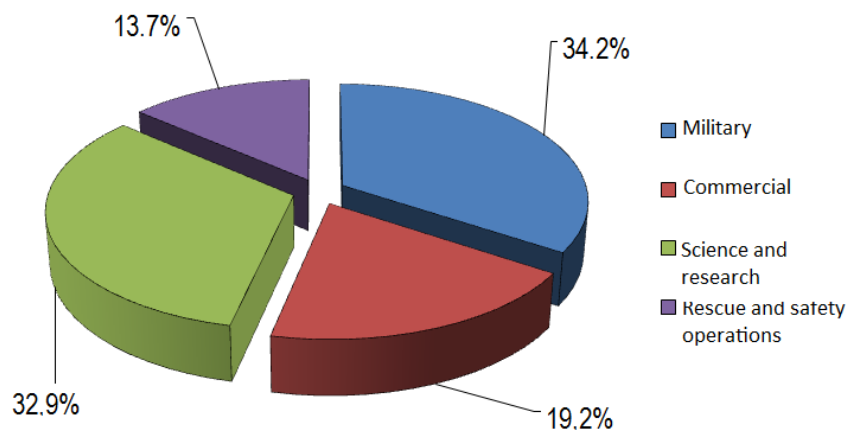


Fig. 1. Percentage share of the fields of application of AUV models constructed in Europe.

Pokazane wartości procentowe wskazują, że największe zastosowanie pojazdów AUV występuje na obszarze militarnym i naukowo-badawczym. Odzwierciedla to obecną tendencję rozwoju pojazdów AUV na świecie, prezentowaną w szeregu publikacjach, w tym [2]. Nie bez znaczenia jest też fakt, że wiele państw z dostępem do morza, wyposaża swoje siły zbrojne w tego typu sprzęt. Przykładem są: wielozadaniowy pojazd francuskiej firmy ECA SA „K-Ster Mine Killer”, „C’Inspector” produkcji Konsberg z Norwegii czy „Archerfish” produkcji BAE Systems Wielka Brytania.

W światowej praktyce i związanej z nią literaturze przedmiotu, istnieje szereg kategoryzacji i klasyfikacji AUV. Ich analiza wskazuje, że jednym z prostych i częściej stosowanych, jest podział na pojazdy: małe, średnie i duże. Cechy, które uwzględniono w nim, wg [2], zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1.

Zestawienie cech uwzględnionych w podziale pojazdów AUV wg [2].

Lp.	Cecha Podział AUV	Ciężar pojazdu [kg]	Głębokość zanurzenia [m]	Długość pojazdu [m]	Zasięg pływania [km]
1.	Małe	do 50	do 100	do 2	20 - 40
2.	Średnie	50 - 500	500 - 3 000	2 - 4	40 - 150
3.	Duże	500 - 5 000	1 000 i powyżej	4 - 7	150 - 300

W przedmiotowej analizie podstawowy podział AUV przyjęto tak, jak pokazano w tabeli 1.

Na fot. 1 zestawiono przykładowe pojazdy AUV zgodne z przyjętym podziałem.

Autonomiczne pojazdy podwodne charakteryzują się stosunkowo złożoną budową. Zmontowane są z wielu elementów składowych, o zróżnicowanym przeznaczeniu. W ujęciu konstrukcyjnym pojazd AUV składa się z następujących, podstawowych części:

- 1) kadłuba stanowiącego konstrukcję mechaniczną, odporną na ciśnienie wody, łączącą w całość wszystkie elementy składowe urządzenia,
- 2) układu napędowego zapewniającego możliwość pływania pojazdu w toni wodnej,
- 3) źródła zasilania układów napędowych oraz elektroniki pokładowej,
- 4) urządzeń nawigacyjnych, pozycjonowania i łączności z pojazdem,
- 5) urządzeń badawczych umożliwiających prowadzenie określonych misji i działań operacyjnych oraz szeroko rozumianych pomiarów i eksperymentów naukowych.

Osobnym zagadnieniem, choć bezpośrednio związanym z AUV, są wymagania logistyczne, obejmujące operowanie pojazdami oraz sposobem ich przemieszczania.

The above values indicate the broadest use of AUVs within the military and scientific-research fields. This is a reflection of the current tendency towards the development of AUVs in the world presented in a number of publications, including [2]. What is also worth noting is that many countries with access to the sea equip their military forces with this sort of equipment. As an example we may point to a multitask vehicle manufactured by a French company ECA SA – “K-Ster Mine Killer”, “C’Inspector” manufactured by Kongsberg from Norway or “Archerfish” produced by BAE Systems in Great Britain.

In the world practice and the related literature, AUVs are categorized and classified in a number of ways. The conducted analysis indicates that one of the simplest and most commonly applied categorization divides those vehicles into: small, medium and large ones. Features taken into account by this kind of categorization, according to [2], are presented in Table 1.

Table 1.

AUV properties according to [2].

No.	Property AUV division	Vehicle mass [kg]	Depth of submersion [m]	Vehicle length [m]	Swimming range [km]
1.	Small	up to 50	up to 100	up to 2	20 – 40
2.	Medium	50 - 500	500 - 3 000	2 – 4	40 – 150
3.	Large	500 - 5 000	1 000 and above	4 – 7	150 – 300

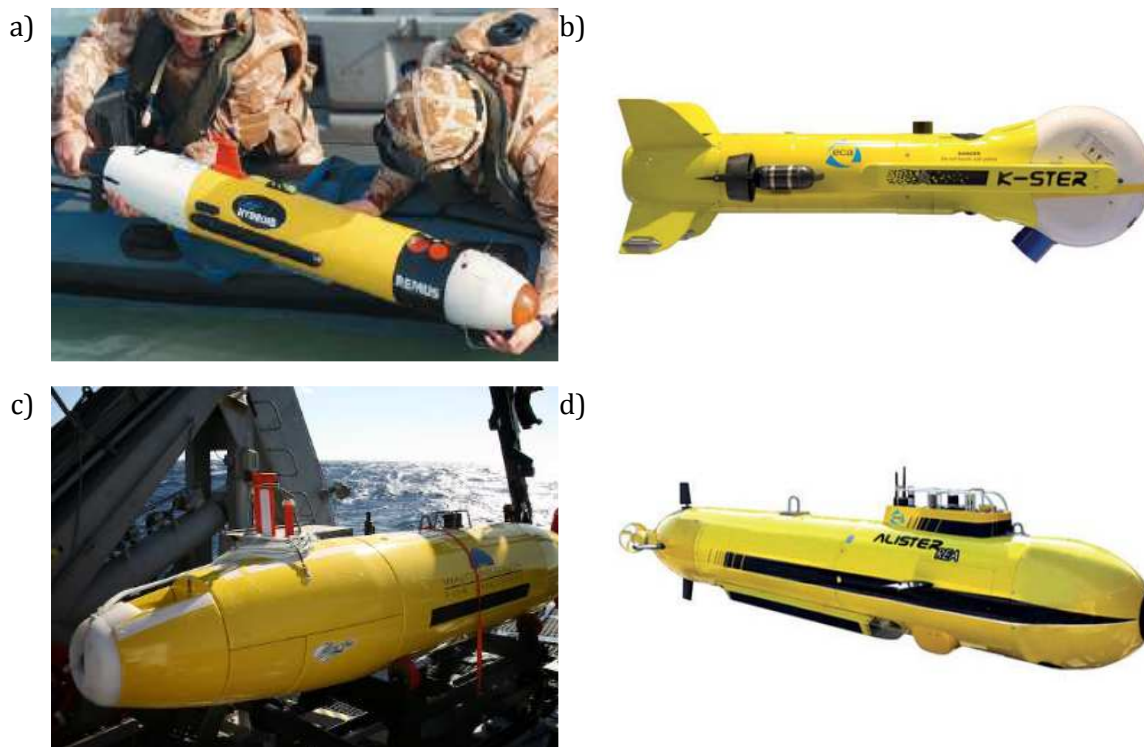
The AUV classification applied in physical analysis is identical with the classification shown in table 1.

Photo 1 presents exemplary AUVs in accordance with the adopted categorization.

Autonomous underwater vehicles are characterised by a relatively complex construction. They are assembled from numerous components of diversified uses. With regard to its construction, an AUV is composed of the following basic parts:

- 1) body constituting a mechanical construction resistant to water pressure, keeping all the components of the device together,
- 2) drive system enabling the vehicle to swim in the pelagic zone,
- 3) power supply sources for the drive systems and electronics,
- 4) navigational, positioning and communication devices,
- 5) research devices enabling carrying out specified missions and operations as well as broadly understood measurements and scientific experiments.

A separate issue, although directly connected with AUVs, involves logistic requirements encompassing vehicle operation and translocation.



Fot. 1. Przykładowe pojazdy AUV wg przyjętego podziału: a) AUV – mały – „Remus 100” produkcji Kongsberg Maritime AS Norwegia [Z1], b) AUV – mały – „K-Ster” produkcji ECA SA Francja [Z2], c) AUV – średni – „Remus 6000” produkcji Kongsberg Maritime AS Norwegia [Z3], d) AUV – duży – „Alister Rea” produkcji ECA SA Francja [Z4].

### KADŁUB AUV

Kadłub jest odporną na ciśnienie wody obudową AUV. Ze względu na swoją autonomiczność, która zapewnia samodzielne poruszanie się pojazdu w wodzie, większość z nich charakteryzuje się tradycyjnym kształtem torpedy. Takie rozwiązania są najlepszym kompromisem pomiędzy wymiarami, użyteczną objętością, hydrodynamiczną sprawnością i łatwą obsługą. W nielicznych modelach występują kształty zbliżone do prostopadłościennych. Najczęściej są to pojazdy o charakterze hybrydowym, łączące elementy pojazdu AUV z ROV jak np. urządzenie francuskiej firmy ECA „Swimmer” czy szwedzkiej firmy Saab „SUBROV”.

W wielu modelach istotną cechą jest modułowa budowa kadłuba. W zależności od potrzeb, poprzez rozmontowanie i zamianę określonego modułu z odpowiednim do celu wyposażeniem, można zapewnić wielozadaniowość pojazdu.

Na kolejnych rysunkach przedstawiono wybrane cechy fizyczne pojazdów AUV:

- Rys. 2 – procentowy udział w zakresach umownie przyjętej „objętość prostopadłościenną”, jaką zajmują modele pojazdów AUV wyprodukowane w Europie. Pod pojęciem tym należy rozumieć objętość uzyskaną w wyniku bezpośredniego przemnożenia podstawowych wymiarów, podanych przez producentów w układzie: długość x szerokość x wysokość (głębokość), bez uwzględnienia rzeczywistego kształtu pojazdu, wypełniającego określony prostopadłościenną;

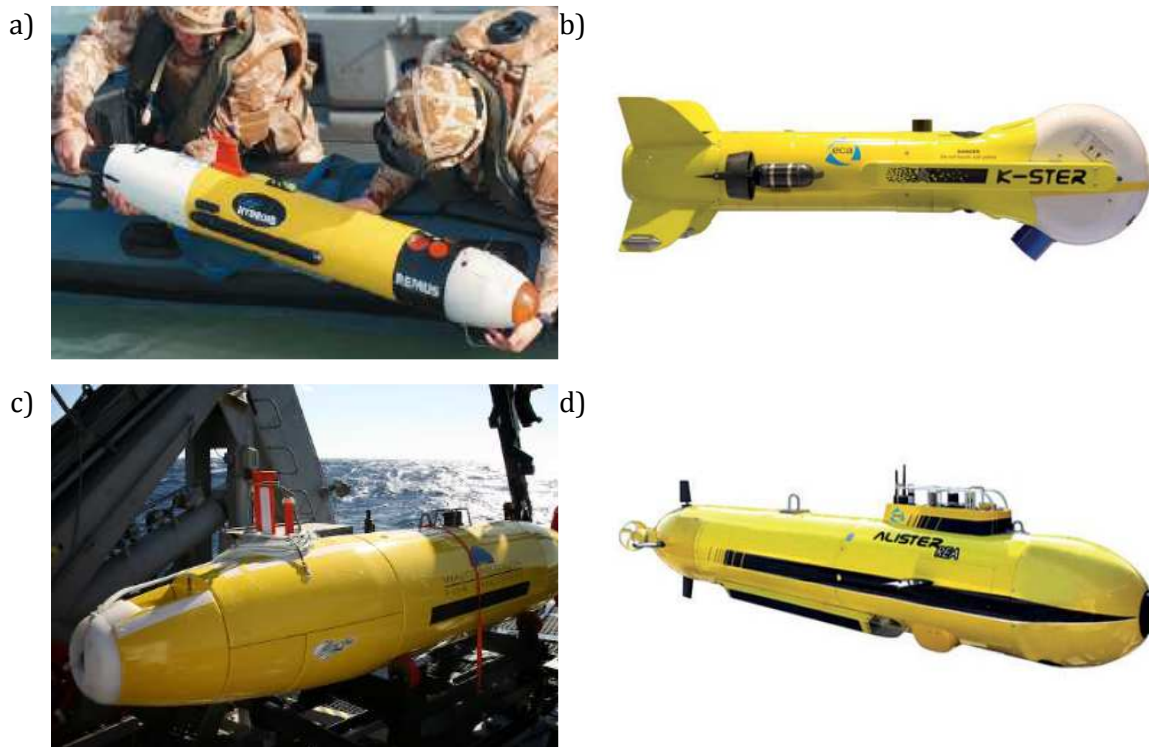


Photo 1. Exemplary AUVs according to the adopted classification: a) AUV – small – “Remus 100” manufactured by Kongsberg Maritime AS, Norway [Z1], b) AUV – small – “K-Ster” manufactured by ECA SA, France [Z2], c) AUV – medium – “Remus 6000” manufactured by Kongsberg Maritime AS, Norway [Z3], d) AUV – large – “Alister Rea” manufactured by ECA SA, France [Z4].

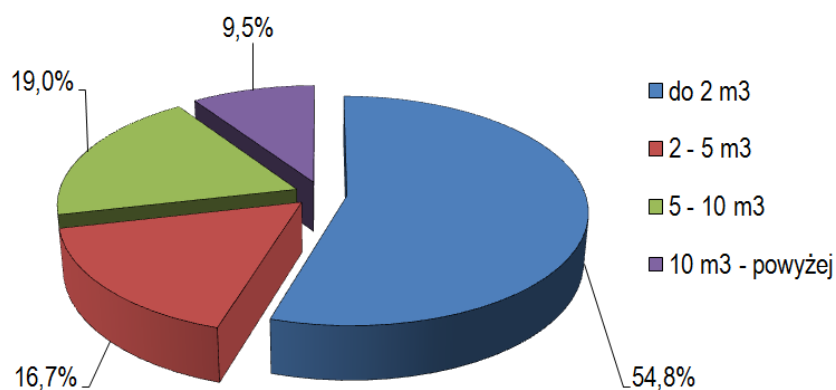
### AUV’S BODY

The body of the AUV consists of a pressure resistant casing. As the vehicles are autonomous, most of vehicles’ bodies are characteristically torpedo shaped. This kind of solutions constitutes the best compromise between the dimensions, usable volume, hydrodynamic efficiency and simplicity of operation. Some of the models adopt shapes approximated to cuboids. Usually such vehicles are of a hybrid character, combining the elements of an AUV with an ROV, such as a device manufactured by a French company ECA – “Swimmer” or a product of a Swedish company Saab – “SUBROV”.

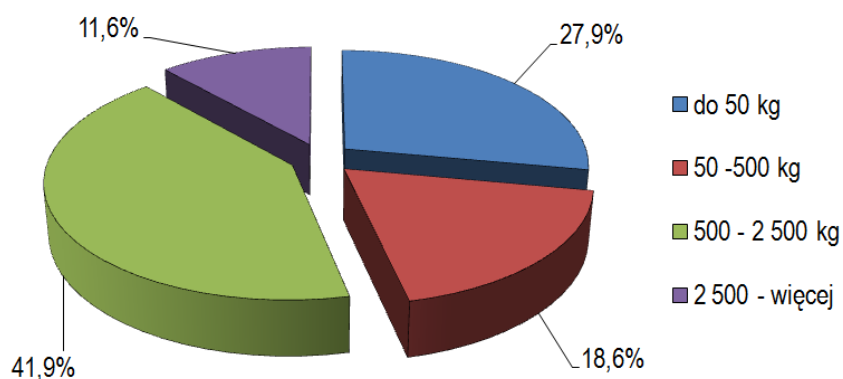
A modular body construction is a significant feature of numerous models. Depending on the purpose, by disassembling and replacing a particular module with a specialised item of equipment, it is possible to turn the vehicle into a multitask device. The following figures present selected physical properties of AUVs:

- Fig. 2 – a percentage share in the scopes of the adopted “cuboidal volume” of the AUVs manufactured in Europe. The volume in question is the one received as a result of a direct multiplication of basic dimensions provided by producers in the following system: length x width x height (depth), without the consideration of the actual shape of the vehicle filling a particular cuboid;

- Rys. 3 – procentowy udział w zakresach ciężarów modeli pojazdów AUV zbudowanych w Europie;
- Rys. 4 – procentowy udział w zakresach długości modeli pojazdów AUV zbudowanych w Europie;
- Rys. 5 – procentowy udział w zakresach głębokości operacyjnych modeli pojazdów AUV zbudowanych w Europie.



Rys. 2. Procentowy udział w zakresach umownej „objętości prostopadłościennej” modeli pojazdów AUV zbudowanych w Europie.



Rys. 3. Procentowy udział w zakresach ciężarów modeli pojazdów AUV zbudowanych w Europie.

- Fig. 3 – a percentage share in the scopes of masses of the AUV models constructed in Europe;
- Fig. 4 – a percentage share in the scopes of lengths of the AUVs constructed in Europe;
- Fig. 5 – a percentage share in the scopes of operational depths of the AUV models constructed in Europe.

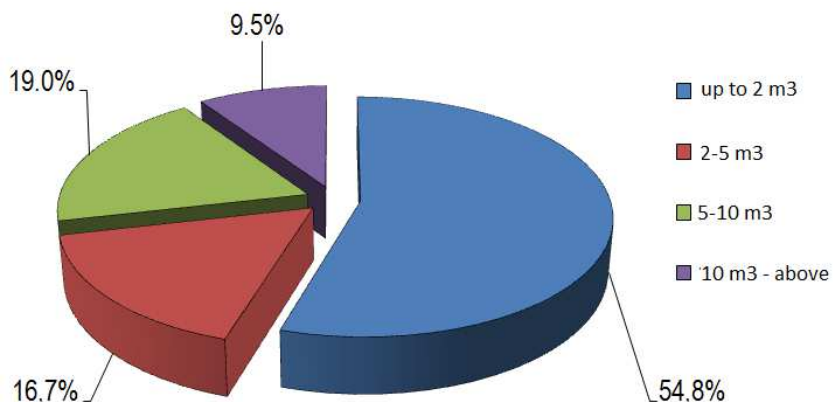


Fig. 2. A percentage share in the scopes of the adopted “cuboidal volume” of the AUVs manufactured in Europe.

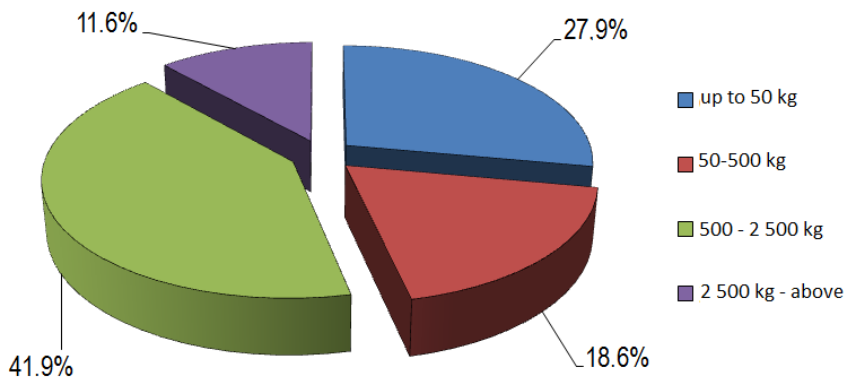
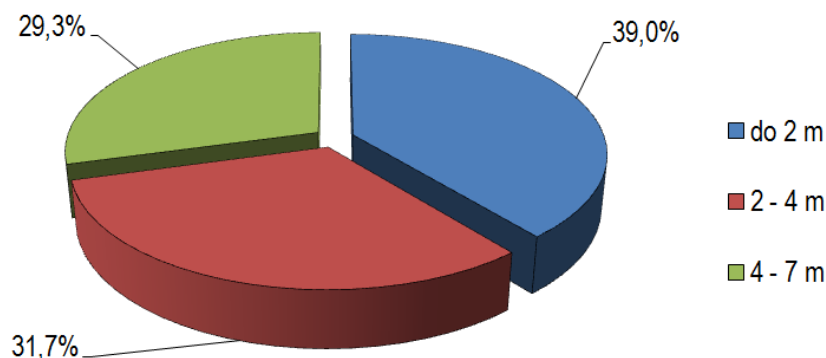
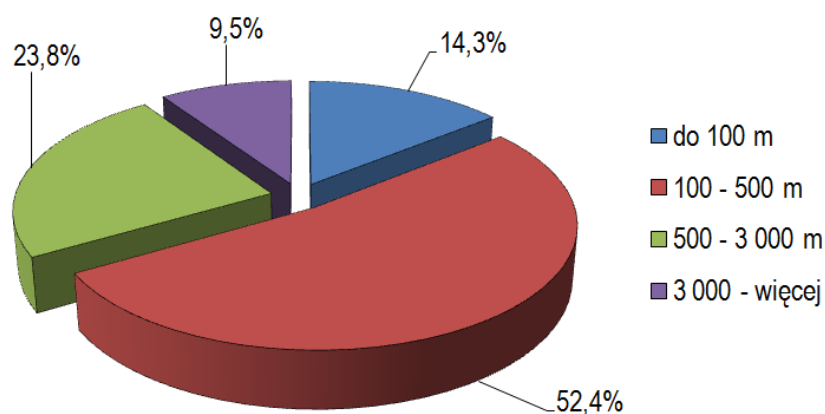


Fig. 3. A percentage share in the scopes of masses of the AUV.



Rys. 4. Procentowy udział w zakresach długości modeli pojazdów AUV zbudowanych w Europie.



Rys. 5. Procentowy udział w zakresach głębokości operacyjnych pojazdów AUV zbudowanych w Europie.

### NAPĘD AUV

W obecnym czasie podstawowym napędem pojazdów AUV są śruby o stałym skoku, które przetwarzają ruch obrotowy na siłę naporu w środowisku wodnym. Rozróżnia się zasadniczo dwie konstrukcje: zespoły pędników oraz napęd osiowy. Pojedynczy pędnik stanowi bezpośrednie połączenie bezszczotkowego silnika elektrycznego DC ze śrubą napędową. Silnik elektryczny umieszczony jest w wodoodpornej i ciśnieniowej obudowie, a na jego wale wyjściowym osadzona jest śruba. Druga konstrukcja umieszczana jest w tylnej części pojazdu, najczęściej w osi głównej kadłuba lub w osiach równoległych do niej. Napęd składa się z zewnętrznej śruby i umieszczonej w kadłubie przekładni mechanicznej, połączonej z silnikiem elektrycznym. Na fot. 2 pokazano przykłady napędów pojazdów AUV.

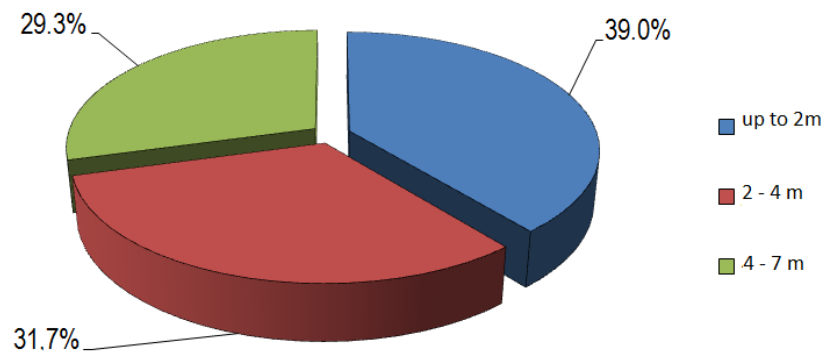


Fig. 4. A percentage share in the scopes of lengths of the AUVs constructed in Europe.

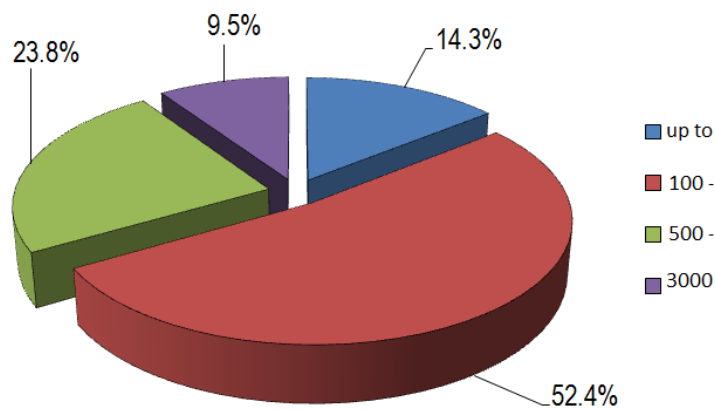
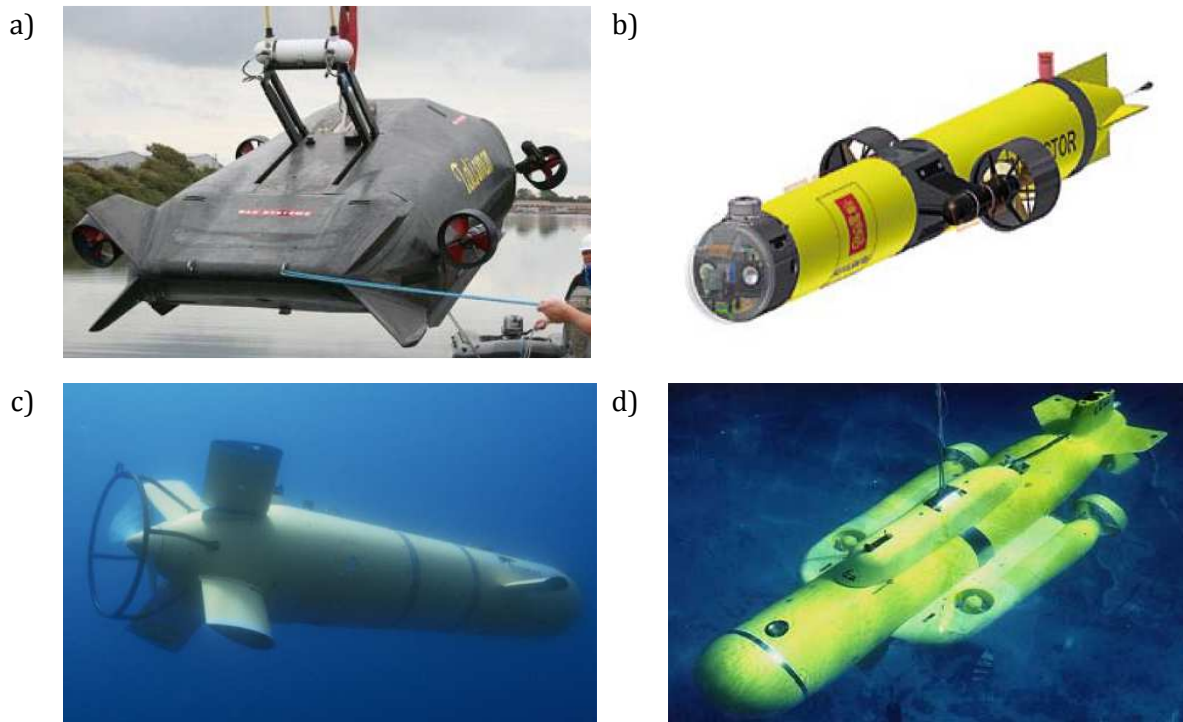


Fig. 5. A percentage share in the scopes of operational depths of the AUV models constructed in Europe.

### AUV DRIVE SYSTEM

Currently the basic drive system for AUVs is composed of fixed pitch propellers that transform the rotational movement into the impact force in the marine environment. Basically, we differentiate two constructions: propeller systems and an axial drive. A single propeller constitutes a direct connection of a brushless direct current motor with the screw propeller. An electric motor is located in a waterproof and pressure resistant casing, with the screw placed on the output shaft. The second construction is placed in the rear part of the vehicle, commonly on the hull's main axle or the parallel axles. The drive is composed of an external screw and the one placed in the body of the mechanical transmission gear, combined with the electric motor. Photo 2 shows exemplary AUV drive systems.



Fot. 2 Przykładowe napędy zastosowane w pojazdach AUV: a) b) pojazdy napędzane zespołami pędników przymocowanych w określonych miejscach do kadłuba [Z5; Z6], c) pojedynczy napęd umieszczony w osi głównej pojazdu, d) napęd złożony z dwóch silników wraz ze śrubami o stałym skoku umieszczonych symetrycznie i równoległe do osi głównej pojazdu [Z7].

W analizowanych modelach stwierdzono, że najczęstszym układem napędu, bo występującym aż w 65 %, jest układ pędników: poziom (H)/pion (V), umieszczanych w określonych miejscach pojazdu. Pozostałe 35 % stanowią układy osiowe. Ilość pędników zastosowanych w układzie i ich moc, zależą od szeregu czynników, w tym m.in. od wielkości pojazdu, realizowanych zadań, wymaganych prędkości poruszania się AUV w wodzie, oporów pływania, czasu pobytu w wodzie itp. W niektórych przypadkach zastosowano też pionowe stery kierunku. Najczęściej występującą ilością są: 2 szt. pędników poziomych i 2-4 szt. pędników pionowych. Prędkość pływania pojazdu w wodzie jest regulowana prędkością obrotową silników elektrycznych. Istotnie wpływa na sposób i możliwości wykorzystania oraz zasięg pływania. Przykładem AUV, w których zastosowano pędniki w układzie H/V jest rodzina pojazdów „Remus”, wyprodukowanych w ilości ponad 150 sztuk przez norweską firmę Kongsberg Maritime AS oraz „K-Ster Mine Killer” w ilości 350 sztuk produkcji ECA SA Francja, używanych obecnie na całym świecie. Natomiast modelem z napędem osiowym, wytworzonym w ilości co najmniej 30 sztuk, jest pojazd „Archerfish” z firmy BAE Systems w Wielkiej Brytanii oraz około 18 pojazdów z rodziny „Hugin” firmy Kongsberg Maritime AS.

Na rys. 6 pokazano procentowy udział w zakresach prędkości pod wodą modeli pojazdów zbudowanych w Europie.

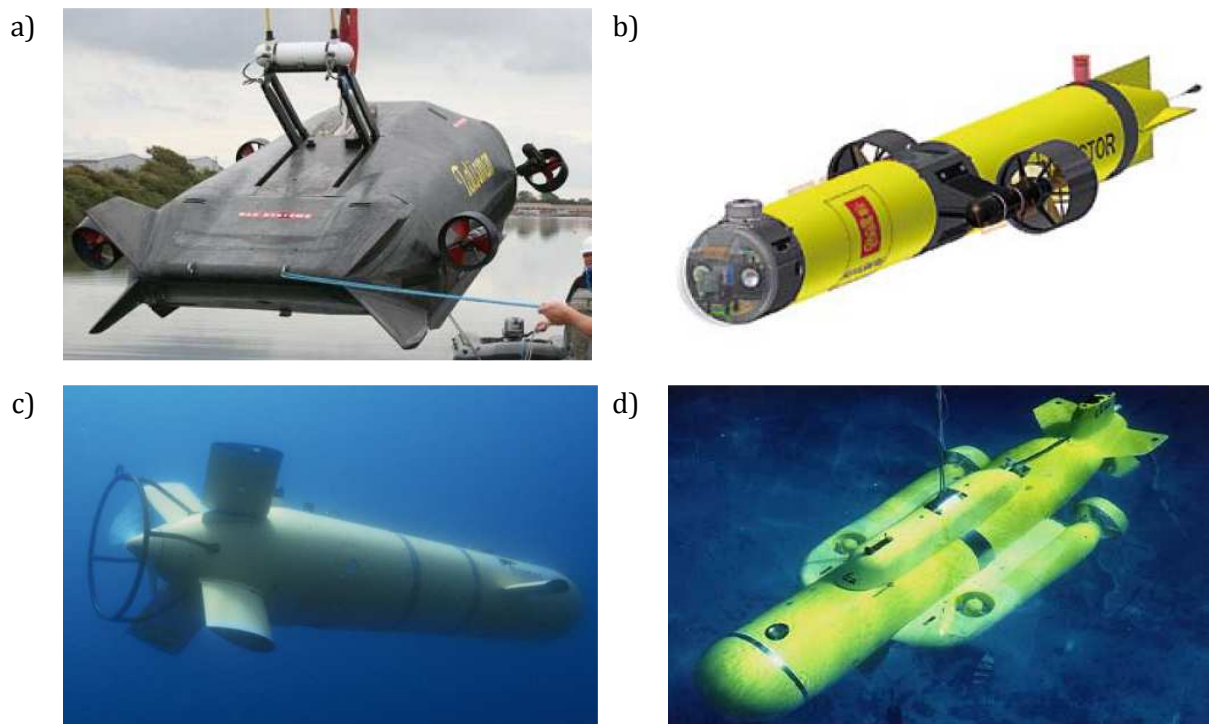
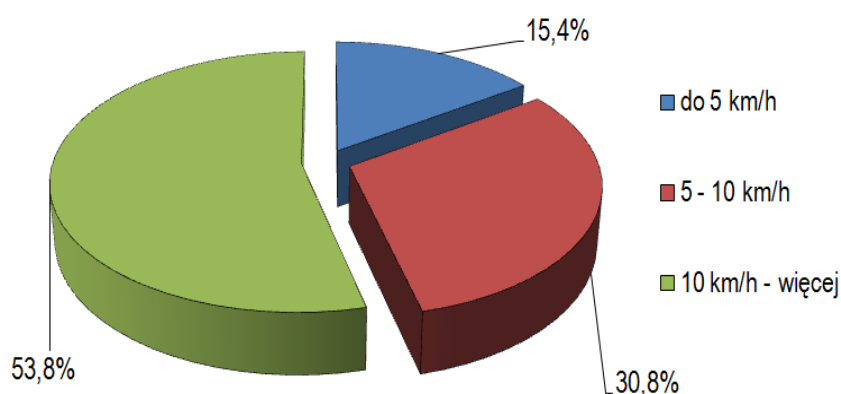


Photo 2. Exemplary drive systems used in AUVs: a) b) vehicles driven with propeller systems mounted to the body [Z5; Z6], c) a single drive placed on the main axle of the vehicle, d) a drive composed of two motors with fixed pitch propellers placed symmetrically and parallel to the vehicle's main axle [Z7].

With regard to the analysed models it was concluded that the most common drive, applied in as many as 65% of them, is the system of propellers: horizon (H)/ vertical (V), located in specified places on the vehicles. The remaining 35 % is constituted by axle systems. The number of propellers used in the system as well as their power depend on a number of factors, including vehicle size, realized tasks, the required AUV speed for moving in water, resistance, time spent in water, etc. Also, in some cases vertical steer directions were applied. The most common combination involved 2 horizontal and 2-4 vertical propellers. Vehicles' speed in water is regulated with the rotational speed of an electric motor, which has a significant impact on the manner and possibilities of use as well as the swimming range of an AUV. An example of AUVs with the H/V propeller system is the family of over 150 "Remus" vehicles manufactured by a Norwegian company Kongsberg Maritime AS and 350 "K-Ster Mine Killer" vehicles produced by ECA SA in France that are currently used all over the world. Vehicles with an axel drive, on the other hand, include the "Archerfish" vehicle produced by BAE Systems in Great Britain (at least 30 pieces), as well as the "Hugin" family (approx. 18 pieces) by Kongsberg Maritime AS.

Fig. 6 presents a percentage share in the scope of underwater speeds for the models constructed in Europe.



Rys. 6. Procentowy udział w zakresach prędkości pod wodą modeli pojazdów AUV zbudowanych w Europie.

W tabeli 2 zestawiono prędkości pływania AUV wraz z ilością i rodzajem pędników dla modeli, których wyprodukowano w ilości powyżej 10 egzemplarzy.

Tabela 2.

Zestawienie prędkości pływania pod wodą wraz z ilością i rodzajem pędników modeli AUV wyprodukowanych w ilości powyżej 10 egzemplarzy.

L.p.	Nazwa modelu	Firma	Liczba wypr. egz.	Prędkość pływania		Napęd – pędniki [szt]			
				[km/h]	[knots]	poziomy (H)	pionowy (V)	ster kierun.	osiowy
1.	Archerfish	BAE Systems – GB	30	13,0	0 – 7	?	?	?	1
2.	C'Inspector	Kongsberg Defence System – Norwegia	100	11,1	0 – 6	2	1	?	?
3.	Minesniper		110	11,1	0 – 6	2	1	1	?
4.	Double Eagle MK II	Saab Underwater System AB – Szwecja	100	11,1	0 – 6	2	4	?	?
5.	Double Eagle MK III			14,8	0 – 8	4	4	?	?
6.	Gavia	Hafmynd Ehf Gavia AUV Islandia	20	10,1	0 – 5,5	?	?	?	1
7.	K-Ster Mine Killer	ECA SA – Francja	350	11,1	0 – 6	2	2	?	?
8.	PAP Mk 5		510	11,1	0 – 6	2	2	?	?
9.	PAP Plus			10,1	0 – 5,5	2	?	?	?
10.	Remus 100	Kongsberg Maritime AS – Norwegia	150	9,3	0 – 5	1	2	1	?
11.	Remus 600			9,3	0 – 5	1	2	1	?
12.	Remus 6000			7,4	0 – 4	1	2	1	?

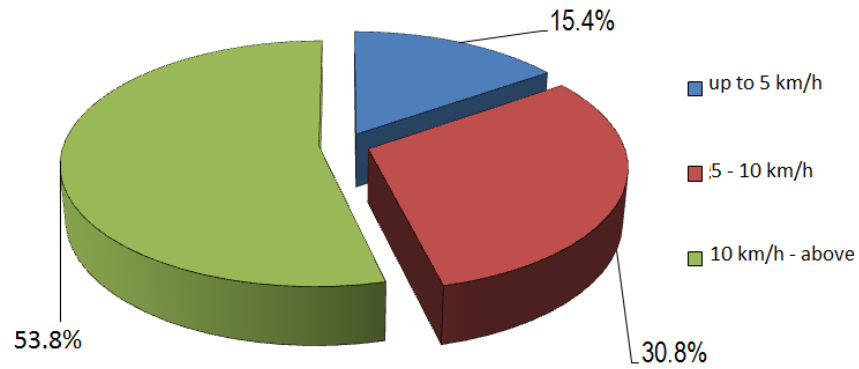


Fig. 6. A percentage share in the scope of underwater speeds for the AUV models constructed in Europe.

Table 2 presents AUV swimming speeds together with the number and type of propellers for models manufactured in the number exceeding 10 pieces.

Table 2.

Presentation of underwater swimming speeds together with the number and type of propellers for AUV models manufactured in the number exceeding 10 pieces.

No.	Model name	Company	No. of produced pcs.	Swimming speed		Drive – propellers [pcs]			
				[km/h]	[knots]	horizon (H)	vertical (V)	Direction steer	Axle
1.	Archerfish	BAE Systems – GB	30	13.0	0 – 7	–	–	–	1
2.	C’Inspector	Kongsberg Defence System – Norway	100	11.1	0 – 6	2	1	–	–
3.	Minesniper		110	11.1	0 – 6	2	1	1	–
4.	Double Eagle MK II	Saab Underwater System AB – Sweden	100	11.1	0 – 6	2	4	–	–
5.	Double Eagle MK III			14.8	0 – 8	4	4	–	–
6.	Gavia	Hafmynd Ehf Gavia AUV Iceland	20	10.1	0 – 5.5	–	–	–	1
7.	K-Ster Mine Killer	ECA SA – France	350	11.1	0 – 6	2	2	–	–
8.	PAP Mk 5		510	11.1	0 – 6	2	2	–	–
9.	PAP Plus			10.1	0 – 5.5	2	–	–	–
10.	Remus 100	Kongsberg Maritime AS – Norway	150	9.3	0 – 5	1	2	1	–
11.	Remus 600			9.3	0 – 5	1	2	1	–
12.	Remus 6000			7.4	0 – 4	1	2	1	–

## ŹRÓDŁA ZASILANIA AUV

Źródła zasilania pojazdów AUV są praktycznie najważniejszym elementem wyposażenia, ponieważ w istotny sposób decydują o możliwościach ich wykorzystania. Wynika to bezpośrednio z faktu autonomiczności tego typu urządzeń, a więc możliwości wykonania w sposób niezależny określonego i zaprogramowanego zadania (misji). Zdecydowana większość pojazdów AUV zasilana jest przez ładowalne zestawy baterii. W obecnym czasie nastąpił znaczny postęp w tej dziedzinie. Praktycznie w każdym pojeździe stosowane są akumulatory Li-Po – litowo-polimerowe, Li-Ion – litowo-jonowe oraz wycofywane już NiMH – niklowo-metalowo-wodorowe. Każde z nich ma swoje wady i zalety. Ogniwa: Li-Ion i Li-Po są bardzo wydajne, a ich gęstość energii wg [4] sięga odpowiednio: 40-70 Wh/dm<sup>3</sup> i 50-75 Wh/dm<sup>3</sup>. Np. pakiet baterii, stanowiący 25% z całkowitej objętości pojazdu AUV równej 1,2 m<sup>3</sup>, zapewnia mu wytrzymałość (czas zasilania pędników oraz urządzeń elektronicznych) na: 16-28 godzin (Li-Ion) i 23-30 godzin (Li-Po).

Zakres potrzebnej energii elektrycznej do wykonywania określonych zadań, wskazany przez producentów dla konkretnych, analizowanych modeli, wynosi od 1,0 do 75 kWh. Zastosowane ogniwa zapewniają średnio czas użycia pojazdu AUV na ok. 20-24 godzin przy prędkości 3,5 knots (6,5 km/h).

Najbliższą przyszłością dla napędów AUV są już stosowane pół i pełne ogniwa paliwowe (ang. semi-fuel cell lub fuel cell), jak m.in. alkaiczne aluminiowo-wodorowe nadtlenkowe, które oferują gęstości energii sięgające 80-100 Wh/dm<sup>3</sup>. Drugim typem są litowe baterie galwaniczne, oferujące najwyższe gęstości energii w zakresie 100-150 Wh/dm<sup>3</sup>. Oznacza to, że baterie nowej generacji w stosunku do poprzednich, zapewniają dłuższy czas działania AUV przy tej samej, fizycznej objętości załadunkowej w pojeździe. Są one jednak drogie i w końcowej fazie dopracowywania technologii wytwarzania. Jest to istotny element wyposażenia, na który bezwzględnie należy zwracać uwagę.

W analizowanym zakresie modeli, produkowanych na terenie Europy, tylko firma Kongsberg Maritime AS, w obecnym czasie, stosuje ogniwa paliwowe w dwóch modelach [3] [4]. Realnie zapewniają one dwukrotnie dłuższy czas użycia pojazdu w wodzie. W tabeli 3 zestawiono przykładowe modele ze wskazaniem wybranych parametrów zasilania.

## **AUV POWER SUPPLY SOURCES**

AUV power supply sources are practically the most important element of the equipment as they have a significant impact on the possibilities of their use. This is directly related to the autonomy of this kind of devices, and hence the possibility to independently perform a specified and programmed task (mission). The majority of AUVs are powered with rechargeable battery sets. At present we observe a significant progress in this area. Practically each vehicle is supplied with Li-Po (lithium-polymer), Li-Ion (lithium-ion) or NiMH (nickel-metal-hydrogen) batteries (with the latter being progressively withdrawn). Each of them has its pros and cons. Li-Ion and Li-Po batteries are extremely efficient and their energy density according to [4] reaches respectively: 40-70 Wh/dm<sup>3</sup> and 50-75 Wh/dm<sup>3</sup>. For instance, a battery package constituting 25% of the total AUV volume equal to 1.2 m<sup>3</sup>, guarantees its endurance (power supply time for the propellers and electronic devices) for: 16-28 hours (Li-Ion) and 23-30 hours (Li-Po).

The scope of the necessary electrical power for the performance of particular tasks indicated by manufacturers with regard to concrete analysed models ranges between 1.0 and 75 kWh. The applied batteries ensure the average time of AUV usability for ca. 20-24 hours at the speed of 3.5 knots (6.5 km/h).

It is anticipated that in the near future AUV drive systems will rely on the already used semi-fuel or fuel cells, such as alkaline aluminium-hydrogen peroxide cells offering energy density reaching 80-100 Wh/dm<sup>3</sup>. The other type is lithium galvanic batteries offering the highest energy density of 100-150 Wh/dm<sup>3</sup>. This means that the new generation batteries guarantee a longer operational time of an AUV as compared with the previous ones with the same physical loading capacity. However, they are costly and currently at the final stage of development of their manufacturing technology. This is an important equipment component that definitely deserves our attention.

In the analysed models produced in Europe, at present, only Kongsberg Maritime AS company uses fuel cells in two of its models [3] [4], which guarantee twice as long usability time of vehicles in water.

Table 3 shows exemplary models with the indication of selected power supply parameters.

Tabela 3.

## Zestawienie wybranych parametrów zasilania modeli AUV wyprodukowanych w Europie [1].

L.p.	Nazwa modelu	Firma	Wymagana energia [kWh]	Rodzaj baterii/ogniwa	Czas użycia pojazdu [godz.]	Prędkość pływania [knots]
1.	Autosub 6000	National Oceanography Center Southampton W. Brytania	75,0	Li-Po	30	3,0
2.	Gavia	Hafmynd Ehf Gavia AUV Islandia	1,2	Li-Po	ok. 6	max 5,5
3.	Hugin 1000	Kongsberg Maritime AS Norwegia	15,0	Li-Po	24	4,0
4.	Hugin 3000		45,0	Al/HP S-FC	60	4,0
5.	Hugin 4500		60,0	Al/HP S-FC	60	4,0
6.	Remus 100	Kongsberg Maritime AS Norwegia	1,0	Li-Ion	10	4,5
7.	Remus 600		5,2	Li-Ion	50	4,5
8.	Remus 6000		11,0	Li-Ion	8	4,5

**WYPOSAŻENIE ELEKTRONICZNE AUV**

W stosunku do każdego z analizowanych modeli trudno jest ilościowo i jakościowo określić zastosowane w nim wyposażenie elektroniczne. Wynika to z faktu, że na rynku wytwórców, występuje duża podaż coraz lepszych urządzeń elektronicznych i elektrotechnicznych. Istnieje zatem szeroka możliwość ich wyboru i konfiguracji. Praktycznie każdy pojazd AUV może być inaczej wyposażony w zależności od celu i potrzeb zamawiającego. Wprowadzone rozszerzenie i wzbogacenie wyposażenia AUV, ponad standardowe, stanowi opcję. W grę wchodzi już tylko określone modele i wytwórcy. Nie mniej w obszarze wyposażenia pojazdów, w zakresie urządzeń nawigacyjnych, pozycjonowania i łączności, można wskazać zestaw standardowy, który z reguły jest wmontowany w pojazd. Należy do niego najczęściej:

## I. urządzenia nawigacji:

- a) INS – zintegrowany system nawigacyjny,
- b) DVL – cyfrowy log video.

## II. urządzenia pozycjonowania:

- a) GPS – globalny system pozycjonowania (nawigacja satelitarna),
- b) głębokościomierz, czujniki głębokości.

## III. urządzenia komunikacji (łączności):

- a) komendy akustyczne niskiej i wysokiej częstotliwości (pod wodą),
- b) RF – częstotliwości radiowe.

W zakresie cywilnego wyposażenia badawczego i pomiarowego oraz wyposażenia dla typowych misji wojskowych istnieje szeroka gama urządzeń, takich jak m.in.: sonary, echosondy, skanery, magnetometry, próbniki przewodności oraz szereg innych. Ze względu na ograniczenia w pojemnościach kadłubów AUV, określone zestawy urządzeń, jako moduły, są montowane do konkretnych zastosowań.

Table 3.

Presentation of selected power supply parameters for AUV models produced in Europe [1].

No.	Model name	Company	Required power supply [kWh]	Battery/cell type	Vehicle usability time [h]	Swimming speed [knots]
1.	Autosub 6000	National Oceanography Center Southampton, Great Britain	75.0	Li-Po	30	3.0
2.	Gavia	Hafmynd Ehf Gavia AUV, Iceland	1.2	Li-Po	ca. 6	max 5.5
3.	Hugin 1000	Kongsberg Maritime AS, Norway	15.0	Li-Po	24	4.0
4.	Hugin 3000		45.0	Al/HP S-FC	60	4.0
5.	Hugin 4500		60.0	Al/HP S-FC	60	4.0
6.	Remus 100	Kongsberg Maritime AS, Norway	1.0	Li-Ion	10	4.5
7.	Remus 600		5.2	Li-Ion	50	4.5
8.	Remus 6000		11.0	Li-Ion	8	4.5

#### AUV ELECTRONIC EQUIPMENT

It is difficult to provide quantitative and qualitative evaluation of the electronic equipment used in each of the analysed models. This is due to the fact that among manufacturers there is a high supply of constantly improved electronic and electro-technical devices. Thus, there are broad possibilities as to their choice and configuration. Practically each AUV model may be characterised by different equipment depending on the goals and needs of the client. It is always an option to have the AUV's equipment enhanced and enriched beyond the standard offer, all depending on particular models and producers. Nevertheless, with regard to vehicle equipment within navigational, positioning and communication devices it is possible to specify the standard set commonly supplied in the vehicles. The set usually encompasses:

I. navigational devices:

- a) INS – integrated navigational system,
- b) DVL – digital video log.

II. positioning devices:

- a) GPS – global positioning system (satellite navigation),
- b) depth gauge, depth sensors.

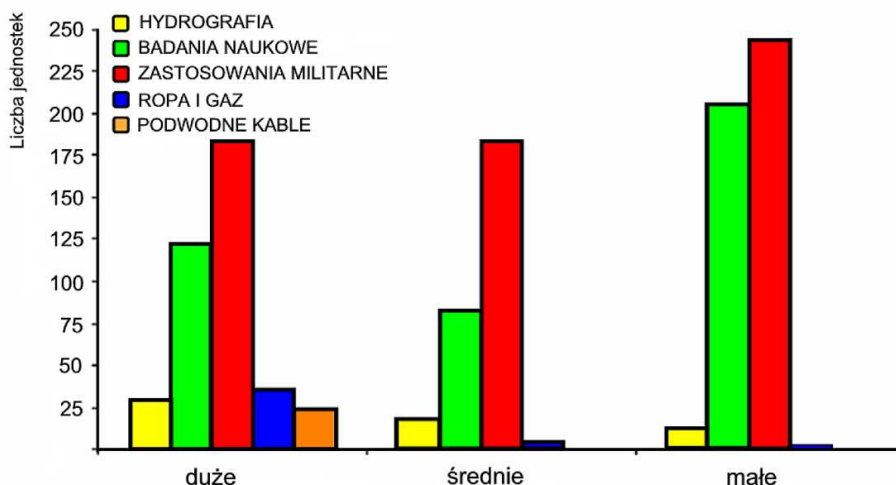
III. communication devices:

- a) high and low frequency acoustic commands (under water),
- b) RF – radio frequencies.

Civil research and measurement equipment as well as the equipment for typical military missions encompasses a broad range of devices, such as: sonars, echo sounders, scanners, magnetometers, conductivity probes and a number of others. Due to the limitations in AUV body capacities particular devices, as modules, are mounted to fulfil particular functions.

## Rozwój AUV

Analiza dostępnych materiałów, zarówno w ujęciu historycznym, jak i teraźniejszym wskazuje, że postęp robotyzacji intensywnie się rozwija. Dotyczy on wielu dziedzin działalności ludzi, w tym w obszarze morskim. Podstawą tych działań jest wspomaganie, zastępowanie i wyręczenie człowieka w poznawaniu otaczającego środowiska, jak również jego obrona. Stosowanie coraz dokładniejszych metod pomiarowych i badawczych, czyni roboty narzędziami niezbędnymi i koniecznymi. Potwierdzeniem tego jest rys. 7, który przedstawia perspektywy rozwoju światowego rynku w ilości pojazdów AUV, jakie zostaną zbudowane w latach 2010-2019 wg [2].



Rys. 7. Perspektywy rozwoju światowego rynku w ilości pojazdów AUV, które zostaną zbudowane w latach 2010-2019 wg [2].

Diagramy wskazują, że największa ilość przedmiotowych urządzeń będzie powstawała w grupie pojazdów AUV - małe. Potwierdza to ogólną, światową tendencję miniaturyzacji urządzeń technicznych. Należy również zauważyć, że we wszystkich grupach pojazdów AUV, największe zapotrzebowanie będą miały zastosowania militarne i badania naukowe. W przypadku tych drugich podstawą jest potrzeba poszukiwania nowych złóż surowców i paliw, jak również źródeł żywności oraz ochrony ekologicznej światowych mórz i oceanów.

## CENY

Ceny pojazdów AUV na światowym rynku są zróżnicowane. Możliwość ustalenia wartości zakupu określonych modeli jest praktycznie trudna do ustalenia. Wynika to m.in. z faktu, że konkurujące ze sobą firmy, na wystosowane zapytania, żądają bardzo konkretnych parametrów techniczno-użytkowych. Mając je kompilują, żądane przez kupującego, wyposażenie pojazdu i dopiero wtedy określają cenę wstępną. W opracowaniu [2] podano zakresy cen pojazdów AUV na świecie, na styczeń 2010 roku dla grup pokazanych w tabeli 1. Zmianę procentową światowych cen produkcji przemysłowej sprzedanej (tzw. PPI) oceniono na podstawie analizy dostępnych danych statystycznych. Szacunkowo przyjęto, że wartość ta realnie kształtuje się na poziomie 3,5 do 5 %. Stąd wartość procentową zmiany cen przyjęto na poziomie 4,25 %.

W tabeli 4 przedstawiono szacunkową zmianę cen pojazdów AUV na świecie w latach 2011 i 2012.

## AUV DEVELOPMENT

The analysis of available materials, including both the historical and current depiction, indicates a high development of robotization. This concerns numerous domains of human activity, including the marine area. The basis for such activities lies in supporting, replacing and relieving man in the exploration of the surrounding environment as well as ensuring human protection. The application of more and more accurate methods of measurement and research has proven robots to be necessary tools. This is confirmed by fig. 7 showing the prognosis for the development of the global market of AUVs for the years 2010-2019 according to [2].

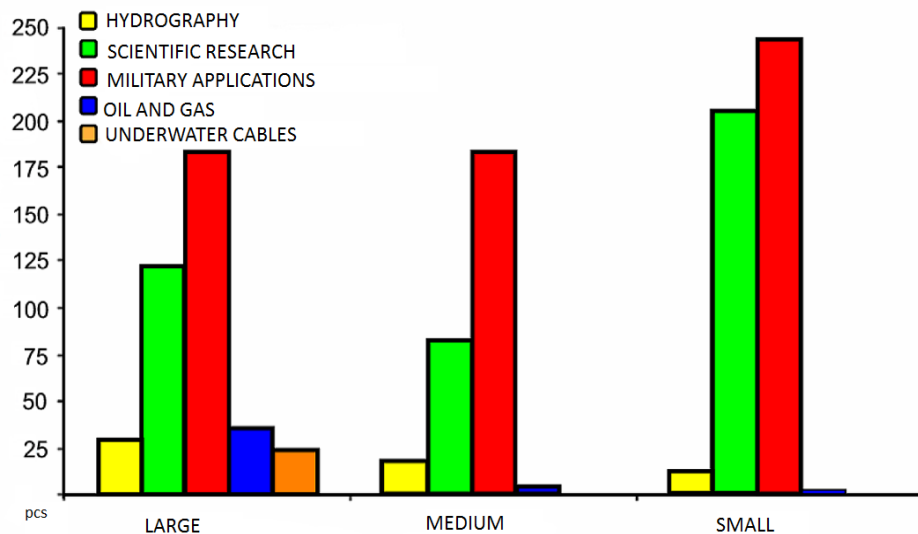


Fig. 7. Prognosis for the development of the global market of AUVs for the years 2010-2019 acc. to [2].

The diagrams indicate that the largest anticipated number of devices will be produced within the group of small AUVs. This confirms the general global tendency of miniaturization of technological devices. It should also be observed that the most common demand with regard to all AUV groups will be in the military and scientific-research areas. In the case of the latter the foundation is the need to search for new deposits of natural resources and fuels as well as food and ecological protection of the world's seas and oceans.

## PRICES

The prices of AUVs in the global market tend to vary. It is difficult to determine purchasing values of particular models. This results from the fact that the competing companies value their models according to very specific enquiries concerning their technical and utilitarian parameters. Having the necessary data they compile the required vehicle equipment and only then specify the initial prices. Item [2] in the bibliography presents the scopes of prices of AUVs in the world as of January 2010 for the groups indicated in table 1. The producer price index (PPI) was evaluated based on an analysis of the available statistical data. It has been estimated that the value reaches the level of 3.5 to 5%. Therefore the assumed average index is equal to 4.25 %.

Tabela 4.

## Szacunkowa zmiana cen pojazdów AUV na świecie.

Podział AUV \ Rok	2010	2011	2012
Małe	50 000 - 250 000 \$	52 000 - 261 000 \$	54 000 - 272 000 \$
Średnie	250 000 - 1 000 000 \$	260 600 - 1 043 000 \$	272 000 - 1 087 000 \$
Duże	1 000 000 - 5 000 000 \$	1 043 000 - 5 213 000 \$	1 087 000 - 5 430 000 \$

**WNIOSKI**

Na podstawie analizy produktów, w zakresie autonomicznych pojazdów podwodnych, można wyciągnąć następujące wnioski:

1. AUV stanowią ważną część dziedziny robotyzacji. Dzięki swoim stale wzrastającym możliwościom użytkowo-technicznym, stanowią wartościowe narzędzia pracy w różnych obszarach działalności człowieka, związanej z morzami i oceanami. Prognozy na przyszłe lata wskazują, że produkcja tego typu pojazdów, będzie się prędko rozwijać. Odnosi się to również do wzrostu ich zapotrzebowania, szczególnie w zastosowaniach militarnych i naukowo-badawczych.
2. Analizowane parametry techniczne pojazdów AUV wskazują, że najczęściej są to pojazdy: o objętości do 2 m<sup>3</sup> i długości do 2 m, zakresie głębokości operacyjnych 100 - 500 m oraz prędkościach pływania powyżej 10 km/h. Można więc uznać, że są to roboty kompaktowe, stosunkowo łatwe w użyciu oraz nie wymagające dużych kosztów eksploatacyjnych.
3. Popularność grupy „małe” wynika również z małych wymagań logistycznych i transportowych. Pojazdy takie mogą być przemieszczane i użyte praktycznie z dowolnej jednostki pływającej. Grupy: średnie i duże, w większości przypadków, wymagają przystosowanych, specjalistycznych jednostek pływających z odpowiednim wyposażeniem.
4. Ze względu na dużą różnorodność oferowanego na rynku wyposażenia elektronicznego, wielu producentów stosuje budowę modułową pojazdów AUV, jako tzw. opcje. Kupujący cenią sobie tego typu rozwiązania, ponieważ umożliwiają wielozadaniowe wykorzystanie posiadanych urządzeń. Wymiana modułów z jednego typu na drugi, przy tym samym kadłubie, w sposób szybki zmienia przeznaczenie pojazdu np. z naukowo-badawczego na militarne.
5. Bardzo istotnym elementem składowym pojazdów są ich źródła zasilania. One stanowią o autonomiczności AUV pod wodą oraz możliwościach operacyjnych i sposobach wykorzystania w wymaganych obszarach zastosowania. Wpływają również na koszty użytkowania i zabezpieczenia logistycznego, zwłaszcza w zakresie ich regeneracji, przywracania parametrów użytkowych lub możliwości wymiany.

Table 4 presents the estimated changes in the prices of AUVs in the world in the years 2011 and 2012.

Table 4.

Estimated AUV price variations in the world.

AUV classification \ Year	2010	2011	2012
Small	50 000 - 250 000 \$	52 000 - 261 000 \$	54 000 - 272 000 \$
Medium	250 000 - 1 000 000 \$	260 600 - 1 043 000 \$	272 000 - 1 087 000 \$
Large	1 000 000 - 5 000 000 \$	1 043 000 - 5 213 000 \$	1 087 000 - 5 430 000 \$

## CONCLUSIONS

Based on the product analysis concerned with autonomous underwater vehicles we may conclude as follows:

1. AUVs constitute a significant element in the field of robotization. Thanks to the continuous development of technical and usability parameters they have become a valuable tool in various domains of human activity related to the seas and oceans. The prognoses for future years indicate that the production of this kind of vehicles will tend to rapidly develop. This also refers to a significant growth of demand, particularly for military and scientific-research applications.
2. The analysed AUV technical parameters indicate that the main characteristics of such vehicles include: volume up to 2 m<sup>3</sup> and length up to 2 m, operational depth range of 100 - 500 m and swimming speed above 10 km/h. Thus, we may conclude that they are compact robots, relatively easy to operate, not requiring high exploitation costs.
3. The popularity of the group of "small" vehicles also stems from low logistic and transportation requirements. Such vehicles may be translocated and used from practically any vessel. The groups: medium and large, in the majority of cases require properly adjusted specialist vessels with proper equipment.
4. Due to high diversity of electronic equipment present in the market many producers offer modular AUV construction as the so-called options. Buyers appreciate this kind of solutions as they enable multitask use of the purchased devices. Module replacement in the vehicle allows to quickly alter its use, e.g. from scientific-research to military.
5. Power supply sources constitute a crucial component of the vehicles. They decide on the autonomy of AUVs under water as well as their operational possibilities and applications. They also have an important impact on exploitation costs and logistic security, mainly with regard to their regeneration, restoration of application parameters or possibilities of replacement.

## LITERATURA / BIBLIOGRAPHY

1. "Remotely Operated Vehicles of the World 2010/2011 9-ta edycja Clarcon Research Services Ltd. Londyn ISBN 978-1-907060-14-4; www.crsl.com;
2. Paul Newman - "Unmanned vehicles for shallow and costal waters" Douglas-Westwood 2010 ; www.dw-1.com;
3. Oistein Hasvold, Kjell Johansen "The Alkaline Aluminium Hydrogen Peroxide Semi-Fuel Cell for the Hugin 3000 Autonomous Underwater Vehicle" FFI (Norwegian Defence Research Establishment) Norwegia 2002;
4. Oistein Hasvold, Nils j. Storkersen, Sissel Forseth, Torleif Lian "Power sources for autonomous undrwater vehicles" FFI (Norwegian Defence Research Establishment) Norwegia 2005;

### Strony internetowe [SI]:

1. www.eca.com;
2. www.kongsberg.com;
3. www.saabgroup.com;
4. www.baegroup.com;
5. www.gavia.is

### Zdjęcia [Z] :

1. [http://www.ths.org.uk/documents/ths.org.uk/downloads/shallowwater\\_auv\\_and\\_usv.pdf](http://www.ths.org.uk/documents/ths.org.uk/downloads/shallowwater_auv_and_usv.pdf);
2. [http://www.eca.fr/ftp/article/321/PACIFIC\\_2010\\_Press\\_Release.pdf](http://www.eca.fr/ftp/article/321/PACIFIC_2010_Press_Release.pdf);
3. <http://www.waittinstitute.org/gallery/the-auv-system#>;
4. [http://www.eca.fr/ftp/article/321/PACIFIC\\_2010\\_Press\\_Release.pdf](http://www.eca.fr/ftp/article/321/PACIFIC_2010_Press_Release.pdf);
5. [http://www.ths.org.uk/documents/ths.org.uk/downloads/shallowwater\\_auv\\_and\\_usv.pdf](http://www.ths.org.uk/documents/ths.org.uk/downloads/shallowwater_auv_and_usv.pdf);
6. [http://www.kongsberg.com/en/KDS/Products/NavalSystems/~/\\_media/KDS/Files/Products/Naval%20Systems/produktarkCInspector1.ashx](http://www.kongsberg.com/en/KDS/Products/NavalSystems/~/_media/KDS/Files/Products/Naval%20Systems/produktarkCInspector1.ashx);
7. [http://www.deagel.com/Underwater-Vehicles/PAP-Mark-5\\_a002091001.aspx](http://www.deagel.com/Underwater-Vehicles/PAP-Mark-5_a002091001.aspx);

## **АНАЛИЗ ЕВРОПЕЙСКОГО РЫНКА АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ**

### **АППАРАТОВ**

### **Часть 1**

*В статье представлен анализ продуктов и производителей автономных подводных аппаратов в Европе.*

**Ключевые слова:** *Технология дноуглубительных работ, автономный подводный аппарат (АНПА, англ. autonomous underwater vehicle — AUV).*

## **Przemysław Pozański, Mieczysław Grabowski**

**mgr inż. Przemysław Pozański**  
OBR Centrum Techniki Morskiej S.A.,  
ul. Dickmana 62, 81-109 Gdynia  
e-mail: Przemyslaw.Pozanski@ctm.gdynia.pl

**dr inż. Mieczysław Grabowski**  
OBR Centrum Techniki Morskiej S.A.,  
ul. Dickmana 62, 81-109 Gdynia  
e-mail: Mieczyslaw.Grabowski@ctm.gdynia.pl

### **ODDZIAŁYWANIE FAŁ CIŚNIENIOWYCH NA NURKÓW W ASPEKcie SYSTEMÓW DETEKcji I PRZECIWDZIAŁANIA ZAGROŻENIOM PODWODNYM**

*W artykule przedstawiono analizę oddziaływania fal ciśnieniowych na organizm nurka w zależności od właściwości generowanych zaburzeń. W szczególności analiza obejmuje wpływ takich parametrów jak poziom ciśnienia akustycznego, pasmo częstotliwości generowanych fal oraz czas oddziaływania. Są to główne czynniki determinujące bezpieczeństwo prowadzenia działań podwodnych przy jednoczesnej pracy systemów hydroakustycznych. Wymienione parametry fal ciśnieniowych decydują również o ich skuteczności pod kątem przeciwdziałania zagrożeniom ze strony nurków.*

*Omówiono również metodę badań źródeł fal ciśnieniowych w kontekście oddziaływania na nurków. Przedstawiono wyniki badań własnych dotyczących możliwości wykorzystania w tym celu przetworników hydroakustycznych oraz urządzeń pneumatycznych. Prace obejmowały badania i analizę skuteczności proponowanych rozwiązań w zależności od materiałów stosowanych do produkcji skafandrów nurkowych.*

*Badania prowadzono w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2010 – 2012 jako projekt rozwojowy nr 0R0009811 pt.: "Detekcja i przeciwdziałanie terrorystycznym zagrożeniom ze strony nurków".*

*Przemysław Pozański jest laureatem Stypendium Naukowego im. Antoniego Dębskiego przyznanego w roku 2011 przez Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej.*

**Słowa kluczowe:** detekcja, fale ciśnieniowe, oddziaływanie.

## ANALIZA WPŁYWU FAL CIŚNIENIOWYCH NA NURKÓW W FUNKCJI PARAMETRÓW ICH ŹRÓDEŁ

Na podstawie wyników prowadzonych na świecie prac i badań [1], [3], [7], [8] stwierdzono, że skutki oddziaływania fal ciśnieniowych na organizm człowieka zależą od trzech podstawowych parametrów, charakteryzujących te zaburzenia: poziom ciśnienia akustycznego (SPL), pasmo częstotliwości (BW) oraz czas trwania zaburzenia ( $T_D$ ). Skuteczność oddziaływania oraz możliwe efekty zależą również od wyposażenia nurka, a konkretnie od rodzaju i zestawienia skafandra. Punktem wyjściowym prac prowadzonych nad tym zagadnieniem są analizy zjawisk zachodzących w powietrzu, odnoszących się głównie do zastosowania fal akustycznych, jako czynnika obezwładniającego.

Podstawowy podział zaburzeń ciśnieniowych w aspekcie oddziaływania na organizm ludzki polega na określeniu ich pasma częstotliwości i uporządkowaniu możliwych skutków. Na tej podstawie można wyróżnić następujące zakresy:

- infradźwięki – częstotliwości poniżej pasma słyszalnego ( $< 20$  Hz); sygnały o poziomie od 110 do 130 dB<sup>1</sup> mogą skutkować bólem jelit i ciężkimi mdłościami;
- niskie częstotliwości pasma słyszalnego ( $< 200$  Hz) – przy kilkuminutowej ekspozycji dla poziomów ciśnienia w granicach od 90 do 120 dB obserwowano wysoki poziom rozdrażnienia, rozproszenia i irytacji; dla poziomów od 140 do 150 dB możliwe są silne urazy i uszkodzenia tkanek, a powyżej 170 dB obrażenia są zbliżone jak w przypadku fali uderzeniowej po wybuchu; w tym zakresie występują częstotliwości rezonansowe organów wewnętrznych człowieka; silne pobudzenie do drgań w rezonansie może skutkować ich skurczami lub krwotokami, a w rezultacie trwałym urazem lub śmiercią;
- pasmo słyszalne ( $< 20$  kHz) – w tym zakresie częstotliwości, oprócz trwałych lub tymczasowych uszkodzeń słuchu, można zaobserwować rezonanse jam powietrznych w organizmie skutkujących również podrażnieniami nerwów;
- wysokie częstotliwości pasma słyszalnego i ultradźwięki (5 kHz do 30 kHz) – skutkiem ekspozycji na zaburzenia z tego zakresu częstotliwości mogą być podwyższenie temperatury ciała, poparzenia tkanek, odwodnienie;
- ultradźwięki ( $> 30$  kHz) i krótkie impulsy – możliwe urazy i zmiany patologiczne tkanek.

W porównaniu z innymi technologiami, stosowanymi jako czynnik obezwładniający w systemach broni NLW<sup>2</sup>, w ośrodku wodnym zaburzenia w postaci fal ciśnieniowych charakteryzują korzystne warunki propagacji. To między innymi dzięki tej właściwości systemy hydroakustyczne są bardzo szeroko stosowane w aplikacjach systemów monitorowania i zobrazowania sytuacji podwodnej<sup>3</sup>.

Dotychczasowe badania związane z oddziaływaniem fal ciśnieniowych na organizm nurka dotyczyły przede wszystkim bezpieczeństwa prowadzenia prac podwodnych.

---

<sup>1</sup> Tak jak w przypadku innych zagadnień związanych z akustyką poziom wyrażany w dB dotyczy odniesienia do wartości referencyjnej  $p_{ref}$ . W zależności od przyjętego ośrodka  $p_{ref} = 20 \mu Pa$  (powietrze) lub  $p_{ref} = 1 \mu Pa$  (woda). W tym przypadku rozpatrywane są zaburzenia rozchodzące się w powietrzu.

<sup>2</sup> NLW – ang. Non-Lethal Weapon – broń obezwładniająca, nieśmiertelna

<sup>3</sup> Monitorowanie środowiska, badanie struktur dennych, detekcja nurków i pojazdów podwodnych, poszukiwanie min, łączność podwodna, itp.

## **THE EFFECT OF PRESSURE WAVES ON DIVERS IN THE FUNCTION OF THEIR SOURCE PARAMETERS - ANALYSIS**

The research conducted worldwide [1], [3], [7], [8] has proved that the effects of pressure waves on the human body are dependent on three basic parameters which are characteristic to these duration: sound pressure level (SPL), bandwidth (BW) and disturbance time (TD). The efficiency of interaction and possible effects are also dependent on the diver's equipment, type and arrangement of the diving suit in particular. The starting point for the solution to this issue is the analysis of aerial phenomena which pertain to acoustic waves viewed as an incapacitating factor.

A basic division of pressure disturbances with respect to an interaction with the human body consists in determining their bandwidth and ordering the possible results. On that ground one can distinguish three types of frequency:

- infrasounds - below the low-frequency limit of human hearing (< 20 Hz); sound level of 110-130 dB<sup>1</sup> may result in intestine pains and intense nausea.
- low frequencies of the hearing range (< 200 Hz) - a several-minute exposure to pressure levels between 90 and 120 dB was observed to cause extreme exasperation, distraction and irritation; for levels between 140 and 150 dB - injuries and damage to the tissue were a possibility, whereas over 170 dB the injuries were reminiscent of those inflicted after an explosion shock wave; resonance frequencies of human internal organs occur in this very range; a strong inducement of resonant vibrating may result in the organ contraction, hemorrhage and, in the long run, may cause a permanent injury or death;
- hearing range (< 20 kHz) - except for permanent or temporary hearing impairment, in this frequency range one can observe resonance in air cavities, which may also result in nerve irritation.
- high frequencies of the hearing range and ultrasounds (5 kHz to 30 kHz) - exposure to disturbance in this frequency range may lead to increased body temperature, tissue burns, dehydration;
- ultrasounds (> 30 kHz) and short impulses - possible injuries and pathological changes in the tissue.

Compared with other technologies applied as incapacitating factors in NLW weapon systems<sup>2</sup>, in water environment pressure wave disturbances are characterized by favourable conditions of propagation. It is due to this very property, among others, that hydroacoustic systems are widely applicable in monitoring systems and underwater imaging<sup>3</sup>.

Previous research on the effects of pressure waves on a diver's body pertained primarily to safety measures adopted while performing underwater works. Especially within the hearing range and for typical frequency ranges used in naval underwater locating systems.

---

<sup>1</sup> Like in the case of other acoustics-related issues the levels expressed in dB relate to reference value  $p_{ref}$ . Depending on the assumed medium  $p_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$  (air) or  $p_{ref} = 1 \mu\text{Pa}$  (water). In this case disturbances dissipated in the air are considered

<sup>2</sup> Non-Lethal Weapon – incapacitating weapon

<sup>3</sup> Monitoring of environment, examination of bottom structures, detection of divers and underwater vehicles, mine detection, underwater communications, etc.

W szczególności w paśmie słyszalnym oraz dla typowych zakresów częstotliwości pracy okrętowych systemów hydrolokacyjnych. Ośrodki naukowe, skupione głównie wokół instytucji wojskowych<sup>4</sup>, podejmowały próby przełożenia zjawisk zachodzących w powietrzu na środowisko podwodne. W najprostszym przypadku rozważano uwzględnienie tylko różnicy w wartościach ciśnienia odniesienia  $p_{ref}$ , co sugerowało wprowadzenie poprawki wartości SPL o ok. 26 dB. Jednak pierwsze eksperymenty pokazały, że sygnał o założonych parametrach nie przyniesie takiego samego efektu w wodzie i w powietrzu<sup>5</sup>. Próg słyszenia zależy od indywidualnych cech nurka oraz od rodzaju skafandra. Kolejna różnica, jaką należy uwzględnić w aspekcie oddziaływania fal akustycznych na organizm nurka, dotyczy impedancji akustycznej.

Zagadnienie impedancji akustycznej (ozn.  $Z$ ) należy rozpatrywać w przypadku granicy dwóch ośrodków, w celu określenia jaka część energii fali jest odbita a jaka przenika przez drugi ośrodek. Dla fal akustycznych  $Z$  jest definiowana jako stosunek ciśnienia akustycznego do prędkości cząstkowej i wyrażana w jednostkach  $\text{kg/m}^2\text{s}$  lub Rayl =  $\text{Pa}\cdot\text{s/m}$ . Impedancja charakterystyczna dla danego medium (ozn.  $Z_0$ ) zależy od średniej gęstości ośrodka  $\rho$  oraz prędkości propagacji fali akustycznej w tym ośrodku [4], [5].

Na podstawie stosunku impedancji dwóch sąsiadujących ośrodków, przez które przenika zaburzenie ciśnieniowe, określana jest skuteczność przekazania energii fali. Jeżeli impedancje mają takie same wartości, mamy do czynienia z dopasowaniem impedancyjnym. Wówczas na granicy ośrodków cała energia powinna zostać przekazana z jednego medium do drugiego bez strat. W przypadku, gdy sąsiednie ośrodki charakteryzuje różna impedancja akustyczna, część energii zostanie odbita.

Cecha ta jest szczególnie istotna z punktu widzenia ekspozycji organizmu nurka na fale ciśnieniowe w ośrodku wodnym, gdyż wartości impedancji akustycznych, charakteryzujących organy wewnętrzne, są zbliżone do impedancji wody. Dla porównania wartość impedancji akustycznej wody morskiej w temperaturze ok. 13°C wynosi ok.  $1,54 \cdot 10^6$  Rayl, dla mózgu jest to wartość  $1,52 \cdot 10^6$  Rayl, wątroba  $1,64 \cdot 10^6$  Rayl<sup>6</sup>.

Korzystne warunki propagacji fal ciśnieniowych<sup>7</sup> sprawiają, że ich źródła pośredniczą w generowaniu dźwięku w znacznym obszarze i objętości wody wokół chronionych obiektów. Rozchodząca się w wodzie fala akustyczna oddziałuje na każdy znajdujący się w zasięgu obiekt.

---

<sup>4</sup> Prace tego typu prowadzono m. in. w Naval Experimental Diving Laboratory oraz Air Force Biomedical Research Laboratory [3].

<sup>5</sup> Dla przykładu próg słyszalności w powietrzu określa się jako wartość poziomu ciśnienia 0 dB re 20  $\mu\text{Pa}$  (ciśnienie akustyczne 20  $\mu\text{Pa}$ ). Natomiast poziom progu słyszenia w wodzie nurka wynosi ok. 65 dB re 1  $\mu\text{Pa}$  (co odpowiada wartości ok. 39 dB re 20  $\mu\text{Pa}$ , a ciśnienie akustyczne to  $\sim 1880$   $\mu\text{Pa}$ ).

<sup>6</sup> Płuca ze względu na zawartość powietrza mają impedancję akustyczną o wartości ok.  $0,26 \cdot 10^6$  Rayl. W przypadku urządzeń stosowanych przy połowach ryb, głównym czynnikiem umożliwiającym ich wykrycie są odbicia sygnałów sondujących od pęcherzy pławnych. Jest to jedna z głównych cech wykorzystywanych w systemach hydrolokacyjnych o ograniczonej rozdzielczości, służących wykrywaniu nurków. Systemy detekcji o wysokiej rozdzielczości, pracujące na wysokich częstotliwościach i o wąskich wiązkach sondujących, umożliwiają skuteczne rozróżnianie kształtów obiektów oraz ich ruch. W przypadku urządzeń stosowanych przy połowach ryb, głównym czynnikiem umożliwiającym ich wykrycie są odbicia sygnałów sondujących od pęcherzy pławnych.

<sup>7</sup> Zarówno w postaci sygnałów hydroakustycznych lub zaburzeń impulsowych.

Research centres concentrated around military institutions<sup>4</sup> have undertaken to translate aerial phenomena into underwater environment. At a basic level, the difference in  $p_{ref}$  pressure values was the only consideration to be taken into account, which suggested an introduction of an SPL value correction of about 26 dB. However, first experiments showed that the signal with given parameters would not bring the same effects in water as in the air<sup>5</sup>. The hearing threshold is dependent on the individual characteristics of a diver and the type dive suit he or she is wearing. Another difference to be taken into account, with respect to the effects of pressure waves on a diver's body, regards the acoustic impedance. The phenomenon of acoustic impedance ( $Z$ ) needs to be considered in the case of two mediums in order to establish what amount of wave energy is reflected and how much of the energy propagates through the other medium. For sound waves,  $Z$  is defined as a ratio of sound pressure to the particle velocity expressed in  $kg/m^2s$  or Rayl =  $Pa \cdot s/m$ . Impedance characteristic of a given medium ( $Z_0$ ) depends on the average density of the medium  $\rho$  and the velocity of the wave propagation within the given medium [4], [5]. The effectiveness of the wave energy transfer is defined on the basis of the impedance relation of the two neighbouring mediums through which the pressure disturbance permeates. If the impedances have the same values, a phenomenon known by the name of impedance matching, then, on the boundary of the mediums, the entire energy ought to be transferred from one medium to the other with no losses. In the case when neighbouring mediums have different acoustic impedances, some of the energy becomes reflected. This feature is absolutely crucial from the standpoint of the exposure of a diver's body to pressure waves in water because the values of acoustic impedances which are typical for internal organs are similar to the impedance of water. To compare - the acoustic impedance of sea water at a temperature of about 13°C is about  $1.54 \cdot 10^6$  Rayl, for the brain the value is  $1.52 \cdot 10^6$  Rayl, and for the liver -  $1.64 \cdot 10^6$  Rayl<sup>7</sup>.

Conditions which are favourable to the propagation of pressure waves<sup>6</sup> cause their sources to mediate in generating the sound over a vast area and volume of water around the protected objects. The acoustic wave which propagates in water affects every object within range. Moreover, signal damping depends on the distance, therefore the effectiveness of interaction increases with the intruder approaching the projector<sup>8</sup>. These features render equipment expenditure cuts possible.

Initially, research conducted at military research centres (among others, the Naval Experimental Diving Laboratory and Air Force Biomedical Research Laboratory [3]), concerned threats which pertained chiefly to divers' hearing in conditions of excessive noise levels. Potential permanent or temporary hearing impairments were considered.

---

<sup>4</sup> Research of this type was carried out, among others, at the Naval Experimental Diving Laboratory and Air Force Biomedical Research Laboratory [3].

<sup>5</sup> For example, the hearing threshold in the air is defined as the value of pressure level 0 dB re 20  $\mu Pa$  (sound pressure 20  $\mu Pa$ ). However, the hearing threshold of a diver in water is about 65 dB re 1  $\mu Pa$  (which corresponds to 39 dB re 20  $\mu Pa$ , while sound pressure is  $\sim 1880 \mu Pa$ ).

<sup>7</sup> On account of their air content, lungs have the acoustic impedance of  $0.26 \cdot 10^6$  Rayl.

In the case of devices which are employed for fishing, probing signals reflected from air swim bladders are the chief factor allowing their detection.

It is one of the features employed in underwater locating systems with limited resolution, used for detecting divers.

High-resolution detecting systems with narrow probe beams which operate on high frequencies enable effective shape and movement recognition.

<sup>6</sup> Taking the form of both hydroacoustic signals or impulse disturbances.

<sup>8</sup> A transmitting transducer, the actuator - source of pressure waves.

Ponadto tłumienie sygnału zależy od odległości, w związku z czym, skuteczność oddziaływania rośnie wraz ze zbliżaniem się intruza do projektora<sup>9</sup>. Dzięki tym cechom możliwe jest ograniczenie wymagań i nakładów na sprzęt.

Początkowo, badania prowadzone w militarnych ośrodkach naukowych (m.in. Naval Experimental Diving Laboratory oraz Air Force Biomedical Research Laboratory [3]), dotyczyły zagrożeń związanych głównie ze słuchem nurków pracujących w warunkach nadmiernego natężenia hałasu. Rozważano możliwość występowania trwałych lub tymczasowych ubytków słuchu. Jednak z punktu widzenia obezwładniania nurka, uszkodzenie słuchu, tymczasowe lub trwałe, nie musi oznaczać zaprzestania prowadzenia dalszych działań dywersyjnych.

Dlatego też element podwodnego systemu przeciwdziałania, związany z pasmem akustycznym słyszalnym, można ewentualnie ograniczyć do rozgłaszania ostrzeżeń werbalnych lub instrukcji postępowania, nawołujących do zaprzestania akcji, poddania się lub opuszczenia danego rejonu.

Zaobserwowano również, że w zakresie częstotliwości poniżej ok. 500 Hz bodźce akustyczne mogą być słabo odbierane przez narządy słuchu. Jednak ekspozycja o odpowiednio wysokim poziomie ciśnienia (powyżej 160 dB re 1  $\mu$ Pa) wywołuje subiektywne reakcje związane z drganiami narządów wewnętrznych.

Skutkami takiego oddziaływania fal ciśnieniowych mogą być: bóle związane z centralnym systemem nerwowym, zaburzenia oddechowe, zawroty głowy, nudności, mdłości, dezorientacja i dyskomfort. W zależności od doświadczenia nurka objawy te mogą być interpretowane jako problemy z uchem środkowym, zator w układzie oddechowym czy też choroba dekompresyjna.

Przytoczone badania były nakierowane głównie na bezpieczeństwo prowadzenia prac podwodnych w otoczeniu źródeł silnych sygnałów hydroakustycznych jakimi są na przykład okrętowe systemy hydrolokacyjne. Na ich podstawie powstały między innymi instrukcje dla nurków Marynarki Stanów Zjednoczonych odnośnie dopuszczalnych warunków ekspozycji na oddziaływanie sonarów okrętowych [9]. Dla przykładu, instrukcja ta zakłada, że nurek pracujący w pobliżu jednego z sonarów, generującego sygnały sondujące o częstotliwościach poniżej 5 kHz (np. niskoczęstotliwościowe sonary do poszukiwania okrętów podwodnych) zależnie od wyposażenia, może znajdować się w obszarze od ok. 10 do 2000 metrów od sonaru nie dłużej niż 10 minut w ciągu doby. Instrukcja reguluje również dopuszczalne warunki ekspozycji dla sonarów o wyższych częstotliwościach pracy.

Ze względu na charakter i właściwości osobno należy rozważyć oddziaływanie zaburzeń impulsowych i fal uderzeniowych. Są to zakłócenia powstałe np. w wyniku eksplozji ładunków wybuchowych, granatów hukowych czy też działek pneumatycznych (ang. Air Gun). W zależności od źródła, generowaną podczas wybuchu lub rozprężania powietrza, falę ciśnieniową będą różnić podstawowe zależności widmowe i czasowo-energetyczne.

Większość badań skupiała się na potencjalnie śmiertelnych efektach wybuchów, a ich celem było przede wszystkim określenie bezpiecznych odległości pływania. Niektóre wcześniejsze próby opisanie bioefektów występujących w wodzie opierały się o badania prowadzone w powietrzu. Podwodna fala uderzeniowa zmienia się i kształtuje z odległością inaczej niż sygnał fali ciągłej, skutkiem czego są dwa podstawowe typy zaburzeń. Blisko źródła występuje bardzo szybko narastający front fali o wysokim ciśnieniu. W większych odległościach pod względem właściwości powstałe zaburzenie coraz bardziej zbliża się (może być aproksymowane) do niskoczęstotliwościowej fali ciągłej.

---

<sup>9</sup> Przetwornik nadawczy, element wykonawczy – źródło fal ciśnieniowych.

However, as far as diver's incapacitation is concerned, hearing impairment, permanent or temporary, does not necessarily equate with the cessation of an intended sabotage. Therefore, the element of underwater countermeasure system, related to the hearing range, may possibly be reduced to the dissemination of verbal threats or procedural instructions that would urge a potential intruder to abort the sabotage, surrender, or leave a given area. It was observed that within the frequency range below 500Hz sound stimuli may be but faintly picked out by the hearing system. However, an exposure in high enough pressure levels (over 160 dB re 1  $\mu$ Pa) induces subjective reactions related to the vibration of internal organs. The effects of such interactions of pressure waves may include aches related to central nervous system, respiratory disorders, dizziness, nausea, queasiness, misorientation and discomfort. Depending on diver's experience, the symptoms may be interpreted as middle ear related problems, pulmonary embolism or decompression sickness.

The research referred to was aimed at ensuring safety of underwater works when surrounded by sources of strong hydroacoustic signals such as naval underwater locating systems. This research became the source for instructions given to U.S. Navy divers as regards acceptable conditions of exposure to naval sonars [9]. For instance, the instructions assume that a diver who works near one of the sonars which generate probing signals with frequencies below 5kHz (e.g. low-frequency sonars used for submarine detection), depending on the equipment, cannot stay within 10 to 2000 metres of the sonar longer than 10 minutes in 24 hours. The instructions also regulate acceptable exposure conditions for high-frequency sonars.

On account of their nature and properties, impulse disturbances and shock waves ought to be considered separately. Disturbances of this type are created as a result of a blast from explosive devices, stun grenades or air guns. Depending on the source, the compression wave generated during the blast or air expansion will be differentiated by basic spectral and time-energy interrelations.

Most of the research focused on potentially lethal effects of explosion and their aim was principally to define safe swimming distances. Some of the earlier attempts to characterise bioeffects that occur in water were based on research carried out in the air. An underwater shock wave changes and takes shape within a distance in a different manner from a continuous wave, which results in two basic types of disturbances. Towards the wave source a high pressured wave front builds up with high velocity. Over larger distances, in terms of properties, the disturbance nears (may be approximated) to a low-frequency continuous wave.

For explorations of bottom structures, where it is necessary to generate strong impulse disturbances, in addition to explosive devices, controllable sources such as air guns are employed. The working principle of different AG types is similar. Compressed air stored in a storage tank is abruptly released into water causing an air bubble. Rapid oscillation of air bubbles repetitively creates an acoustic signal which is proportional to the size of changes in the bubble volume. The shape of the created wave may be described as a decayed sine curve. Basic frequency of the wave largely depends on the maximum volume of the bubbles and the surrounding pressure. The level of the signal will chiefly depend on the energy contained in the compressed air prior to expansion, hence the emphasis on increasing the pressure and the volume of the initial gas charge.

The above-mentioned information enables an ordering of hydroacoustic systems<sup>9</sup> as far as the interaction with a diver's body is concerned. Generally speaking, the intended use and employment of given devices is inextricably connected with their technical characteristics.

---

<sup>9</sup> On account of the phenomena described, the term hydroacoustic systems will only apply to active systems which generate probing signal as modulated or impulse signals.

Do badań struktur dennych, gdzie konieczne jest generowanie silnych zaburzeń impulsowych, oprócz ładunków wybuchowych stosuje się kontrolowane źródła w postaci działek pneumatycznych AG (ang. Air Gun). Zasada działania różnych typów AG jest podobna. Zbiornik powietrza wysokiego ciśnienia jest raptownie opróżniany do otaczającej wody, wytwarzając pęcherz powietrza. Szybkie pulsowanie pęcherzyków powietrza kilkakrotnie wytwarza sygnał akustyczny, proporcjonalny do wielkości zmian objętości pęcherzy. Kształt fali zwykle można określić jako tłumioną sinusoidę. Częstotliwość podstawowa fali zależy przede wszystkim od maksymalnej objętości pęcherzy i otaczającego ciśnienia. Poziom, jaki może osiągnąć sygnał zależy głównie od energii zawartej w skompresowanym powietrzu poprzedzającym rozładowanie, stąd duży nacisk kładziono na zwiększenie ciśnienia i objętości inicjacyjnego ładunku gazu.

Powyższe informacje pozwalają na pewne uporządkowanie systemów hydroakustycznych<sup>9</sup> pod kątem oddziaływania na organizm nurka. Ogólnie rzecz ujmując, przeznaczenie i stosowanie poszczególnych urządzeń jest ściśle związane z ich parametrami technicznymi. W związku z czym parametry techniczne, a w szczególności pasmo częstotliwości pracy oraz poziom generowanego ciśnienia akustycznego, będą stanowiły klucz dla ich usystematyzowania.

a) Sonary do wykrywania nurków (DDS) pracują w paśmie wysokich częstotliwości (przykładowo powyżej 400 kHz). W tym zakresie w ośrodku wodnym następuje bardzo silne tłumienie sygnałów sondujących, co wpływa na ograniczenie zasięgu tych systemów. Oddziaływanie fal jest zwykle niezauważalne/nieodczuwalne dla nurków przebywających w pobliżu tego typu urządzeń.

b) Sonary średniego zasięgu pracujące w paśmie ultradźwięków (>30 kHz) – skutkiem ekspozycji na zaburzenia z tego zakresu częstotliwości mogą być podwyższenie temperatury ciała, zwiększenie ciśnienia krwi, poparzenia tkanek, odwodnienie, możliwe są również urazy i zmiany patologiczne tkanek. Systemy te również charakteryzuje stosunkowo ograniczony zasięg.

c) Sonary dalekiego zasięgu pracujące w paśmie < 20 kHz – wykorzystywane do poszukiwania jednostek oraz obiektów pływających na znacznych odległościach (do kilku km). Charakteryzują się wysokim poziomem ciśnienia akustycznego. Ich oddziaływanie może skutkować uszkodzeniem tkanek oraz naczyń krwionośnych, podrażnieniem nerwów oraz zaburzenia równowagi. Instrukcje dotyczące bezpieczeństwa prowadzenia prac podwodnych zalecają ścisłe ograniczenie ekspozycji na sygnały, których poziom przekracza 190 dB re 1  $\mu$ Pa.

d) Niskoczęstotliwościowe sonary aktywne – systemy te wykorzystywane są do poszukiwania okrętów podwodnych na odległościach powyżej kilku Mm. Tego typu urządzenia są również stosowane w badaniach struktur dna morskiego. W tych przypadkach generowane są impulsy o dużej energii, a co za tym idzie o stosunkowo wysokim poziomie ciśnienia akustycznego oraz długim czasie trwania. Możliwe do zaobserwowania bioefekty obejmują zakres od rozdrażnienia, niepokoju, poprzez skurcze i krwotoki, a na trwałych uszkodzeniach tkanek kończąc. Efekty i obrażenia powstałe w wyniku oddziaływania fal w tym zakresie o poziomie powyżej 160 dB mogą być podobne jak w przypadku fali uderzeniowej.

e) Źródła impulsowe, działka pneumatyczne – systemy te przeznaczone są przede wszystkim do badań hydrogeologicznych. Dodatkowo, ze względu na skutki oddziaływania oraz możliwość kontroli generowanych zaburzeń spełniają oczekiwania stawiane broni obezwładniającej.

---

<sup>9</sup> Ze względu na analizowane zjawiska pojęcie systemów hydroakustycznych w tym artykule będzie dotyczyć tylko systemów aktywnych, generujących sygnał sondujący np. w postaci sygnałów modulowanych lub impulsowych.

Therefore, it is the technical characteristics, and particularly the frequency band and the level of generated sound pressure, that will be the key to their systematisation.

a) Diver detection sonars (DDS) work in the high frequency band (e.g. over 400kHz). In water, probing signals in such frequencies are intensely dampened, which affects the coverage of these systems. Wave interactions are typically imperceptible to divers who work near such devices.

b) Medium-range sonars working in the ultrasound band (>30 kHz) - exposure to such frequencies may cause body temperature and blood pressure to increase, burning tissue, dehydration, injury and pathological changes in the tissues are a common occurrence. The systems are also characterised by a limited range.

c) Long-distance sonars working in the band of <20 kHz - used to conduct a search for floating objects and units at a considerable distance (up to several kilometres). They are characterized by a high sound pressure level. Interaction may result in damaged tissue and blood vessels, nerve irritation or balance disorders. Safety regulations for underwater works recommend severe restrictions as regards exposures with levels exceeding 190 dB re 1  $\mu$ Pa.

d) Low-frequency active sonars - systems used to detect submarines over the distances of several leagues. This type of device is also used to scan sea bottom structures. Generated impulses have considerable energy levels which entails high levels of sound pressure and longevity. The observable bioeffects might range from irritation and anxiety, through contractions and hemorrhage, to permanent tissue injuries. The effects and injuries inflicted as a consequence of the interaction of waves in this frequency with the level of over 160 dB, may be similar to those which are typical for shock waves.

e) Impulse sources, air guns - these systems are intended principally for hydrogeological research. Additionally, on account of the results of the impact and the ability to control generated disturbances, they meet the criteria for incapacitating weapons. The organ which is particularly sensitive from the point of view of pressure/shock wave hazard is the lung with the upper respiratory tract. The occurrence of the so-called petachiae, i.e. small red or purple spots caused by minuscule bleeding from damaged capillaries of the respiratory tract (for pressure of several dozens of kPa, ~180 dB) is assumed to be a marker of hazardous pressure levels. For higher pressure levels, not only did bleeding occur in the trachea, but also in lungs, the like of which can be encountered in the event of contusions. The rupture of tissues may lead to profuse bleeding and pulmonary edema.

In consideration of the above, on the path to generating strong pressure disturbances (hydroacoustic), NLW conducive impact effects on an intruder's body may be expected: pains related to the central nervous system, respiratory disorders, dizziness, nausea, queasiness, misorientation and discomfort. The impact of a pressure wave may lead to injuries of internal organs and eventually to death.

The analysed literature and current knowledge on the subject of low frequencies and impulse disturbances anticipates the following levels of pressure wave impacts:

- $AT_{H(\text{earing})} = 65 \div 80$  [dB re 1  $\mu$ Pa] – hearing threshold;
- $AT_{V(\text{ibration})} = 130 \div 140$  [dB re 1  $\mu$ Pa] – threshold of sensing vibrations with internal organs;
- $AT_{P(\text{ain})} = 160 \div 170$  [dB re 1  $\mu$ Pa] – pain threshold;
- $AT_{I(\text{njury})} = 180 \div 190$  [dB re 1  $\mu$ Pa] – internal organs injury;
- $AT_{D(\text{eath})} > 195$  [dB re 1  $\mu$ Pa] – death.

Bearing in mind these parameters, it was put to consideration to construct dedicated devices that make use of hydroacoustic and pneumatic transducers and pyrotechnics employed in hazard countermeasure systems for divers.

Organem szczególnie wrażliwym z punktu widzenia narażeń na fale ciśnieniową/uderzeniową są płuca z górną częścią przewodu oddechowego (ang. *lung with the upper respiratory tract*). Jako znacznik niebezpiecznego poziomu ciśnienia przyjmuje się wystąpienie tzw. wybroczyn (*łac. petechiae*), czyli małych czerwonych lub fioletowych plamek, spowodowanych niewielkimi krwawieniami z uszkodzonych naczyń kapilarnych traktu oddechowego (dla ciśnienia rzędu dziesiątek kPa, ~180 dB). Przy wyższych poziomach obserwowano krwawienie nie tylko tchawicy, ale także w płucach, spotykane przy stłuczeniach. Przerwanie tkanek może prowadzić do silnego krwawienia oraz obrzęku płuc.

Na podstawie powyższych informacji można stwierdzić, że na drodze generowania silnych zaburzeń ciśnieniowych (hydroakustycznych) można spodziewać się pożądaných z punktu widzenia NLW efektów oddziaływania na organizm intruza, takich jak: bóle związane z centralnym systemem nerwowym, zaburzenia oddechowe, zawroty głowy, nudności, mdłości, dezorientacja i dyskomfort. Oddziaływanie fali ciśnieniowej może doprowadzić do urazów organów wewnętrznych a ostatecznie do śmierci.

Na podstawie analizy literatury oraz dostępnej wiedzy, w zakresie niskich częstotliwości oraz zaburzeń impulsowych, zakłada się następujące poziomy oddziaływania fali ciśnieniowej:

- $AT_{H(\text{earing})} = 65 \div 80$  [dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ] – próg słyszenia;
- $AT_{V(\text{vibration})} = 130 \div 140$  [dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ] – próg odczuwania wibracji organami wewnętrznymi;
- $AT_{P(\text{ain})} = 160 \div 170$  [dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ] – próg bólu;
- $AT_{I(\text{njury})} = 180 \div 190$  [dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ] – uszkodzenia organów wewnętrznych;
- $AT_{D(\text{eath})} > 195$  [dB re 1  $\mu\text{Pa}$ ] – śmierć.

Na tej podstawie rozważano możliwości skonstruowania dedykowanych urządzeń z wykorzystaniem przetworników hydroakustycznych, pneumatycznych oraz pirotechnicznych, przeznaczonych do pracy w systemach przeciwdziałania zagrożeniom ze strony nurków.

#### **PROPONOWANE MODELE TECHNICZNE SYSTEMÓW DO OBEZWŁADNIANIA NURKÓW**

W ramach realizowanych projektów prowadzono badania własne nad możliwością wykorzystania jako element broni NLW typowych przetworników hydroakustycznych, źródeł pneumatycznych (AG) oraz ładunków pirotechnicznych.

Przetworniki piezoceramiczne charakteryzują zwykle dobre właściwości kierunkowe (wąska wiązka), jednak istotnym ograniczeniem jest pasmo częstotliwości pracy, przekładające się na wymiary elementów przetwornika. W prowadzonych rozważaniach analizowano możliwość wykorzystania tych rozwiązań w trzech wariantach:

- Praca w dedykowanym zakresie częstotliwości – zgodnie z przedstawionymi powyżej informacjami dotyczącymi oddziaływania fal ciśnieniowych w określonych pasmach można założyć, że użytecznym zakresem częstotliwości może być pasmo poniżej 30 kHz. Jednak ze względu na skutki oddziaływania (zawroty głowy, podwyższona temperatura i ciśnienie krwi, itp.) oraz właściwości propagacyjne (tłumienie przekładające się na zasięg) skuteczność takich rozwiązań może być niewystarczająca. Szczególnie istotny jest fakt tłumienia przez materiały stosowane na skafandry nurkowe (w dalszej części wyniki takich badań). Konstrukcja urządzenia wymaga doprowadzenia znacznej energii, przekładającej się na osiągnięcie odpowiednio wysokich poziomów ciśnienia.

### **SUGGESTED MODELS OF TECHNICAL SYSTEMS FOR INCAPACITATING DIVERS**

Within the framework of implemented projects, our own research was carried out to determine whether typical hydroacoustic transducers, pneumatic sources (AG) and pyrotechnics may be employed as elements of NLW.

Piezoceramic transducers are usually characterized by good directional properties (narrow beam), but their major limitation is the frequency band which has a direct influence on the size of the component elements of the transducer. The possibility of implementation of these solutions was considered in three versions.

- Running in the dedicated frequency range - in accordance with the aforementioned information on pressure waves interacting in given bandwidths, it may be assumed that the range below 30 kHz is a viable option. However, on account of the effects of the interaction (dizziness, increased temperature and blood pressure, etc.) and the propagation properties (the effect of damping over distance) their effectiveness may not be sufficient. A particular consideration needs to be given to the damping effect caused by the material used for making diving suits (the results of the research will be discussed shortly). The design of the device requires a considerable amount of energy to be converted to appropriate pressure levels.

- Nonlinear phenomena - hydroacoustic transducers may be differently applied using a method employed in parametric echosounders, which makes use of the nonlinearity of the medium. In the method, while two signals of similar frequencies  $f_1$  and  $f_2$  are being simultaneously generated, summation and differential components are created, which derive from these frequencies. Frequencies are so selected that the transducer runs at full capacity. On account of the damping effect, the summation component ( $f_1 + f_2$ ) is effectively dampened, whereas the differential component ( $f_1 - f_2$ ) is used to penetrate bottom structures. Appropriately selected difference between  $f_1$  and  $f_2$  makes the generation of low-frequency disturbances possible. However, energy consumption is a glaring drawback of the method. According to literature, a differential signal is characterised by a level which is 40 dB lower than the one which is generated in the initial frequency. In practice, this level is significantly lower. Our own research showed that with differential frequencies of  $< 1$  kHz their level was 60 dB lower than the initial signal.

- Electroacoustic transducers - for the record, the employment of underwater electroacoustic transducers was also taken into consideration. The disadvantage of such a solution was its low efficiency (on account of the electromechanical conversion - electrical signal converted into a membrane movement) and the frequency band is limited only to the human hearing bandwidth. As a countermeasure, their sole suitability might consist in spreading verbal warnings.

During the research on the capability of cumulative airflow to act as an incapacitating agent, three structural concepts were considered. Firstly, a high pressure tank was filled with air via a compressor, an electromagnetic valve being used to control the flow. Each opening of the valve resulted in a portion of high pressure air being sent through a hose to the nozzle. Cyclic functioning of the valve ensured a recurrence of the generated impulses. Switching frequency was reflected in the spectrum components of the forming disturbance. However, in order to maximise the effectiveness of compressed air it is crucial to shorten the hose which conveys the air to the nozzle and introduce valves operable underwater which could directly control the air spurted by the AG nozzles. In the second concept, the effectiveness of the gun was to be improved through the application of an air battery. Compressed air was conveyed to a tank which had been fixed directly beside the nozzle. Instead of a control valve, a spring which was compressed by air from the battery was used. A spring deflection resulted in the opening of the nozzle and the generation of an impulse.

- Zjawiska nieliniowe – innym sposobem zastosowania przetworników hydroakustycznych może być metoda stosowana w echosondach parametrycznych, wykorzystująca nieliniowość ośrodka. W metodzie tej podczas jednoczesnego generowania dwóch sygnałów o zbliżonych częstotliwościach  $f_1$  i  $f_2$  powstają składowe sumacyjne i różnicowe, pochodne od tych częstotliwości. Częstotliwości są dobierane tak, aby przetwornik pracował w optymalnych warunkach skuteczności. Ze względu na tłumienie składowa sumacyjna ( $f_1 + f_2$ ) jest skutecznie tłumiona, natomiast składowa różnicowa ( $f_1 - f_2$ ) jest wykorzystywana do penetracji struktur dennych. Odpowiednie dobranie różnicy pomiędzy  $f_1$  i  $f_2$  umożliwi wygenerowanie zaburzenia o niskich częstotliwościach. Wadą tej metody są wymagania energetyczne. Literatura podaje, że sygnał różnicowy charakteryzuje poziom o ok. 40 dB niższy niż generowany na częstotliwości pierwotnej. W praktyce ten poziom jest dużo niższy. Podczas badań własnych, co zostanie przytoczone w dalszej części, przy częstotliwościach różnicowych  $< 1$  kHz poziom był o ok. 60 dB niższy niż sygnału pierwotnego.

- Przetworniki elektroakustyczne – dla porządku, rozważano wykorzystanie podwodnych przetworników elektroakustycznych. Wadą tego rozwiązania jest niska sprawność (ze względu na zamianę elektromechaniczną – sygnał elektryczny zamieniany na ruch membrany) oraz ograniczone pasmo do zakresu akustycznego pasma słyszalnego. Jako element systemu przeciwdziałania mogą być wykorzystywane jedynie do rozgłaszania pod wodą ostrzeżeń werbalnych.

Podczas badań nad możliwościami wykorzystania jako czynnika obezwładniającego skumulowanego strumienia powietrza rozważano trzy koncepcje konstrukcyjne. W pierwszej z nich do sterowania strumieniem powietrza zastosowano zawór elektromagnetyczny. Do zbiornika wysokiego ciśnienia dostarczano powietrze ze sprężarki. Każdorazowe otwarcie zaworu skutkowało przesłaniem porcji powietrza poprzez wąż wysokociśnieniowy do dyszy wylotowej. Cykliczna praca zaworu zapewniała powtarzalność generowanych impulsów.

Częstotliwość przełączania miała również swoje odwzorowanie w składowych widma powstającego zaburzenia. Jednak w rozwiązaniu tym, w celu poprawy efektywności wykorzystania sprężonego powietrza, konieczne jest ograniczenie długości węża doprowadzającego powietrze do dyszy wylotowej oraz zastosowanie szybkich zaworów pracujących pod wodą – bezpośrednio sterujących powietrzem „wyrzucanym” przez dysze AG.

W drugim rozwiązaniu próbowano poprawić efektywność działka poprzez zastosowanie akumulatora powietrza. Do zbiornika znajdującego się bezpośrednio przy dyszy wylotowej doprowadzano sprężone powietrze. Zamiast zaworu sterującego do otwierania dyszy wykorzystano sprężynę, ściskaną pod wpływem oddziałującego ciśnienia powietrza w akumulatorze. Ugięcie sprężyny skutkowało otwarciem dyszy a tym samym wygenerowaniem impulsu.

W tym rozwiązaniu wykazano zależności czasowe i energetyczne (poziom ciśnienia generowanego zaburzenia) nie tylko od poziomu ciśnienia roboczego dostarczanego powietrza, ale przede wszystkim od właściwości samego układu sprężyny. Generowane impulsy wykazywały stosunkowo długi czas narastania, co może ograniczyć spodziewany efekt oddziaływania na nurka. Potwierdzono natomiast słuszność założenia, że korzystne jest sterowanie jak najbliżej dyszy wylotowej.

Ostatnią z analizowanych koncepcji działka pneumatycznego oparto o zasadę różnicy ciśnienia powietrza w dwóch sąsiadujących ze sobą komorach. Do jednej z nich (wykonawczej) jest ładowana porcja powietrza, jakie będzie uwalniane do otoczenia. Powietrze w drugiej komorze (sterującej) oddziałuje na tłok uszczelniający komorę wykonawczą, umożliwiając tym samym dostarczenie odpowiednio wysokiego poziomu ciśnienia. Zwolnienie zaworu komory sterującej skutkuje przesunięciem tłoka i gwałtownym rozprężeniem powietrza z komory wykonawczej.

This solution revealed time and energy interrelations (pressure level of generated disturbance) not only with the level of working pressure delivered to the tank, but also, more importantly, with the properties of the spring structure. The generated impulses were characterised by prolonged escalation which may slow down the expected effect on the diver. However, the assumption that it was more advantageous to locate the control valve as close to the nozzle as possible was confirmed.

The last of the analysed concepts of the air gun was based on the difference in air pressure in two adjacent chambers. One of the chambers (executive) is filled with an air portion that is meant to be released. The air in the other chamber (controlling) interacts with the piston that seals the executive chamber, making it possible to deliver an appropriate amount of pressure. The release of the control chamber valve results in the piston's shift in position and a violent decompression of air in the executive chamber. This solution has brought an overall improvement in the gun's effectiveness by achieving a much higher level of peak pressure with shorter (when compared with the previous project) escalation time. The issues of disturbance properties occurring during operation of the air gun will be presented in the remainder of this article.

In the framework of conducted work, a research on disturbances caused by detonation of small pyrotechnical charge was carried out. It opened the gate for a comparison of basic parameters and the interrelations which characterize the forming shock wave and the reference to the solutions presented earlier.

#### ASSUMPTION OF THE RESEARCH METHOD

The starting point of the research was the assumption that the pressure wave, which was created while disturbances were being generated, became the incapacitating agent. Therefore, the research and analyses typical for hydroacoustic waves were assumed. Accordingly, the following measuring scheme was applied to the method.

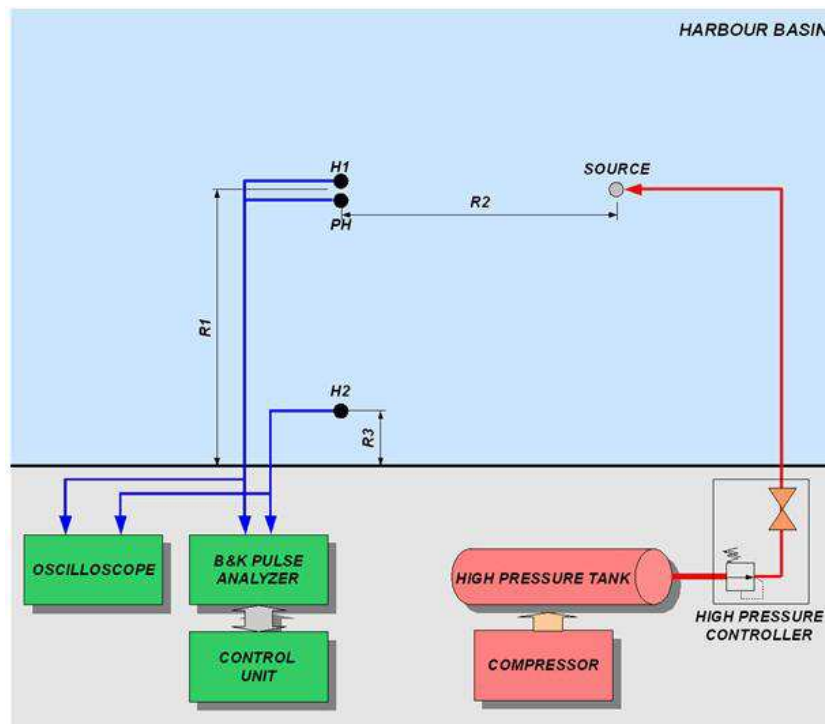


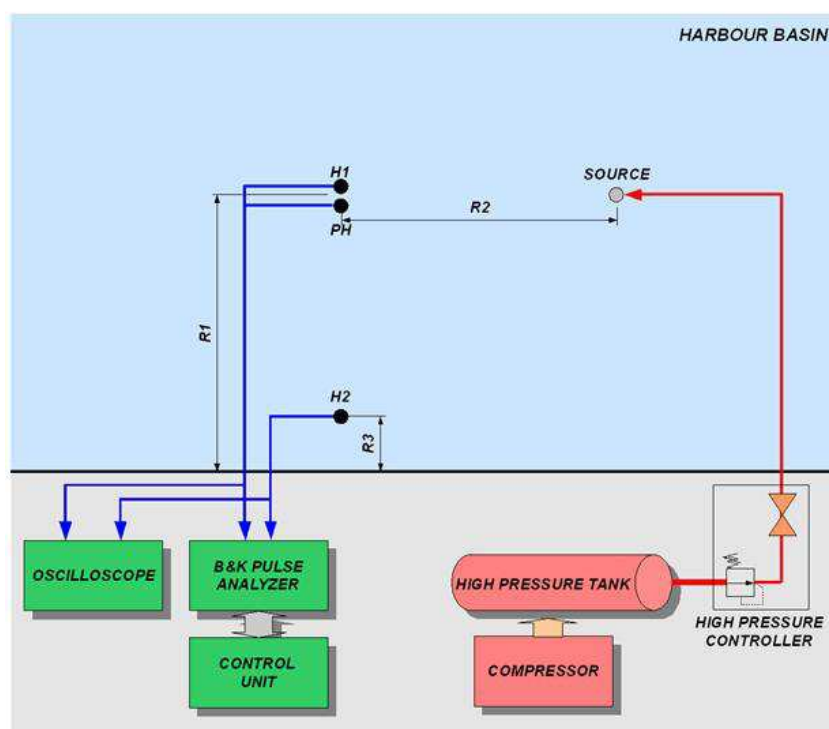
Fig. 1. Scheme of a measuring method for an air gun (H1, H2 - hydrophones, PH - phantom, R - distances in [m]).

Dzięki takiemu rozwiązaniu została poprawiona efektywność działka, poprzez uzyskanie dużo wyższej wartości ciśnienia szczytowego przy krótszym niż w poprzednim projekcie, czasie narastania. W dalszej części tej pracy zostaną przedstawione właściwości zaburzeń powstających podczas pracy Air Gun'a.

W ramach prowadzonych prac wykonano także badania nad właściwościami zaburzeń powstałych wskutek detonacji niewielkich ładunków pirotechnicznych. Pozwoliło to na porównanie podstawowych parametrów i zależności charakteryzujących powstającą falę uderzeniową oraz na odniesienie do wcześniej przytoczonych rozwiązań.

### ZAŁOŻENIE METODY BADAŃ

Punktem wyjściowym dla prowadzonych badań było założenie, że czynnikiem obezwładniającym jest powstająca podczas generowania zaburzeń fala ciśnieniowa. Dlatego też założono badania i analizę jako fali hydroakustycznej. W związku z czym, w metodzie zaproponowano następujący schemat pomiarowy.



Rys. 1. Schemat metody pomiarowej dla działka pneumatycznego AG (H1, H2 – hydrofony pomiarowe, PH – fantom, R – odległości w [m]).

Ze względu na charakter mierzonych parametrów w metodzie tej jako przetworniki pomiarowe zaproponowano hydrofony. Metoda pomiaru parametrów impulsowych zaburzeń ciśnieniowych, również tych związanych z ładunkami pirotechnicznymi, była szeroko opisywana między innymi w [11], gdzie metodą porównawczą weryfikowano poprawność uzyskanych wyników przy pomiarach znanych źródeł fali ciśnieniowej.

On account of the specificity of measured parameters, hydrophones were used as measuring transducers. The method of measuring the parameters of impulse pressure disturbances, also those which were related to pyrotechnics, was extensively discussed in [11] where the comparative method was used to verify the veracity of all results obtained from the measurements of pressure wave sources. In the case of the air gun, it was important to keep the value of working pressure under control as it was being conveyed to the executive elements, in order to analyse the interrelation of the parameters in the formed disturbance with the value of the pressure. Hydrophone signals were recorded independently on the oscilloscope and the B&K Pulse analyser. Subsequently, regarding the influence of the medium properties<sup>10</sup>, time-amplitude and frequency analyses of the obtained records were made. The use of the electromagnetic control valve helped to analyse the possibility of modulating the airflow through cyclic functioning of the valve. Following some consideration, the potential for generating low-frequency components (single Hz) was made possible via subsequent releases of air.

In the case of hydroacoustic transducers and their impact on the diver's body, two approaches were considered. On one hand, the possibility of generating and taking advantage of the waves with differential frequencies formed due to the nonlinear quality of the medium. The method is used, among others, in parametric hydroacoustic systems. It allows the generation of low-frequency signals with the transmitting transducer maintaining an acceptable physical size. However, our own research proved theoretical deliberations on considerable energy loss, which greatly hinders the effectiveness of these devices. On the other hand, another analysis was conducted where damping properties of diving suits were tested in confrontation with the impact of ultrasound transducers working in their nominal resonating frequencies of probing signals. For this purpose a phantom, that compared different diving suit materials, was designed.

Pyrotechnic tests were conducted on a naval testing range. In this case, the levels of pressure generated in the wake of the forming shock wave were compared in the function of charge size and the distance from the object. The received values were confronted with theoretical assumptions. The results will facilitate the preparation of technical and tactical assumptions to be used in the countermeasure system.

In the course of the project implementation, the influence of a diving suit on the effectiveness of particular solutions was considered. With that goal in mind, a phantom with the ability to test samples from typical diving suits (one wetsuit, and two dry-suits) was prepared. For dry-suits, diver's underwear was regarded as one of the layers. The damping efficacy of the pressure wave was examined through the comparison of signals received from the inside of the phantom with the conditions in its immediate surroundings. Typical modules of hydroacoustic systems which generated ultrasonic probing signals served as a stimulation. Other features to be analysed were the dampening effectiveness of AG generated disturbances and pyrotechnic actuators.

---

<sup>10</sup> The damping related to the propagation of the generated pressure wave was assessed; reflections from elements of infrastructure and the possible interference consequent on these reflections were taken into consideration.

W przypadku działka pneumatycznego (AG) kontrolowano wartość ciśnienia roboczego, dostarczanego do elementów wykonawczych, w celu analizy zależności parametrów powstałego zaburzenia od wartości tego ciśnienia. Sygnały z hydrofonów rejestrowano niezależnie na oscyloskopie oraz na analizatorze B&K Pulse. Następnie, uwzględniając wpływ właściwości ośrodka<sup>10</sup>, wykonano analizy amplitudowo-czasowe i częstotliwościowe uzyskanych rejestracji. Dzięki zastosowaniu elektromagnetycznego zaworu sterującego analizowano możliwość wykorzystania modulowania strumienia powietrza poprzez cykliczną pracę tego zaworu. Rozważano w ten sposób możliwość generowania składowych o bardzo niskich częstotliwościach (pojedyncze Hz), wynikających z kolejnego wyzwalań porcji powietrza do otoczenia.

W przypadku przetworników hydroakustycznych rozważano dwa podejścia do sprawy oddziaływania na organizm nurka. Z jednej strony analizowano możliwość generowania i wykorzystania fal o częstotliwościach różnicowych, powstałych w wyniku nieliniowości ośrodka. Metoda ta jest wykorzystywana między innymi w parametrycznych systemach hydroakustycznych. Pozwala na generowanie sygnałów o niskich częstotliwościach przy zachowaniu rozsądnych wymiarów przetworników nadawczych.

Badania własne potwierdziły jednak rozważania teoretyczne dotyczące znacznych strat energii, co ogranicza efektywność tych rozwiązań. Z drugiej strony analizowano właściwości tłumiące skafandrów nurka na oddziaływanie przetworników ultradźwiękowych, pracujących na swoich znamionowych częstotliwościach rezonansowych sygnałów sondujących. Do tego celu zaprojektowano i wykonano fantom, dzięki któremu możliwe było porównanie właściwości różnych typów materiałów wykorzystywanych w produkcji skafandrów.

Badania pirotechnicznych efektorów prowadzono na poligonie morskim.

W tym przypadku porównywano poziomy ciśnienia generowanego w wyniku powstającej fali uderzeniowej w funkcji wielkości ładunku i odległości od obiektu. Uzyskane wartości porównywano z założeniami teoretycznymi. Wyniki umożliwią opracowanie założeń technicznych i taktycznych do wykorzystania docelowego systemu przeciwdziałania/efektorów.

W trakcie realizacji projektu rozważano wpływ skafandra, w jaki może być wyposażony nurek, na efektywność poszczególnych rozwiązań. Do tego celu opracowano fantom, umożliwiający badania próbek typowych skafandrów nurkowych (jeden mokry, dwa suche). W przypadku skafandrów suchych, jako jedną z warstw, uwzględniono również stosowaną bieliznę nurkową. Badanie skuteczności tłumienia fali ciśnieniowej prowadzono poprzez porównanie sygnałów odbieranych wewnątrz fantoma, z warunkami panującymi w jego bezpośrednim otoczeniu. Jako pobudzenie zastosowano typowe moduły systemów hydroakustycznych, generujących ultradźwiękowe sygnały sondujące. Analizowano również efektywność tłumienia zaburzeń pochodzących od AG oraz efektorów pirotechnicznych.

## **WYNIKI BADAŃ WŁASNYCH**

### **Przetworniki hydroakustyczne**

Badania nad oddziaływaniem na organizm nurka sygnałów sondujących, generowanych przez systemy hydroakustyczne, skupiają się przede wszystkim na bezpieczeństwie prowadzenia prac podwodnych w obszarze ich działania.

---

<sup>10</sup> M.in. oszacowano tłumienie związane z propagacją generowanej fali ciśnieniowej, uwzględniono odbicia od stałych elementów infrastruktury oraz możliwość wystąpienia interferencji w związku z tymi odbiciami.

## RESULTS OF OWN RESEARCH

### Hydroacoustic transducers

Research on the effects of probing signals generated by hydroacoustic systems, on a diver's body, focus mainly on safety measures while discharging their duties on a given area. Working in ultrasonic frequencies determines limited bioeffects. It is related to the damping of signals in a medium which intensifies as the frequency increases. In this case, the nonlinear properties of the medium used in parametric systems were focused on. This technology was referred to on account of the diving suit properties which will be described in the remainder of the article. The parametric method was taken into consideration for yet another reason - its ability to generate low-frequency signals similar to resonating frequencies of internal organs. However, research results have proved that the parametric method requires a supply of considerable amounts of energy to the actuators. Theoretical considerations assume the damping formed as a consequence of the nonlinearity of the medium to be at about 40 dB. In practice, the damping may even come up to as much as 60 dB and increase as the space between initial frequencies decreases.



Fig. 2. Exemplary transmitter module for model studies.

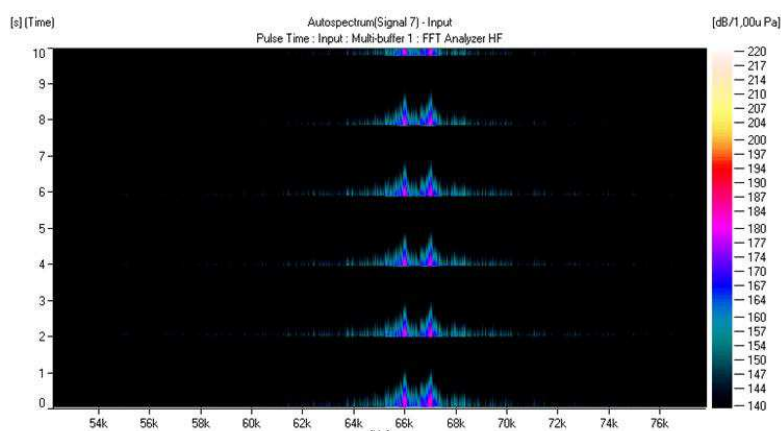


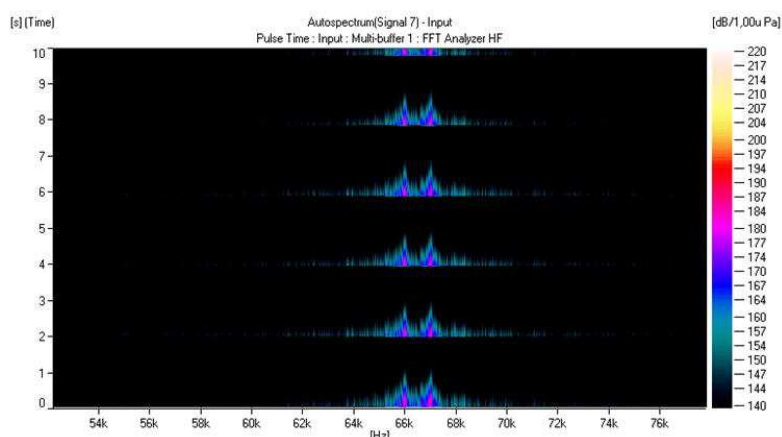
Fig. 3. A contour chart of the FFT analysis for transmitted signals with initial frequencies of 66kHz and 67 kHz (dual-sine).

Praca w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych determinuje ograniczone bioefekty. Jest to związane m.in. z zależnością tłumienia sygnałów w ośrodku, które rośnie ze wzrostem częstotliwości. W tym przypadku skupiono się na możliwości wykorzystania właściwości nieliniowych ośrodka, jakie wykorzystywane są w systemach parametrycznych. Technologia ta została również przytoczona ze względu na właściwości skafandrów nurka, o których będzie mowa w dalszej części tego artykułu. Metodę parametryczną rozważano ze względu na możliwość generowania sygnałów o bardzo niskich częstotliwościach, zbliżonych do częstotliwości rezonansowych organów wewnętrznych. Jednak jak pokazały wyniki badań, metoda parametryczna wymaga dostarczenia znacznej energii do elementów wykonawczych.

Rozważania teoretyczne szacują tłumienie powstającej w wyniku nieliniowości ośrodka fali różnicowej na poziomie ok. 40 dB. W praktyce tłumienie to jest znacznie większe, dochodzące nawet do 60 dB i może rosnąć wraz ze zmniejszaniem odstępów pomiędzy częstotliwościami pierwotnymi.



Rys. 2. Przykładowy pojedynczy moduł nadawczy do badań modelowych.



Rys. 3. Wykres konturowy analizy FFT dla nadawanych sygnałów o częstotliwościach pierwotnych 66 kHz i 67 kHz (dual-sine).

### Air gun

The first air gun model operated at a low working pressure (not higher than 6 atm). In this case, the analysis of spectral interrelations in forming signals was of primary importance. The main components of the spectrum were concentrated in the band below 3kHz. The content of the components was greatly influenced by the noise formed as a consequence of bursting air bubbles. The tests were held in a rather small laboratory tank where water aeration after several shots became the major factor distorting the measurement. More, the occurrence of components related to the frequency of the control valve was authenticated. However, their amount was not satisfactory from the point of view of a diver's incapacitation.

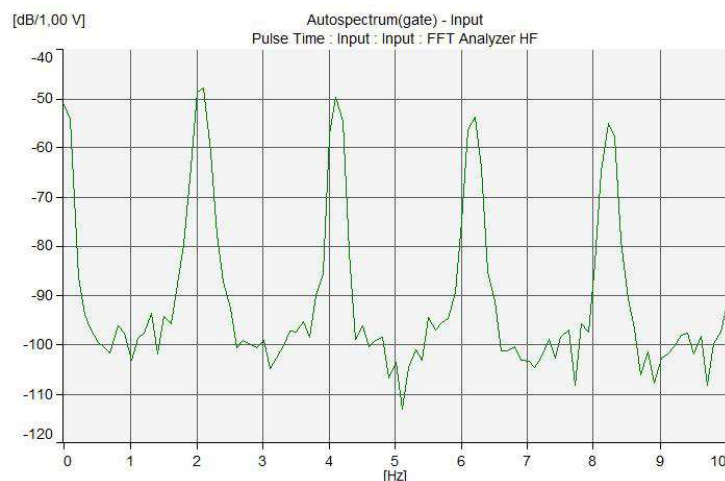


Fig. 4. Harmonic components of valve switching frequency.

The construction of the second air gun model allowed air to be fed at up to 50 atm. The gun was additionally equipped with an air battery and the release was initiated when the thrust on the background was greater than the force of the spring that depressed the piston. The research here focused on interrelations of the pressure levels in the generated wave with working pressure, nozzle diameter and the volume of the battery.

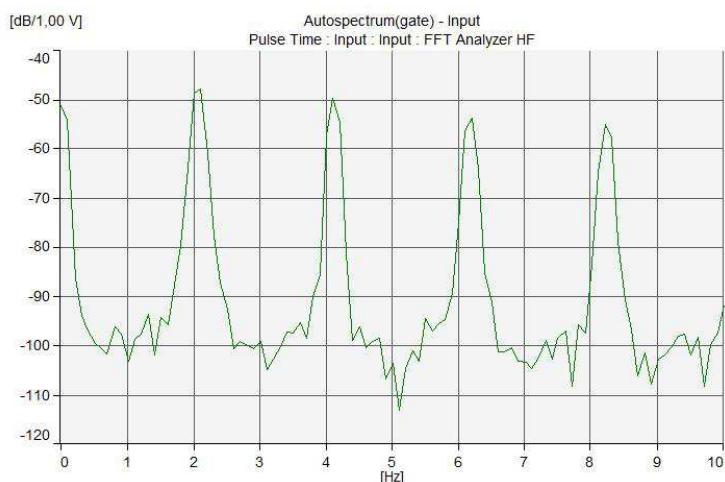


Fig. 5. Air gun model with a spring and a battery.

### Działko pneumatyczne

Pierwszy model działka pneumatycznego pracował przy niskim ciśnieniu roboczym, nieprzekraczającym 6 atm. W tym przypadku chodziło przede wszystkim o analizę zależności widmowych powstających sygnałów.

Główne składowe widma skupiały się w paśmie poniżej 3 kHz. Duży wpływ na zawartość składowych miał szum powstający w wyniku pękania pęcherzyków powietrza. Próby te prowadzono w niedużym zbiorniku laboratoryjnym, gdzie po kilku strzałach napowietrzenie wody było czynnikiem dominującym, zniekształcającym pomiar. Potwierdzono także występowanie składowych, związanych z częstotliwością pracy zaworu sterującego. Jednak ich poziom nie był efektywny z punktu widzenia obezwładniania nurka.



Rys. 4. Harmoniczne składowych częstotliwości przełączania zaworu.

Konstrukcja drugiego modelu działka umożliwiła zasilanie powietrzem o ciśnieniu maksymalnym 50 atm. Dodatkowo działko wyposażono w akumulator powietrza, a wyzwalenie następowało w chwili, gdy siła naporu na tło przewyższała siłę sprężyny dociskającej tłok. W tym przypadku poszukiwano zależności uzyskiwanych poziomów ciśnienia generowanej fali od ciśnienia roboczego, średnicy dyszy wylotowej oraz objętości akumulatora.



Rys. 5. Model działka pneumatycznego ze sprężyną i akumulatorem.

Spectral analyses of the registered signals revealed that a fair portion of acoustic energy is concentrated in the bandwidth below 1kHz, and spectral lines with the highest amplitudes are below 300 Hz. Measured at 20 metres from the source, sound pressure levels did not exceed 170 dB re 1  $\mu$ Pa (in the distance of 1m), which may not be sufficient considering the desired incapacitating effect on the diver – the failings of this system being its relatively low operating pressure. However, following changes in design, a new improved model was built. This time the construction allowed working pressure levels of more than 50 atm. As described in section 3, impulses of considerably shorter escalation time and higher peak pressure were obtained.

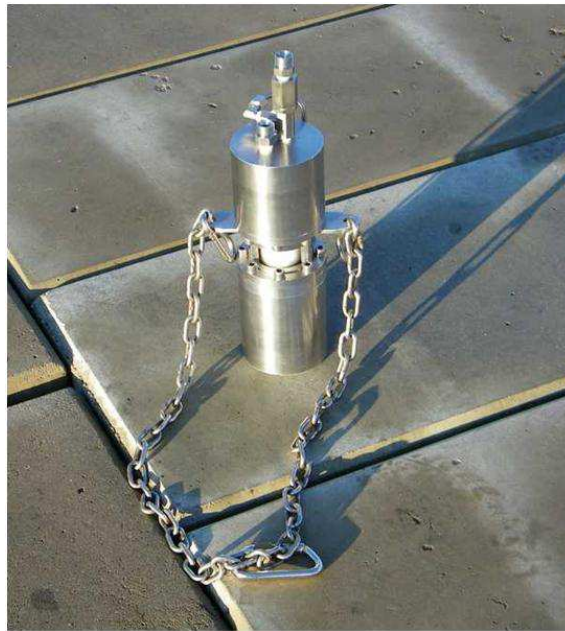


Fig. 6. Air gun prototype working at up to 200 atm.

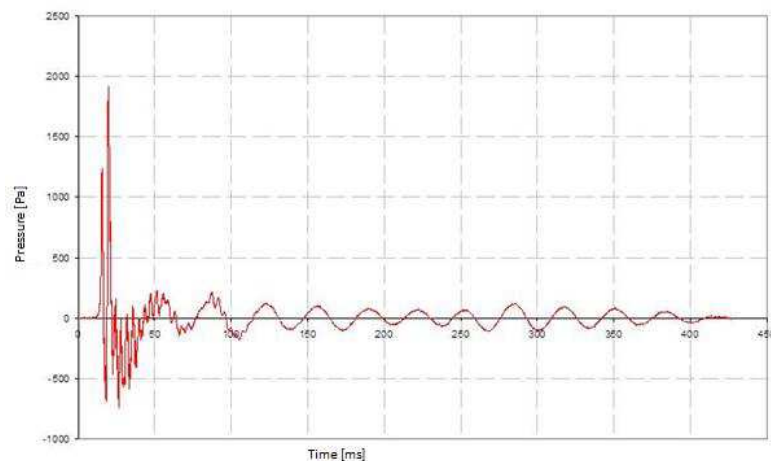
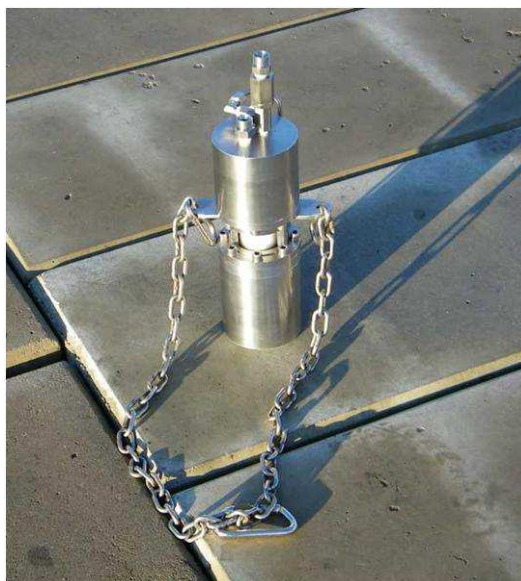


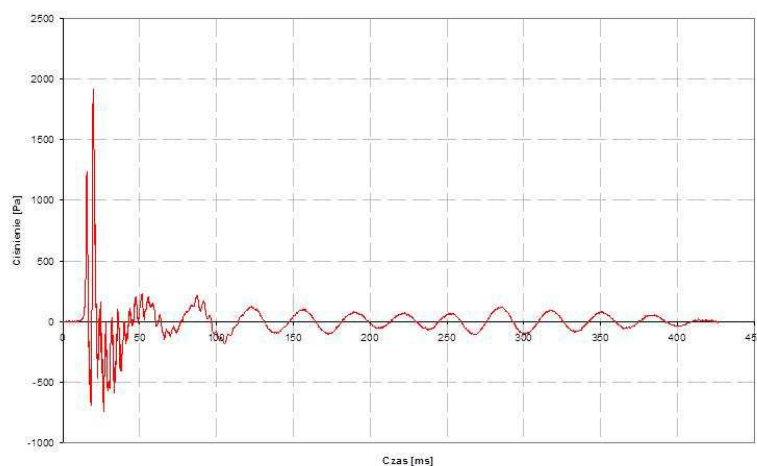
Fig. 7. Impulse generated by an air gun at the working pressure of 50 atm.

Na podstawie analiz widmowych rejestrowanych sygnałów stwierdzono, że główna część energii akustycznej skupiona jest w paśmie częstotliwości poniżej 1 kHz, a prążki o najwyższych amplitudach znajdują się poniżej częstotliwości 300 Hz. Zmierzone w odległości 20 metrów od źródła poziomy ciśnienia akustycznego nie przekraczały wartości 170 dB re 1  $\mu$ Pa (w odległości 1 m), co z punktu widzenia możliwości obezwładniania nurka, może być poziomem niewystarczającym.

Wynika to między innymi z małej wartości ciśnienia zasilającego układ działka pneumatycznego. Wypracowano jednak propozycje zmian konstrukcyjnych, które wykorzystano przy budowie kolejnego modelu. Tym razem konstrukcja umożliwiła pracę przy ciśnieniu roboczym powyżej 50 atm. Dzięki opisanej w pkt. 3 zasadzie działania uzyskano impulsy o zdecydowanie krótszym czasie narastania i trwania przy znacznie wyższych poziomach ciśnienia szczytowego.



Rys. 6. Prototyp działka pneumatycznego pracującego przy ciśnieniu do 200 atm.



Rys. 7. Impuls generowany przez działko pneumatyczne przy ciśnieniu roboczym 50 atm.

While analysing the disturbances it was observed that apart from high-frequency components, related to the properties of the impulse (e.g. escalation time), there were found components of several dozens Hz. They are the consequence of a relaxation in the medium and last longer than the impulse itself. The escalation time of such an impulse ranges from 2 to 3 ms. Time of the impulse is not longer than 6ms. The disturbance thereby formed may be approximated with a fading sine curve with the frequency dependent on the pressure level and the amount of released air. The study proved that there were interrelations between peak pressure of the forming disturbances and working pressure. Thus, for the working pressure exceeding 120 atm. the obtained peak pressure levels exceed 195 dB in the distance of 1 m.

### Pyrotechnic actuators

For the record, the results of pyrotechnic detonation need to be presented to provide material for a comparison of the sources with air gun properties. In the described phenomenon, the generated pressure wave is characterized by a much shorter escalation time of the impulse and a much higher level of peak pressure. For instance, for a charge weighing 0.1 kg at the distance of 30 m pressure level amounted to 3.7 atm, whereas escalation time was about 4  $\mu$ s. These interrelations were imaged on the signal spectrum and were characterized by much broader bandwidth than in the case of the air gun.

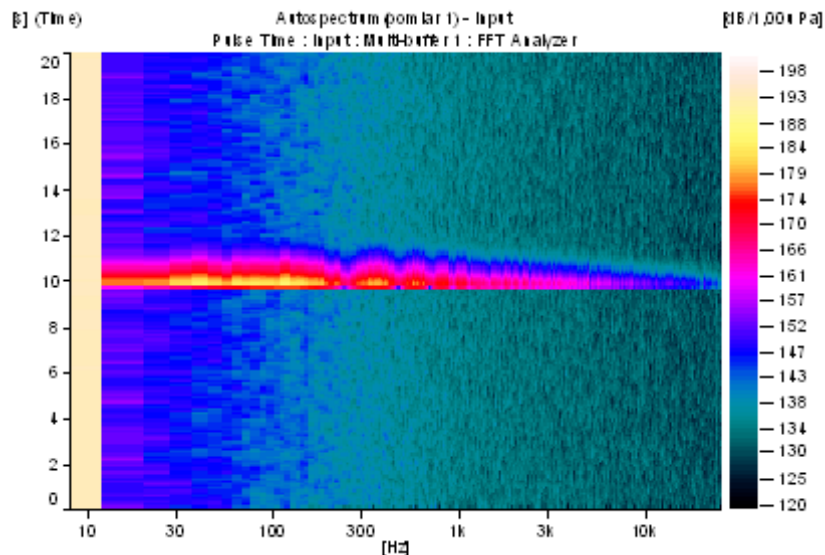


Fig. 8. A contour chart of spectral analysis for pyrotechnic charge.

The study of safe pressure levels estimations shows that with the pressure value of  $(2 \div 4) \cdot 10^4$  Pa, the diver may feel the wave with the same intensity as he would feel electrocution. An impulse wave with the pressure value of  $(1 \div 1,5) \cdot 10^6$  Pa that impacts a submerged diver, head and all, causes him to sustain heavy injuries, including death.

### Phantom

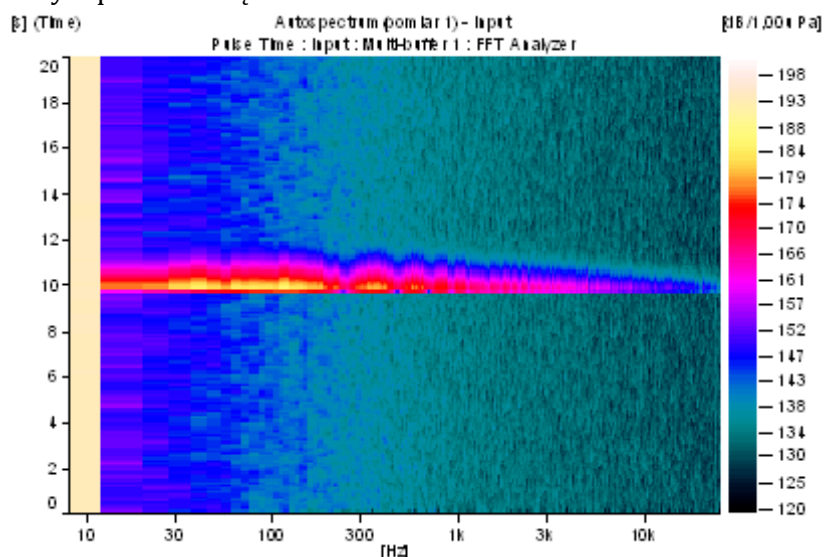
As previously noted, for the purpose of the experiment, three models of standard diving suits had been prepared. First tests were carried out in a lab pool in laboratory conditions. A transmitter module with a hydroacoustic transducer, the like of which is usually employed in echo sounders or acoustic barriers, was deployed as a source.

W trakcie analiz zaburzeń zaobserwowano, że oprócz składowych o wysokich częstotliwościach, związanych z właściwościami impulsu (m.in. czas narastania), w ośrodku występują składowe o częstotliwościach kilkudziesięciu Hz. Są one wynikiem relaksacji w ośrodku i trwają znacznie dłużej niż sam impuls. Czas narastania takiego impulsu kształtuje się w przedziale od 2 do 3 ms. Czas trwania impulsu nie przekracza 6 ms. Powstałe zaburzenie można aproksymować wygaszaną sinusoidą o częstotliwości zależnej od poziomu ciśnienia oraz porcji wyzwalanego powietrza. Badania potwierdziły zależności ciśnienia szczytowego powstających zaburzeń od ciśnienia roboczego.

I tak dla ciśnienia roboczego przekraczającego 120 atm uzyskiwane poziomy ciśnienia szczytowego przewyższają 195 dB w odległości 1 m.

### Efekty pirotechniczne

Dla porządku należy przedstawić wyniki związane z detonacją ładunków pirotechnicznych, co umożliwi porównanie właściwości tych źródeł z właściwościami działek pneumatycznych. W tym przypadku generowana fala uderzeniowa charakteryzuje się znacznie krótszym czasem narastania impulsu i dużo wyższym poziomem ciśnienia szczytowego. Dla przykładu dla ładunku o masie 0,1 kg w odległości 30 m zmierzono poziom ciśnienia 3,7 atm, a czas narastania wynosił ok. 4  $\mu$ s. Te zależności czasowe zostały odwzorowane na widmie sygnału, charakteryzując się znacznie szerszym pasmem częstotliwości niż dla Air Gun'a.



Rys. 8. Wykres konturowy analizy widmowej dla ładunku pirotechnicznego.

Z badań dotyczących szacowania bezpiecznych wartości ciśnienia wynika, że przy wartości ciśnienia  $(2 \div 4) \cdot 10^4$  Pa nurek odczuwa działanie fali podobne do porażenia prądem elektrycznym. Fala udarowa o wartości ciśnienia  $(1 \div 1,5) \cdot 10^6$  Pa działając na nurka (człowieka) zanurzonego w wodzie, łącznie z głową, powoduje jego bardzo poważne obrażenia włącznie ze śmiercią [12].

### Fantom

Jak już wspomniano wcześniej, na potrzeby badań wykonano modele trzech typowych zestawów skafandrów nurkowych. Pierwsze próby wykonano w warunkach laboratoryjnych, w basenie pomiarowym. Jako źródło zastosowano moduł nadajnika z przetwornikiem hydroakustycznym, wykorzystywany zwykle w echosondach czy też barierach akustycznych.

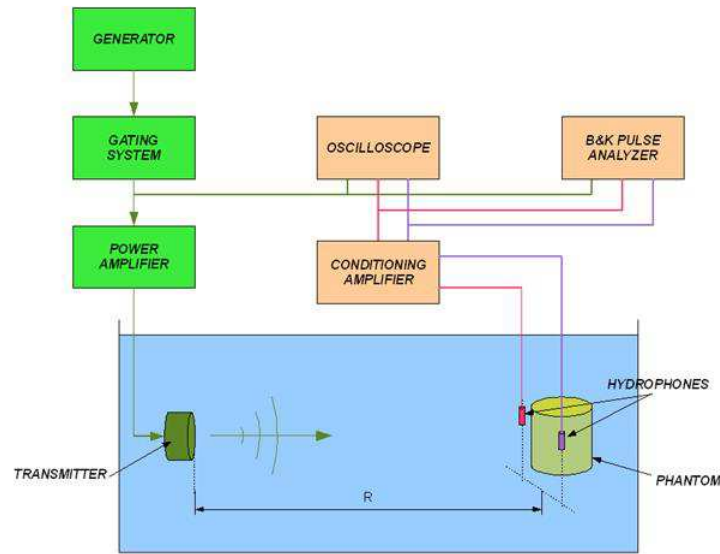
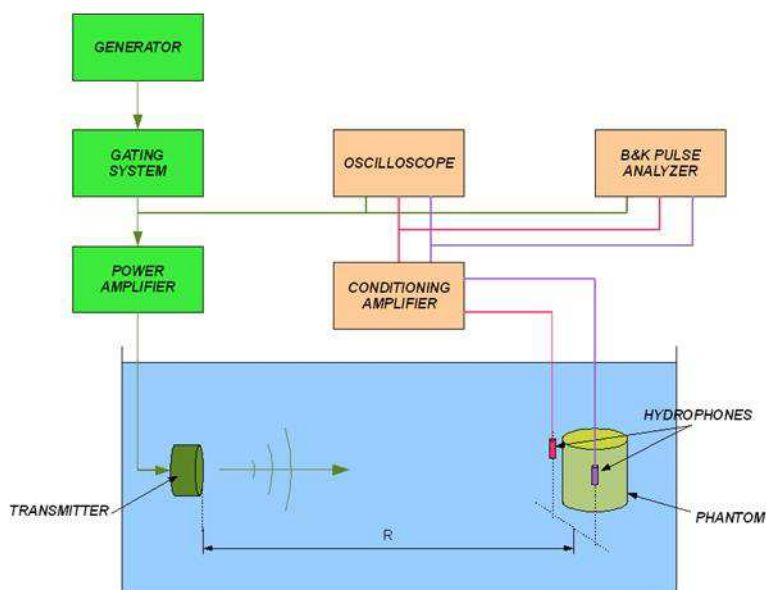


Fig. 9. Scheme of phantom examination method in a lab pool.



Fig. 10. Phantom on a test bench.

The obtained results proved that in the case of dry diving suits the pressure wave that impacts within the ultrasound bandwidth is heavily dampened in relation to sound pressure inside the medium. Depending on the frequency, for wet suits the damping may reach 30 dB, for dry suits it exceeds 70 dB. One of the reasons for which the phenomenon occurs is the presence of an insulation layer between the suit fabric and the diver's body. The insulations contain air. Consistent with the predictions, pressure wave damping of a wet diving suit is much weaker than that of a dry one. It is important to note that in cold waters a diver most frequently wears a hood made of 5 ÷ 7mm neoprene, therefore the impact of the waves on the head will be much stronger than on other parts of a diver's body clad in a dry diving suit.



Rys. 9. Schemat metody badań fantomu w basenie pomiarowym.



Rys. 10. Fantom na stanowisku badawczym.

Na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdzono, że w przypadku skafandrów suchych padająca fala ciśnieniowa w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych, ulega silnemu tłumieniu w odniesieniu do ciśnienia akustycznego panującego w ośrodku.

W zależności od częstotliwości, w przypadku skafandrów mokrych może to być tłumienie rzędu 30 dB, dla suchych tłumienie przekracza 70 dB. Jedną z przyczyn tego zjawiska jest fakt stosowania w suchych skafandrach ociepliny pomiędzy tkaniną skafandra a ciałem nurka, w której znajduje się powietrze. Zgodnie z przewidywaniami zaobserwowano znacznie słabsze tłumienie fal ciśnieniowych przez materiał skafandra mokrego w porównaniu ze skafandrami suchymi.

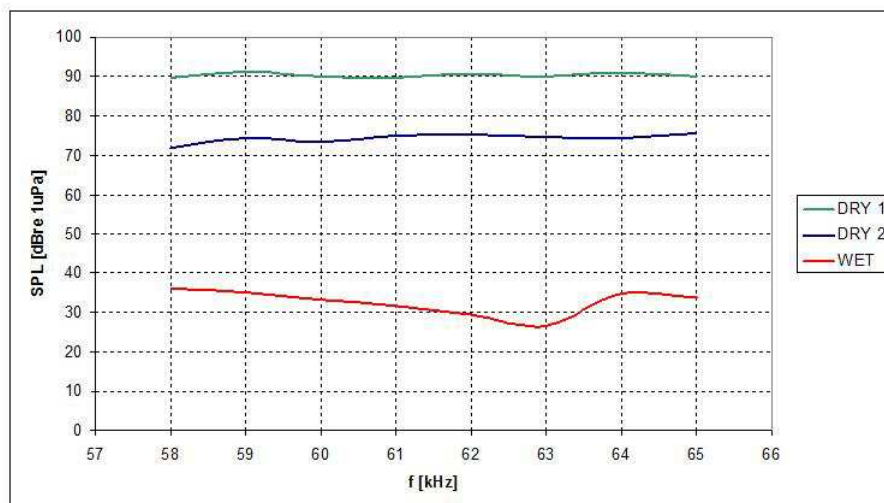


Fig. 11. Damping materials used in diving suits.

When an air gun or a pyrotechnic actuator were the sources of disturbances, the diving suit proved to be an effective mechanical low-pass filter that intensely dampened the components of over 500 Hz while passing over the components of lower frequencies with no damping.

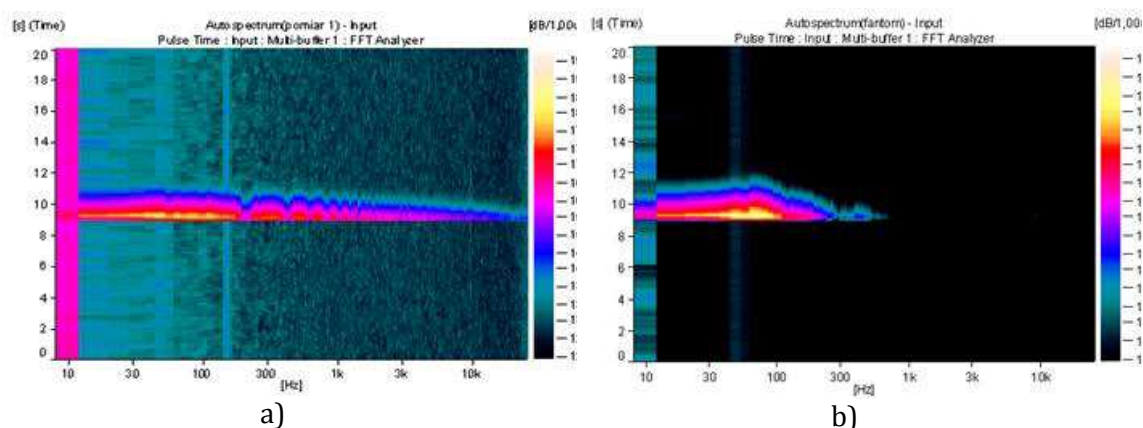
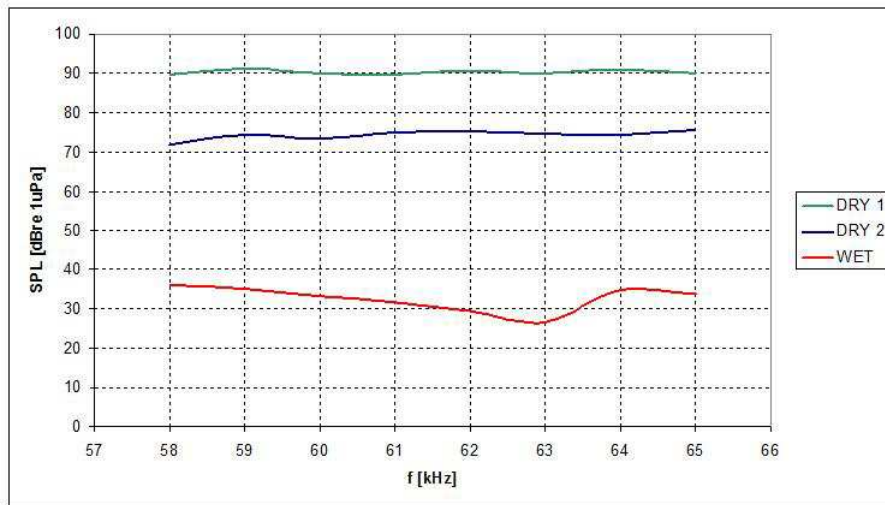


Fig. 12. Juxtaposition of contour charts of disturbance spectrum measured outside (a) and inside the phantom (b).

## CONCLUSION

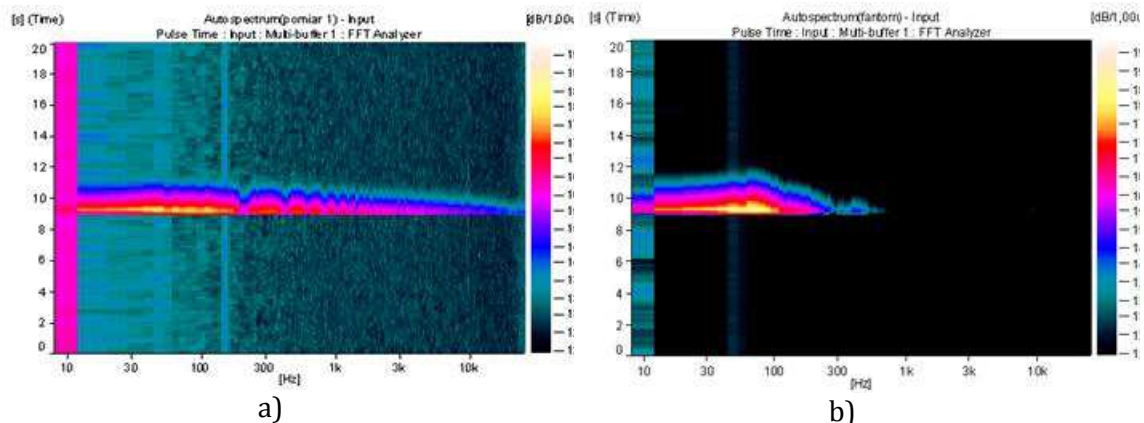
In the framework of conducted research, the effects of pressure waves on a diver's body have been analysed. Different sources of these disturbances have been considered, particularly with respect to a possible deployment in countermeasure systems - NLW. On account of strong damping properties, both as a result of propagations in the medium and the kind of diving suit used, the ultrasound bandwidth, typical for hydroacoustic sonar systems, proves to be insufficiently effective. The deployment of such countermeasure systems calls for substantial increase of power in generated signals. Safety measures in operation during underwater works in a close proximity of sonar systems suggest restrictions in exposure or even avoidance of pressure levels exceeding 195 dB re 1  $\mu$ Pa.

Należy zaznaczyć, że na głowie nurka (wody zimne) jest najczęściej kaptur z 5 ÷ 7 mm neoprenu i oddziaływanie fal na głowę będzie znacznie silniejsze niż na pozostałe części ciała nurka ubranego w suchy skafander.



Rys. 11. Wykres tłumienia materiałów stosowanych w skafandrach nurkowych.

W przypadku, gdy źródłem zaburzenia było działko pneumatyczne lub efektor pirotechniczny, zaobserwowano, iż skafander stanowi skuteczny, mechaniczny filtr dolnoprzepustowy, silnie tłumiący składowe powyżej 500 Hz, a przenosząc praktycznie bez tłumienia składowe o niższych częstotliwościach.



Rys. 12. Zestawienie wykresów konturowych widma zaburzenia zmierzonego w otoczeniu (a) oraz wewnątrz fantoma (b).

### PODSUMOWANIE

W ramach prowadzonych prac analizowano wpływ fal ciśnieniowych na organizm nurka. Rozważano różne źródła tych zaburzeń, szczególnie w aspekcie możliwości ich wykorzystania jako systemu przeciwdziałania – NLW. Ze względu na silne tłumienie, zarówno w wyniku propagacji w ośrodku oraz w zależności od stosowanych skafandrów, zakres częstotliwości ultradźwiękowych, typowy dla sonarowych systemów hydroakustycznych, wydaje się być mało efektywny.

Consistent with the predictions, study of pyrotechnic actuators revealed significantly higher pressure levels in the generated disturbances as compared to air guns. The shock wave that formed in the wake of a detonation is characterized by a shorter escalation time and higher energy as compared to piezoelectric transducers and AG. On account of these properties it is capable of covering a much wider area than AG. What remains to be taken into consideration is the control over such actuators, which is made possible only through an appropriate selection of charges. A detonation in the vicinity of protected structures also needs a consideration of their resilience to a generated impulse. AG is characterised by a lower pressure level and therefore a shorter range (depending on the construction - a few dozen metres), but it allows to control the pressure wave and limit the anticipated effects with the sole purpose of incapacitating intruders.

Próby stosowania takich systemów przeciwdziałania wymaga znacznych nakładów na zwiększenie mocy generowanych sygnałów. Instrukcje związane z bezpieczeństwem prowadzenia prac podwodnych w obszarze działania systemów sonarowych, sugerują, aby ograniczać lub wręcz unikać poziomów ciśnienia przekraczających 195 dB re 1  $\mu$ Pa. Tak jak się spodziewano, badania prowadzone nad efektorami pirotechnicznymi wykazały znacznie wyższe poziomy ciśnienia generowanych zaburzeń w porównaniu z działkami pneumatycznymi.

Powstała w wyniku detonacji fala uderzeniowa charakteryzuje się znacznie krótszym czasem narastania i większą energią w porównaniu do przetworników piezoelektrycznych i AG. Dzięki temu zapewnia skuteczne pokrycie znacznie większego obszaru niż AG. Pozostaje jednak kwestia kontrolowania tego typu efektorów, możliwa głównie poprzez odpowiedni dobór wielkości ładunku.

Detonacja w pobliżu chronionych elementów wymaga także rozważenia ich odporności udarowej na generowany impuls. W przypadku AG zaburzenia charakteryzuje się niższym poziomem ciśnienia, a tym samym mniejszym zasięgiem (w zależności od konstrukcji rzędu kilkudziesięciu metrów), ale umożliwia kontrolowanie generowanej fali ciśnieniowej i ograniczenie spodziewanych efektów do obezwładniania intruzów.

#### LITERATURA/ BIBLIOGRAPHY

1. Altmann, J., *Acoustic Weapons – A prospective Assessment*, Science & Global Security, Volume 9, str. 165 – 234, Taylor and Francis, 2001;
2. Cempel, Cz., *Wibroakustyka stosowana*, PWN, Warszawa 1989;
3. *Non-Lethal Swimmer Neutralization Study*, Applied Research Laboratories, The University of Texas at Austin, San Diego, 2002;
4. Rossing, T., D., *Springer Handbook of Acoustics*, Springer Science+Business Media, New York, 2007;
5. Jagodziński, Z., *Przetworniki ultradźwiękowe*, WKŁ, Warszawa, 1997;
6. Padee, L., *Aparatura Ultrasonograficzna. Wykład 2 jednostki.*, <http://www.ire.pw.edu.pl>
7. Parvin, S., *Limits for underwater noise exposure of human divers and swimmers*, <http://www.subacoustech.com>;
8. Cudahy, E., Parvin, S., *The Effects of Underwater Blast on Divers*, Naval Submarine Medical Research Laboratory, Report 1218, 2001r;
9. US Navy Diving Manual (Rev. 6): *Safe diving distances from transmitting sonar (Appendix 1A)*. Naval Sea Systems Command, Washington DC 2008;
10. Altmann, J., *Acoustic Weapons – A prospective Assesment: Sources, Propagation, and Effects of Strong Sound*, Cornell University, Ithaca, 1999;
11. *Introduction to Underwater Acoustics. Hydrophones – their characteristics and applications. Calibration Technique*. Bruel & Kjaer, Naerum, Denmark;
12. Kilian, A., Chodkiewicz, H., Grabowski, M., Pozański, P., Szarkowski, F., *Efektory w systemach ochrony infrastruktury morskiej przed podwodnymi zagrożeniami terrorystycznymi*, V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Technologie morskie dla obronności i bezpieczeństwa” NATCon, Gdańsk, 2012 r;
13. Pozański, P., Grabowski, M., *Effects of pressure waves on divers in aspect of underwater threat countermeasure*, MAST Europe, Malmo, 2012 r.

## **EFFECTS OF PRESSURE WAVES ON DIVERS WITH RESPECT TO DETECTION SYSTEMS AND UNDERWATER HAZARD COUNTERMEASURES**

*The article presents the effects of pressure waves on a diver's body with regard to the properties of generated disturbances. In particular, the analysis encompasses the influence of such parameters as sound pressure level, bandwidth of generated waves and the duration of interaction. These are the main factors which determine the safety of underwater operations with the concurrent work of hydroacoustic systems. The aforementioned pressure wave parameters determine their effectiveness as regards countermeasures against hazards from other divers.*

*Furthermore, a methodology of research on pressure wave sources with respect to their impact on divers has been discussed. The paper also presents the results of our own research with regard to practical applications of hydroacoustic transducers and pneumatic devices. The works encompassed the research and analysis of the efficacy of suggested implementations depending on the materials used for the production of different types of diving suits.*

*The research was conducted as part of scientific work financed by the science funds in the years 2010-2012 as a development project no. 0R00009811 entitled: "Detection and countermeasures against the terrorist threat from divers".*

*Przemysław Pozański is the recipient of Antoni Dębski Scholarship awarded by the Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society in 2011.*

**Keywords:** *detection, pressure waves, impact, effect, interaction.*

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОЛН ДАВЛЕНИЯ НА ДАЙВЕРОВ В УСЛОВИЯХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ ПОДВОДНЫМ УГРОЗАМ**

*В статье представлен анализ влияния волн давления на тело дайвера в зависимости от свойств генерируемых расстройств. В частности, анализ включает в себя влияние таких параметров, как уровень звукового давления, частоты и продолжительности волн, возникающих в результате воздействия. Это основные факторы, определяющие безопасность подводных операций при одновременной работе гидроакустической системы. Эти параметры волн давления определяют их эффективность с точки зрения противодействия угрозам со стороны дайверов.*

*В статье также обсуждается метода исследования источников волн давления в контексте влияния на дайверов. Представлены результаты собственного исследования, касающегося использования для этой цели гидроакустических преобразователей и пневматического оборудования. Работа включала в себя исследование и анализ эффективности предлагаемых решений, в зависимости от материалов, используемых для производства водолазных костюмов.*

*Исследование было проведено в рамках научно-исследовательской работы финансируемой из Фондов на науке в годы 2010 - 2012 в качестве развития проекта*

№ 0R00009811, tytuł: " Обнаружение и предотвращение террористических угроз со стороны дайверов".

Пшемислав Позаньский является победителем Научного Стипендия им. Антония Дебскего, признанным в 2011 году Польским Обществом Медицины и Гипербарической Техники.

**Ключевые слова:** обнаружение, волны давления, воздействия.

**Małgorzata Dąbrowiecka, Bartosz Morawiec, Zbigniew Dąbrowiecki,  
Romuald Olszański**

**mgr Małgorzata Dąbrowiecka**

Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej Wojskowy Instytut Medyczny  
ul. Grudzińskiego 4, 81-103 Gdynia 3 skr. poczt. 18

**dr med. Bartosz Morawiec**

Zakład Epidemiologii i Medycyny Tropikalnej w Gdyni  
Wojskowy Instytut Medyczny

**dr Zbigniew Dąbrowiecki**

Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej w Gdyni  
4 Grudzińskiego, 81-103 Gdynia 3 box 18, Poland  
+48/58/6262405 zmmit@mw.mil.pl

**prof. dr hab. med. Romuald Olszański**

Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej  
Wojskowy Instytut Medyczny  
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3 skr. poczt. 18  
tel./fax. 58/6262405 tel./fax. MON 2624056, e-mail: zmmit@mw.mil.pl

**ANALIZA ZAGROŻENIA EPIDEMIOLOGICZNEGO ORAZ KONTROLA  
PUNKTÓW KRYTYCZNYCH NA OKRĘTACH MARYNARKI WOJENNEJ RP**

*Polska jako państwo członkowskie WHO jest zobowiązane do wdrażania wymogów regulacji ustanowionych przez WHO w 2005 roku w postaci dokumentu o nazwie IHR 2005 (International Health Regulation 2005. Wdrożenie procedur Analizy Ryzyka oraz Kontroli Punktów Krytycznych (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP) ) na statkach i okrętach flot krajowych jest pierwszym krokiem prowadzącym do wdrożenia procedur wynikających z IHR 2005.*

**Słowa kluczowe:** rozpoznanie epidemiologiczne, HACCP, okręty.

**EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE AND HAZARD ANALYSIS AND  
CRITICAL CONTROL POINTS ON THE SHIPS' OF POLAND'S NAVAL  
FORCES**

*Poland as a WHO member state is obliged to implement the requirements established by WHO regulations in 2005 in the form of a document entitled IHR 2005 (International Health Regulation 2005). The implementation of the procedures of the Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP on ships and vessels belonging to the domestic fleet is the first step towards the implementation of procedures resulting from IHR 2005.*

**Keywords:** epidemiological surveillance, HACCP, ships.

## WSTĘP

Od czerwca 2007 państwa stowarzyszone w Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) powinny na rozpocząć implementację zasad IHR 2005.

Polska jako państwo członkowskie WHO jest zobowiązane do wdrażania wymogów regulacji ustanowionych przez WHO w 2005 roku w postaci dokumentu o nazwie IHR 2005 (International Health Regulation 2005). Dokument ten ustala nowoczesne zasady nadzoru epidemiologicznego i szybkiej oraz adekwatnej reakcji na powstające zagrożenia rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych (1,2).

Przyjęte regulacje prawne dotyczące portów, lotnisk i lądowych przejść granicznych obejmują:

- kryteriów oceny zagrożeń związanych z przewozami ludzi i ładunków;
- warunkami jakie muszą spełniać graniczne punkty kwarantanny oraz badań zdrowotnych;
- procedury certyfikacyjne dla samolotów i statków;
- procedury certyfikacyjne dla portów i lotnisk.

Powstająca jednolita sieć kryteriów, zasad i reakcji na zagrożenia mikrobiologiczne powinna wzmocnić zdolność poszczególnych krajów do wykrywania oraz zapobiegania rozprzestrzenianiu się chorób zakaźnych zarówno w wymiarze lokalnym jak i międzynarodowym. Przyjęto założenie działania w trybie czasu realnego (real time detection and reaction). Poszczególne państwa członkowskie WHO mają 2 lata na osiągnięcie zadawalającego poziomu nadzoru epidemiologicznego działającego w czasie rzeczywistym oraz kolejne 3 lata do osiągnięcia poziomu optymalnego.

Według artykułu 20,27,39 oraz aneksu 3 do podstawowego dokumentu IHR 2005 od 15 czerwca 2007 weszła również w życie nowa deklaracja kontroli sanitarnej i certyfikacji statków (Ship Sanitation Control Exemption Certificate/Ship Sanitation Control Certificate, SSCEC/SSCC). Ten certyfikat zastąpi Certyfikat Deratyzacji statku (Deratting Certificate/Deratting Exemption Certificate, DC/DEC) stosowany zgodnie z konwencją IHR od 1969 roku. Do 14 grudnia 2007 były równolegle stosowane deklaracje DC/DEC i nowe SSCEC/SSCC. Po 15 grudnia 2007 deklaracje DC straciły ważność.

Po 15 czerwca 2007 roku wydawane certyfikaty SSCEC/SSCC są ważne tylko przez 6 miesięcy z możliwością przedłużenia o 1 miesiąc, jeśli statek nie mógł przejść właściwej kontroli w danym porcie. W ciągu tego dodatkowego miesiąca statek musi być poddany kontroli sanitarnej w porcie spełniającym wymogi przeprowadzenia kontroli zgodnie z wymaganiami IHR 2005 (aneks 3).

Omówione zasady IHR 2005 stawiają przed państwami członkowskimi WHO obowiązek opracowania szczegółowych wytycznych warunków sanitarno-epidemiologicznych, jakim muszą podlegać statki, okręty, pasażerowie, załogi i towary przewożone przez te jednostki aby zostały ograniczone do niezbędnego minimum możliwości rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych drogą transportu morskiego.

Wdrożenie procedur Analizy Ryzyka oraz Kontroli Punktów Krytycznych (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP) na statkach i okrętach flot krajowych jest pierwszym krokiem prowadzącym do wdrożenia procedur wynikających IHR 2005.

## **INTRODUCTION**

Countries associated in the World Health Organisation (WHO) were obliged to commence the process of implementation of principles included in the IHR 2005 at the beginning of June 2007.

Poland, being a member state of WHO, is obliged to implement the requirements established by WHO in the year 2005 in the form of a document entitled IHR 2005 (International Health Regulation 2005). The document determines modern principles of epidemiological surveillance and fast and adequate reaction to the risk of dissemination of infectious diseases (1,2).

The adopted legal regulations concerning ports, airfields and border crossings on the land encompass:

- evaluation criteria of hazards related to human and cargo transportation,
- conditions to be met by border quarantine and health examination facilities,
- certification procedures for airplanes and ships,
- certification procedures for ports and airfields.

The created uniform network of criteria, principles and reactions to microbiological threats should strengthen the capabilities of particular countries to detect and prevent dissemination of infectious diseases both on a local and international scale. For this purpose the principle of real time detection and reaction was adopted. Particular member states of WHO are to achieve satisfactory level of epidemiological surveillance operating in real time within the period of 2 years, and the optimal level within the period of another 3 years.

In accordance with articles 20, 27, 39 and Annex 3 to primary IHR 2005 document, as of 15 June, 2007, Ship Sanitation Control Exemption Certificate/Ship Sanitation Control Certificate (SSCEC / SSCC) also became effective. This certificate is to replace the Deratting Certificate/Deratting Exemption Certificate (DC/DEC) that has been in use following the IHR convention in 1969. Until 14 December 2007 both DC/DEC declarations and the new SSCEC/SSCC were in use. After 15 December 2007 the DC declarations became invalid.

After 15 June 2007 the issued SSCEC/SSCC certificates were valid only for 6 months with the possibility of their prolongation by 1 month if a ship was unable to pass proper inspection in a given port. During the additional month a ship was to undergo sanitation control in a port fulfilling inspection requirements in accordance with IHR 2005 (Annex 3).

The discussed IHR 2005 principles impose on the member states of WHO an obligation to work out detailed guidelines for sanitary-epidemiological conditions to be met by ships, vessels, passengers, crews and goods transported by them in order to reduce the possibility of dissemination of infectious diseases via sea transportation.

The implementation of the Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP, on ships and vessels of the domestic fleets is the first steps towards the implementation of the procedures resulting from IHR 2005.

#### USTALENIE PUNKTÓW KRYTYCZNYCH OKRĘTU W OPARCIU O KRYTERIA HACCP

Z punktu widzenia kontroli sanitarno-epidemiologicznej okręt (statek) można scharakteryzować jako układ ograniczony przestrzennie, na którym przebywa określona liczba personelu pracując i wypoczywając często w zmieniających się warunkach klimatycznych, wahańach temperatury i wilgotności powietrza.

W trakcie wypełniania obowiązków służbowych, w zależności o stanowiska pracy, członkowi załogi mogą być narażeni na nadmierny hałas, drgania, emisje szkodliwych oparów. Przebywanie na ograniczonej powierzchni zwiększa możliwość transmisji patogenów przenoszonych przez powietrze a spożywanie wspólnych posiłków może być źródłem zakażeń, przenoszonych drogą pokarmową.

Okręt to również zakład zbiorowego żywienia, w którym kuchnia, punkt produkcji (wydawania żywności) jest szczególnie narażony na potencjalne wprowadzenie drobnoustroju patogennego. Woda pitna przechowywana w zbiornikach, dostarczana z nabrzeża lub produkowana w cyklu destylacji lub odwróconej osmozy, jest również potencjalnym źródłem zakażenia. Oczywiście spełniając wymogi polskiej normy (3) woda na okręcie z reguły jest bezpiecznym źródłem konsumpcji. Sytuacja jednak zmienia się, kiedy okręt przebywa na wielomiesięcznej misji poza obszarem tradycyjnego działania. W takiej sytuacji załoga okrętu na bieżąco korzysta z wytwarzanej metodą destylacji wody oraz zapasów żywności. Naruszenie na jakimkolwiek etapie produkcji lub konsumpcji parametrów jakościowych wody i żywności, z reguły będzie związane z możliwością wystąpienia schorzeń żołądkowo-jelitowych, a w konsekwencji obniżeniu zdolności operacyjnych okrętu do wykonania postawionych przed załogą zadań.

Ta krótka analiza krytyczna zagrożeń, pokazuje nam jednocześnie punkty krytyczne obiegu mediów na okręcie oraz punkty krytyczne stanu zdrowia załogi. Do takich punktów zaliczamy:

1. Dokumentacja medyczna/zachorowania na choroby zakaźne:
  - a) raportowanie chorób,
  - b) jakość dokumentacji medycznej, tryb wypełniania.
2. Woda pitna:
  - a) zbiorniki wody/źródło pochodzenia/poziom halogenu,
  - b) Układ uzdatniania wody, podawania halogenu,
  - c) analizator poziomu halogenu, kalibracja,
  - d) raport o poziomie halogenu, jakość dokumentacji, inne analizy,
  - e) układ obiegu wody pitnej, zabezpieczenie, dezynfekcja,
  - f) zawory, węże, procedury poboru wody, kontrola jakości.
3. Bezpieczeństwo żywności:
  - a) karty zdrowia personelu pionu żywności,
  - b) jakość utrzymania czystości personelu,
  - c) zarządzanie sanitarne, poziom wiedzy personelu zarządzającego,
  - d) ubiór, zabezpieczenia głowy, ozdoby, itp.,
  - e) pochodzenie żywności, ocena wizualna, wtórny obrót żywności,
  - f) krytyczne punkty temperatury żywności,
  - g) rozmrażanie, kontrola temperatury,
  - h) kontaminacja, punkty krytyczne,
  - i) zabezpieczenie żywności, pojemniki, butelki, opakowania.

#### **DETERMINATION OF CRITICAL POINTS FOR SHIPS BASED ON HACCP CRITERIA**

From the point of view of a sanitary-epidemiological inspection a vessel (ship) may be characterised as an enclosed system with a specified personnel working and resting in frequently changing climatic conditions, temperatures and air humidity values.

In the course of fulfilling their work duties, depending on particular occupations, crew members may be exposed to excess noise, vibrations, emission of harmful fumes. Remaining in an enclosed space increases the possibility of transmission of air-borne pathogens, whereas sharing the place of meal consumption may be the source of foodborne diseases.

A ship also constitutes a mass catering establishment where the kitchen, a food production (distribution) facility, is particularly exposed to a potential introduction of a pathogenous microorganisms. Potable water kept in tanks, supplied at the coast or obtained as a result of distillation or reversed osmosis also constitutes a potential source of contamination. Of course, by meeting the requirement of Polish standard (3) the water available on a ship is usually safe. However, this situation may change if a ship spends months on a mission outside its typical activity area. In such a case the ship's crew uses water produced accordingly to current needs via the water distillation method as well as resortings to food reserves. A violation of food or water quality parameters at any stage of their production or consumption will evoke the possibility of occurrence of gastric conditions, and consequently result in lowering the crew's operational capabilities in relation to the tasks assigned to them.

This short critical hazard analysis also indicates the critical points concerning media circulation on a ship, as well as the critical points concerning crew's health.

Such points include:

1. Medical documentation/incidence of infectious diseases:
  - a) Disease reporting,
  - b) Medical documentation quality, logs maintenance.
2. Potable water:
  - a) Bunker/production source/halogen residual,
  - b) Distribution system for halogen residual,
  - c) Distribution system for halogen analyser, calibration,
  - d) Halogen analyser chart, documentation quality, other analyses,
  - e) Potable water distribution system, protection, disinfection,
  - f) Caps, filling hoses, water intake procedures, quality control.
3. Food safety:
  - a) Food handlers' health records,
  - b) Personnel's hygiene maintenance,
  - c) Sanitary management, managing personnel's knowledge,
  - e) Clothing, head protection, jewellery, etc.,
  - f) Food source, visual evaluation, food re-service,
  - g) Critical point food temperatures,
  - h) Thawing, temperature control,
  - i) Cross-contamination, critical points,
  - j) Food protection, containers, bottles, packaging .

4. Wyposażenie:
  - a) układ utrzymania temperatury, powierzchnie kontaktu z żywnością, termometry monitorujące żywność,
  - b) pozostałe powierzchnie, pozostałe termometry,
  - c) urządzenia myjące i piorące, kontrola temperatury,
  - d) płyny i proszki myjące,
  - e) system odkażania i dezynfekcji, płyny odkażające,
  - f) ścierki i ręczniki,
  - g) wszelkie urządzenia do obróbki żywności, rodzaj materiałów stan czystości,
  - h) pozostałe urządzenia, stan czystości,
  - i) urządzenia do czyszczenia i zmywania, procedury utrzymania czystości.
5. Toalety, umywalki, inne urządzenia:
  - a) dostępność, budowa, instalacja, sprawność,
  - b) czystość, dozowniki odkażające, ręczniki jednorazowe, itp.,
6. Substancje toksyczne;
  - d) wszelkie substancje toksyczne z podziałem na grupy.
7. Inne urządzenia:
  - a) pojemniki na odpady stałe,
  - b) pokład, przegrody, ścianki,
  - c) hydraulika, kanalizacja, linie dostawcze wody, zawory, odstojniki, itp.,
  - d) system utylizacji odpadów ciekłych,
  - e) oświetlenie,
  - f) wentylacja,
  - g) ludzie, sprzęt, lub materiały, których obecność w danej strefie jest zakazana,
8. Kontrola środowiska:
  - a) efektywność deratyzacji, autoryzowane użycie pestycydów,
  - b) procedury deratyzacji,
  - c) kontrola klimatyzacji,
  - d) kontrola natrysków.

Elementem HACCP wymagającym szczegółowego omówienia jest produkcja i wykorzystanie wody pitnej na okręcie.

#### **WODA PITNA NA OKRĘCIE**

Produkcja i wykorzystania wody pitnej na okręcie, jest zależna od wielkości jednostki, rozmieszczenia poszczególnych elementów systemu jak i ich wydajności w stosunku do całego układu wodno-kanalizacyjnego.

Lista przedstawiona poniżej w punktach od a do d jest uniwersalna dla wszystkich okrętów, punkty e i f występują tylko na niektórych jednostkach:

- a) urządzenie poboru wody z nabrzeża, pompy, węże do wody, zawory zbiorniki, itp.,
- b) zbiorniki świeżej wody,
- c) układ dostarczania wody do systemu dystrybucji,
- d) system dystrybucji wody do różnych użytkowników,
- e) układ odsalania wody morskiej (destylacja lub odwrócona osmoza),
- f) układ uzdatniania świeżej wody w celu otrzymania wody pitnej.

4. Equipment:

- a) Temperature maintenance system, food-contact surfaces, food TMDs,
- b) Non-food contact surfaces, ambient TMDs,
- c) Warewashing facilities, temperature control,
- d) Wash liquids and powders,
- e) Decontamination and disinfection system, sanitizing rinse,
- f) Wiping cloths and towels,
- g) Any food handling equipment, material type, cleanness level,
- h) Non-food contact equipment, cleanness level.

5. Equipment for washing and cleaning, cleanness maintenance procedures, washstands, other equipment:

- a) Availability, construction, installation, efficiency,
- b) Cleanness, sanitation dispensers, disposable towels, etc.

6. Toxic substances:

- a) Any toxic substances with group classification

7. Other facilities:

- a) Solid waste containers,
- b) Decks, bulkheads, deck heads,
- c) Plumbing fixtures, supply lines, drain lines, sedimentation tanks, etc.,
- d) Liquid waste disposal,
- e) lighting,
- f) ventilation,
- g) unauthorized personnel, equipment or materials.

8. Environmental control:

- a) Deratization effectiveness, approved pesticide application,
- b) Deratization procedures,
- c) Air-conditioning control,
- e) Spraying control.

An HACCP element requiring a detailed discussion is the production and use of fresh water on a ship.

**POTABLE WATER ON A SHIP**

The production and use of potable water on a ship depends on vessel size, location of particular system elements and their efficiency in relation to the entire water treatment-sewage system.

The list presented below in items from a. to d. is universal for all ships, items e. and f. are relevant only in relation to some vessels:

- a) water intake device from the shore, pumps, water hoses, caps, containers, etc.
- b) fresh water tanks,
- c) water supply system into water distribution system,
- d) water distribution system to various users,
- e) sea water desalination system (distillation or reversed osmosis),
- f) fresh water treatment system aimed at obtaining potable water.

## DEKONTAMINACJA WODY PITNEJ

Woda pitna jest z definicji przeznaczona do konsumpcji. Woda dostarczona z ujęcia na nabrzeżu lub produkowana na okręcie z wody morskiej może być skażona mikrobiologicznie w trakcie poboru, przetłaczania do zbiorników, lub obiegu w sieci dystrybucji na okręcie.

Dekontaminacja wolnym chlorem lub bromem jest jedyną akceptowalną metodą uzyskania zadawalającego poziomu drobnoustrojów chorobotwórczych w wodzie pitnej (3). Użycie wymienionych związków pozwala łatwo, a często w sposób automatyczny rejestrować aktualny poziom halogenu.

Poziom wynoszący 0,3-0,5 mg wolnego chloru na litr wody jest wystarczający by zabezpieczyć wodę pitną przed skażeniem mikrobiologicznym.

Na rys. 1. przedstawiono schemat instalacji odsalania wody morskiej działający na fregacie ORP „Kazimierz Puławski”. W pierwotnej instalacji produkcji wody pitnej na fregacie klasy Oliver Hazard Perry stosowano stałe bromowanie świeżej wody w celu utrzymania właściwego poziomu drobnoustrojów chorobotwórczych w wodzie pitnej.

W warunkach polskich przewidziano okresową dekontaminację wody świeżej, dostarczanej z nabrzeża lub produkowanej metodą destylacji, szczególnie w rutynowym oczyszczaniu zbiorników świeżej wody. Jako źródło wolnego chloru zaplanowano użycie podchlorynu sodu lub wapnia

Należy jednak nadmienić, że według Naval ships' technical manual (5) świeża woda pobierana z nabrzeża, produkowana metodą destylacji lub odwróconej osmozy, powinna być stale chlorowana do poziomu 0,2 mg Cl<sub>2</sub>, co oznacza początkowe stężenie wolnego chloru rzędu 1 ppm.

To zalecenie jest istotne w wypadku dyslokacji okrętów Polskiej Marynarki Wojennej poza tradycyjne rejony działań, szczególnie w wielomiesięcznych rejsach, w odmiennych strefach klimatycznych. Uważamy, że postulat stałego chlorowania wody (poprzez automatyzację tego procesu) na okrętach nawodnych Marynarki Wojennej RP, powinien być uwzględniony w planowanej modernizacji normy obronnej

Tabela 1.

Wymagany poziom wolnego chloru w wodzie użytkowanej na okręcie.

PROCEDURA DEKONTAMINACJI	POZIOM WOLNEGO CHLORU I CZAS REAKCJI
Minimalny poziom wolnego chloru wymagany w wodzie pitnej otrzymywanej z nabrzeża lub produkowanej metodą destylacji lub RO	0,2 ppm po 30 minutach reakcji w zbiorniku
Woda w systemie dystrybucji	Nie więcej niż 0,2 ppm
Woda z nieznanego źródła, zagrożenie amebozą	2 ppm po 30 minutach reakcji w zbiorniku
Dekontaminacja zbiorników i systemu obiegu wody	100 ppm początkowo, 50 ppm po 4 godzinach
Dekontaminacja węży tłocznych, zaworów przed pobieraniem wody z nabrzeża	100 ppm przez 2 minuty
Woda do dekontaminacji powierzchni zbiorników	100 ppm
Woda dostarczana w warunkach zagrożenia mikrobiologicznego	5 ppm po 30 minutach

**POTABLE WATER DECONTAMINATION**

Potable water is by definition water suitable for consumption. The water supplied from a water intake situated on the shore or produced on board a ship from sea water may become microbiologically contaminated during the intake, when being pumped into tanks or during its circulation in the distribution network on a ship.

Decontamination with free chlorine or bromine is the only acceptable method of allowing to obtaining a satisfactorily safe levels of germs in potable water (3).

The application of the said compounds allows to easily and, often, automatically register current halogen levels.

The level of free chlorine reaching 0.3-0.5 mg per 1 litre of water is sufficient to protect potable water against microbiological contamination.

Fig.1. presents the scheme of sea water desalination installation operating on the frigate ORP Kazimierz Pułaski frigate. The original potable water production installation on the Oliver Hazard Perry-class frigates was based on continuous bromination of fresh water in order to obtain proper germ levels in potable water.

With regard to Polish conditions it was chosen to apply a periodic decontamination of fresh water supplied from the shore or produced with the use of the distillation method, particularly in the routine cleansing of fresh water tanks. Free chlorine was to be supplied with sodium or calcium hypochloride.

However, it should be mentioned that according to Naval ships' technical manual (5) fresh water supplied from the shore, produced via distillation or reversed osmosis should be continuously chlorinated up to the level of 0.2 mg Cl<sub>2</sub> , with the initial free chlorine concentration of 1 ppm.

This recommendation is significant in the case of dislocation of when Polish Navy ships are operating beyond their traditional operating regions, particularly in long-term cruises in different climatic zones. We believe that the postulate of continuous water chlorination (by process automation) on Polish Navy ships should be considered in the planned modernization of the defence standard.

Table 1.

The required free chlorine level in water used on ships.

<b>DECONTAMINATION PROCEDURE</b>	<b>FREE CHLORINE LEVEL AND REACTION TIME</b>
Minimum free chlorine level for fresh water supplied from the shore or produced via distillation method or RO	0.2 ppm after a 30-minute reaction time in the tank
Water in the distribution system	Not more than 0.2 ppm
Water from an unknown source, risk of amebiasis	2 ppm after a 30-minute reaction time in the tank
Tank and water circulation system decontamination	Initially 100 ppm, 50 ppm after 4 hours
Decontamination of filling hoses, valves before water intake from the shore	100 ppm for 2 minutes
Water for the decontamination of tank surfaces	100 ppm
Water supplied in the conditions of microbiological contamination hazard	5 ppm after 30 minutes

Wspomniana instrukcja (5) przewiduje stałe chlorowanie wody świeżej produkowanej metodą destylacji lub odwróconej osmozy (RO) jak również chlorowanie wody dostarczanej z nabrzeża (Rys.2 i 3). Z wielu możliwych metod chlorowania wody należy wymienić następujące mające praktyczne zastosowanie:

- gazowy chlor;
- gazowy ditlenek chloru;
- podchloryn wapnia;
- podchloryn sodu;
- elektrolityczne wytwarzanie wolnego chloru z roztworu soli kuchennej lub wody morskiej.

W praktyce morskiej zalecane są tylko metody wykorzystujące podchloryn sodu lub wapnia, a od kilku lat również metoda elektrolitycznego wytwarzania wolnego chloru.

Ta ostatnia metoda jest szczególnie wygodna, gdyż wolny chlor jest produkowany na bieżąco z obojętnej dla środowiska soli kuchennej, w ilości dokładnie odpowiadającemu oczekiwanemu poziomowi wolnego chloru rzędu 2 ppm. Firma Howell Laboratories jest akredytowanym dostawcą takich urządzeń dla floty wojennej Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej. Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono opis generatora elektrolitycznego wytwarzania wolnego chloru MIOX oraz schemat podłączenia urządzenia do obiegu wody pitnej na okręcie.

W aktualnej sytuacji Marynarki Wojennej RP, proponujemy w pierwszym etapie wdrażania systemu HACCP na okręcie zainstalować automatyczne czujniki chloru, a następnie zmodernizować system uzdatniania wody na okręcie o układ automatycznego podawania podchlorynu sodu sterowanego, przez zainstalowane czujniki i pompy podawcze. Po wymianie systemu produkcji świeżej wody z destylacji na odwróconą osmozę, należy rozważyć możliwość zainstalowania elektrolitycznego generatora wolnego chloru.

#### **CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU HACCP NA OKRĘTACH NAWODNYCH MARYNARKI WOJENNEJ RP**

Tworząc propozycje systemu HACCP na okręt ORP "Kazimierz Pułaski" – elektroniczna karta epidemiologiczna okrętu autorzy projektu opierali się na dwóch światowych rozwiązaniach.

Pierwszym był system VSP (vessel sanitation projekt) rozwijany na terenie USA i Kanady od 1970 roku, a wdrożonym w pełni do 1989 roku (4). Jest to system formularzowego badania środowiska okrętowego, gdzie każdemu punktowi krytycznemu przypisujemy określoną wagę zagrożenia od 1 do 5 punktów. System ten wzbogacony o bazę wiedzy (szczególnie przepisów prawnych) precyzyjnie opisuje środowisko okrętowe, z punktu widzenia możliwych zagrożeń dla życia i zdrowia załogi, a jednoznaczne definicje i procedury postępowania pozostawiają mały margines na popełnienie błędu lub dowolność interpretacyjną. Zbiorczy raport z kontroli przeprowadzonej według systemu VSP przedstawiony jest na rys. 8.

Drugim systemem kontroli sanitarno-epidemiologicznej jednostek pływających, jest propozycja wynikająca z konieczności wdrożenia w życie od grudnia 2007 roku dokumentu Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), IHR 2005 (International Health Regulation).

The above instruction (5) involves continuous fresh water chlorination with the use of the distillation or reversed osmosis (RO) method as well as chlorinating the water obtained from the shore (Fig. 2 and 3). Among the numerous water chlorination methods, we should mention the following ones as having a practical application:

- gaseous chlorine,
- gaseous chlorine dioxide,
- calcium hypochloride,
- sodium hypochloride,
- electrolytic production of free chloride from domestic salt solution or sea water.

In maritime practice the recommended methods involve only those using sodium or calcium hypochloride, as well as, a method recommended a few years back – the method of electrolytic production of free chloride.

The latter method is particularly convenient as free chloride is produced on a current basis from normal salt, inactive in the environment, in the quantity precisely corresponding to the expected free chloride level of 2 ppm. Howell Laboratories Inc. Company is an accredited supplier of such devices for the US Navy. Fig. 4 and 5 present the description of an electrolytic generator of free chloride MIOX as well as the scheme of its connection to the potable water circulation system on a ship.

Considering the current situation of the Polish Navy, we recommend that during the first stage of implementation of the HACCP system on ships, automatic chlorine sensors are installed, followed by water treatment system modernization via the installation of by supplying it with an automatic sodium hypochloride feeding system, controlled by installed sensors and pumps. After the replacement of the fresh water distillation system with reversed osmosis the possibility of installing an electrolytic free chlorine generator should be taken into account.

### **THE HACCP SYSTEM ON THE POLISH NAVY SHIPS**

When formulating the proposals for the HACCP system (“an electronic epidemiology register”) for the ship ORP Kazimierz Pułaski, ship –“an electronic epidemiology register” the authors of the project based their work on two world globally accepted solutions.

The first was the VSP system (vessel sanitation project) developed in the USA and Canada since 1970 and fully implemented by 1989 (4). This is a form-based system providing an examination of a ship’s environment where each critical point is assigned a particular hazard value on a scale from 1 to 5 points. The system is enriched with a knowledge database (mainly legal regulations) precisely describing the ship-board environment from the point of view of possible threats to the crew’s health and life, with uniform definitions and procedures leaving only a small margin of error or possibility of difference of interpretation. A collective report from an inspection carried out according to VSP system has been presented in fig.8.

The second sanitation-epidemiological control system, with regard to vessels, is the proposal resulting from the obligation to implement a World Health Organisation (WHO) document entitled IHR 2005 (International Health Regulation) by December 2005.

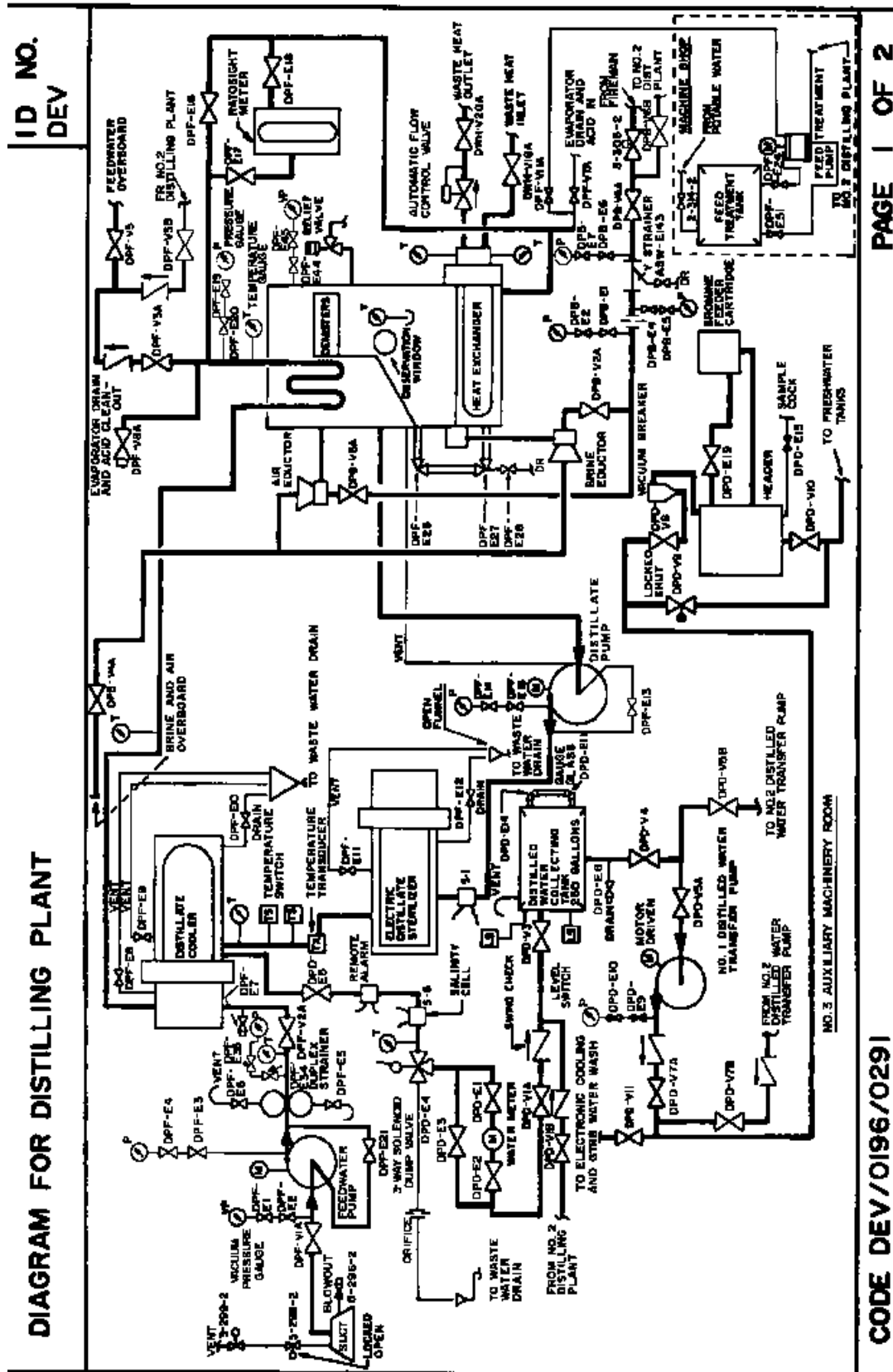
Final inspection documents presented in fig. 5 and 7 in the form of SSCE and SCC certificates account for the diversity of the world’s commercial fleet where we may deal with both very modern vessels meeting the most rigorous sanitary standards (liners) as well as a number of cargo ships launched many years ago. Such vessels are extremely difficult to maintain within the desired levels of cleanness and microbiological safety.

Przedstawione na rys. 5 i 7 dokumenty końcowe inspekcji w postaci certyfikatu SSCE i SCC, uwzględniają różnorodność floty handlowej świata, w której mamy do czynienia zarówno z jednostkami bardzo nowoczesnymi, spełniającymi najbardziej rygorystyczne normy sanitarne (liniowce pasażerskie) jak i szeregiem statków transportowych, zwodowanych przed wieloma laty. Na takich jednostkach bardzo trudno jest utrzymać pożądaną poziom czystości i zabezpieczenia mikrobiologicznego. Certyfikaty opracowane przez WHO są sformułowane w sposób bardziej ogólny i odnoszą się do tradycyjnego sposobu kontroli sanitarno-epidemiologicznej koncentrującej się na stwierdzonych i potwierdzonych laboratoryjnie przypadkach wystąpienia zachorowań wśród załogi.

Analiza porównawcza obu omówionych systemów kontroli sanitarno-epidemiologicznej okrętu, jednoznacznie wykazuje profilaktyczną funkcję systemu VSP zawartą w szczegółowej charakterystyce poszczególnych punktów kontrolnych, możliwości elektronicznego zapisu całego procesu kontroli, pozwalającego na dokonywanie wszechstronnych analiz oraz wizualizację wyników kontroli jak i zasugerowanych procedur naprawczych. Wykonawcy tematu badawczego zaproponowali przyjęcie schematu analizy zagrożeń i wytypowania punktów kontrolnych na okręcie, w oparciu w koncepcje VSP. Schemat kontroli przedstawiono szczegółowo na rys. 9.

Certificates drafted by WHO are formulated in a more general manner and refer to traditional sanitation-epidemiological supervision focusing on the detected and lab-confirmed cases of diseases among the crew.

Comparative analysis of both of the discussed sanitation-epidemiological inspection systems regarding ships, explicitly points to the preventive function of the VSP system consisting in the provision of detailed characteristics of particular control points, the possibilities of making electronic records of the entire inspection process that allows the conduction of comprehensive analyses and performing a visualization of the inspection results, as well as the suggested repair procedures. Executors of the research subject matter proposed the preparation of a hazard scheme and designation of control points regarding the ship based on VSP concepts. A detailed inspection scheme has been shown in fig. 9.



Rys.1. Schemat instalacji produkcji wody pitnej na fregacie ORP "Kazimierz Pułaski" metod destylacji.

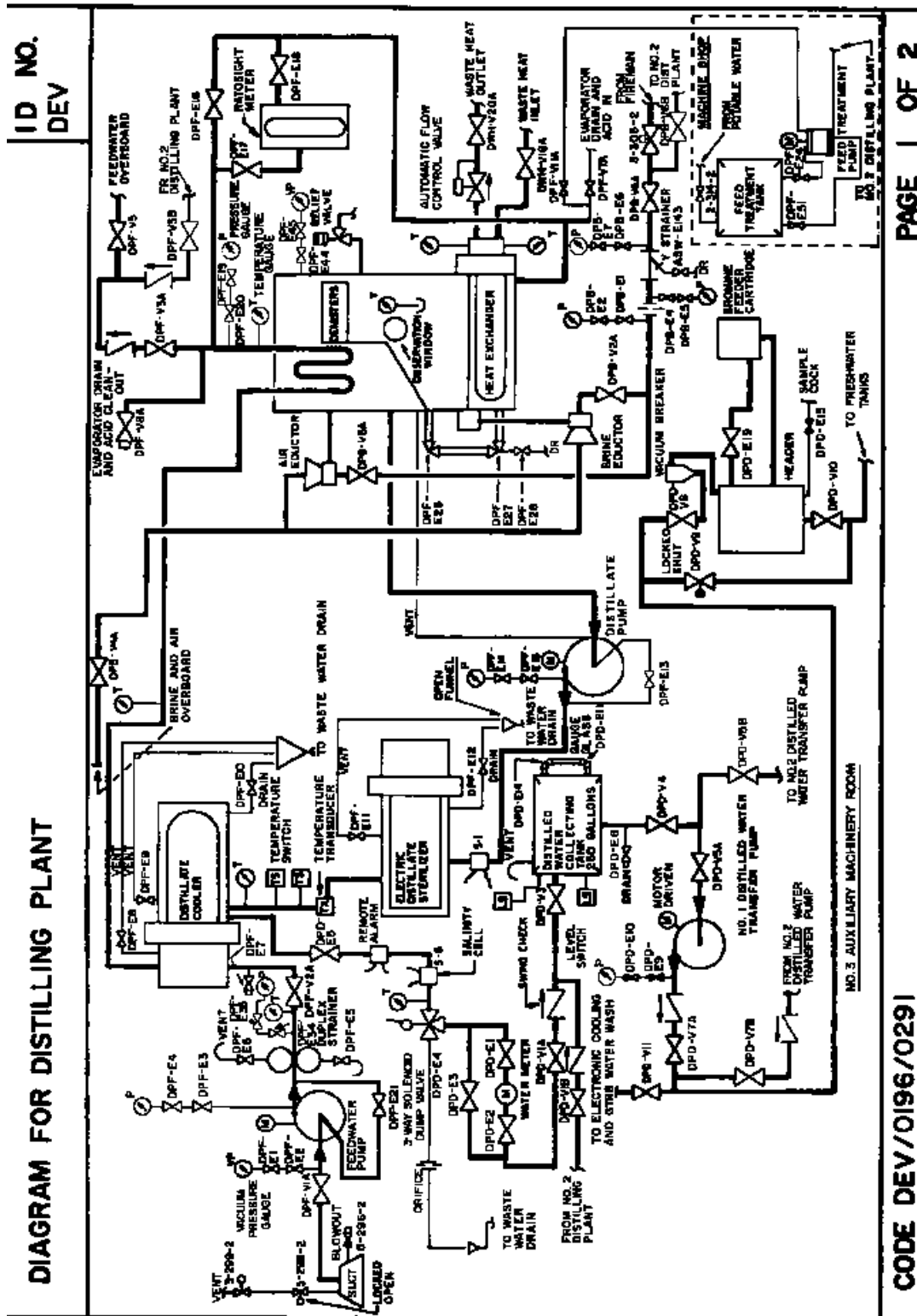


Fig. 1. Installation scheme for potable water production via the distillation method on the frigate ORP Kazimierz Pułaski.

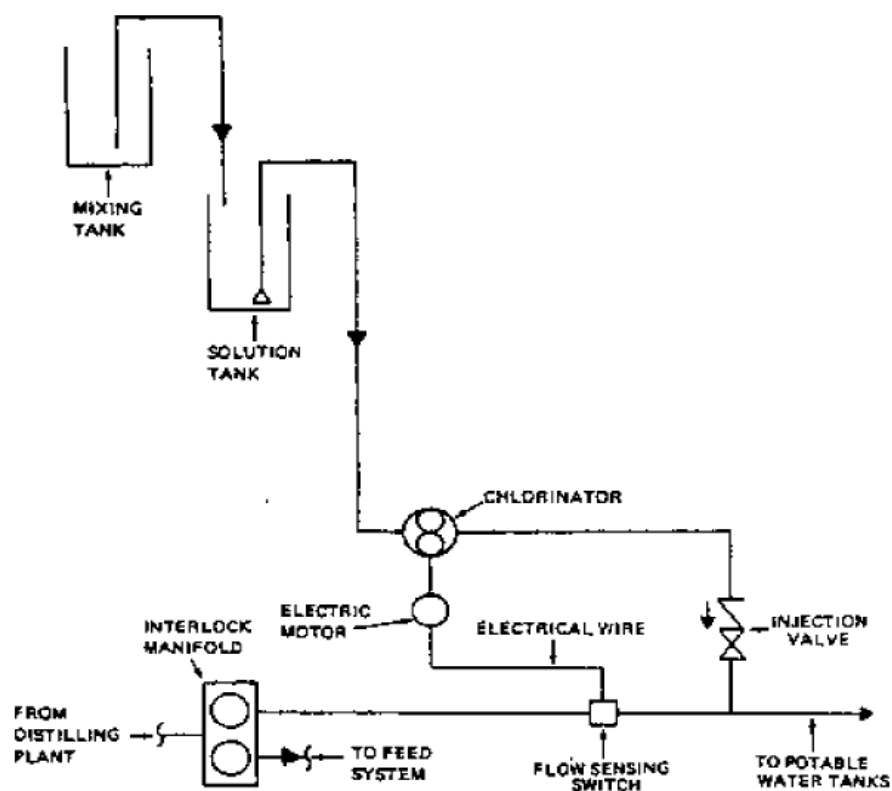


Figure 533-3-5 Distilling Plant Chlorinator Installation

Rys. 2. Instalacja automatycznego chlorowania wody wytwarzanej metodą destylacji (5).

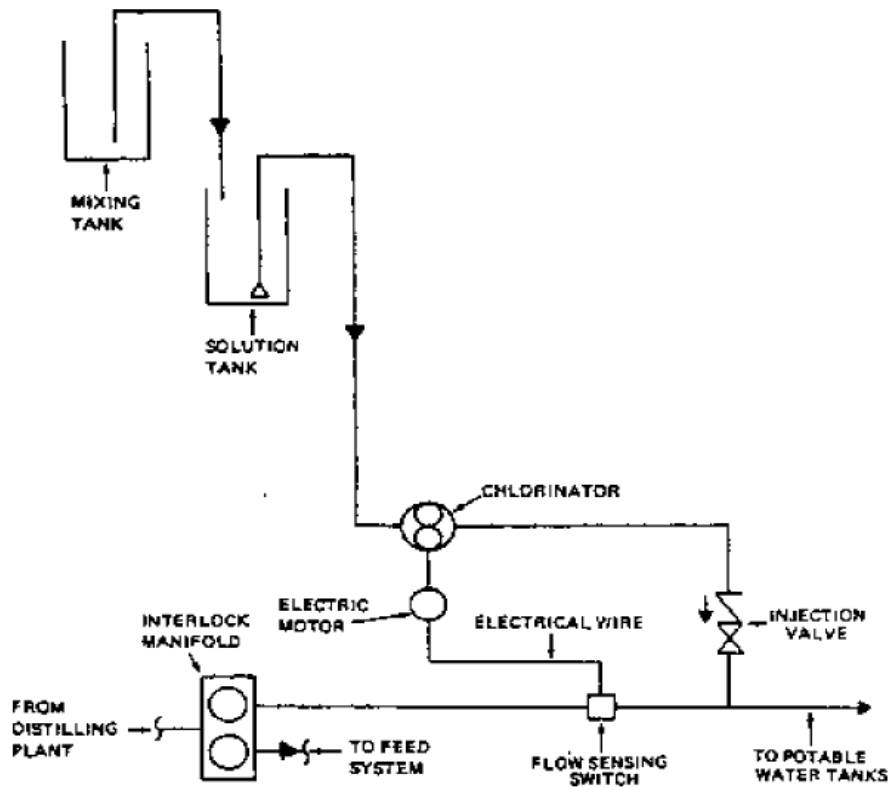


Figure 533-3-5 Distilling Plant Chlorinator Installation

Fig. 2. Automatic water chlorination installation via the distillation method (5).

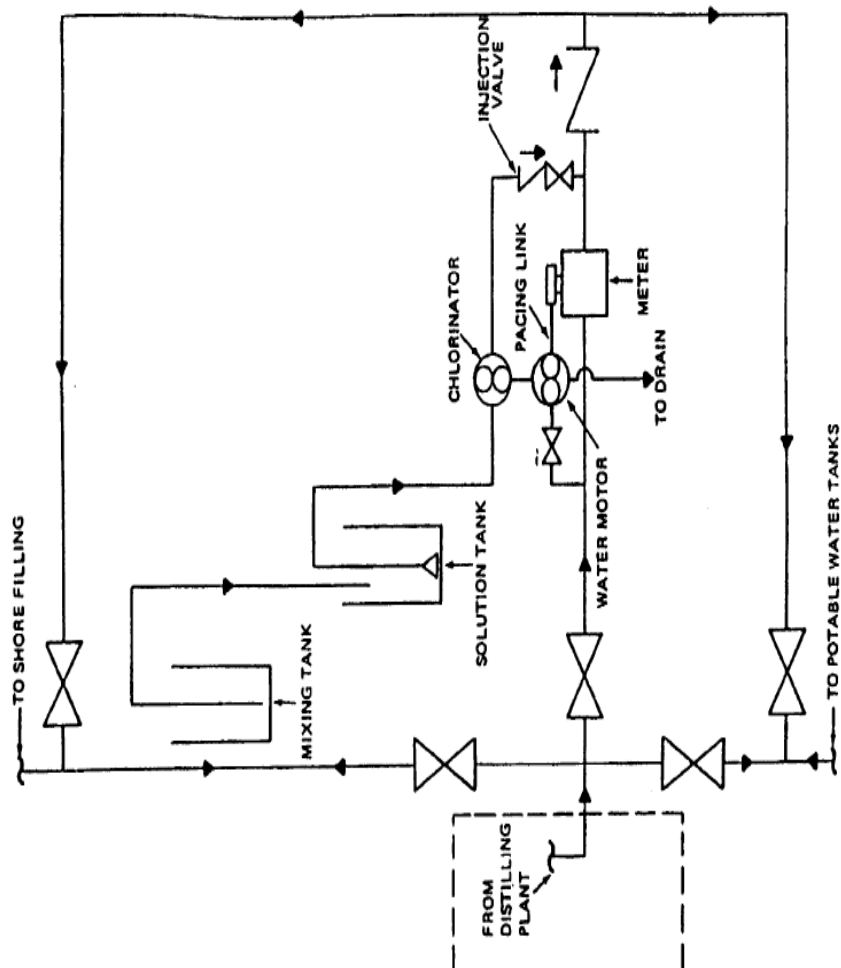


Figure S33-3-6 Combined Distilling Plant and Shore Filling Chlorinator Installation

Rys. 3. Schemat instalacji chlorowania wody dostarczanej na okręt z nabrzeża oraz produkowanej metodą destylacji (5).

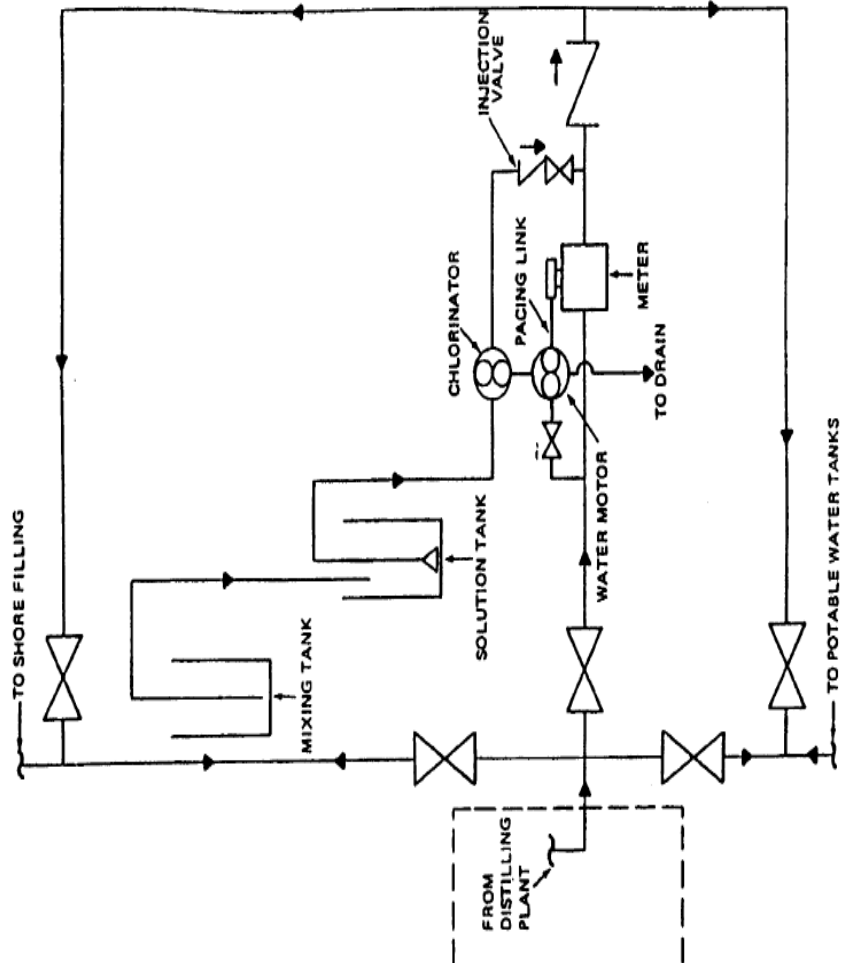


Figure 533-3-6 Combined Distilling Plant and Shore Filling Chlorinator Installation

Fig. 3. Shore water chlorinator installation combined with distilling plant (5).

### Features

- Deck or Bulkhead-Mount
- Used in Water Maker Outlet Line or in Storage Tank Recirculation Line
- Fully Automatic, with Full Diagnostic Capability
- On-Board Chlorine Monitor Maintains a Stable Free Available Chlorine (FAC) Residual
- Removes Biofilm in the Distribution System
- Treated Water Has No Unpleasant Taste
- No Bromine or Other HazMat Used or Produced:  
No Operator Exposure; No Disposal Headaches
- All Non-Metallic Wetted Materials Certified to NSF-61, 42, or 44 for Drinking Water
- Five-Year Typical Cell Life

### General Description

The Model 8060 Mixed Oxidant Electrolytic Disinfectant Generator (MEDG) uses the "hardened Commercial-Off-the-Shelf" (COTS) approach for the most effective, most economical way to protect a ship's potable water supply. It uses patented cell technology from MIOX Corporation ([www.miox.com](http://www.miox.com)) to produce mixed-oxidant disinfectants, using only salt and a little electrical power. This same technology in our larger Model 7060 is fully qualified and selected for LPD 17 Class, CV/CVN, and LHD 8.

The fully-automatic system uses an on-board chlorine monitor and an Allen-Bradley PLC to control the injection rate. The PLC supervises every aspect of operation and provides full diagnostics. In normal operation, the operator merely adds salt to the unit occasionally.

The Model 8060 is designed to meet the needs of DD(X), as well as retrofit for other classes such as I CG, FFG & LSD. Designed to meet the full gamut of shipboard environmental requirements, including hi impact shock, vibration, EMI, and airborne noise.

### Specifications

**Output Capacity:** Variable production rate on den up to 2 lbs/day free available chlorine (FAC)

**Utility Requirements:** 115 VAC, 60 Hz, single ph; 15 amperes

**Disinfectant:** Mixed oxidants include free available chlorine and other chlor-oxygen species produce a nominal concentration of 2,000 ppm

**Disinfectant Injection:** Allen-Bradley PLC-control gear pump. Operator selects injection rate in ppm.

**Air Requirements:** None

Pub. No.: DS8060 (0410)



**Water Requirements:** 8 - 12 gph potable water at 35 - 75 psig to operate the electrolysis system

**Other Material Requirements:** Solar salt; once-a week loading (one 25-lb bag per week typical)

**Dimensions:** 24" D x 40" W x 56" H

**Weight:** < 500 lbs wet

### Howell Laboratories, Inc.

188 Harrison Rd.  
Bridgton, Maine 04009

(207) 647-3327

(888) 744-8359

FAX (207) 647-8273

e-mail: [contracts@howelllabs.com](mailto:contracts@howelllabs.com)

web: [www.howelllabs.com](http://www.howelllabs.com)

An Employee-Owned Company

Certified to ISO 9001:2000

Rys. 4. Nowoczesny generator chloru przystosowany do podłączenia w instalacji obiegu wody pitnej na okręcie.

### Features

- Deck or Bulkhead-Mount
- Used in Water Maker Outlet Line or in Storage Tank Recirculation Line
- Fully Automatic, with Full Diagnostic Capability
- On-Board Chlorine Monitor Maintains a Stable Free Available Chlorine (FAC) Residual
- Removes Biofilm in the Distribution System
- Treated Water Has No Unpleasant Taste
- No Bromine or Other HazMat Used or Produced:  
No Operator Exposure; No Disposal Headaches
- All Non-Metallic Wetted Materials Certified to NSF-61, 42, or 44 for Drinking Water
- Five-Year Typical Cell Life

### General Description

The Model 8060 Mixed Oxidant Electrolytic Disinfectant Generator (MEDG) uses the "hardened Commercial-Off-the-Shelf" (COTS) approach for the most effective, most economical way to protect a ship's potable water supply. It uses patented cell technology from MIOX Corporation ([www.miox.com](http://www.miox.com)) to produce mixed-oxidant disinfectants, using only salt and a little electrical power. This same technology in our larger Model 7060 is fully qualified and selected for LPD 17 Class, CV/CVN, and LHD 8.

The fully-automatic system uses an on-board chlorine monitor and an Allen-Bradley PLC to control the injection rate. The PLC supervises every aspect of operation and provides full diagnostics. In normal operation, the operator merely adds salt to the unit occasionally.

The Model 8060 is designed to meet the needs of DD(X), as well as retrofit for other classes such as I CG, FFG & LSD. Designed to meet the full gamut of shipboard environmental requirements, including hi impact shock, vibration, EMI, and airborne noise.

### Specifications

**Output Capacity:** Variable production rate on den up to 2 lbs/day free available chlorine (FAC)

**Utility Requirements:** 115 VAC, 60 Hz, single ph; 15 amperes

**Disinfectant:** Mixed oxidants include free available chlorine and other chlor-oxygen species produce a nominal concentration of 2,000 ppm

**Disinfectant Injection:** Allen-Bradley PLC-control gear pump. Operator selects injection rate in ppm.

**Air Requirements:** None

Pub. No.: DS8060 (0410)



**Water Requirements:** 8 - 12 gph potable water at 35 - 75 psig to operate the electrolysis system

**Other Material Requirements:** Solar salt; once-a-week loading (one 25-lb bag per week typical)

**Dimensions:** 24" D x 40" W x 56" H

**Weight:** < 500 lbs wet

### Howell Laboratories, Inc.

188 Harrison Rd.  
Bridgton, Maine 04009

(207) 647-3327

e-mail: [contracts@howelllabs.com](mailto:contracts@howelllabs.com)

An Employee-Owned Company

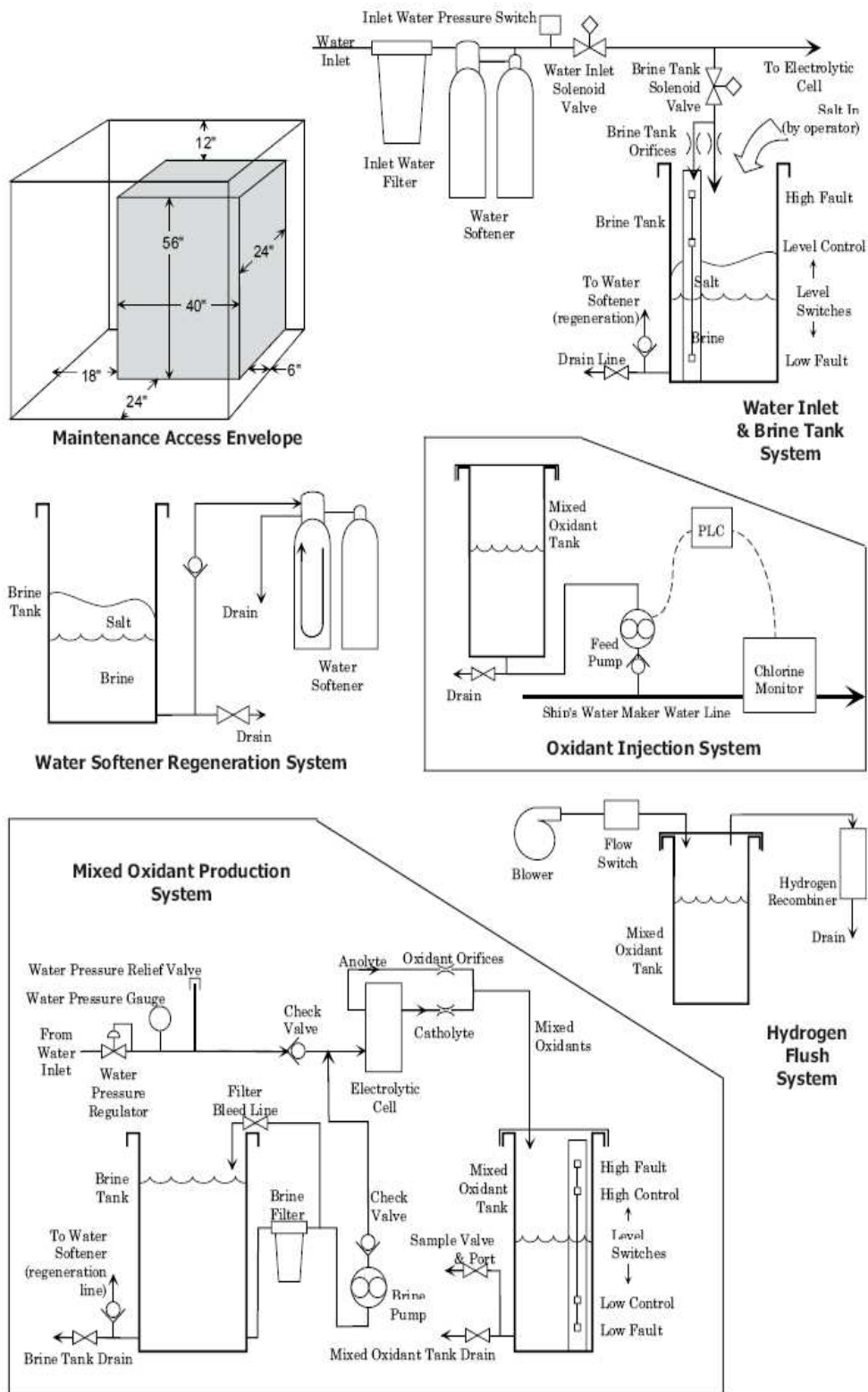
(888) 744-8359

FAX (207) 647-8273

web: [www.howelllabs.com](http://www.howelllabs.com)

Certified to ISO 9001:2000

Fig. 4. Modern chlorine generator adjusted for the connection to potable water circulation system on a ship.



Rys. 5. Schemat podłączenia generatora MEDG do obiegu wody pitnej na okręcie.

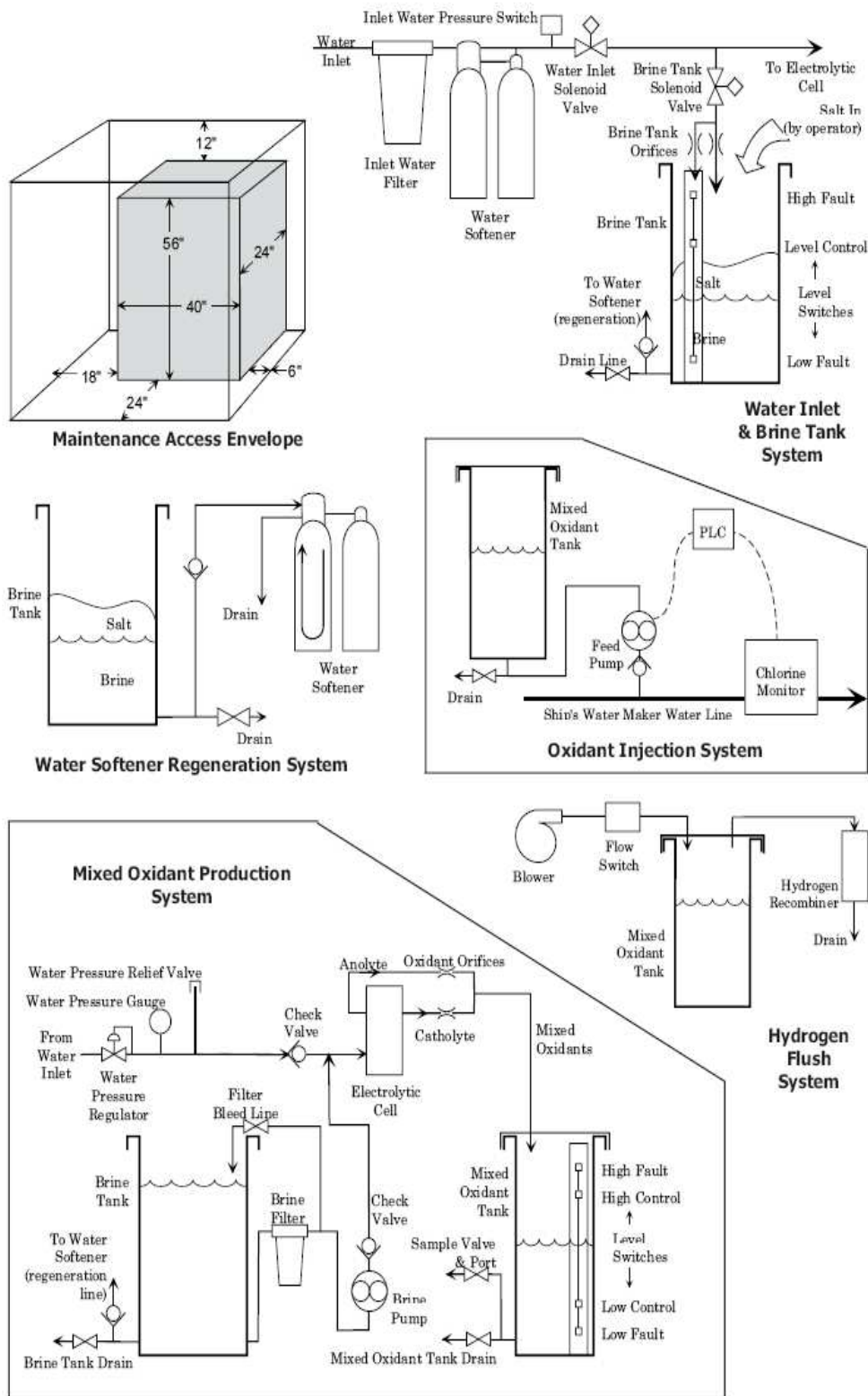


Fig. 5. Scheme of MEDG generator connection to the potable water circulation system on a ship.

**MODEL SHIP SANITATION CONTROL EXEMPTION CERTIFICATE/SHIP SANITATION CONTROL CERTIFICATE**

Port of ..... Date: .....  
 This Certificate records the inspection and 1) exemption from control or 2) control measures applied  
*Name of ship or inland navigation vessel* ..... *Flag* ..... *Registration/IMO No.* .....  
*At the time of inspection the holds were unladen/laden with* ..... *tonnes of* ..... *cargo*  
*Name and address of inspecting officer* .....

Ship Sanitation Control Exemption Certificate			Ship Sanitation Control Certificate			
Areas, (systems, and services) inspected	Evidence found <sup>1</sup>	Sample results <sup>2</sup>	Documents reviewed	Control measures applied	Re-inspection date	Comments regarding conditions found
Galley			Medical log			
Pastry			Ship's log			
Stores			Other			
Holds(s)/cargo						
Quarters:						
- crew						
- officers						
- passengers						
- deck						
Portable water						
Sewage						
Ballast tanks						
Solid and medical waste						
Standing water						
Engine room						
Medical facilities						
Other areas specified - see attached						
Note areas not applicable, by marking N/A.						

No evidence found. Ship/vessel is exempted from control measures.  
 Name and designation of issuing officer ..... Signature and seal .....  
 Date .....  
<sup>1</sup> (a) Evidence of infection or contamination, including, vectors in all stages of growth; animal reservoirs for vectors; rodents or other species that could carry human disease, microbiological, chemical and other risks to human health; signs of inadequate sanitary measures. (b) Information concerning any human cases (to be included in the Maritime Declaration of Health).  
<sup>2</sup> Results from samples taken on board. Analysis to be provided to ship's master by most expedient means and, if re-inspection is required, to the next appropriate port of call coinciding with the re-inspection date specified in this certificate.  
 Sanitation Control Exemption Certificates and Sanitation Control Certificates are valid for a maximum of six months, but the validity period may be extended by one month if inspection cannot be carried out at the port and there is no evidence of infection or contamination.

Rys. 6. Przykład certyfikatu kontroli sanitarnej statku według IHR 2005 (1, 2).

MODEL SHIP SANITATION CONTROL EXEMPTION CERTIFICATE/SHIP SANITATION CONTROL CERTIFICATE

Port of..... Date.....

This Certificate records the inspection and 1) exemption from control or 2) control measures applied

Name of ship or inland navigation vessel..... Flag..... Registration/IMO No. ....

At the time of inspection the holds were unladen/laden with ..... tonnes of ..... cargo

Name and address of inspecting officer.....

Ship Sanitation Control Exemption Certificate			Ship Sanitation Control Certificate		
Areas, [systems, and services] inspected	Evidence found <sup>1</sup>	Sample results <sup>2</sup>	Control measures applied	Re-inspection date	Comments regarding conditions found
Galley		Medical log			
Pastry		Ship's log			
Stores		Other			
Holds/cargo					
Quarters:					
- crew					
- officers					
- passengers					
- deck					
Potable water					
Sewage					
Ballast tanks					
Solid and medical waste					
Standing water					
Engine room					
Medical facilities					
Other areas specified - see attached					
Note areas not applicable, by marking N/A.					

No evidence found. Ship/vessel is exempted from control measures.

Name and designation of issuing officer..... Signature and seal..... Date.....

<sup>1</sup> (a) Evidence of infection or contamination, including vectors in all stages of growth; animal reservoirs for vectors; rodents or other species that could carry human disease, microbiological, chemical and other risks to human health, signs of inadequate sanitary measures. (b) Information concerning any human cases (to be included in the Maritime Declaration of Health).

<sup>2</sup> Results from samples taken on board. Analysis to be provided to ship's master by most expedient means and, if re-inspection is required, to the next appropriate port of call coinciding with the re-inspection date specified in this certificate.

Sanitation Control Exemption Certificates and Sanitation Control Certificates are valid for a maximum of six months, but the validity period may be extended by one month if inspection cannot be carried out at the port and there is no evidence of infection or contamination.

Fig. 6. Model ship sanitation control certificate according to IHR 2005 (1,2).

ATTACHMENT TO MODEL SHIP SANITATION CONTROL EXEMPTION CERTIFICATE/SHIP SANITATION CONTROL CERTIFICATE

Areas/facilities/systems inspected	Evidence found	Sample results	Documents reviewed	Control measures applied	Re-inspection date	Comments regarding conditions found
Food						
Source						
Storage						
Preparation						
Service						
Water						
Source						
Storage						
Distribution						
Waste						
Holding						
Treatment						
Disposal						
Swimming pools/spas						
Equipment						
Operation						
Medical facilities						
Equipment and medical devices						
Operation						
Medicines						
Other areas inspected						

Indicate when the areas listed are not applicable by marking N/A.

Rys. 7. Załącznik do certyfikatu kontroli sanitarnej statku według IHR 2005 (1,2).





**VESSEL SANITATION INSPECTION REPORT**

Vessel Name		Inspection Date		Port		Results Presented to		Score:	
Cruise Line		No. Pax.	No. Crew	Inspection Type		Inspected by			
Item No. / Point Value / Description <b>Bold = Critical Item</b>					Item No. / Point Value / Description <b>Bold = Critical Item</b>				
<b>DISEASE REPORTING</b>					<b>EQUIPMENT</b>				
01	4	<b>Disease reporting</b>			20	2	PHF temperature maintenance facilities; Food-contact surfaces; Food TMD's		
02	1	Medical logs maintenance			21	1	Nonfood-contact surfaces; Ambient TMD's		
<b>POTABLE WATER</b>					22	2	Warewashing facilities; TMD's; Test kits		
03	5	<b>Bunker / production source; Halogen residual</b>			23	2	Pre-wash; Wash and rinse solutions		
04	5	<b>Distribution system halogen residual</b>			<b>24</b>	<b>3</b>	<b>Sanitizing rinse</b>		
05	5	<b>Distribution system halogen analyzer calibrated</b>			25	1	Wiping cloths / chef's towels		
06	2	Halogen analyzer chart recorder maintenance, operation, records; Micro sampling, records			<b>26</b>	<b>3</b>	<b>Food-contact surfaces equipment / utensils clean; Safe materials</b>		
07	3	<b>System protection cross-connections, backflow; Disinfection</b>			27	1	Non-food contact surfaces equipment / utensils clean		
08	1	Filling hoses, caps, connections, procedures; Sample records, valves; System construction, maintenance			28	2	Equipment / utensil / linen / single / service storage handling dispensing ; Cleaning frequency		
<b>SWIMMING POOLS, SPAS</b>					<b>TOILET AND HANDWASHING FACILITIES</b>				
09	3	<b>Swimming pools / spas halogen residuals</b>			29	3	<b>Facilities convenient, accessible, design, installation</b>		
10	1	Swimming pools / spas maintenance, safety equipment			30	1	Hand cleanser, sanitary towels, waste receptacles. Handwashing signs; Maintenance		
<b>FOOD SAFETY</b>					<b>TOXIC SUBSTANCES</b>				
<b>PERSONNEL</b>					31	5	<b>Toxic Items</b>		
11	5	<b>Food handlers infections, communicable diseases</b>			<b>FACILITIES</b>				
12	4	<b>Hands washed; Hygienic practices</b>			32	1	Solid waste containers		
13	3	<b>Management, knowledge, monitoring</b>			33	1	Decks / bulkheads / deckheads		
14	1	Outer clothing clean; Jewelry, hair, hand sanitizers			34	1	Plumbing fixtures / supply lines / drain lines / drains		
<b>FOOD</b>					35	2	Liquid waste disposal		
15	5	<b>Food source, sound condition; Food re-service</b>			36	1	Lighting		
16	5	<b>Potentially hazardous food temperatures</b>			37	1	Rooms / equipment venting		
17	2	Temperature practices; Thawing			38	1	Unnecessary articles, cleaning equipment; Unauthorized personnel		
18	3	<b>Cross-contamination</b>			<b>ENVIRONMENTAL HEALTH</b>				
19	2	Food protection; Original containers; labeling; In-use food dispensing, preparation utensils			39	3	<b>IPM program effective; Approved pesticide application</b>		
<b>MEDICAL LOG REVIEW</b>					40	1	IPM procedures; Outer openings protection		
Cruise – Start / End / Port / PAX / ILL / CREW / ILL					41	2	Housekeeping; Child-Activity Centers		
1. 2. 3. 4. 5.					Comments:				

Annexes

189

Rys. 8. Raport kontroli sanitarnej statku według CDC (4).



**VESSEL SANITATION INSPECTION REPORT**

Vessel Name		Inspection Date		Port		Results Presented to		Score:
Cruise Line		No. Pax.	No. Crew	Inspection Type		Inspected by		

Item No. / Point Value / Description <b>Bold = Critical Item</b>		
<b>DISEASE REPORTING</b>		
01	4	<b>Disease reporting</b>
02	1	Medical logs maintenance
<b>POTABLE WATER</b>		
03	5	<b>Bunker / production source; Halogen residual</b>
04	5	<b>Distribution system halogen residual</b>
05	5	<b>Distribution system halogen analyzer calibrated</b>
06	2	Halogen analyzer chart recorder maintenance, operation, records; Micro sampling, records
07	3	<b>System protection cross-connections, backflow; Disinfection</b>
08	1	Filling hoses, caps, connections, procedures; Sample records, valves; System construction, maintenance
<b>SWIMMING POOLS, SPAS</b>		
09	3	<b>Swimming pools / spas halogen residuals</b>
10	1	Swimming pools / spas maintenance, safety equipment
<b>FOOD SAFETY</b>		
<b>PERSONNEL</b>		
11	5	<b>Food handlers infections, communicable diseases</b>
12	4	<b>Hands washed; Hygienic practices</b>
13	3	<b>Management, knowledge, monitoring</b>
14	1	Outer clothing clean; Jewelry, hair, hand sanitizers
<b>FOOD</b>		
15	5	<b>Food source, sound condition; Food re-service</b>
16	5	<b>Potentially hazardous food temperatures</b>
17	2	Temperature practices; Thawing
18	3	<b>Cross-contamination</b>
19	2	Food protection; Original containers; labeling; In-use food dispensing, preparation utensils
<b>MEDICAL LOG REVIEW</b>		
Cruise – Start / End / Port / PAX / ILL / CREW / ILL		
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Item No. / Point Value / Description <b>Bold = Critical Item</b>		
<b>EQUIPMENT</b>		
20	2	PHF temperature maintenance facilities; Food-contact surfaces; Food TMD's
21	1	Nonfood-contact surfaces; Ambient TMD's
22	2	Warewashing facilities; TMD's; Test kits
23	2	Pre-wash; Wash and rinse solutions
24	3	<b>Sanitizing rinse</b>
25	1	Wiping cloths / chef's towels
26	3	<b>Food-contact surfaces equipment / utensils clean; Safe materials</b>
27	1	Non-food contact surfaces equipment / utensils clean
28	2	Equipment / utensil / linen / single / service storage handling dispensing ; Cleaning frequency
<b>TOILET AND HANDWASHING FACILITIES</b>		
29	3	<b>Facilities convenient, accessible, design, installation</b>
30	1	Hand cleanser, sanitary towels, waste receptacles. Handwashing signs; Maintenance
<b>TOXIC SUBSTANCES</b>		
31	5	<b>Toxic Items</b>
<b>FACILITIES</b>		
32	1	Solid waste containers
33	1	Decks / bulkheads / deckheads
34	1	Plumbing fixtures / supply lines / drain lines / drains
35	2	Liquid waste disposal
36	1	Lighting
37	1	Rooms / equipment venting
38	1	Unnecessary articles, cleaning equipment; Unauthorized personnel
<b>ENVIRONMENTAL HEALTH</b>		
39	3	<b>IPM program effective; Approved pesticide application</b>
40	1	IPM procedures; Outer openings protection
41	2	Housekeeping; Child-Activity Centers
Comments:		

Annexes

189

Fig. 8. Ship sanitation control according to CDC (4).

<b>KONTROLA SANITARNA OKRĘTU RAPORT</b>					
Nazwa okrętu		Data kontroli	Port	Oficer odpowiedzialny	Wynik:
Typ okrętu	W składzie	Liczba personelu	Instytucja kontrolująca	Inspektor	

Lp.	Punkty maksymalne	Opis zaznaczenie = punkty krytyczne	Punkty przyznane
<b>DOKUMENTACJA MEDYCZNA / ZACHOROWANIA NA CHOROBY ZAKAŻNE</b>			
01	4	Raportowanie chorób	
02	1	Jakość dokumentacji medycznej, tryb wypełniania, czytelność, itp.	
<b>WODA PITNA</b>			
03	5	Zbiorniki wody/źródło pochodzenia/poziom halogenu	
04	5	Układ uzdatniania wody, podawanie halogenu	
05	5	Analizator poziomu halogenu, kalibracja	
06	2	Raporty o poziomie halogenu, jakość dokumentacji, inne analizy	
07	3	Układ obiegu wody pitnej, zabezpieczenie, dezynfekcja	
08	1	Zawory, węże, procedury poboru wody, kontrola jakości	
<b>BEZPIECZEŃSTWO ŻYWNOŚCI</b>			
<b>PERSONEL</b>			
09	5	Karty zdrowia personelu pionu żywieniowego	
10	4	Jakość utrzymania czystości personelu	
11	3	Zarządzanie sanitarne, poziom wiedzy personelu zarządzającego	
12	1	Ubiór, zabezpieczenie głowy, ozdoby, itp.	
<b>ŻYWNOŚĆ</b>			
13	5	Pochodzenie żywności, ocena wizualna, wtórny obrót żywności	
14	5	Krytyczne punkty temperatury żywności	
15	2	Rozmrażanie , kontrola temperatury	
16	4	Kontaminacja, punkty krytyczne	
17	2	Zabezpieczenie żywności, pojemniki , butelki, opakowania	

Rys. 9. Kontrola sanitarna okrętu według kryteriów ZMM WIM (proponycja).

SHIP SANITATION CONTROL REPORT					
Vessel name		Inspection date	Port	Authorized officer	Result:
Vessel type	No. Pax.	No. Crew	Inspection type	Inspected by	

No.	Point value	Description Bold = critical points	Accredited points
<b>MEDICAL DOCUMENTATION / INFECTIOUS DISEASES INCIDENCE</b>			
01	4	Disease reporting	
02	1	Medical documentation quality, log maintenance, legibility, etc.	
<b>POTABLE WATER</b>			
03	5	Water tanks / source / halogen residual	
04	5	Water treatment system, halogen distribution	
05	5	Halogen level analyser, calibration	
06	2	Halogen level reports, quality of documentation, other analyses	
07	3	Potable water circulation system, protection, disinfection	
08	1	Caps, hoses, water intake procedures, quality control	
<b>FOOD SAFETY</b>			
<b>PERSONNEL</b>			
09	5	Food handlers' health records	
10	4	Personnel hygiene maintenance	
11	3	Sanitary management, managing personnel's knowledge	
12	1	Clothing, head protection, jewellery, etc.	
<b>FOOD</b>			
13	5	Food source, visual assessment, food re-service	
14	5	Hazardous food temperatures	
15	2	Thawing, temperature control	
16	4	Contamination, critical points	
17	2	Food protection, containers, bottles, packaging	

Fig. 9. Ship sanitation control report according to ZMM WIM criteria (proposal).

Lp.	Punkty maksymalne	Opis zaznaczenie = punkty krytyczne	Punkty przyznane
<b>WYPOSAŻENIE</b>			
18	2	Układ utrzymania temperatury, powierzchnie kontaktu z żywnością, termometry monitorujące żywność	
19	1	Pozostałe powierzchnie, pozostałe termometry	
20	2	Urządzenia myjące i piorące, kontrola temperatury,	
21	2	Płyny i proszki myjące	
22	3	System odkażania i dezynfekcji. Płyny odkażające	
23	1	Ścierki, ręczniki	
24	4	Wszelkie urządzenie do obróbki żywności, rodzaj materiałów, stan czystości	
25	1	Pozostałe urządzenia, stan czystości	
26	2	Urządzenia do czyszczenia i zmywania, procedury utrzymania czystości	
<b>TOALETY, UMYWALKI, INNE URZĄDZENIA</b>			
27	3	Dostępność, budowa, instalacja, sprawność,	
28	1	Czystość, dozowniki odkażające, ręczniki jednorazowe, itp.	
<b>SUBSTANCJE TOKSYCZNE</b>			
29	5	Wszelkie substancje toksyczne, z podziałem na grupy	
<b>INNE URZĄDZENIA</b>			
30	1	Pojemniki na odpady stałe	
31	1	Pokład, przegrody, ścianki,	
32	1	Hydraulika, kanalizacja, linie dostawcze wody, zawory, odstojniki, itp.	
33	2	System utylizacji odpadów ciekłych	
34	1	Oświetlenie	
35	1	Wentylacja	
36	1	Ludzie, sprzęt, lub materiały, których obecność w danej strefie jest zakazana	
<b>KONTROLA ŚRODOWISKA</b>			
37	3	Efektywność deratyzacji, autoryzowane użycie pestycydów	
38	1	Procedury deratyzacji	
39	2	Kontrola klimatyzacji	
40	2	Kontrola natrysków	
41	100	Wartość graniczna 80	
Uwagi:			

Rys. 9 cd. Kontrola sanitarna okrętu według kryteriów ZMM WIM (propozycja).

No.	Point value	Description Bold = critical points	Accredited points
<b>EQUIPMENT</b>			
18	2	Temperature maintenance system, food contact surfaces, food TMDs	
19	1	Non-food contact surfaces, ambient TMDs	
20	2	Ware-washing facilities, temperature control	
21	2	Washing liquids and powders	
22	3	Decontamination and disinfection system. Sanitizing rinse	
23	1	Wiping cloths, towels	
24	4	Any food processing equipment, material type, cleanness level	
25	1	Other equipment, cleanness level	
26	2	Equipment for cleaning and washing, cleanness maintenance procedures	
<b>TOILETS, HANDWASHING FACILITIES, OTHER FACILITIES</b>			
27	3	Availability, design, installation, convenience	
28	1	Cleanness, disinfectant dispensers, sanitary towels, etc.	
<b>TOXIC SUBSTANCES</b>			
29	5	Any toxic substances with group categorization	
<b>OTHER FACILITIES</b>			
30	1	Solid waste containers	
31	1	Deck, bulkheads, deckheads	
32	1	Plumbing fixtures, drain lines, water supply lines, drains, caps, etc.	
33	2	Liquid waste disposal	
34	1	Lighting	
35	1	Ventilation	
36	1	Unauthorized personnel, equipment or materials	
<b>ENVIRONMENTAL CONTROL</b>			
37	3	IPM effectiveness, approved pesticide application	
38	1	IPM procedures	
39	2	Air-conditioning control	
40	2	Spraying control	
41	100	Border value 80	
Comments:			

Fig. 9. cont. Ship sanitation control report according to ZMM WIM criteria (proposal).

## USTALENIE PUNKTÓW KRYTYCZNYCH OKRĘTU PODWODNEGO (OP) W OPARCIU O KRYTERIA HACCP

Z punktu widzenia kontroli sanitarno-epidemiologicznej, okręt podwodny można scharakteryzować jako układ ograniczony przestrzennie, na którym przebywa określona liczba personelu pracując i wypoczywając często w zmieniających się warunkach klimatycznych, wahańach temperatury i wilgotności powietrza.

W czasie rejsu załoga okrętu na bieżąco korzysta z wody słodkiej zgromadzonej w trzech zbiornikach o łącznej pojemności ok. 4,5 -5,0 m<sup>3</sup> oraz zapasów żywności i wody butelkowanej. Załoga używa wody pitnej zgromadzonej w butelkach 1.5 L oraz pojemnikach 5L. 5 m<sup>3</sup> wody słodkiej wystarczy na 15 dniowy rejs przy założeniu 2 kąpeli dla każdego członka załogi. W zanurzeniu temperatura wnętrza OP dochodzi do 40-50°C, przy jednocześnie bardzo dużej wilgotności. Są to warunki sprzyjające rozwojowi pleśni, grzybów oraz innych drobnoustrojów, w tym często chorobotwórczych. Naruszenie na jakimkolwiek etapie parametrów jakościowych wody, żywności i powietrza z reguły będzie związane z możliwością wystąpienia schorzeń żołądkowo-jelitowych oraz zmian w drogach oddechowych i w mięszu płucnym, powstających w wyniku toczącego się przewlekłego procesu obronnego (zapalenie bezobjawowe). Nałożenie się nań ostrego czynnika pod postacią zakażenia lub urazu, prowadzi do nasilonej reakcji zapalnej (7).

W konsekwencji prowadzi to do obniżeniu zdolności operacyjnych okrętu, w wykonania postawionych przed załogą zadań.

Elementami HACCP na OP wymagającymi szczegółowego omówienia jest wykorzystanie wody pitnej na okręcie oraz procedura utrzymania właściwej jakości powietrza.

### WODA PITNA NA OKRĘCIE PODWODNYM

Na rys. 10 przedstawiono schemat obiegu wody pitnej na okręcie podwodnym klasy „Kobben”

Na okrętach podwodnych nie przewiduje się instalacji aktywnego chlorowania wody pitnej. Proponujemy , używać przenośnego urządzenia do chlorowania wody pobieranej z ujęcia portowego utrzymując końcowe stężenie aktywnego chloru na poziomie 0,2 ppm.

Należy rozważyć możliwość zainstalowania na OP urządzenia do aktywnej dekontaminacji wodny pitnej metodą Cu/Ag (8). W połączeniu z użyciem przepływowej lampy UV jest to jedyna metoda gwarantująca wysoką zdolność biobójczą oraz niezawodność wymaganą na okrętach podwodnych.

### JAKOŚĆ POWIETRZA NA OKRĘCIE PODWODNYM

Każda wizyta na OP pozwala zapoznać się ze specyficznym, „nieświeżym” powietrzem. Na tak małej jednostce, jaką jest OP klasy *Kobben* wentylacja i klimatyzacja jest swoistym wyzwaniem technicznym. Uzdatnione powietrze (usunięte niepożądane zapachy, drobnoustroje) powinno stanowić ok. 25% cyrkulującego powietrza. W praktyce ta sytuacja nie występuje na jednostkach tej klasy. Nieczyste powietrze stanowi realne zagrożenie dla załogi. Nawet drobne nieszczelności w układzie gromadzenia i usuwania odpadów powodują przedostanie się do cyrkulującego powietrza wirusów, bakterii, metanu oraz siarkowodoru tworząc ów specyficzny nieświeży odór OP.

#### **DETERMINATION OF CRITICAL POINTS FOR SUBMARINES BASED ON HACCP CRITERIA**

From the point of view of sanitary-epidemiological inspection a submarine may be characterised as an enclosed system with a specified number of personnel working and resting in frequently changing climatic conditions, temperatures and air humidity values.

During a cruise the crew uses fresh water collected in three tanks with the total volume of ca. 4.5 -5.0 m<sup>3</sup>, as well as food reserves and bottled water. The crew uses potable water collected in bottles of 1.5 L and containers of 5 L. 5 m<sup>3</sup> of fresh water is sufficient for a 15-day cruise assuming 2 showers for each crew member. After submersion the temperature inside a submarine reaches 40-50°C which is accompanied by very high humidity values. Such conditions are favourable to the growth of mould, fungi and other microorganisms, often including pathogenic ones. Any violation of water, food and air quality parameters means the possibility of occurrence of gastric disorders and alterations in respiratory tract and pulmonary parenchyma resulting from a chronic defence process (asymptomatic infection). The concurrence of a severe factor in the form of an infection or trauma leads to an escalated inflammatory reaction (7).

This in consequence results to diminished operational capabilities of the crew in relation to tasks imposed on them.

The HACCP elements requiring detailed discussion including the use of potable water on a submarine and the procedure for the maintenance of proper air quality.

#### **POTABLE WATER ON A SUBMARINE**

Fig. 10 presents the potable water circulation scheme on a 'Kobben' class submarine.

Submarine constructions are not adjusted for the installation of a fresh water active chlorination system. We propose the use of a portable device for chlorinating water supplied from port intakes, maintaining the final active chlorine concentration level of 0.2 ppm.

Also, the possibility of installation of an active fresh water decontamination device with the Cu/Ag method should be considered. (8) Combined with the use of a UV lamp this is the only method guaranteeing high biocidal capacity and reliability required for submarines.

#### **AIR QUALITY ON A SUBMARINE**

Each visit on a submarine allows one to experience the characteristic 'unfresh' air. On such a small vessel as a 'Kobben' class submarine ventilation and air-conditioning constitute a particular technical challenge. Conditioned air (with the removed undesired odour and microorganisms) should constitute ca. 25% of the air in circulation. In practice this situation is not typical for vessels of this class. Unclean air poses a real hazard for the crew. Even slight leaks in the waste collection and disposal system cause the air in circulation to be invaded with viruses, bacteria, methane and hydrogen sulphide evoking the characteristic stench on a submarine.

**Mould** – mould spores are to be found everywhere. Limited air movement, humidity and numerous nourishment sources makes a submarine an ideal environment for mould growth. Nourishment sources include leather, paper, fabrics and in particular, wool. Thus, it comes as no surprise that after a 10-15-day cruise in submersion clothing, bed linens and other textiles may be covered in mould.

**Pleśń** – przetrwalniki pleśni są wszędzie. Ograniczony ruch powietrza, wilgotność oraz liczne źródła pożywienia czyni z OP idealne środowisko do rozwoju pleśni. Źródłem pożywienia są skóra, papier, tkaniny w tym szczególnie wełna. Nie jest więc zaskoczeniem, że po 10-15 dniach rejsu, często w warunkach zanurzenia, odzież, pościel oraz inne artykuły tekstylne mogą być pokryte pleśnią.

**Lotne związki organiczne ( volatile organic compounds, VOC's )** – źródła ich emisji to silniki dieslowskie, oleje, elementy plastikowe wyposażenia, itp.

**Listeria monocytogenes**- ten unikalny szczep bakterii może żyć w w bardzo zimnej atmosferze i jest często znajdowana w osuszaczach, wytwornicach lodu i lodówkach, jak również w syfonach natrysków i łazienek.

**Norwalk wirus** – najczęstsze źródło zarażenia z objawami żołądkowo-jelitowymi. Brudne ręce, zanieczyszczona powierzchnia jest najbardziej prawdopodobnym miejscem kontaktu z tym wirusem.

**Bakterie gronkowca**- jest wiele szczepów gronkowca, przy czym największe znaczenie ma gronkowiec złocisty (*Staphylococcus pyogenes var.aureus*). Chorobotwórcze gronkowce spotyka się na skórze i w jamie nosowo-gardłowej 30-40% zdrowych ludzi. Wrotami zakażenia jest przede wszystkim skóra i błony śluzowe.

Najbardziej drastyczny efekt spotkania paciorkowców typu A (nazywanych także flesh-eating bacteria) z organizmem człowieka, mianowicie *nekrotyczne zapalenie powięzi* (Fasciitis necrotisans), jest stosunkowo rzadko występującym zapaleniem tkanki podskórnej o mieszanej etiologii bakteryjnej, obejmującym powięź oraz otaczające tkanki. Martwica tkanek powstaje na skutek niedokrwienia wywołanego zakrzepicą naczyń podskórnych. Infekcja na ogół rozwija się u osób z zaburzeniami odporności powstałymi na różnym tle. Z uwagi na gwałtowny przebieg zakażenia, choroba często kończy się zgonem. Wczesne rozpoznanie, natychmiastowa interwencja chirurgiczna oraz zastosowanie antybiotykoterapii ma decydujący wpływ na rokowanie

Wszystkie, przedstawione powyżej zagrożenia mikrobiologiczne mogą być ograniczone lub wyeliminowane poprzez wprowadzenie odpowiednich procedur podwyższenia jakości powietrza na okręcie podwodnym.

Proponowane procedury to:

- aktywne utlenianie zanieczyszczeń powietrza, np. poprzez zamontowanie urządzeń firmy RGF (advanced oxidation technology) (9),
- przeprowadzanie, po każdorazowym rejsie okrętu podwodnego pełnego odkażania metodą VHP (mobilny system odkażania firmy Steris) (10).

**Volatile organic compounds, VOCs** – sources of their emission include diesel engines, oils, plastic furnishing elements, etc.

**Listeria monocytogenes**- this unique bacteria strain may survive in a very cold atmosphere and is often found in dehumidifiers, ice generators and refrigerators, as well as U-bends in showers and washbasins.

**Norwalk virus** – the most common source of infection with gastric symptoms. The most probable contact areas with the virus are dirty hands and contaminated surfaces.

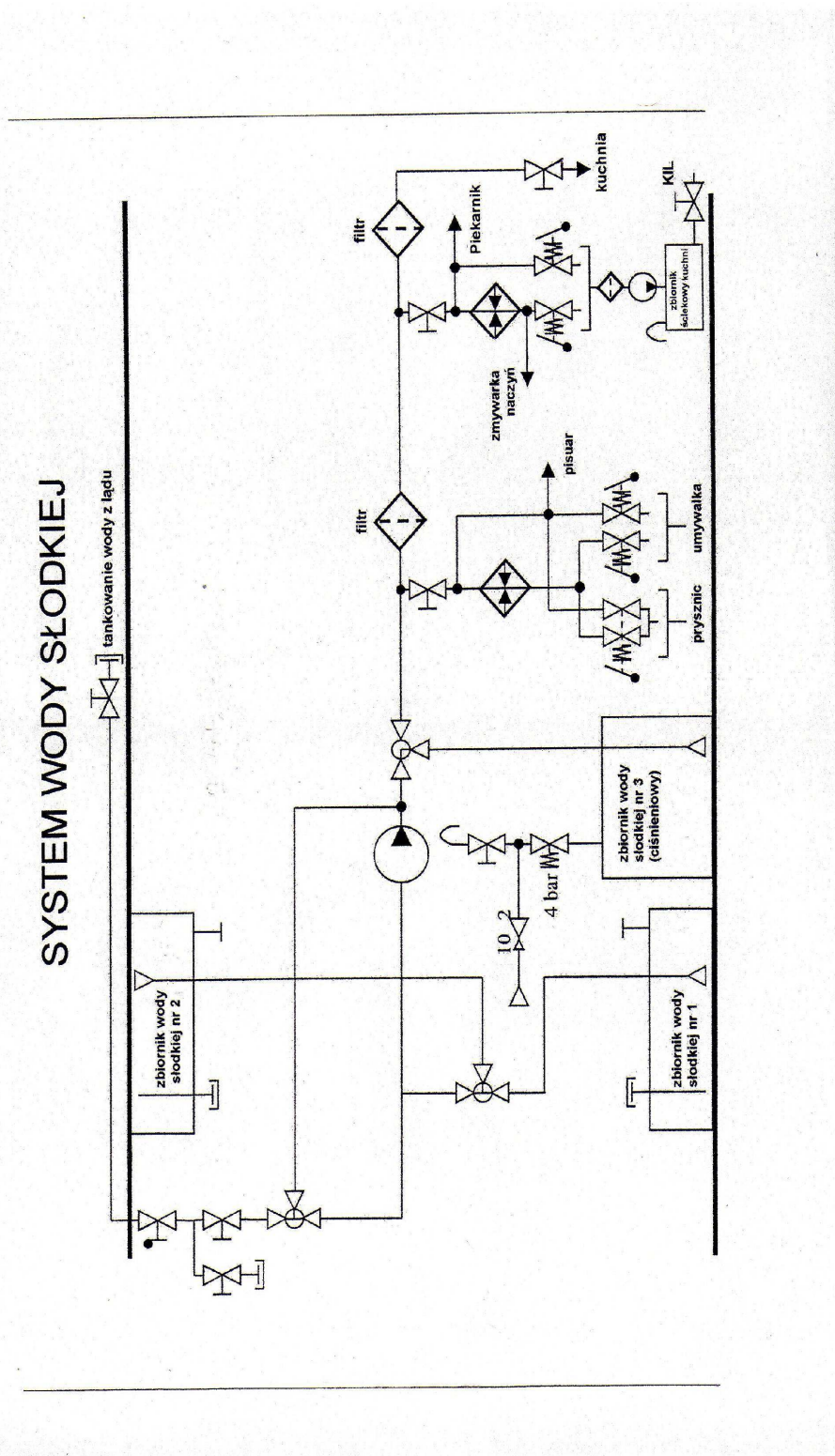
**Staphylococcus bacteria**- there are many staphylococcus strains, however the most important one is staphylococcus aureus (*Staphylococcus pyogenes var.aureus*). Pathogenic staphylococcus may be found on the skin and in the nasopharynx of 30-40% of healthy people. The door leading towards an infection is most commonly the skin and mucous membranes.

The most drastic affect of an encounter with type A streptococcus (also referred to as flesh-eating bacteria) with a human organism, namely the necrotizing fasciitis (Fasciitis necrotisans), constitutes a relatively rare infection of subcutaneous tissues with polymicrobial etiology, affecting fascia and the surrounding tissues. Tissue necrosis is a result of ischemia invoked by the thrombosis of subcutaneous tissues. The infection usually develops in people with immunological disorders resulting from various factors. Due to its rapid development the infection often results in a patient's death. Early detection and immediate surgical intervention accompanied by antibiotic therapy has a decisive impact on medical prognosis.

All of the above microbiological hazards may be limited or completely eliminated through the implementation of proper procedures aimed at the improvement of air quality on a submarine.

The proposed procedures include:

- active oxidization of air pollutants, for instance, by the installation of devices produced by the RGF company (advanced oxidation technology) (9),
- carrying out full decontamination with the VHP method after each cruise (mobile decontamination system by Steris company) (10).



Rys. 10. Schemat instalacji wody pitnej na okręcie podwodnym klasy „Kobben”.

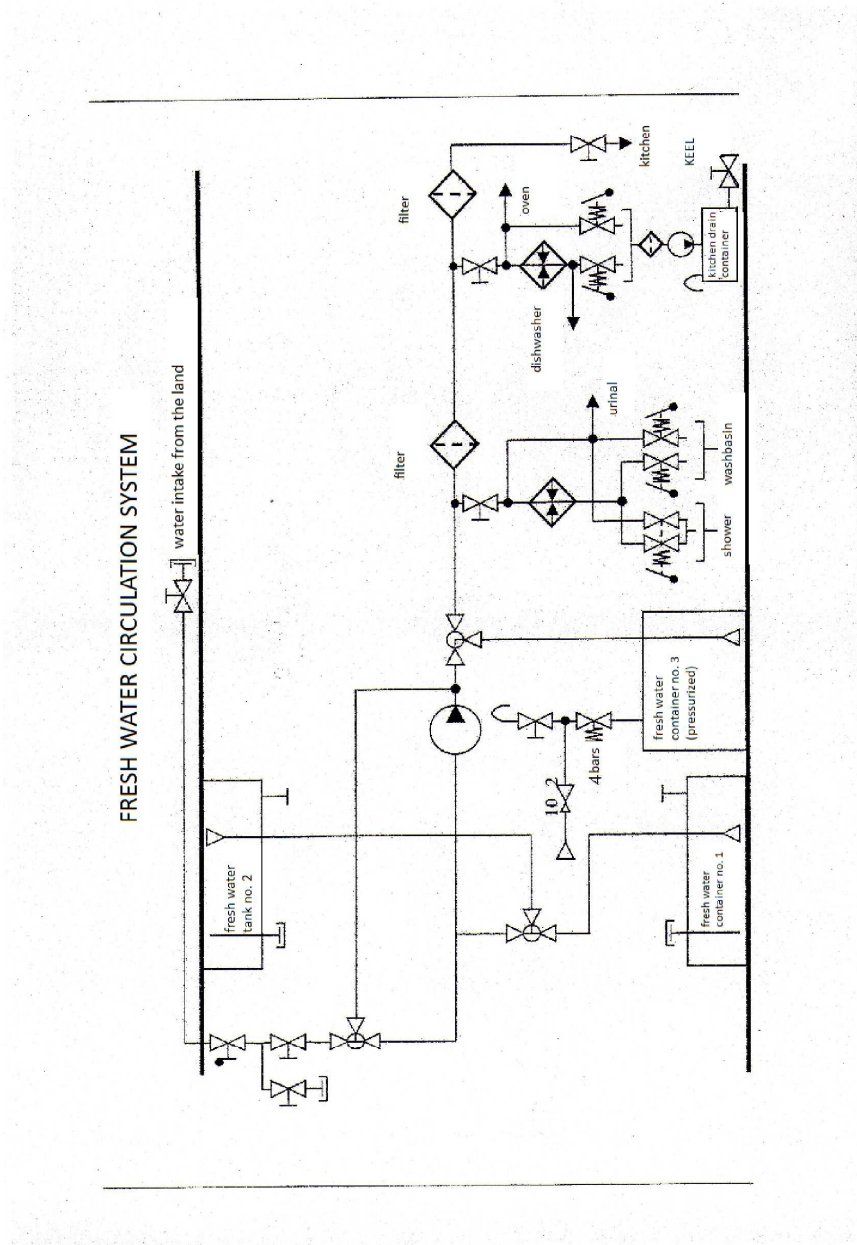


Fig. 10. Fresh water installation system on a 'Kobben' class submarine.

### CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU HACCP NA OKRĘCIE PODWODNYM TYPU „KOBHEN”

Okręty klasy „Kobben” są konstrukcji jednokadłubowej. Z uwagi na niewielkie rozmiary zdecydowano się na konstrukcję jednoprzediałową - bez podziału na przedziały wodoszczelne. W części dziobowej znajdują się miejsca do spania dla oficerów i podoficerów oraz 8 wyrzutni torped. W części centralnej są stanowiska sterowania okrętem, dowodzenia i kierowania jego walką. Nad nią zabudowany jest kiosk z odkrytym mostkiem. W części rufowej znajdują się mechanizmy napędowe i maszynownia oraz miejsca do spania dla marynarzy wraz z ubikacją, umywalnią i kuchnią. Główne zbiorniki balastowe znajdują się na dziobie i rufie. Stery głębokości znajdują się na kadłubie na dziobie, w jego podwodnej części (11).



**Wyporność nawodna: 430 ton**

**Wyporność podwodna: 459 ton**

**Długość: 47,2 m**

**Szerokość: 4,7 m**

**Prędkość na powierzchni: 12 w**

**Prędkość w zanurzeniu: 18 w**

**Zasięg: 5000 mil morskich**

**Napęd: 2 silniki Diesla po 600 KM**

**1 silnik elektryczny 1800 KM**

**Maksymalna głębokość zanurzenia: 200 m**

**Załoga: 26 osób**

**Konstrukcja  
jednoprzediałowa.**

Rys. 11. Charakterystyka OP typu Kobben.

Tworząc propozycje systemu HACCP na okręcie podwodnym klasy „Kobben” – elektroniczna karta epidemiologiczna okrętu - autorzy artykułu opierali się na zaleceniach sformułowanych w systemie VSP (4) oraz IHR 2005 (1,2).

Zaproponowano przyjęcie schematu analizy zagrożeń i wytypowania punktów kontrolnych na okręcie podwodnym w oparciu w koncepcje VSP. Schemat kontroli przedstawiono szczegółowo na rys. 12.

### THE HACCP SYSTEM ON A 'KOBLEN' CLASS SUBMARINE

'Koblen' class vessels are characterised by a monohull construction. Due to the small dimensions it was decided to apply a unicompartmental construction – without the division into watertight bulkheads. The bow part comprises the sleeping compartment for officers and petty officers as well as 8 torpedo launchers. The central part includes the vessel's control stations, a command station and a combat control station. Above it there is a conning tower with an uncovered bridge. In the stern part there are drive mechanisms and the engine room as well as sleeping spaces for the seamen together with the lavatory, washroom and kitchen. The main ballast tanks are placed on the bow and the stern. Depth rudders are located in the submerged portion of the stern and the bow. (11)



**Displacement (surfaced): 430 tons**

**Displacement (submerged): 459 tons**

**Length: 47.2 m**

**Beam: 4.7 m**

**Speed (surfaced): 12 kn**

**Speed (submerged): 18 kn**

**Range: 5000 nmi**

**Propulsion: 2 Diesel engines of 600 HP, 1 electric motor of 1800 HP**

**Maximum submersion: 200 m**

**Crew: 26 people**

**Unicompartmental construction**

Fig. 11. 'Koblen' class submarine description.

When preparing the proposals for the HACCP system for the 'Koblen' class submarine –“an electronic epidemiology register” – the authors of the project based on the recommendations formulated in the VSP system (4) as well as in IHR 2005 (1,2). It was proposed to adopt the scheme of hazard analysis and designation of control points regarding the submarine based on VSP concepts. A detailed control scheme has been presented in fig. 12.

<b>KONTROLA SANITARNA OKRĘTU PODWODNEGO RAPORT</b>					
Nazwa okrętu		Data kontroli	Port	Oficer odpowiedzialny	Wynik:
Typ okrętu	W składzie	Liczba personelu	Instytucja kontrolująca	Inspektor	

Lp.	Punkty maksymalne	Opis zaznaczenie = punkty krytyczne	Punkty przyznane
<b>DOKUMENTACJA MEDYCZNA / ZACHOROWANIA NA CHOROBY ZAKAŹNE</b>			
01	4	Raportowanie chorób	
02	1	Jakość dokumentacji medycznej, tryb wypełniania, czytelność, itp.	
<b>WODA PITNA</b>			
03	3	Zbiorniki wody /źródło pochodzenia/poziom halogenu	
04	2	Układ obiegu wody pitnej, zabezpieczenie, dezynfekcja	
05	1	Zawory, węże, procedury poboru wody, kontrola jakości	
<b>BEZPIECZEŃSTWO ŻYWNOŚCI</b>			
<b>PERSONEL</b>			
06	3	Karty zdrowia personelu pionu żywieniowego	
07	2	Jakość utrzymania czystości personelu	
08	1	Zarządzanie sanitarne, poziom wiedzy personelu zarządzającego	
09	1	Ubiór, zabezpieczenie głowy,	
<b>ŻYWNOŚĆ</b>			
10	3	Pochodzenie żywności, ocena wizualna, wtórny obrót żywności	
11	3	Krytyczne punkty temperatury żywności	
12	2	Rozmrażanie, kontrola temperatury	
13	2	Kontaminacja, punkty krytyczne	
14	2	Zabezpieczenie żywności, pojemniki, butelki, opakowania	

Rys. 12. Kontrola sanitarna okrętu podwodnego według kryteriów ZMMiH (propozycja).

<b>SUBMARINE SANITATION CONTROL REPORT</b>					
Vessel name		Inspection date	Port	Authorized officer	Result:
Vessel type	No. Pax.	No. Crew	Inspection type	Inspected by	

No.	Point value	Description bold = critical points	Accredited points
<b>MEDICAL DOCUMENTATION / INFECTIOUS DISEASES INCIDENCE</b>			
01	4	Disease reporting	
02	1	Medical documentation quality, log maintenance, legibility, etc.	
<b>POTABLE WATER</b>			
03	3	Water tanks / source / halogen residual	
04	2	Potable water circulation system, protection, disinfection	
05	1	Caps, hoses, water intake procedures, quality control	
<b>FOOD SAFETY</b>			
<b>PERSONNEL</b>			
06	3	Food handlers' health records	
07	2	Personnel hygiene maintenance	
08	1	Sanitary management, managing personnel's knowledge	
09	1	Clothing, head protection, jewellery, etc.	
<b>FOOD</b>			
10	3	Food source, visual assessment, food re-service	
11	3	Hazardous food temperatures	
12	2	Thawing, temperature control	
13	2	Contamination, critical points	
14	2	Food protection, containers, bottles, packaging	

Fig. 12. Sanitation control of a submarine according to ZMMiH criteria (proposal).

Lp.	Punkty maksymalne	Opis zaznaczenie = punkty krytyczne	Punkty przyznane
<b>WYPOSAŻENIE</b>			
15	2	Układ utrzymania temperatury, powierzchnie kontaktu z żywnością, termometry monitorujące żywność	
16	1	Pozostałe powierzchnie, pozostałe termometry	
17	2	Urządzenia myjące i piorące, kontrola temperatury,	
18	2	Płyny i proszki myjące	
19	3	System odkażania i dezynfekcji. Płyny odkażające	
20	1	Ścierki, ręczniki	
21	4	Wszelkie urządzenie do obróbki żywności, rodzaj materiałów, stan czystości	
22	1	Pozostałe urządzenia, stan czystości	
22	2	Urządzenia do czyszczenia i zmywania, procedury utrzymania czystości	
<b>TOALETY, UMYWALKI, INNE URZĄDZENIA</b>			
23	3	Dostępność, budowa, instalacja, sprawność,	
24	1	Czystość, dozowniki odkażające, ręczniki jednorazowe, itp.	
<b>SUBSTANCJE TOKSYCZNE</b>			
25	5	Wszelkie substancje toksyczne, z podziałem na grupy	
<b>INNE URZĄDZENIA</b>			
26	1	Pojemniki na odpady stałe	
27	1	Pokład, przegrody, ścianki,	
28	1	Hydraulika, kanalizacja, linie dostawcze wody, zawory, odstojniki, itp.	
29	2	System utylizacji odpadów ciekłych	
30	1	Oświetlenie	
31	1	Wentylacja	
32	1	Ludzie, sprzęt, lub materiały, których obecność w danej strefie jest zakazana	
<b>KONTROLA ŚRODOWISKA</b>			
33	2	Efektywność deratyzacji, autoryzowane użycie pestycydów	
39	1	Procedury deratyzacji	
40	1	Kontrola klimatyzacji	
41	1	Kontrola natrysków	
42	70	Graniczna wartość 60	
Uwagi:			

Rys. 12 cd. Kontrola sanitarna okrętu podwodnego według kryteriów ZMMiH (propozycja).

No.	Point value	Description bold = critical points	Accredited points
<b>EQUIPMENT</b>			
15	2	Temperature maintenance system, food contact surfaces, food TMDs	
16	1	Non-food contact surfaces, ambient TMDs	
17	2	Ware-washing facilities, temperature control	
18	2	Washing liquids and powders	
19	3	Decontamination and disinfection system. Sanitizing rinse	
20	1	Wiping cloths, towels	
21	4	Any food processing equipment, material type, cleanness level	
22	1	Other equipment, cleanness level	
22	2	Equipment for cleaning and washing, cleanness maintenance procedures	
<b>TOILETS, HANDWASHING FACILITIES, OTHER FACILITIES</b>			
23	3	Availability, design, installation, convenience	
24	1	Cleanness, disinfectant dispensers, sanitary towels, etc.	
<b>TOXIC SUBSTANCES</b>			
25	5	Any toxic substances with group categorization	
<b>OTHER FACILITIES</b>			
26	1	Solid waste containers	
27	1	Deck, bulkheads, deckheads	
28	1	Plumbing fixtures, drain lines, water supply lines, drains, caps, etc.	
29	2	Liquid waste disposal	
30	1	Lighting	
31	1	Ventilation	
32	1	Unauthorized personnel, equipment or materials	
<b>ENVIRONMENTAL CONTROL</b>			
33	2	IPM effectiveness, approved pesticide application	
39	1	IPM procedures	
40	1	Air-conditioning control	
41	1	Spraying control	
42	70	Border value 60	
Comments:			

Fig. 12 cont. Sanitation control of a submarine according to ZMMiH criteria (proposal).

#### LITERATURA / BIBLIOGRAPHY

World Health Organization, Meeting of the informal Transportation Working group to develop guidance for implementation of IHR(2005) at points of entry. Hosted by the

1. International Civil Aviation Organization (ICAO) Montreal, Canada, Geneva, 1 June 2006;
2. World Health Organization, 2nd Meeting of the informal Transportation Working Group to develop guidance for implementation of IHR(2005) at points of entry. British Columbia Institute of Technology, Vancouver, Canada, 29 Nov. - 1 Dec. 2006 Geneva, 3 January 2007;
3. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 „w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi”. Dz.U. Nr 61 poz.417;
4. Vessel Sanitation Program. Operations Manual. U.S. Public Health Service Centers for Disease Control and Prevention. National Center for Environmental Health August 2005;
5. Naval ships' technical manual S9086-SE-STM-010/CH-533R3. Chapter 533 Potable water systems .15.03.1995;
6. Norma obronna NO-07-A38, decyzja Nr 29/MON z dnia 10.02.2003;
7. Thomson AB: Intraluminal airway inflammation in chronic bronchitis. Am.Rev.Respir.Dis.1989,140,1527;
8. R. Gehr, Investigation of silver electrochemistry water disinfection applications. McGill University, April 13,2005;
9. RGF ,Environmental Group Inc.: www.rgfcom;
10. VHP: www.vhp.pl;
11. Wojciech Zawadzki: *Okręty podwodne Typu 207*, Nowa technika Wojskowa, 7/2002.

### **АНАЛИЗ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА И КОНТРОЛЬ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК ДЛЯ КОРАБЛЕЙ ВМФ**

*Польша, как член Государственного ВОЗ обязано выполнять требования правил, установленных ВОЗ в 2005 году в документе под названием ММСП 2005 (International Health Regulation 2005 год). Осуществление процедур Анализ Риска и Контроль Критических Точек (Hazard Analysis and Crytical Control Points, HACCP) на кораблях и судах Национального Военно-Морского Флота является первым шагом на пути к осуществлению процедур в соответствии с ММСП 2005 года.*

**Ключевые слова:** Эпидемиологический развед, HACCP, военные корабли.

**Agnieszka Pedrycz, Piotr Siermontowski, Grzegorz Lonc,  
Małgorzata Tomasiak**

**dr hab. med. Agnieszka Pedrycz**  
Katedra i Zakład Histologii i Embriologii  
z Pracownią Cytologii Doświadczalnej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie.  
ul. Radziwiłłowska 11 20-080, Lublin  
e-mail: apw4@wp.pl

**dr med. Piotr Siermontowski**  
Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej  
Wojskowy Instytut Medyczny  
ul. Grudzińskiego 4 81-103 Gdynia 3 skr. poczt. 18  
tel./fax. 58/6264109 tel./fax. MON 264109,  
e-mail: nurdok@tlen.pl

**dr wet. Grzegorz Lonc**  
Katedra Anatomii i Histologii Zwierząt  
Wydział Medycyny Weterynaryjnej  
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
Ul. Akademicka 12, 20-950 Lublin

**Małgorzata Tomasiak**  
Uniwersytet Medyczny w Lublinie.  
al. Raławickie 1, 20-080, Lublin

**ZEWNĘTRZNA DROGA INDUKCJI SYGNAŁU DO APOPTOZY -  
RECEPTORY ŚMIERCI**

*Apoptoza jest to ściśle regulowany, naturalny proces zaprogramowanej śmierci komórek w organizmie wielokomórkowym. Dzięki niemu z organizmu usuwane są zużyte lub uszkodzone komórki. Istnieją dwa podstawowe tory indukcji sygnału do apoptozy zewnętrzny i wewnętrzny. Droga zewnętrzna, której poświęcona jest niniejsza praca - jest to szlak indukowany przez czynniki zewnętrzne pobudzające błonowe receptory, posiadające wewnątrzkomórkową domenę zwaną domeną śmierci (death domain) lub też atakiem limfocytów T cytotoksycznych. Możliwe jest też zainicjowanie apoptozy przez połączenie białek błonowych Fas i FasL w obrębie tej samej komórki*

*W pracy przeanalizowano cechy charakterystyczne niektórych receptorów błonowych, zwanych receptorami śmierci, pobudzanych w przebiegu zewnętrznego toru indukcji sygnału do apoptozy. Receptory, które wzięto pod uwagę to: TNFR-1, CD95/TRAIL-R1, TRAIL-R2, NGFR.*

**Słowa kluczowe:** receptory śmierci, apoptoza.

Apoptoza (z greckiego *apoptosis* - w tłumaczeniu dosłownym opadanie liści) jest to ściśle regulowany, naturalny proces zaprogramowanej śmierci komórek w organizmie wielokomórkowym. Dzięki niemu z organizmu usuwane są zużyte lub uszkodzone komórki.

Metaforyczny termin apoptoza został wprowadzony w 1972 r. przez Kerr'a i współpracowników, którzy odróżnili wówczas martwicę (*necrosis*) od apoptozy podkreślając, że w obu tych zjawiskach zachodzą różne procesy biochemiczne i morfologiczne. Zamiennie stosowali oni termin „programowana śmierć komórki”. Później jednak część autorów postulowała używanie terminu „programowanej śmierci komórki” w odniesieniu do fizjologicznej śmierci komórek w procesie rozwoju, zaś w odniesieniu do śmierci komórek pod wpływem czynników zewnętrznych terminu apoptoza.

Najczęściej obecnie wyróżnianymi przez autorów typami śmierci komórki są (Lockshin 2004): TYP I apoptoza, TYP II autofagia, TYP III nekroza

Odzwierciedleniem rosnącego zainteresowania badaniami nad apoptozą było przyznanie Nagrody Nobla z fizjologii lub medycyny w roku 2002. Otrzymali ją Sydney Brenner, H. Robert Horvitz i John E Sulston za ich odkrycia z dziedziny genetycznej regulacji organogenezy i zaprogramowanej śmierci komórki.

Istnieją dwa podstawowe tory indukcji sygnału do apoptozy (Bielak-Żmijewska 2003). Droga zewnętrzna - jest to szlak indukowany przez czynniki zewnętrzne pobudzające błonowe receptory, posiadające wewnątrzkomórkową domenę zwaną domeną śmierci (death domain) lub też atakiem limfocytów T cytotoksycznych. Możliwe jest też zainicjowanie apoptozy przez połączenie białek błonowych Fas i FasL w obrębie tej samej komórki (Pedrycz-Wieczorska 2006). Droga wewnętrzna, która może przebiegać z udziałem mitochondriów (droga wewnętrzna mitochondrialna) lub z udziałem siateczki śródplazmatycznej (droga wewnętrzna retikularna).

Apoptoza jest śmiercią zaprogramowaną, kontrolowaną. Jest mechanizmem fizjologicznym służącym do eliminowania pojedynczych uszkodzonych i starych komórek, bez naruszania integralności tkanek i powstawania odczynu zapalnego. Komórka ulegająca apoptozie kurczy się, jej organella zachowują pełną integralność, DNA pocięte przez endonukleazy tworzy charakterystyczną, uporządkowaną drabinę apoptotyczną widoczną podczas elektroforezy DNA na żelu agarozowym. Fragmenty pociętego DNA mają wielkość odpowiadającą odcinkom między sąsiadującymi nukleosomami. Tworzące się ciała apoptotyczne są fagocytowane przez sąsiednie komórki.

Apoptoza odgrywa ważną rolę przez całe życie organizmów. W embriogenezie warunkuje prawidłowy rozwój tkanek i narządów (zanikanie błony pławnej między palcami człowieka, eliminacja limfocytów T rozpoznających własne antygeny). Apoptoza w życiu płodowym sprawuje również kontrolę nad rozwojem m. in. łożyska. Nieodpowiednio nasiloną apoptozą trofoblastu może spowodować patologię ciąży taką jak np. stan przedrzucawkowy (Dash 2003). Podczas życia osobniczego bierze udział w stałym podtrzymywaniu czynności organizmu (utrzymanie stałej liczby komórek w poszczególnych narządach, usuwanie niebezpiecznych komórek tzn. zakażonych wirusami, posiadających uszkodzone DNA, nowotworowych) oraz w procesie starzenia się tkanek.

Proces apoptozy został umownie podzielony na 3 fazy: Fazę decydującą, fazę wykonawczą i fazę degradacji (Chmielewski 2003).

Faza decydująca apoptozy jest odwracalna, liczona od chwili wygenerowania sygnału do apoptozy do uruchomienia kaskady kaspaz. Sygnał może uruchomić bezpośrednio uszkodzenie DNA pod wpływem różnych czynników stresogennych. Może uruchomić również pobudzenie niektórych receptorów błonowych - sygnały zewnętrzne.

Apoptosis (from Greek apoptosis – the literal translation: leaves falling) is a strictly regulated, natural process of programmed cell death in multi-cellular organisms. Via this process, worn-out or damaged cells are removed from the body.

The metaphorical term, apoptosis, was introduced in 1972 by Kerr and colleagues, who then divided necrosis from apoptosis, highlighting that in both these phenomena different biochemical and morphological processes occur. Alternatively, they used the term "programmed cell death." Later, however, some authors proposed the use of the term "programmed cell death" in relation to physiological cell death in the developmental process and in relation to cell death under the influence of external factors the term "apoptosis"

Nowadays, most authors distinguish three types of cell death (Lockshin et al 2004): Type I apoptosis, TYPE II autophagy, TYPE III necrosis.

Reflecting the growing interest on apoptosis in research, the Nobel Prize in Physiology or Medicine in 2002 was given to Sydney Brenner, H. Robert Horvitz and John E. Sulston for their discoveries in the field of genetic regulation of organogenesis and programmed cell death.

There are two basic paths of inducing apoptosis (Bielak-Zmijewska 2003). The external path and the internal path. The external path is induced by external factors stimulating membrane receptors which have the intracellular domain called death domain or cytotoxic lymphocyte T attack. It is also possible to initiate apoptosis by combining two membrane proteins Fas and FasL within the same cell (Pedrycz-Wieczorska 2006). The internal path, takes place with the participation of mitochondria (mitochondrial internal path) or with the participation of endoplasmic reticulum (reticular internal path).

Apoptosis is the programmed, controlled death of cells. A physiological mechanism is used to eliminate single, damaged and old cells without affecting the integrity of tissues and the formation of inflammation. Cells which are liable to apoptosis shrink, whilst their organelles retain full integrity and their DNA, that is cut by the endonuclease, creates a distinctive nit apoptotic ladder that is visible during DNA electrophoresis on the agarose gel. Cleaved DNA fragments have a size corresponding to the segments between adjacent nucleosomes. Apoptotic corpuscles that are formed are phagocytosed by adjacent cells.

Apoptosis plays an important role during the whole life of organisms. In embryogenesis it determines the correct development of tissues and organs (the disappearance of the webs between human fingers, the elimination of T cells that recognise their own antigens). Apoptosis during foetal life takes part in controlling the development of e.g. placenta. Inappropriately severe trophoblast apoptosis may lead to the pregnancy pathology such as preeclampsia (Dash 2003). During the interindividual life it is involved in maintaining constant body functions (a constant number of cells in various organs, the removal of dangerous cancerous cells that are infected with viruses that cause damage to the DNA) and in the tissues' aging process.

The process of apoptosis is conventionally divided into three phases: decisive phase, implementation phase and degradation phase (Chmielewski 2003).

The decisive phase of apoptosis is reversible, it starts with generating a signal and lasts until the beginning of caspase cascade. The signal can directly start the damage of DNA under the influence of different stressors. It can also activate the stimulation of membrane receptors - the output signals.

Jeżeli komórka nie otrzymuje sygnałów życia przestaje pełnić swoją dotychczasową funkcję. Uruchamia ona wówczas swój wewnętrzny program samobójczej śmierci. Czasami komórka taka rozpoznawana jest przez układ immunologiczny organizmu jako obca. Komórki układu immunologicznego stymulują ją z zewnątrz do rozpoczęcia procesu swojej śmierci.

Liczne badania przeprowadzone w ostatnich latach nad procesem apoptozy pozwoliły rozszerzyć wiedzę na temat szlaków przekazywania sygnałów do apoptozy.

Okazało się, iż:

DROGA ZEWNĘTRZNA wiedzie nie tylko przez:

1) pobudzenie błonowych receptorów śmierci, które posiadają wewnątrzkomórkową domenę zwaną DD (domena śmierci – death domain),

lecz także przez:

2) atak limfocytów T cytotoksycznych. Limfocyty te rozpoznają komórki zniszczone lub zainfekowane wirusem, i inicjują apoptozę by uchronić komórkę od przekształcenia nowotworowego lub infekcji wirusowej. Limfocyty T produkują perforynę, granzym B. Perforyna powoduje perforacje błony komórkowej komórki wbudowując się w nią i tworząc duży kanał błonowy, umożliwiając wnikanie do komórki granzymów. Granzym B - enzym proteolityczny aktywuje kaskadę kaspaz. Do komórki równocześnie wnikają z płynu zewnątrzkomórkowego jony  $Ca^{+2}$ . Stąd też obecność zwiększonego stężenia jonów  $Ca^{+2}$  uważa się za sygnał śmierci.

3) połączenie białek błonowych Fas i FasL w obrębie tej samej komórki. Niektóre komórki wchodzące na drogę apoptozy posiadają te obydwie białka błonowe. Połączenie tych białek ze sobą aktywuje kaskadę kaspaz.

W drodze zewnętrznej apoptozy istotną rolę odgrywają błonowe receptory śmierci. Efektem wiązania receptora z ligandem jest aktywacja najczęściej kaspazy 8, rzadziej 10, czy 2. Aktywne formy kaspaz rozpoczynają kaskadę kaspaz.

Do chwili obecnej opisano kilka błonowych receptorów śmierci.

Najważniejsze z nich to:

- *TNFR-1* (tumor necrosis factor receptor 1) wiąże się z TNF alfa, który produkowany jest przez limfocyty T lub aktywne makrofagi w odpowiedzi na infekcję (Schmitz 2000). Wiązanie to powoduje trimeryzację wewnątrzkomórkowych domen śmierci (DD-death domain), co z kolei prowadzi do wiązania wewnątrzkomórkowej cząsteczki adaptorowej i powstania TRADD (TNFR associated death domain). TRADD może powołać TRAF-2 (TNF associated factor 2), co w rezultacie prowadzi do pobudzenia genów pro zapalnych i immunomodulujących. TRADD może również powołać FADD (Fas associated death domain), które trawi prokaspazę 8 i prowadzi tym samym do apoptozy (Depuydt 2005). TNFR-1 może łączyć się również z innym wewnątrzkomórkowym białkiem RAIDD (receptor interacting protein associated ICH-1/CED-3 homologous protein with DD), które przez interakcje z cząstką podobną do efektoru domeny śmierci zwaną CARD (caspase recruitment domain) aktywuje kaspazę 2, co również prowadzi do apoptozy.

- *CD95/Fas/Apo-1*. (CD95-cell death 95) Ligandem dla niego jest C95L (cell death 95 ligand) lub FasL. Jest to trimer, który w połączeniu z receptorem powoduje trimeryzację receptora. Połączenie się części receptora zwanej DD (domeną śmierci) z białkiem adaptorowym FADD (Fas associated death domain) poprzez interakcje pomiędzy homologicznymi domenami śmierci na receptorze i na FADD. Powoduje powstanie kompleksu Fas-FADD. FADD oprócz DD ma również DED (death effector domain), co pozwala pro-kaspazie 8 lub 10 dołączyć się do kompleksu. Pro-kaspaza 8 (*FLICE* - FADD-like IL-1beta converting enzyme) lub 10 łączy się z FADD przez jej własny DED. Kompleks Fas-FADD- pro-kaspaza 8 lub 10 zwany jest DISC (Death Inducing Signaling Complex) (Kischkel 2001). Następuje przejście pro-kaspazy 8 lub 10 odpowiednio w kaspazę 8 lub 10.

If a cell does not receive the signals of life, it ceases to serve its current function. Thus it starts its internal suicide program. Such a cell is sometimes recognized by the immune system as a foreign one. It is stimulated externally to begin the process of its death by the immune cells.

In recent years, numerous studies about the apoptosis process have led to an increased knowledge of the signal transduction pathways leading to apoptosis. It was found that:

EXTERNAL PATHWAY not only lead to:

1) the stimulation of membrane death receptors which have an intracellular domain called DD (death domain),

but also to:

2) cytotoxic T lymphocytes attack. These lymphocytes recognise cells that are infected with a virus or damaged, and they initiate apoptosis to protect the cell from malignant transformation or viral infection. T lymphocytes produce perforin and granzyme B. Perforin causes the cell membrane to perforate by inserting itself into it, creating a large membrane channel, and allowing granzyme penetration into the cell. Granzyme B - proteolytic enzyme activates the caspase cascade. Ca<sup>+2</sup> ions from an extracellular fluid invade the cell simultaneously. Hence the presence of increased concentrations of Ca<sup>+2</sup> is considered as a signal of death.

3) a combination of membrane proteins Fas and FasL within the same cell. Some of the cells when entering the path of apoptosis have both these membrane proteins. The combination of these two proteins activates the caspase cascade.

In the external way of apoptosis an important role is played by membrane death receptors. The effect of ligand-receptor binding is usually the activation of caspase-8, rarely 10 or 2. Active caspase forms start the caspase cascade.

To date, several types of membrane death receptors have been described. The most important are:

- TNFR-1 (tumour necrosis factor receptor 1) combines with TNF-alpha, which is produced by T cells or active macrophages in response to infection (Schmitz 2000). This binding causes trimerization of intracellular death domain (DD, death domain), which in turn leads to binding of intracellular adapter molecules and the formation of TRADD (TNFR-associated death domain). TRADD may arouse TRAF-2 (TNF-associated factor 2), which in turn leads to stimulation of inflammatory and immunomodulatory genes. TRADD can also set up FADD (Fas associated death domain), which digests procaspase 8 and therefore leads to apoptosis (Depuydt et al. 2005).

TNFR-1 can also combine with other intracellular protein - RAIDD (receptor-associated protein interacting protein homologous ICH-1/CED-3 with DD), which by the interaction with the particle-like death effector domain called CARD (Caspase recruitment domain) activates caspase 2, which also leads to apoptosis.

- CD95/Fas/Apo-1. (CD95-cell death 95) The ligand for it is C95L (cell death 95 ligand) or FasL. It is a trimer which in combination with the receptor results in receptor's trimerization. The conjugation of a part of the receptor called DD (death domain) with the adaptor protein FADD (Fas associated death domain) through interactions between the homologous death domains receptor and FADD evokes the complex Fas-FADD. FADD besides DD has also DED (death effector domain) which allows procaspase 8 or 10 to join the complex. Pro-caspase 8 (*FLICE* - FADD-like IL-1beta converting enzyme) or 10 combines with FADD by means of its own DED. The complex of Fas-FADD-pro-caspase 8 or 10 is called DISC (Death Inducing Signalling Complex) (Kischkel 2001). The transition of a pro-caspase 8 or 10 respectively into caspase 8 or 10 begins.

- *TRAIL-R1, TRAIL-R2* (DR4, DR5 – death receptor 4, 5) Ligandem dla tych receptorów jest cytokina TRAIL (TNF-Related Apoptosis Inducing Ligand) (Mroz 2003).
- *NGFR* (nerve growth factor receptor) ligandem dla niego jest NGF alfa.

Faza wykonawcza apoptozy jest nieodwracalna. Istotnym składnikiem tej fazy apoptozy są proteazy cysteinowe z rodziny ICE (interleukin-1-beta-converting enzyme) zwaną rodziną kaspaz (Kilianska 2003). Kaspazy trawią białka w miejscu za resztą asparaginianową. W procesie tym wykorzystują jedną ze swoich reszt cysteinowych (Sulejczak 2000). Stąd pochodzi ich nazwa – kaspazy (cysteine-dependent asparaginian specific proteases) Enzymy te w komórkach występują w formie nieczynnej (proenzymy, zymogeny, pro-kaspazy) i ulegają aktywacji podczas apoptozy. Aktywują one siebie wzajemnie oraz inne enzymy.

Wynikiem ich działania jest:

- Uszkodzenie białek cytoszkieletu, topoizomeraż, kinaz, błony jądrowej, białka PARP (poly ADP-Ribose Polymerase), odpowiedzialnej za naprawę DNA.
- Uszkodzenie enzymów jądrowych,
- Pocięcie DNA między poszczególnymi nukleosomami
- Kaspazy uczestniczą również w aktywacji transglutaminazy i kinaz, (odpowiedzialnych za modyfikacje biochemiczne w błonach komórkowych), przez co ciało apopotyczne posiada zwartą błonę komórkową, co zapobiega wylewaniu się jego zawartości na zewnątrz, a równocześnie rozpoznawane jest przez sąsiednie komórki i przez nie fagocytowane.

Do chwili obecnej odkryto i opisano 14 kaspaz (Izdebska 2005). Podzielono je na: inicjujące, efektorowe i prozapalne.

Indukcja apoptozy przez receptory śmierci prowadzi do aktywacji kaspaz inicjujących (8, czy 10), które zawierają domeny efektorowe śmierci (DED). W odpowiedzi na związanie receptorów śmierci kaspazy inicjujące są aktywowane w wyniku dimeryzacji w wielobiałkowych kompleksach DISC (Pryjma 2004). Kaspaza 8/FLICE/MAC/Mch5 (Fadd-like ICE/Mammalian CED-3 homologue). Aktywowana przez receptory śmierci, aktywuje kaskadę kaspaz ale jest również bezpośrednim aktywatorem kaspazy 3 (Stennicke 2000). Kaspaza 10/FLICE-2/Mch4 (Fadd-like ICE 2/Mammalian CED-3 homologue 4).

Kaspazy efektorowe (3, 6, 7) uczestniczą lub inicjują niszczenie DNA komórkowego, co prowadzi to do zniszczenia komórki.

Wszystkie kaspazy mogą zostać aktywowane również przez granzym B uwalniany przez limfocyty T lub komórki NK (natural killer).

Faza degradacji apoptozy jest to faza, w której dokonuje się apoptoza. Rozpoczyna się ona od niszczenia jądrowego DNA.

Wszelkie szlaki wiodące do fazy degradacji w apoptozie kończą się na kaspazie 3. Do tej pory opisano ok. 60 białek niszczących DNA, które aktywuje kaspaza 3. Są to między innymi DNazy-enzymy trawiące DNA oraz RNazy, enzymy trawiące RNA.

Odkryto dwie nukleazy apopotyczne. Endonukleaza DFF lub CAD (DNA fragmentation factor lub Caspase-activated DNase) Jest to DNaza trawiąca jednocześnie obie nici DNA. Jest ona zależna od jonów wapnia i magnezu. Tnie ona DNA jądrowe pomiędzy nukleosomami na odcinki 180 par zasad (Sulejczak 2000). DFF składa się z dwu elementów, z których DFF40 ma właściwości nukleazy, a DFF45, regulatora nukleazy. Endonukleaza G (EndoG) magazynowana w mitochondriach jest RNazą i DNazą równocześnie, trawiąca tylko jedną nić DNA.

W komórkach apopotycznych nukleazy przemieszczają się do jądra komórkowego, gdzie trawią DNA. Degradacja DNA przebiega w dwu etapach: na duże fragmenty (3000.000-50.000 par zasad), a potem na oligonukleosomy (180-200 par zasad) (Pryjma 2004)].

- TRAIL-R1, TRAIL-R2 (DR4, DR5 – death receptor 4, 5) The ligand of these receptors is a cytokine TRAIL (TNF-Related Apoptosis Inducing Ligand) (Mroz 2003).

- NGFR (nerve growth factor receptor) is a ligand to alpha-NGF.

The executive phase of apoptosis is irreversible. An essential component of this apoptosis phase is the cysteine proteases, a member of caspase ICE family (interleukin-1 beta-converting enzyme) (Kilianska 2003). Caspases digest the protein in situ after the rest of the aspartate. In this process, they use one of its cysteine residues (Sulejczak 2000). Hence comes the name – the caspases (cysteine-dependent asparaginian specific proteases). In cells these enzymes are present in a latent form (proenzyme, zymogene, pro-caspases) and they are activated during apoptosis. They activate each other and other enzymes.

The result of their actions is:

- The damage of cytoskeleton proteins, topoisomerase, kinases, nuclear membrane, protein PARP (poly ADP-Ribose Polymerase), responsible for DNA repair.

- The damage to nuclear enzymes,

- Cutting DNA between nucleosomes,

- Caspases are also involved in the activation of transglutaminase and kinases (responsible for biochemical changes in cell membranes), for this reason, an apoptic body has a compact cell membrane which prevents its contents from pouring outside the cell, and yet it is recognized by neighbouring cells and phagocytosed by them.

Until now 14 caspases have been discovered and described (Izdebska 2005). They were divided into: initiation, effector and proinflammatory.

The induction of apoptosis by death receptors leads to activation of initiator caspases (8 or 10), which contain the death effector domain (DED). In response to the death receptors binding, initiator caspases are activated as a result of multiprotein complexes dimerization DISC (Pryjma 2004). Caspase 8/FLICE/MAC/Mch5 (FADD-like ICE /Mammalian CED-3 homologue), activated by death receptors, activates the caspase cascade, but, moreover, it is also a direct activator of caspase-3 (Stennicke 2000) Caspase 10/FLICE-2/Mch4 (Fadd-like ICE 2/Mammalian CED-3 homologue 4).

Effector caspases (3, 6 and 7) are involved in or initiate cellular DNA damage, which leads to destruction of the cell.

All caspases can also be activated by granzyme B that is released by T cells or NK cells (natural killer).

The apoptosis degradation phase is the phase in which apoptosis takes place. It begins with the destruction of nuclear DNA.

All paths leading to the apoptosis degradation phase end on caspase 3. To date, about 60 proteins that take part in destroying DNA and activate caspase 3 have been described. The proteins included are DNA digesting enzymes and RNase - RNA-digesting enzymes.

Two apoptotic nuclease were discovered. Endonuclease DFF or CAD (DNA fragmentation factor lub Caspase-activated DNase) This is Dnase which digest both DNA strands. It is dependent on calcium and magnesium ions. It cuts DNA between nucleosomes to the nuclear sections of 180 base pairs (Sulejczak 2000). DFF is composed of two elements in which DFF40 has the properties of nuclease and DFF45 has the properties of regulator nucleases. Endonuclease G (EndoG) stored in the mitochondria is at the same time Rnase and Dnase, digesting only one strand of DNA.

In apoptotic cells, nucleases migrate to the nucleus where they digest DNA. DNA degradation proceeds in two stages: firstly, it is degraded into large fragments (3000.000-50.000 base pairs), and then to oligonucleosomes (180-200 base pairs) (Pryjma 2004).

Kaspazy efektorowe niszczą również białka cytoszkieletu m. in. aktynę, co jest powodem charakterystycznych zmian morfologii komórek apoptotycznych (Pryjma 2004).

Zmiany w morfologii komórki apoptotycznej przebiegają w kilku charakterystycznych etapach: Komórka tracąc wodę kurczy się, przez co zmniejsza swoją objętość AVD (apoptotic volume decrease) (Jabłoński 2006). Następnie obserwowane jest pofałdowanie powierzchni komórki związane z nią zmianą struktury błony komórkowej (cząsteczki fosfatydyloseryny dotychczas skierowane do cytoplazmy pojawiają się na powierzchni błony komórkowej). Następnym etapem jest kondensacja i brzeżne ułożenie chromatyny jądra komórkowego – charakterystyczne grudki (chromatyna to kompleks jądrowego DNA i białek) Kondensacja cytoplazmy pociąga za sobą zmiany w organellach komórkowych: poszerzenie i rozpad zbiorników ziarnistej siateczki śródplazmatycznej i aparatu Golgiego, pocięcie DNA dzięki działaniu endonukleaz - rozkład DNA postępuje precyzyjnie na odcinki wielkością odpowiadające odległościom między sąsiadującymi nukleosomami.

Obserwowane wypuklenie się błony komórkowej prowadzi do pączkowania pęcherzyków apoptotycznych (ciałek apoptotycznych) z powierzchni komórki („komórka wrze”). Pęcherzyki te zawierają m. innymi: fragmenty jądra komórkowego, inne organella.

Komórka fragmentuje się na ciała apoptotyczne, które rozpoznawane są przez komórki układu odpornościowego oraz sąsiadujące z nimi inne komórki (Fadok 2000). Pofragmentowane elementy komórki zostają wchłonięte na drodze fagocytozy. Fagocytoza szczątków komórki następuje bez powstania odczynu zapalnego. Apoptotyczna śmierć komórki trwa od kilku do kilkunastu godzin.

Effector caspase also destroys the cytoskeletal proteins, e.g. actin, which is the reason for the characteristic morphological changes of apoptotic cells (Pryjma 2004).

Changes in the morphology of apoptotic cells proceed in several characteristic stages: the cell loses water and shrinks by reducing its AVD volume (apoptotic volume decrease) (Jablonski 2006). Then, the folding of cell surface is observed that is associated with change in the structure of the cell membrane (phosphatidylserine molecules previously directed to cytoplasm appear on the surface of the cell). The next step is the condensation and the marginal position of chromatin nucleus – typical papules (chromatin is a complex of nuclear DNA and proteins). The cytoplasmic condensation involves changes in cell organelles: expansion and collapse of granular endoplasmic reticulum and Golgi apparatus, cutting DNA owing to endonuclease actions - DNA degradation has an exact impact on the segments corresponding to the size of the distances between neighbouring nucleosomes.

The cell membrane folding, that can be observed, leads to budding of apoptotic vesicles (apoptotic bodies) from the cell surface ("the cell is boiling"). These bubbles contain, e.g.: fragments of the nucleus and other organelles.

The cell fragments itself into apoptotic bodies, which are recognized by immune cells and other neighbouring cells (Fadok 2000). The fragmented cell's elements are absorbed through phagocytosis. Phagocytosis of cell fragments occurs without the inflammatory reaction.

Apoptotic cell death takes up to several hours.

#### LITERATURA/BIBLIOGRAPHY

1. Bielak-Żmijewska A.: Mechanizmy oporności komórek nowotworowych na apoptozę. *Kosmos. Problemy nauk biologicznych*. 52: 157-171, 2003;
2. Chmielewski M., Linke K., Zabel M., Szuber L.: Apoptosis in the liver. *Gastroent Pol.* 10: 453-462, 2003;
3. Dash PR., Cartwright JE., Baker PN., Johnstone AP., Whitley GS.: Nitric oxide protects human extravillous trophoblast cells from apoptosis by a cyclic GMP-dependent mechanism and independently of caspase 3 nitrosylation. *Exp Cell Res.* 287: 314-24, 2003;
4. Depuydt B., van Loo G., Vandenaabee P., Declercq W.: Induction of apoptosis by TNF receptor 2 in a t-cell hybridoma is FADD dependent and blocked by caspase-8 inhibitors. *J Cell Sci.* 118: 497-504, 2005;
5. Fadok V., Bratton DM., Rose A., Pearson R., Alan B., Ezekewitz PM., Henson PM.: A receptor for phosphatidylserine – specific clearance of apoptotic cells. *Nature.* 405: 85-90, 2000;
6. Izdebska M., Grzanka A., Ostrowski M.: Rak pęcherza moczowego – molekularne podłoże genety i leczenia. *Kosmos.* 54: 213-220, 2005;
7. Jablonski EM., Hughes FM Jr.: The potential role of Caveolin-1 in Inhibition of Aquaporins during the AVD. *Biol Cell.* 98: 33-42, 2006;
8. Kiliańska ZM., Miskiewicz A.: Kaspazy kregowcow; ich rola w przebiegu apoptozy. *Post Biol Kom.* 30: 129-15, 2003;
9. Kischkel FC., Lawrence DA., Tinel A., Leblanc H., Virmani A., Schow P., Gazdar AI.: Death receptor recruitment of endogenous caspase -10 and apoptosis initiation in the absence of caspase 8. *J Biol Chem.* 276: 46639-46646, 2001;
10. Lockshin RA., Zakeri Z.: Apoptosis autophagy and more. *Int J Biochem Cell Biol.* 36: 2405-19, 2004;
11. Mroz P., Młynarczuk I.: Mechanizmy indukcji apoptozy i zastosowania TRAIL w terapii nowotworów. *Post Biol Kom.* 30: 113-12, 2003;
12. Pedrycz-Wieczorska A. Immunohistochemical, histological and ultrastructural assessment of the effects of l-arginine as a nitric oxide (no) substrate on adriamycin-induced apoptosis in renal tubular epithelial cells and hepatocytes. Habilitation thesis. 2006;
13. Pryjma J.: Monocyty krwi obwodowej – apoptoza po fagocytozie bakterii oraz amiany funkcjonalne w następstwie kontaktu z komórkami apoptotycznymi [www.fnp.org.pl/programy\\_aktualne/jachranka/profPryjma.pdf](http://www.fnp.org.pl/programy_aktualne/jachranka/profPryjma.pdf). 1-19, 2004;
14. Schmitz I., Kirchhoff S., Krammer P.H.: Regulation of death receptor-mediated apoptosis pathways. *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 32: 1123-1136, 2000;
15. Stennicke HR.: Caspases--at the cutting edge of cell death. *Symp Soc Exp Biol.* 52: 13-29, 2000;
16. Sulejczak D.: Apoptosis and methods of identification of this phenomenon. *Post Biol Kom.* 27: 527-568, 2000.

## **DEATH RECEPTORS – EXTRINSIC PATHWAY OF APOPTOSIS**

*Apoptosis is a strictly regulated, natural process of programmed cell death in multicellular organism. Via this process, worn-out or damaged cells are removed from the body. There are two basic paths to signal the induction of apoptosis - external and internal. The external path, which this work is devoted to, is induced by external factors stimulating membrane receptors which have the intracellular domain called death domain or cytotoxic T lymphocyte attack. It is also possible to initiate apoptosis by a combination of membrane proteins Fas and FasL within the same cell.*

*The study analyses the characteristics of some membrane receptors called death receptors, that are stimulated in the course of an external track of induction signal to apoptosis. Receptors taken into account are: TNFR-1, CD95 / TRAIL-R1, TRAIL-R2, NGFR.*

**Keywords:** death receptors, apoptosis.

## **ВНЕШНИЙ ПУТЬ СИГНАЛА К ИНДУКЦИИ АПОПТОЗА - РЕЦЕПТОРОВ СМЕРТИ**

*Апоптоз является строго регламентированным, естественным процессом запрограммированной гибели клеток у многоклеточных организмов. С его помощью удаляются из тела погибшие и поврежденные клетки. Существуют два основных пути индукции сигнала апоптоза- внешний и внутренний.*

*Внешний путь, которому посвящена эта работа - это путь, индуцированный внешним фактором, стимулирующим мембранные рецепторы с внутриклеточного домена, которые называются домен смерти (death domain) или атака цитотоксических Т-лимфоцитов. Кроме того, можно также инициировать апоптоз комбинацией мембранных белков Fas и FasL в той самой клетке.*

*В исследовании были проанализированы свойства некоторых мембранных рецепторов, известных как рецепторы смерти, стимулированных сигналом в процессе индукции внешнего пути к апоптозу. Рецепторы, которые были рассмотрены: TNFR-1, CD95 / TRAIL-R1, R2-TRAIL, NGFR.*

**Ключевые слова:** рецепторы смерти, апоптоз.



**Paweł Różański**

**dr Paweł Różański**

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego  
Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu w Białej Podlaskiej  
21-500 Biała Podlaska ul. Akademicka 2  
Tel. + 83 342 87-62  
e-mail: rozanski13@interia.pl

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie  
Wydziału Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej  
20-718 Lublin, Al. Kraśnicka 2  
Fax (81) 537-68-62

**PRZYGOTOWANIE STUDENTÓW AWF W BIAŁEJ PODLASKIEJ**

**SPECJALNOŚCI WYCHOWANIE FIZYCZNE W SŁUŻBACH MUNDUROWYCH**

**DO DZIAŁAŃ INTERWENCYJNYCH NA MAŁYCH GŁĘBOKOŚCIACH**

*W prezentowanym materiale o charakterze badawczym zamieszczono propozycje wybranych prób sprawnościowych, wdrażanych wśród studentów AWF specjalności: wychowanie fizyczne w służbach mundurowych. Zadania o charakterze prób badawczych realizowano w warunkach podwodnych. Obserwacje dotyczyły cyklicznie prowadzonych od 2010 r. szkoleń studentów Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego Wydziału Wychowania Fizycznego i Sportu w Białej Podlaskiej. Opisywane obserwacje badawcze prowadzono na pływalni krytej AWF w Białej Podlaskiej, w 2011 roku. Miały one charakter rejestracji oraz analiz interwencji ratowniczo-obronnych, prowadzonych pod powierzchnią wody o głębokościach maksymalnych do 2 metrów. Propozycje opisywanych zadań są konsekwencją wdrażanych przez autora publikacji podobnych szkoleń wśród podchorążych Akademii Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte w Gdyni.*

*W opracowaniu zamieszczono opisy prób podwodnych oraz wyniki podejmowanych przez studentów AWF działań. W realizacji badań wykorzystano pomocniczy sprzęt w postaci atrap broni, kajdanek oraz zatapialnej konstrukcji domku. Celem publikacji jest zaprezentowanie wyników przygotowania studentów AWF do interwencji ratowniczo-obronnych pod wodą po odbyciu 3 miesięcznego szkolenia z zakresu pływania użytkowego i ekstremalnego.*

*Opisy zadań wykonywano pod wodą oraz dokonywane pomiary prób przez studentów AWF stanowią główny temat opracowania. W obserwacjach badawczych brało udział 69 osób [56 studentów i 13 studentek AWF specjalności: wychowanie fizyczne w służbach mundurowych] Wydziału Wychowania Fizycznego i Sportu w Białej Podlaskiej. Analizowano wyniki z zakresu umiejętności: przemieszczania się pod wodą z bronią, wykonywania skoków bez kontroli wzroku, nurkowania w warunkach ograniczonej widoczności, techniki pływania pod wodą z ograniczoną pracą ramion.*

*Ponadto nowością dla uczestników badań było nurkowanie w zatopionym domku, penetracja jego wnętrza oraz wydobywanie z dna zatopionego manekina. W dostępnej autorowi literaturze nie stwierdzono podobnych propozycji szkoleń i prób podwodnych, na których można się wzorować. Niniejsza publikacja może stanowić interesujący materiał dla osób zajmującymi się szkoleniami ratowniczymi i obronnymi pod powierzchnią wody.*

**Słowa kluczowe:**  *pływanie użytkowe, ratownictwo wodne, działania ekstremalne pod wodą, interwencje ratownicze.*

## WSTĘP

Środowisko wodne jest miejscem specyficznym rozpatrując je w kategoriach bezpieczeństwa jak również możliwości prowadzenia działań interwencyjnych i ratowniczych. W obliczu coraz częściej pojawiających się zagrożeń od współczesnych formacji ratowniczo-obronnych wymagane jest specjalistyczne przygotowanie do wdrażania działań nie tylko na wodzie, ale również pod jej powierzchnią [1,5,7]. Większość współczesnych szkoleń ratowniczych opiera się o klasyczne programy, które wybiórczo uwzględniają przygotowanie szkoleniowców do interwencji w trudnych warunkach pod powierzchnią wody.

Opisywane w opracowaniu propozycje zadań stanowią domenę wybranych formacji interwencyjnych, co warunkowane jest specyfiką ich służby [2,4,11]. Współczesne, gwałtowne przemiany społeczno-gospodarcze mające miejsce w Polsce wymagają od wszelkich grup interwencyjnych w tym formacji obronnych odpowiedniego przygotowania praktycznego oraz wiedzy z zakresu skuteczności ratowania życia ludzkiego. W Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego, w Wydziale Wychowania Fizycznego i Sportu w Białej Podlaskiej, w 2010 roku powołano specjalność: wychowanie fizyczne w służbach mundurowych.

W pierwszym naborze, w październiku 2010 roku zadeklarowało swój udział w szkoleniu ponad 70 studentów AWF. Wśród planowanych przedmiotów w programie szkolenia pojawił się blok zajęć wodnych ukierunkowany na pływanie użytkowe i ekstremalne. Opisany autorski program realizowany jest w trakcie jednego semestru zajęć dydaktycznych. Zawiera elementy działań ratowniczych i obronnych, a wśród nich także zajęcia prowadzone pod wodą. Program uwzględnia treści szkolenia ukierunkowane na działania ratownicze, nurkowanie oraz interwencje obronne w warunkach ekstremalnych środowiska wodnego.

Projekt powstał na podłożu współpracy z Akademią Marynarki Wojennej w Gdyni oraz zdobytych tam doświadczeń autora [7,8,9]. W publikacji zamieszczono opisy wybranych prób za pomocą, których oceniano stopień przygotowania studentów do prowadzenia interwencji. Do opisów dołączono wyniki osiągnięte przez badanych studentów AWF, uczestników wspomnianej specjalności. Wśród analizowanych wyników brano pod uwagę: umiejętność przemieszczania się pod wodą pływając z bronią, wykonywanie skoków bez kontroli wzroku, nurkowanie w warunkach ograniczonej widoczności, pływanie z wykluczeniem pracy ramion.

Nowością szkoleniową było nurkowanie w zatopionym domku, podejmowanie i realizacja zadań związanych z penetracją jego wnętrza oraz wydobyciem manekina.

## CEL PRACY

Opracowanie ma na celu zaprezentowanie otrzymanych wyników 3 miesięcznego szkolenia studentów AWF - kandydatów do służb mundurowych w zakresie interwencji podwodnych, prowadzonych na małych głębokościach.

## PYTANIA BADAWCZE

1. Jakich wyników można się spodziewać po 3 miesięcznym szkoleniu z zakresu interwencji ratowniczych i obronnych na przykładzie studentów AWF?
2. Które zadania podwodne sprawiały badanym największe problemy ich wykonania?
3. Jakie wyniki interwencji z zakresu analizowanych prób osiągały kobiety i odniesieniu do badanych mężczyzn?

## **INTRODUCTION**

The aquatic environment is a place of unique value in terms of safety measures, but it also provides a venue for lifesaving and intervention activities. In the face of an increasing number of hazards, modern rescue and defensive formations are expected to engage in operations on land as well as underwater [1,5,7]. Most modern lifesaving training is based on traditional training programmes which are selective in the preparation of trainees for intervention in extreme underwater conditions.

The tasks suggested in this study are the domain of chosen intervention formations and are conditioned by the specificity of their service [2,4,11]. In contemporary Poland, where socio-economic changes tend to be violent, all response groups, including defensive formations, are required to have an adequate practical preparation and necessary lifesaving knowledge. In 2010, a new specialisation was called into being at the Faculty of Physical Education and Sport in Białą Podlaska of Józef Piłsudski University of Physical Education - physical education for uniformed services. In October 2010, in the first ever recruitment process, there were over 70 admissions of AWF students. Among the scheduled courses in the curriculum there was a block of aquatic classes whose primary focus was on utility and extreme swimming.

The trademark course herein described is realized within one term of classes. It contains elements of lifesaving and defence, in the underwater environment. The syllabus of the course contains a didactic programme which focuses on lifesaving activities, diving and defensive interventions in extreme aquatic conditions. The project emerged as a fruit of co-operation with the Polish Naval Academy in Gdynia and the author's experience gained there. The publication contains descriptions of selected tests which were used to evaluate the level of students' preparation for the engagement in an intervention.

The descriptions have been appended with the results obtained by the subjects of the study. Among the results analysed was the ability to move about underwater with a weapon, diving in without vision control, diving in the conditions of restricted visibility and swimming underwater with the exclusion of arm movement. The programme was complemented with a novel activity whereby the subjects were expected to penetrate a sunken house and recover a sunken dummy.

## **THE OBJECTIVE**

The objective of the study is to demonstrate the results yielded from three months of training for AWF students - candidates for uniformed services specialising in subaqueous interventions in shallow waters.

Research questions:

1. What results are to be anticipated after a 3 month training course?
2. Which of the underwater tasks posed the most problems to the subjects?
3. How did the test results achieved by women compare with those achieved by men?

## **MATERIAŁ I POPULACJA BADAWCZA**

Obserwacje badawcze prowadzono wśród studentów Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego, Wydziału WF i Sportu w Białej Podlaskiej. Uczestnikami badań byli studenci specjalności: wychowanie fizyczne w służbach mundurowych.

Grupę badawczą uznano za jednorodną pod względem wiekowym [średnia wieku 21,6 lat], posiadającą zbliżone umiejętności pływackie.

Ocenę umiejętności pływania [zgodnie z wymaganiami egzaminacyjnymi na kartę pływacką] przeprowadzono na początkowych zajęciach szkoleniowych. Wszyscy badani studenci ukończyli studia WF I-go stopnia w AWF w Białej Podlaskiej. Nie posiadali uprawnień z zakresu nurkowania swobodnego, natomiast wszyscy uczestniczyli w szkoleniu z zakresu ratownictwa wodnego realizowanego na obozie letnim.

Zajęcia w przedmiocie miały na celu przygotowanie studentów do prowadzenia podstawowych interwencji ratowniczych na wodach otwartych. Badani byli zapoznani z sposobami prowadzenia interwencji ratowniczych w wodzie, zgodnie z poziomem wyszkolenia na stopień Młodszy Ratownik WOPR.

Badani studenci AWF uczestniczyli w prowadzonych obserwacjach podczas drugiego semestru zajęć dydaktycznych, trwających od lutego do czerwca 2011 roku. Ogółem w badaniach uczestniczyło 73 studentów AWF [100%]. W związku z tym, że nie wszystkie osoby w określonym terminie uczestniczyły w badaniach ostatecznie analizie poddano wyniki 69 studentów AWF [94,5% badanej populacji studentów].

W badaniach uwzględniono 13 kobiet [18,8% badanych] i 56 mężczyzn [81,2%]. Obserwacje prowadzono na pływalni krytej AWF w Białej Podlaskiej o długości 25 metrów i maksymalnej głębokości 2 m. Szkolenie, w którym uczestniczyli studenci AWF trwało 13 tygodni zajęć dydaktycznych. Jednostka szkoleniowa trwała 45 minut.

Zajęcia pływackie realizowano dwukrotnie, na początku oraz pod koniec tygodnia. Zajęcia szkoleniowe [50%], dotyczące nauczania interwencji ratowniczych i obronnych realizowano na początku każdego tygodnia. Natomiast pod koniec tygodnia prowadzono sprawdziany z poznanych umiejętności technicznych. Część analizowanych prób dotyczyła interwencji wykonywanych pod powierzchnią wody.

W niniejszym opracowaniu zestawiono wyniki prowadzonych interwencji podwodnych na małych głębokościach. Podczas badań analizowano technikę wykonania zadania, czas trwania próby oraz pokonany pod wodą dystans. Otrzymane wyniki zamieszczano w arkuszach obserwacji zamieszczając osiągnięcia czasowe i uzyskane wyniki poszczególnych studentów.

Do realizacji programu z pływania użytkowego i ekstremalnego wykorzystano sprzęt w postaci atrap broni P-84, kbk AK-47, szkoleniowych kajdanek oraz zatapialnego domku. [8,9].

## **WYNIKI OBSERWACJI**

### **Pływanie w kajdankach na dystansie 25 metrów**

Przed rozpoczęciem próby osobie badanej zakładano kajdanki ograniczające ruchy jego ramion. Ćwiczący przyjmował postawę stojącą na słupku startowym. Po nabraniu powietrza wykonywał dowolny skok do wody na nogi. Po lądowaniu w wodzie miał za zadanie pokonać dystans 25 metrów na jednym, wstrzymanym oddechu. W sytuacji wynurzenia jakiegokolwiek części ciała [np. w celu nabrania powietrza] zakończano próbę.

Otrzymane wyniki podawano w metrach [m]. Ćwiczącym zalecano pływanie na piersiach, z ramionami wyciągniętymi w przód oraz pracą nóg do stylu klasycznego.

## **TEST MATERIAL AND RESEARCH POPULATION**

Research observations were carried out among students of Józef Piłsudski University of Physical Education at the Faculty of Physical Education and Sport in Biała Podlaska. The subjects of the research were the students specialising in physical education in uniformed forces. The research population was admittedly homogeneous regarding the age of the subjects [the average age was 21.6] and swimming competence. The assessment of swimming competence [in accordance with the swimming certificate requirements] was made during the initial training phase. All subjects were physical education graduates of the University of Physical Education in Biała Podlaska. They were not holders of a free diving certificate, but they took part in a lifesaving training organised at a summer camp. The training was aimed at preparing the students for basic lifesaving interventions in open waters. The subjects had been acquainted with methods of performing lifesaving interventions in water in accordance with the requirements for a Junior Lifeguard of Voluntary Water Rescue Service (WOPR).

The AWF subjects participated in the ongoing research during the second term of a school year from February to June 2011. The total number of AWF students participating in the research was 73. Due to the fact that some of the subjects failed to submit to research tests within the defined time constraints, the final analysis regarded 69 AWF students [94,5% of the entire research population]. For the purposes of the research, 13 females [18.8% of the subjects] and 56 males [81.2%] were taken into account. The observations were made in the indoor swimming pool of the University of Physical Education in Biała Podlaska, with the measurements of 25 m in length and 2 m maximum depth. The training took 13 weeks. Each training session was 45 minutes. Swimming lessons were held twice in a week, at the beginning and at the end.

The classes of lifesaving and defensive interventions [50%] were held at the beginning of each week, whereas the classes at the end of the week were meant to test the acquired skills. A part of the analysed tests focused on underwater interventions. For the purpose of the present study the results of shallow water interventions have been compiled. The observations encompassed the technique of a task at hand, its duration and the distance covered underwater. The results achieved by each student were recorded on observation score sheets. P-84 and AK-47 replica rifles, training handcuffs and a sunken house were put to use in the realization of the utility and extreme swimming programmes [8,9].

## **RESULTS OF THE OBSERVATIONS**

### **25 meter swimming in handcuffs**

Before each swimming test, the subjects had handcuffs put on to constrict their arm movement. The subjects took a position on a standing platform. After an intake of breath they made a freestyle jump feet first. Their task was to swim the distance of 25 meters in a single breath. In the event of an emergence of any part of the body [e.g. in order to draw breath], the test was cancelled. The results were recorded in meters [m].

The subjects were recommended to swim with the breaststroke leg technique and arms extended forward. In the case of an inability to swim as recommended, the subjects were encouraged to apply a swimming style of their own choice. Note: before entering the water, fellow students secured each candidate in the handcuffs.

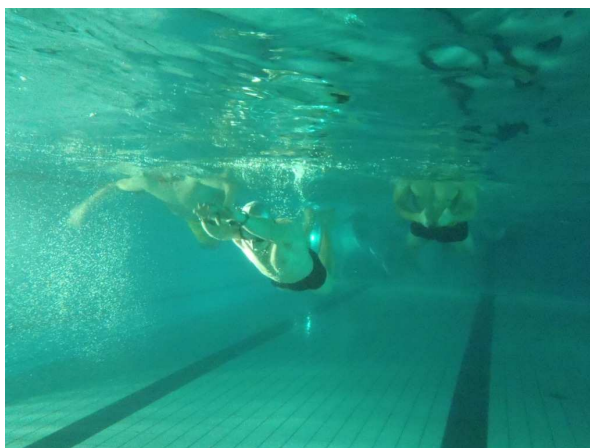
W przypadku braku umiejętności pływania sugerowanym sposobem zalecano wykonanie próby w dowolny i skuteczny sposób.

Uwagi: osoba badana zaliczała próbę w będąc asekurowana przez innego uczestnika badań. Jak wskazują wyniki obserwacji, analizując populację kobiet prawie połowa badanych studentek AWF pokonywała zaledwie 1/3 długości basenu pod wodą. Natomiast w grupie mężczyzn ponad 40% studentów badanej specjalności przepływała w kajdankach więcej niż połowę długości 25-cio metrowej pływalni. Nie stwierdzono sytuacji, w której kandydaci zrezygnowaliby z wykonania próby. W grupie męskiej odnotowano wyniki, w których 14% respondentów pokonało cały dystans pod wodą [25 m]. [Tab. 1., Fot. 1.].

Tabela 1.

Wyniki próby pływania pod wodą 25 m w kajdankach zapiętych z przodu tułowia.

Badani [69osób/100%]	Do 5 m	6-10 m	11-15 m	16-20 m	21-25 m	Pow. 25	Nie zalicz.
Kobiety [13] [n/%]	0/0	6/46,1	4/30,8	1/7,7	1/7,7	0/0	1/7,7
Mężczyźni [56] [n/%]	0/0	2/3,6	23/41,1	19/33,9	7/12,5	8/14,3	0/0
Łącznie [69] [n/%]	0/0	8/11,6	27/39,1	20/29	8/11,6	8/11,6	1/1,4



Fot. 1. Pływanie w kajdankach pod wodą [źródło własne].

### Poszukiwanie klucza do kajdanek na dnie

Osoba podejmująca się wykonania próby przed rozpoczęciem ćwiczenia przebywała w postawie stojącej na słupku startowym. Badany wykonywał zadanie bez pomocy okularów pływackich. Każda osoba uczestnicząca w badaniu miała dłonie spięte kajdankami. Przed wykonaniem próby badany obserwował miejsce zatopienia klucza od kajdanek. Po podanym sygnale badany student wykonywał skok do wody na nogi. Jego zadaniem było wyłowienie klucza oraz uwolnienie dłoni z kajdanek. Ściągnięcie kajdanek z obu nadgarstków zakończyło pomiar.

Zadanie wykonywano przy indywidualnej asekuracji. Wyniki opisanego próby wskazały, że zdecydowanie korzystniej prezentowali się przedstawiciele grupy męskiej. Ponad 50% studentów AWF ukończyło zadanie przed upływem 20 sekund.

The results of the observation reveal that half of the female subjects managed to cover merely a third of the underwater distance, whereas more than 40% of the male research population covered more than a half. A case wherein a subject conceded has not been recorded. Another 14% of the male research population covered the whole distance [25 m]. [Tab. 1., Photo 1.].

Table 1.

Underwater 25 metres swimming with handcuffs locked in the front - test results.

Subjects [69persons/100%]	Up to 5 m	6-10 m	11-15 m	16-20 m	21-25 m	More than 25	Failed
Females [13] [n/%]	0/0	6/46.1	4/30.8	1/7.7	1/7.7	0/0	1/7.7
Males [56] [n/%]	0/0	2/3.6	23/41.1	19/33.9	7/12.5	8/14.3	0/0
Total [69] [n/%]	0/0	8/11.6	27/39.1	20/29	8/11.6	8/11.6	1/1.4

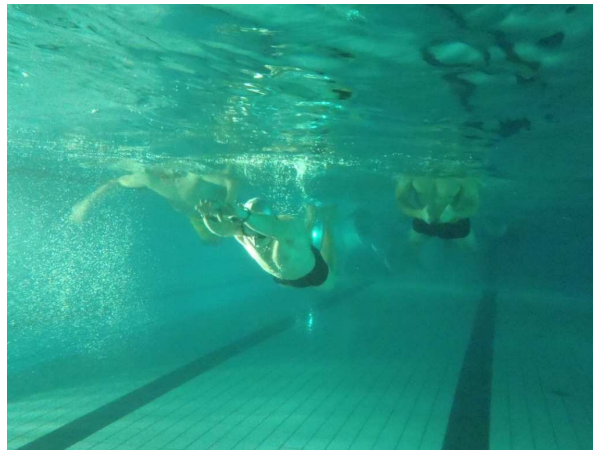


Photo 1. Underwater swimming with handcuffs [own source].

**Search for the handcuffs' key at the bottom**

Before taking the test, each subject, without swimming goggles and wearing handcuffs took a position on a standing platform. From their position on the platform they sighted the spot where the key had been sunk. On hearing a signal, the subject made a feet first jump into the water. Their task was to scoop the key from the bottom and free themselves of the handcuffs. The time taken by each student to free themselves of the handcuffs from both wrists was documented for the purpose of the study. The task was being carried out with each subject being secured by a fellow student. Test results proved that male subjects performed significantly better than female subjects.

Znaczna część badanych osób wykazała się możliwością wykonania próby na jednym, wstrzymanym oddechu bez dodatkowych wynurzeń zwykle kończąc zadanie pod powierzchnią wody. Zdecydowana jednak większość badanych, w tym przeważająca część kobiet oraz część mężczyzn dokończyła wykonanie próby po wynurzeniu się na powierzchnię wody [Tab. 2].

Tabela 2.

Zestawienie wyników uwalniania dłoni z kajdanek po wodą.

Badani [69osób/100%]	W czasie do 20 s	Powyżej 20 s	Na wstrzymanym oddechu	Ściągnięcie kajdanek na powierzchni wody	Brak zaliczenia próby w 1 podejściu
Kobiety [13] [n/%]	[2/15,4]	[11/84,6]	[3/23,1]	[8/61,5]	[1/7,7]
Mężczyźni [56] [n/%]	[31/55,3]	[25/44,6]	[17/30,3]	[36/64,3]	[3/5,3]
Łącznie [69] [n/%]	[33/47,8]	[36/52,2]	[20/28,9]	[44/63,7]	[4/5,8]

#### **Pływanie 100 m pod wodą w sprzęcie ABC i z atrapą broni**

W opisywanej próbie biorący udział w badaniu student musiał posiadać osobisty sprzęt do nurkowania, w postaci maski, płetw oraz fajki [sprzęt ABC]. Przed podjęciem próby badana osoba trzymała atrapę broni AK-47, z którą nie mogła utracić kontaktu podczas pokonywania dystansu pod wodą.

W czasie trwania próby nad wodą wystawała tylko końcówka fajki, przez którą badana osoba nabierała powietrza. Strat odbywał się w chwili odbicia badanego nogami od ściany pływalni. Studenci wykonywali próbę trzymając atrapę broni, oburącz przed sobą, w pozycji gotowości oddania strzału. Próbę oceniano do chwili wynurzenia twarzy, broni lub jakiegokolwiek części ciała [fot. 2].

Analizując uzyskane wyniki zdecydowanie sprawniej przemieszczali się pod wodą w sprzęcie ABC i z bronią przedstawiciele grupy męskiej. Ponad 60% studentów ukończyło dystans przed upływem 2 minut. W grupie żeńskiej opisywana próba zwykle była zakańczana po upływie 2 minut. Miało to związek z dostrzeganą w tej grupie niedokładną techniką pracy nóg w płetwach jak również barakiem poprawności trzymania atrapy broni AK-47. W analizowanych podgrupach żeńskich ponadto częściej stwierdzano przerywanie wykonania próby, co mogło mieć związek z problemem w posługiwaniu się sprzętem ABC, zwłaszcza brakiem umiejętności oddychania przy pomocy fajki często zalewanej wodą [Tab. 3].

More than 50% of AWF students completed the task in less than 20 seconds. A fair proportion of the subjects proved capable of performing the task in a single breath without emerging, and completing the task under the surface of water. However, a major proportion of the subjects completed the task after resurfacing [Tab. 2].

Table 2.

Underwater handcuffs escape - results summary.

Subjects [69 persons/100%]	In no more than 20 s	More than 20 s	In a single breath	Taking off handcuffs after resurfacing	Failing to complete the task at the first attempt
Females [13 [n/%]	[2/15.4]	[11/84.6]	[3/23.1]	[8/61.5]	[1/7.7]
Males [56 [n/%]	[31/55.3]	[25/44.6]	[17/30.3]	[36/64.3]	[3/5.3]
Total [69 [n/%]	[33/47.8]	[36/52.2]	[20/28.9]	[44/63.7]	[4/5.8]

### 100 meters snorkeling with a replica rifle

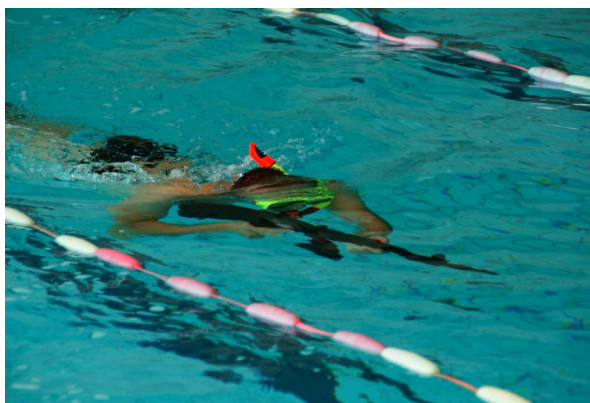
For the following task subjects were required to present their own snorkel, mask and flippers. Before attempting the task each of the subjects was handed a replica AK-47 which they were not allowed to drop while covering the required distance underwater. While performing the task, only the tip of a snorkel was allowed to emerge with the sole purpose of drawing air. The swim was measured the moment when a subject rebounded off the pool wall. Students underwent the test wielding the replica rifle with both hands, ready to fire. The trial was measured only until the face or any part of the body or the rifle resurfaced [photo 2]. The analysis of the results obtained during the tests revealed that members of the male population were much more effective in this type of activity. More than 60% of male students covered the distance in less than 2 minutes.

Members of the female population rarely completed the task in less than 2 minutes. Such a disparity was related to the inaccurate kicking technique and incorrect method of wielding the rifle. Besides, it was noted that in female subgroups the test was interrupted more often than not, which might have been due to the inability to control breathing via the snorkel [Tab. 3].

Tabela 3.

Zestawienie zbiorcze wyników pływania 100 m pod wodą z AK-47 i w sprzecz ABC.

Badani [69osób/100%]	Czas do 2 min	Czas pow. 2 minut	Błąd chwytu broni	Błędy techniki pracy nóg	Rezygnacja z kontynuacji próby
Kobiety [13] [n/%]	[5/38,5]	[8/61,5]	[4/30,7]	[3/23,1]	[2/15,4]
Mężczyźni [56] [n/%]	[34/60,7]	[22/39,3]	[7/12,5]	[5/8,9]	[4/7,1]
Łącznie [69] [n/%]	[39/56,5]	[30/43,5]	[11/15,9]	[8/11,6]	[6/8,7]



Fot. 2. Pływanie w ABC na dystansie z kbk AK-47 [źródło własne].

### **Pływanie pod wodą bez kontroli wzroku na dystansie 25 m**

Osoba badana rozpoczynała próbę startując z miejsca, stojąc w wodzie płytkiej na głębokości 1,4 m. Zadanie polegało na ustawieniu się na wprost przeciwległego brzegu pływalni oddalonego o 25 metrów, które było miejscem docelowym. Przed wykonaniem próby badany zasłaniał wzrok za pomocą czepka pływackiego. Po nabraniu powietrza i wstrzymaniu oddechu wykonywał zanurzenie.

Próba polegała na ocenianiu umiejętności przemieszczania się pływaka pod wodą na dystansie 25 metrów, bez wynurzenia. Podczas pokonywania dystansu pod wodą osoba badana transportowała atrapę broni AK-47. W opisanej próbie wyższe wyniki osiągały zwykle studenci aniżeli studentki AWF specjalności: wychowanie fizyczne w służbach mundurowych. Grupa męska charakteryzowała się wyższymi osiągnięciami z zakresu analizowanej próby wykorzystując pracę ramion i nóg charakterystyczną dla stylu klasycznego [57%]. Grupa dziewcząt [92%] pokonywała dystans trzymając oburącz atrapę broni. Ponad 30% badanych kobiet zakończyło próbę przed dopłynięciem do połowy narzuconego dystansu.

W analizowanej próbie grupa studentów AWF zdecydowanie dominowała osiągając lepsze wyniki aniżeli analizowane studentki [Tab. 4].

Table 3.

100 meters underwater snorkeling with a replica AK-47 rifle - results summary.

Subjects [69persons/100%]	Up to 2 min	More than 2 minutes	Incorrect rifle grip	Incorrect kicking technique	Test disrupted
Females [13] [n/%]	[5/38.5]	[8/61.5]	[4/30.7]	[3/23.1]	[2/15.4]
Males [56] [n/%]	[34/60.7]	[22/39.3]	[7/12.5]	[5/8.9]	[4/7.1]
Total [69] [n/%]	[39/56.5]	[30/43.5]	[11/15.9]	[8/11.6]	[6/8.7]

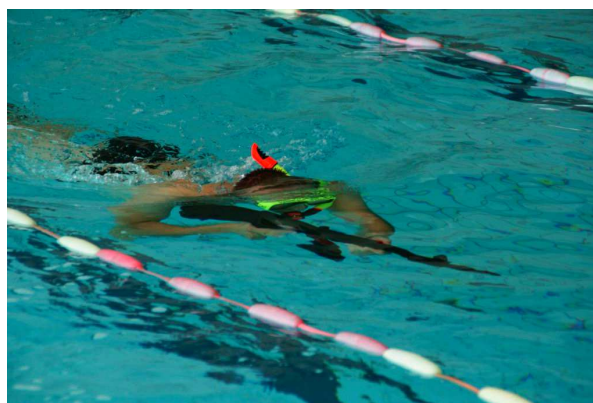


Photo 2. Snorkeling with AK-47 [own source].

### 25 meters underwater swimming without vision control

The subject began the test from a standing start in shallow water (1.4 m). The task was to position oneself directly opposite the other side of the pool, 25 meters away, which was the swimmer's destination. Before the test, the subject covered the eyes with a swimming cap. The submergence was performed after drawing and holding breath. The test was meant to measure a swimmer's ability to cover the distance of 25 m without emerging. While covering the distance, the subject was carrying a replica AK 47 rifle. Male students customarily scored higher than female students in the above-mentioned tests. The technique used by the male population as regards leg and arm movement, which allowed them to achieve better results, was typical for breaststroke style [57%]. The majority of women subjects [92%] covered the distance wielding the replica rifle with both hands. Over 30% of female subjects disrupted their swim not having covered the half of the expected distance. In the analyzed group, male AWF students performed significantly better than their female counterparts [Tab. 4].

Tabela 4.

## Zestawienie zbiorcze wyników pływania z AK-47 na dystansie 25 m pod wodą.

Badani [69osób/100%]	Pokonanie dystansu 25 m pod wodą w torze	Praca ramion i nóg podczas pływania pod wodą	Pływanie bez pracy ramion, ćwiczenie nogami	Brak pływania w torze, skręcanie	Rezygnacja z próby przed połową dystansu
Kobiety [13] [n/%]	[3/23,1]	[1/7,7]	[12/92,3]	[6/46,1]	[4/30,8]
Mężczyźni [56] [n/%]	[19/33,9]	[32/57,1]	[24/42,8]	[31/55,3]	[9/16,1]
Łącznie [69] [n/%]	[22/31,9]	[33/47,8]	[36/52,2]	[37/53,6]	[13/18,8]

**Wytrzymałość statyczna na powierzchni wody z AK-47**

Osoba podejmująca się próby, po nabraniu powietrza wykonywała skok do wody na nogi. Po skoku badany uczestnik przebywając w wodzie wykonywał obrót głową w dół [tzw. „syczoryk”] i nurkował w celu wyłowienia zatopionej atrapy broni. Po zabraniu z dna atrapy AK-47 badany wynurzał się. Po przyjęciu pozycji spionizowanej miał za zadanie utrzymać AK-47 nad wodą.

Próbę zaliczano, jeśli osoba badana podjęła atrapę z dna a następnie utrzymał pozycję pionową przez 1 minutę. Istotnym elementem poprawności próby był skok do wody oraz sposób trzymania broni. Uczestnikom badania zalecano wykorzystanie pracy nóg do stylu klasycznego, aby utrzymać się w tzw. „stójce” [Fot. 3].

Otrzymane wyniki obserwacji wykazały, że grupa studentek AWF podczas wykonywania opisanej próby statycznej najczęściej [46% badanych dziewcząt] była w stanie utrzymać narzuconą pozycję w czasie do 30 sek. Tylko jedna studentka utrzymała broń nad powierzchnią wody powyżej 1 minuty. Zdecydowanie lepsze wyniki odnotowano w grupie męskiej. Studenci AWF wytrzymywali pozycję pionową w czasie do 45 sek. [37%], oraz 60 sek. [ok. 30%]. Sporadycznie zdarzały się w grupie studentów próby trwające poniżej 15 sek. [Tab. 5, Fot. 4].

Tabela 5.

## Zestawienie zbiorcze wyników wykonania próby statycznej na powierzchni wody z AK-47.

Badani [69osób/100%]	do 15 s	Do 30 s	Do 45 s	Do 60 s	Pow. 60 s
Kobiety [13] [n/%]	[2/15,4]	[6/46,1]	[3/23,1]	[2/15,4]	[1/7,7]
Mężczyźni [56] [n/%]	[1/1,8]	[12/21,4]	[21/37,5]	[16/28,6]	[6/10,7]
Łącznie [69] [n/%]	[3/4,3]	[18/26,1]	[24/34,8]	[18/26,1]	[7/10,1]

Table 4.

## Underwater swimming with a replica AK-47 rifle - results summary.

Subjects [69 persons/100%]	Covering the distance of 25 meters underwater in a lane	Arm and leg movement while swimming underwater	Swimming with no arm movement - kicking practice	Diverting from the lane	Disruption of the test before covering half of the distance
Females [13] [n/%]	[3/23,1]	[1/7,7]	[12/92,3]	[6/46,1]	[4/30,8]
Males [56] [n/%]	[19/33,9]	[32/57,1]	[24/42,8]	[31/55,3]	[9/16,1]
Total [69] [n/%]	[22/31,9]	[33/47,8]	[36/52,2]	[37/53,6]	[13/18,8]

**Static endurance on the surface with a replica AK-47 rifle**

Each subject attempting the test made a feet first jump into water after drawing breath. After diving in, the subject made a spin and positioned himself head down to dive for a sunken replica rifle. After grabbing a replica AK-47 from the bottom the subject resurfaced. After assuming a vertical position they were required to hold the AK-47 above the surface. The test was passed if the subject had grabbed the replica gun and endured in a vertical position for one minute. The method of diving into water and wielding the gun correctly were crucial elements in achieving task accuracy. The subjects were advised to use the breaststroke leg movement in order to keep a vertical stance. [Photo 3].

The results obtained in the test revealed that the majority of the female population of AWF students [46%] were only capable of remaining in the vertical position for 30 seconds in the static endurance test. Only one female student managed to hold the rifle replica for over a minute. The male population performed significantly better. The AWF male students kept a vertical stance for up to 45 sec. [37%], and 60 sec. [about 30%]. Failure to endure for less than 15 seconds was but a sporadic occurrence. [Tab. 5, Photo 4].

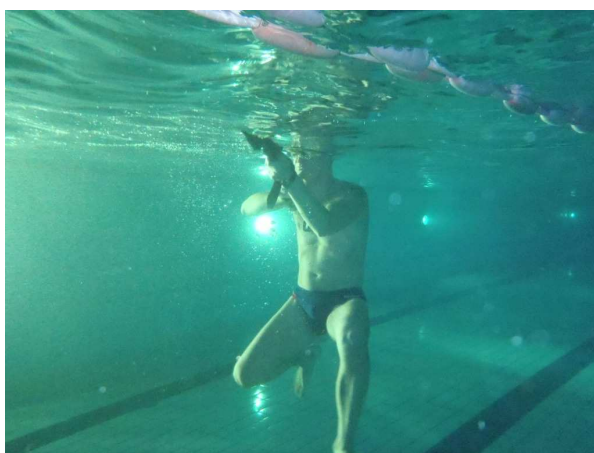
Table 5.

## Static endurance on the surface with a replica AK-47 rifle - results summary.

Subjects [69 persons/100%]	up to 15 s	up to 30 s	up to 45 s	up to 60 s	More than 60 s
Females [13] [n/%]	[2/15.4]	[6/46.1]	[3/23.1]	[2/15.4]	[1/7.7]
Males [56] [n/%]	[1/1.8]	[12/21.4]	[21/37.5]	[16/28.6]	[6/10.7]
Total [69] [n/%]	[3/4.3]	[18/26.1]	[24/34.8]	[18/26.1]	[7/10.1]



Fot. 3. Podjęcie z dna zatopionej atrapy broni [źródło własne].



Fot. 4. Pozycja spionizowana tzw. „stójka” po wyłowieniu atrapy z dna pływalni [źródło własne].

#### **Pobyt z bronią pod powierzchnią wody**

Próba wykonywana w trefie wody głębszej, z maksymalną jej głębokością 2 metry. Osoba badana przed rozpoczęciem próby przebywała w wodzie, w pobliżu słupków startowych, w miejscu zatopienia atrapy AK-47. Przed rozpoczęciem próby osoba wykonująca zadanie nabierała powietrze do płuc a następnie zanurzała się tzw. „sposobem desantowym” [zanurzenie poprzez znos ramion nad wodę kierując się stopami do dna pływalni].

W ten sposób badany przemieszczał się na głębokość 2 metrów, gdzie miał za zadanie wyłowić atrapę broni. Badana osoba po podjęciu broni przyjmowała obronną pozycję kłęcną jednonogą na dnie pływalni. Taka pozycję należało utrzymać przez okres 1 minuty. Podczas trwania próby wymagano od badanych, aby utrzymali ciągły kontakt z atrapą trzymając ją oburącz.

Brak utrzymania pozycji, wynurzenie się lub utrata kontaktu z bronią było sygnałem do zakończenia pomiaru próby. Wyniki obserwacji wykazały, że część uwzględnionych w badaniu studentek [46%] wykonała próbę przebywając pod wodą dłużej aniżeli objęci badaniami mężczyźni [14%]. Trudno jednoznacznie określić przyczynę krótszej wytrzymałości statycznej pod wodą mężczyzn [39%].

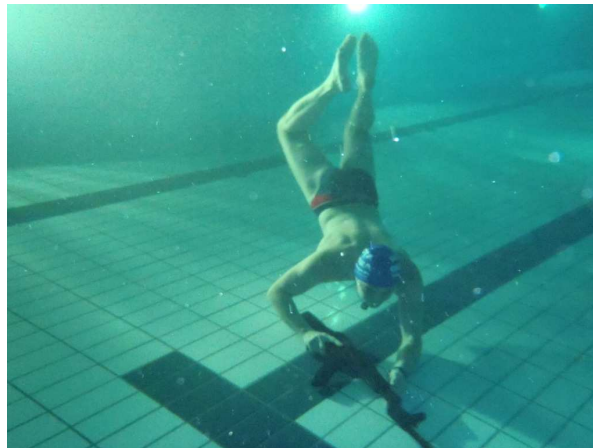


Photo 3. Recovery of a sunken replica rifle from the bottom [own source].

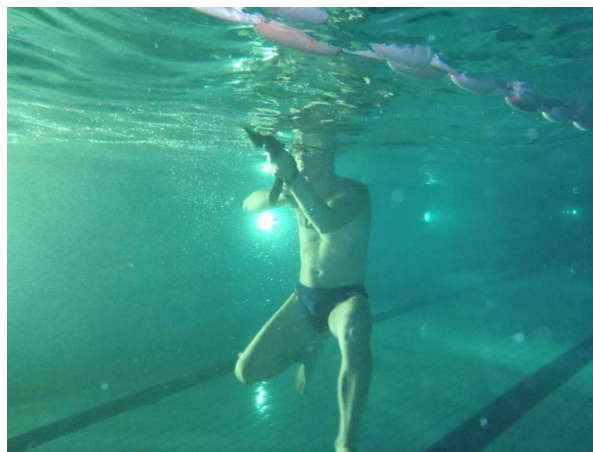


Photo 4. A vertical position after the recovery of a rifle replica from the bottom of the pool [own source].

#### **Underwater dive with a rifle**

The test was undertaken in a deep water zone with the maximum depth of 2 meters. Before the test, each subject was positioned in the water near a standing platform on the spot where the AK-47 replica had been sunk. At the onset of the test the subject took a deep breath and dived by letting the arms drift over the surface and feet first towards the bottom of the pool. Positioned in this manner, the subject went two meters to the bottom with the purpose of recovering the replica rifle. Once the rifle had been recovered, the subject dropped to a one-leg kneeling stance on the bottom of the pool. The position was to be maintained for the duration of one minute. The subject was not allowed to lose grip of the replica rifle for the duration of the test. The inability to maintain the position, resurfacing or losing grip of the rifle meant a termination of the test.

The observed results revealed that some of the female students who participated in the test [46%] managed to stay underwater longer than male subjects [14%]. It is difficult to provide a disambiguated explanation for men's smaller underwater static endurance [39%]. Some male students from the same group scored much worse than the female group. A mere 20% of AWF male students endured for 1 minute in the test [Tab. 6].

Część studentów tej samej grupy osiągnęła wyniki gorsze niż grupa dziewcząt. Tylko ok. 20% studentów AWF w tej próby wytrzymało po wodą ponad 1 min [Tab. 6].

Tabela 6.

Zestawienie wyników próby statycznej pod wodą z AK-47 na wstrzymanym oddechu.

Badani [69osób/100%]	Do 15 sek.	Do 30 sek.	Do 45 sek.	Do 60sek.	Pow. 1 min.
Kobiety [13] [n/%]	[1/7,7]	[3/23,1]	[6/46,1]	[2/15,4]	[1/7,7]
Mężczyźni [56] [n/%]	[6/10,7]	[22/39,3]	[8/14,3]	[9/16,1]	[11/19,6]
Łącznie [69] [n/%]	[7/10,1]	[25/36,2]	[14/20,3]	[11/15,9]	[12/17,4]

### **Pływanie w zatopionym domku przez otwory w ścianach**

Uczestnik badania miał za zadanie przebywać w strefie wody głębokiej [2 m.]. Po nabraniu powietrza i odbiciu od ściany badany pokonywał pod wodą dystans 10 metrów do zatopionego domku. Po dopłynięciu do zatopionego obiektu, przez dowolny otwór w ścianie miał wpłynąć do jego wnętrza a następnie innym otworem opuścić budowlę. Po wypłynięciu z domku można było się wynurzyć w celu nabrania powietrza, a następnie kontynuować zadanie płynąc pod wodą na miejsce startu.

Próby wykonywano bez pomocy okularów pływackich. W celu bezpieczeństwa, w pobliżu zatopionej budowli znajdowała się osoba zabezpieczająca ćwiczącego, przebywającego pod wodą. Budowla wykorzystywana w badaniu złożona była z czterech połączonych ze sobą ścian. Ściany boczne były ze sobą w odpowiedni sposób łączone i posiadały boczne otwory o różnych średnicach. Dom nie posiadał sufitu, co sprzyjało niezależnej kontroli osób wykonujących podwodne zadanie.

W badaniu związanym z pokonaniem podwodnej przeszkody [wpływaniem i opuszczaniem zatopionego domku] ponad połowa badanych osób [52%] wykonała próbę zgodnie z instrukcjami. Uwzględniając płeć częściej poprawnie wykonywano zadania stwierdzano w grupie męskiej [57%]. Podczas realizacji próby dostrzegano problemy: zbyt długie szukanie otworów pod wodę, asekuracyjne przepływanie przez otwory największe, długi czas trwania prób.

Częstość pojawiających się problemów w obu badanych podgrupach studenckich była procentowo zbliżona. Badane studentki częściej oceniały wielkości otworu w ścianie zanim się zdecydowały dokonać wpłynięcia [38%]. Studenci zwykle próbowali wypływać na zewnątrz tym samym otworem, którym dostali się do wnętrza budowli [30%]. Analizując wytrzymałość w podejmowanych działaniach, po jednokrotnym zaczerpnięciu powietrza w grupie mężczyzn dostrzegano większe możliwości w badanym zakresie. Dziewczęta częściej wynurzały się przed osiągnięciem miejsca startu [53%] aniżeli grupa męska [35%]. W podobnym zakresie stwierdzano brak poprawności wykonania próby w pierwszym podejściu do zadania. W obu grupach brak poprawności oraz precyzji wykonania zadania mieściły się w granicach do 15% [Tab. 7, Fot. 5].

Table 6.

Static test with an AK-47 rifle on one breath - results summary.

Subjects [69 persons/100%]	Up to 15 sec.	Up to 30 sec.	Up to 45 sec.	Up to 60 sec.	More than 1 min.
Females [13] [n/%]	[1/7.7]	[3/23.1]	[6/46.1]	[2/15.4]	[1/7.7]
Males [56] [n/%]	[6/10.7]	[22/39.3]	[8/14.3]	[9/16.1]	[11/19.6]
Total [69] [n/%]	[7/10.1]	[25/36.2]	[14/20.3]	[11/15.9]	[12/17.4]

### Entering a sunken house through openings in the walls

The objective was to dive in a deep water zone [2m]. After taking a breath and bouncing off the pool wall the subject had to cover the distance of 10 meters to reach the sunken house. On reaching the house, the subject entered it through any of the openings and left the structure through a different opening. At this point the subject was allowed to resurface in order to draw a breath and then continued the task by swimming underwater to where the start was. The subject performed the task without swimming goggles on. In order to ensure safety, a person who secured the swimmer was standing near the sunken structure. The structure itself was a construct made up of four connected walls. The walls were appropriately joined and had openings that varied in diameter. The house had no roof which facilitated a closer control of the subjects inside during underwater tests. In the test which involved a submarine obstacle [swimming in and out of a submerged house], over half of the entire research population performed the test in accordance with instructions. In terms of gender differences, male population were more accurate completing the task [57%]. While the test was being carried out the following issues were brought to attention: too much time was spent on searching for the openings; students were excessively protective, frequently only swimming through the largest of openings; students took too much time to complete the tests.

The frequency of occurrence of the issues in both subgroups was similar. Female students took more time to ascertain the size of the opening before making a decision to swim through [38%]. Students tended to swim out of the structure through the same opening they had swum in [30%]. Analyzing the endurance in the undertaken actions, the male group showed a larger potential when considering one breath swimming. Females resurfaced before reaching the start spot much more often [53%] than males [35%]. Similar statistics applied to the lack of correctness while performing the task at first attempt. In both groups the lack of correctness and accuracy of the test performance lay within the margin of 15% [Tab. 7, Photo 5].

Tabela 7.

## Zestawienie zbiorcze wyników próby pływania w zatopionym domku.

Badani [69osób/100%]	Wpływanie niezależnymi otworami do zatopionego domku	Szukanie i ocena wielkości otworów pod wodą	Wpływanie do domku i powrót tym samym otworem	Brak wytrzymałości, wynurzenie po wydostaniu się z domku	Brak wpłynięcia do domku, niezaliczenie próby
Kobiety [13] [n/%]	[4/30,7]	[5/38,4]	[3/23,1]	[7/53,8]	[2/15,4]
Mężczyźni [56] [n/%]	[32/57,1]	[16/28,6]	[17/30,3]	[20/35,7]	[7/12,5]
Łącznie [69] [n/%]	[36/52,2]	[21/30,4]	[20/28,9]	[27/39,1]	[9/13,1]



Fot. 5. Przedostawanie się do zatopionego domku przez otwory w ścianach [źródło własne].

**Ciche nurkowanie w celu znalezienia zatopionej broni**

Osoba badana przed wykonaniem próby przyjmowała pozycję leżącą na krawędzi niecki pływackiej, z twarzą skierowaną do wody. Po nabraniu powietrza oraz wstrzymaniu oddechu wykonywano wślizg do wody tzw. „foką”. Pod wodą badany miał za zadanie przemieścić się w kierunku zatopionego domku oddalonego od miejsca startu o 10 m. Wewnątrz obiektu zatopiono atrapy broni: P-84, AK-47. Bliżej miejsca startu, na trasie płynięcia umieszczano cięższe i większe atrapy Ak-47, natomiast 1 metr dalej pozostawiano mniejsze i lżejsze atrapy P-84.

Zadaniem osoby biorącej udział w badaniu było dopłynięcie do miejsca zatopienia atrapy, wybór jednej z nich a następnie powrót z wyłowionym sprzętem do miejsca startu. Podczas wykonywania próby student nie mógł korzystać z okularów pływackich. Podjętą broń należało transportować w dowolny sposób płynąc pod wodą na wstrzymanym oddechu. Jak wskazują wyniki badań ponad 1/3 badanych osób wykonała zadanie w czasie poniżej 15 sek.

Zdecydowanie lepsze wyniki próby uzyskiwali studenci [41%]. W kolejnym przedziale czasowym [do 30 sek.] ponownie częściej wykonywała opisane zadanie grupa męska [28%]. Analizując osiągnięcia w grupie żeńskiej ponad 50% studentek wynurzała się z podjętą atrapą broni podczas jej transportu na miejsce startu.

Table 7.

The sunken house test - results summary.

Subjects [69 persons/100%]	Entering the sunken house through independent openings.	Searching for and ascertaining the size of openings underwater	Swimming in and out of the house through the same opening	No endurance - resurfacing after swimming out of the house	No entry - test failed
Females [13] [n/%]	[4/30.7]	[5/38.4]	[3/23.1]	[7/53.8]	[2/15.4]
Males [56] [n/%]	[32/57.1]	[16/28.6]	[17/30.3]	[20/35.7]	[7/12.5]
Total [69] [n/%]	[36/52.2]	[21/30.4]	[20/28.9]	[27/39.1]	[9/13.1]



Photo 5. Penetrating the sunken house through wall openings.

**Silent diving to recover a sunken rifle**

A subject took up a recumbent position on the edge of the pool's basin with face directed downwards. After taking and holding a breath the subject slid into water. The subject had to complete the task of reaching the sunken house, which was placed 10 metres away from the starting point. Inside the structure 2 replica rifles had been sunk: P-84, AK-47. En route to the house, nearer the starting line, larger and heavier replicas of AK-47s were placed, whereas smaller and lighter P-84 replicas were laid one meter further. The objective was to reach the spot where one of the replicas had been sunk, choose one of them, and return to the starting point with the recovered equipment. Students could not use swimming goggles all throughout the test. The recovered weapon was to be transported underwater on one breath, with no particular method recommended.

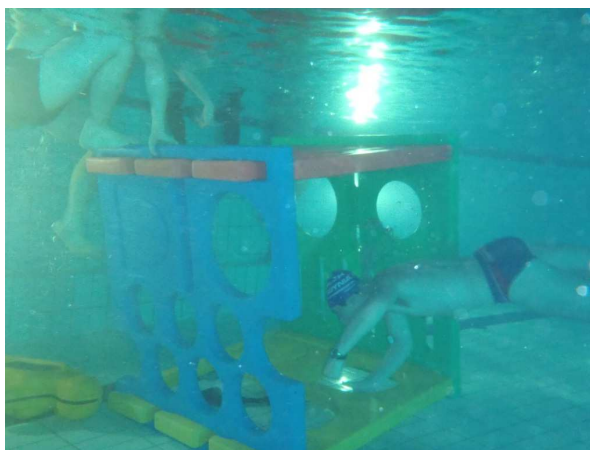
The results show that more than a third of the subjects completed the task in less than 15 sec. Male students were significantly better [41%]. In another time interval [up to 30 sec.] the male group was again more effective in completing the task [28%]. The analysis of the female group revealed that over 50% of female students resurfaced while carrying the replica rifles back to the starting point.

Jak wynika z przeprowadzonych analiz podlegająca obserwacji grupa studentów zwykle preferowała podjęcie cięższej, bliżej zatopionej atrapy [56%]. Pozostałe osoby decydowały się na zabranie zatopionej o 1 m. dalej, lżejszej atrapy broni. [Tab. 8, Fot. 6].

Tabela 8.

Poszukiwanie zatopionej atrapy broni w zatopionym domku.

Badani [69osób/100%]	Do 15 s	16-30 s	Wynurzenie przed podjęciem broni	Wynurzenie z przejętą atrapą bronią	Wybór cięższej atrapy AK- 47
Kobiety [13] [n/%]	[2/15,4]	[1/7,7]	[3/23,1]	[7/53,8]	[7/53,8]
Mężczyźni [56] [n/%]	[23/41,1]	[16/28,6]	[3/5,3]	[14/25]	[32/57,1]
Łącznie [69] [n/%]	[25/36,2]	[17/24,6]	[6/8,7]	[21/30,4]	[39/56,5]



Fot. 6. Poszukiwanie zatopionych atrap broni [źródło własne].

### Wylawianie manekina z zatopionego domku

Osoby uczestniczące w badaniu miały za zadanie w dowolny sposób przemieścić się pod wodą do zatopionego domku, oddalonego od miejsca startu o 10 metrów. Przed wykonaniem zanurzenia każdy badany oceniał odległość i wybierał miejsce wpłynięcia do wnętrza domku. Zadanie wykonywano po zaczerpnięciu powietrza i wstrzymaniu oddechu. Po wpłynięciu do zatopionej budowli lokalizowano a następnie transportowano [holowano] leżącego na dnie manekina.

Wykonujący próbę badany wybierał dowolne miejsce wpłynięcia oraz opuszczeniu domku. Wydobytego manekina należało dotransportować dowolnym sposobem ratowniczym do miejsca startu [Fot. 7].

Próba związana z podjęciem z dna manekina wymagała umiejętności pływania pod wodą, znajomości technik nurkowych, interwencji ratunkowych jak również holowania. Wyniki badań wykazały, że ponad połowa badanych zakończyła zadanie ewakuowania manekina z zatopionej budowli przed upływem 30 sek. Wskazany wynik dotyczył w większości przypadków płci męskiej. Tylko w nielicznych przypadkach reprezentanci grupy męskiej nie wykonali zadania.

The observations also proved that students from the research group usually chose to raise the larger and heavier rifle which had been placed closer [56%]. Other subject opted for the more distant but lighter rifle. [Tab. 8, Photo 6].

Table 8.

Search for a sunken rifle replica in a sunken house.

Subjects [69 persons/100%]	Up to 15 s	16-30 s	Resurfacing before recovering the rifle	Resurfacing with the rifle replica in hand	Preference for the heavier AK-47 replica
Females [13 [n/%]	[2/15.4]	[1/7.7]	[3/23.1]	[7/53.8]	[7/53.8]
Males [56 [n/%]	[23/41.1]	[16/28.6]	[3/5.3]	[14/25]	[32/57.1]
Total [69 [n/%]	[25/36.2]	[17/24.6]	[6/8.7]	[21/30.4]	[39/56.5]

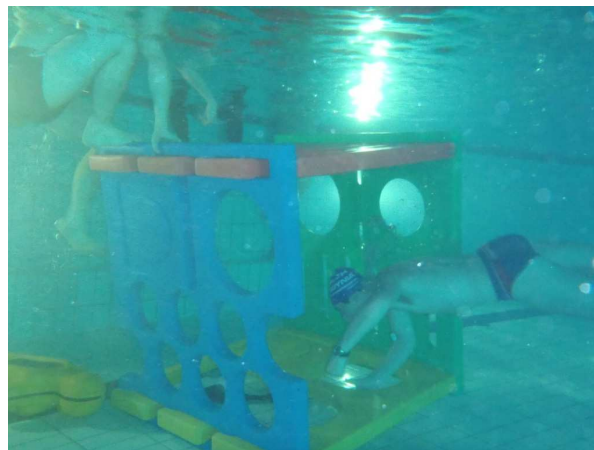


Photo 6. Search for sunken rifle replicas [own source].

**Recovering a dummy from a sunken house**

The objective was for the subjects to reach the sunken house placed 10 metres away from the starting point, with a free choice of swimming techniques. Before the test, each subject ascertained the distance and chose the spot of entry to the house. The task started after taking and holding a breath. After entering the sunken structure the dummy was first located and then transported [towed] to the starting point. The subject was free to choose the place of entry and the place of exiting the house. The recovered dummy was to be transported to the starting point using a preferred lifeguarding technique [7]. The sunken dummy test required of a subject a variety of swimming techniques including the ability to swim underwater, diving techniques, rescue interventions and towing.

The results showed that over half of the subjects completed the task of recovering a sunken dummy from a sunken house in less than 30 s. The result was achieved mostly by the male group. Members of the male group failed to complete the task only sporadically. The cases when the duration of the test was protracted or the test failed altogether were due to erroneous underwater leg movement and problems with towing, as observations reveal [Tab. 9].

Dłuższy czas realizacji próby oraz brak zaliczenia zadania jak wynika z prowadzonych obserwacji miał związek z błędami z zakresu techniki pływania pod wodą, jak i błędami holowania [Tab. 9].

Tabela 9.

Zestawienie zbiorcze czasów wyławiania manekina z zatopionego domku.

Badani [69osób/100%]	Do 15 s	16 – 30 s.	31 – 45 s	45 – 60 s.	Brak zaliczenia próby
Kobiety [13] [n/%]	[2/15,4]	[3/23,1]	[7/53,8]	[0/0]	[1/7,7]
Mężczyźni [56] [n/%]	[14/25]	[32/57,1]	[8/14,3]	[2/3,6]	[0/0]
Łącznie [69] [n/%]	[16/23,2]	[35/50,7]	[15/21,7]	[2/2,9]	[1/1,4]



Fot. 7. Wyławianie manekina z zatopionego domku [źródło własne].

### Skok do wody do wody bez kontroli wzroku

Badani przed wykonaniem próby przyjmowali postawę stojącą na bloku startowym. Po dokonaniu oceny wzrokowej miejsca zatopienia atrapy broni uczestnikowi próby zasłaniano oczy czepkiem pływackim aby badany nie widział powierzchni wody. Zadaniem osoby badanej było wykonanie bezpiecznego zejścia lub skoku do wody w celu dotarcia do miejsca zatopienia atrapy AK-47.

Po rozpoczęciu próby i zanurzeniu się należało wykonać zadanie w jak najkrótszym czasie. W sytuacji znalezienia atrapy należało z nią jak najszybciej wypłynąć na powierzchnię wody. Po wyłowieniu atrapy odsłaniano oczy a następnie powracano na miejsce startu [Fot. 8]. Skoki należą do trudnych elementów szkoleniowych, zwłaszcza gdy są prowadzone w warunkach ograniczonej widoczności.

Jak wykazały prowadzone obserwacje badawcze zasadniczo dziewczęta preferowały bezpieczne formy wejście do wody. Ponad połowa badanych studentek AWF wykonywała skok na nogi do wody [61%] lub wchodziły do niej poprzez wykonanie siadu na krawędzi basenu [39%]. Żadna z dziewcząt nie wykonała skoku startowego na „główkę”. Natomiast studenci częściej podejmowali ryzyko wykonania skoku startowego do wody [69%], rzadziej na nogi [28%]. W pojedynczych przypadkach w grupie męskiej rejestrowano rozpoczęcie próby z siadu na krawędzi pływalni [3%].

Table 9.

Dummy recovery from a sunken house - summary of time results.

Subjects [69 persons/100%]	Up to 15 s	16 – 30 s.	31 – 45 s	45 – 60 s	Attempt failed
Females [13] [n/%]	[2/15.4]	[3/23.1]	[7/53.8]	[0/0]	[1/7.7]
Males [56] [n/%]	[14/25]	[32/57.1]	[8/14.3]	[2/3.6]	[0/0]
Total [69] [n/%]	[16/23.2]	[35/50.7]	[15/21.7]	[2/2.9]	[1/1.4]



Photo 7. Recovering a dummy from a sunken house [own source].

**Dive into water without vision control**

The subjects took up a standing position on the starting platform before the test. After sighting the spot where the sunken replica rifle had been deposited, the subject had their eyes covered with a swimming cap so that they could not see the surface of the water. The objective was to make a safe dive or descent to the spot where the sunken AK-47 replica rifle had been placed. The task was to be completed immediately after the dive in the shortest possible duration. Subjects were expected to resurface the moment they recovered the sunken rifle. After the rifle had been recovered, the subjects' eyes were uncovered and they returned to the starting line [8]. The observations revealed that girls preferred a safer entry into water. More than a half of AWF female students dived feet first [61%] or slid into water from the edge of the pool [39%]. None of the girls made a head first dive. However, male students were more eager to risk a head first dive [69%], and much more rarely jumped feet first [28%]. Occasionally, slides from the edge of the pool were recorded [3%]. The effectiveness of the test was evaluated as high, both in male and female groups [60%]. Numerous individual cases proved that the use of the breaststroke technique underwater enhanced the performance of the swimmers.

Nearly 80% of the research population completed the task successfully if they employed the breaststroke style for the movement of their arms and legs. The analyses also showed that failed attempts often concerned those male students who had started their tasks with a head first dive. Unsuccessful attempts and slow performance with women, on the other hand, were due to alternate leg movement under water [Tab. 10].

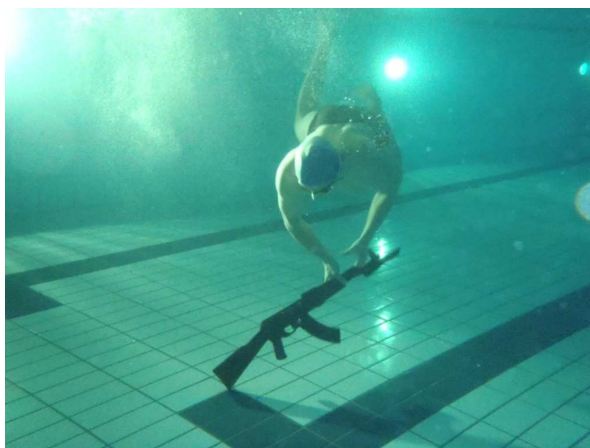
Analizując skuteczność wykonania zadania określono ją jako wysoką zarówno w grupie żeńskiej jak i męskiej [ponad 60%]. W wielu przypadkach stosowana technika pływania stylem klasycznym pod wodą zwiększała skuteczność działania. Prawie 80% badanej populacji wykonało poprawnie zadanie korzystając z techniki pływania ramionami i kończynami dolnymi z stylu klasycznego.

Przeprowadzone analizy wskazały, że w grupie męskiej brak wykonania zadania często dotyczył osób rozpoczynających próbę skokiem startowym „na główkę”. Natomiast w przypadku dziewcząt problem z poprawnością wykonania zadania oraz dłuższym czasem realizacji próby wiązał się z pracą naprzemianstronną nóg pod wodą [Tab. 10].

Tabela 10.

Poszukiwanie atrapy broni po wejściu/skoku do wody bez kontroli wzroku.

Badani [69osób/100%]	Skok na nogi	Wyłowienie broni do 30 s	Skok na głowę do wody	Pływanie nogami do żabki	Brak wykonania próby
Kobiety [13] [n/%]	[8/61,5]	[9/69,2]	[0/0]	[11/84,6]	[2/15,4]
Mężczyźni [56] [n/%]	[16/28,6]	[37/66,1]	[39/69,6]	[43/76,8]	[14/25]
Łącznie [69] [n/%]	[24/34,8]	[46/66,7]	[39/56,5]	[54/78,3]	[16/23,2]



Fot. 8. Poszukiwanie zatopionej atrapy z zasłoniętymi okularami pływackimi [źródło własne].

## PODSUMOWANIE

Postęp cywilizacji niesie ze sobą realną możliwość wzrostu ilości sytuacji alarmowych, w których zagrożone może być zdrowie i bezpieczeństwo człowieka. Mimo postępu techniki i nowszych rozwiązań z zakresu stosowania sprzętu ratunkowego o jakości interwencji ewidentnie decyduje przygotowanie ratowników do działania w wodzie. Od wiedzy, decyzyjności, umiejętności oraz specyfiki działania niejednokrotnie zależy efekt końcowy. Systematyczny udział ratowników w szkoleniach sprzyja wzrostowi jakości interwencji a tym samym ich skuteczności.

Doświadczenia nabywane przez ratowników sprzyjają ponadto podejmowaniu trafnych decyzji co do techniki interwencji jak również bezpieczeństwa własnego działając niejednokrotnie w warunkach ekstremalnych i stresogennych [2,6]. Prowadzenie interwencji ratowniczych i obronnych w wodzie ma swoją specyfikę [1].

Table 10.

Search for a replica rifle on entry/dive into water without vision control.

Subjects [69persons/100%]	Feet first dive	Recovery of a rifle in no more than 30 s	Head first dive	Breaststroke style leg movement	Attempt failed
Females [13] [n/%]	[8/61.5]	[9/69.2]	[0/0]	[11/84.6]	[2/15.4]
Males [56] [n/%]	[16/28.6]	[37/66.1]	[39/69.6]	[43/76.8]	[14/25]
Total [69] [n/%]	[24/34.8]	[46/66.7]	[39/56.5]	[54/78.3]	[16/23.2]

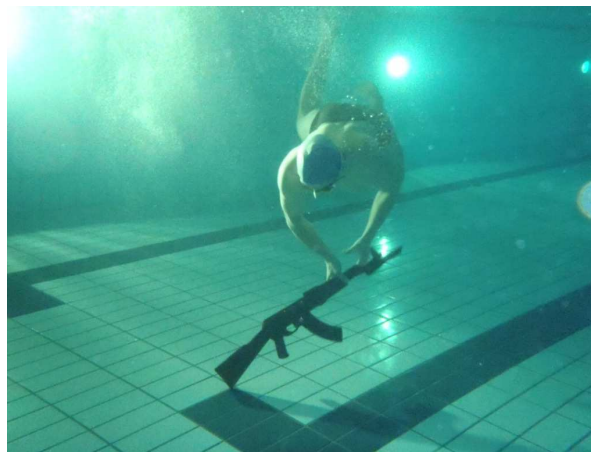


Photo 8. Search for a replica rifle with swimming goggles covered [own source].

**SUMMARY**

The price of civilisational advancement is that it entails an increased number of emergency situations in which human safety may be endangered. Even though technology progressed and new solutions within the field of rescue equipment have been introduced, the quality of aquatic interventions is still dependent on lifeguards' training and skills. It is the knowledge, decisiveness and ability to react appropriately that more often than not bring a rescue operation to a successful end. Systematic training improves the quality of lifeguards' interventions and ensures effectiveness. The experience that lifeguards gain is conducive to their decision making and safety in extreme and stressful circumstances [2,6]. Aquatic rescue and defensive interventions have a specificity of their own. The lifeguards who engage in aquatic or subaqueous activities should be characterized by extraordinary swimming skills, adequate motor skills, fitness, motor coordination and mentality that ensures resilience to changing external conditions.

The research conducted among the students of AWF in Biała Podlaska specialising in physical education for uniformed services pointed to the most characteristic features of the effects the training produced. As regards the quality of swimming ability in the research population, it is worth emphasising that effective training must be preceded by a thorough preparation in terms of basic swimming, diving and lifeguarding skills.

Osoby wykonujące działania w wodzie lub pod jej powierzchnią powinni charakteryzować się ponadprzeciętnymi umiejętnościami pływania, odpowiednim poziomem sprawności motorycznej, wydolności i koordynacji ruchowej, stanem psychicznym świadczącym o odporności na zmieniające się warunki zewnętrzne. Przeprowadzone badania wśród studentów AWF w Białej Podlaskiej, specjalności: wychowanie fizyczne w służbach mundurowych wskazały pewne cechy charakterystyczne efektów prowadzonego szkolenia.

Biorąc pod uwagę poziom przygotowania badanej populacji pod względem sprawności pływackiej warto podkreślić, że istotnym składnikiem decydującym o osiągnięciu efektów szkolenia jest wcześniejsze nauczanie podstawowych technik pływackich, nurkowych oraz ratowniczych. Wykorzystanie tych umiejętności w połączeniu z działaniami ratowniczymi i obronnymi sprzyja wykonywaniu działań podwodnych w trudnych warunkach. W wielu próbach poddanych analizie częściej osiągnęli wyższe wyniki badani studenci AWF, charakteryzujący się wyższym poziomem sprawności i wytrzymałości aniżeli podobnie szkolona płęć żeńska.

Prowadzone obserwacje sugerują także, iż wprowadzany czynnik rywalizacji zdecydowanie bardziej motywuje do działania płęć męską. Studenci AWF dążąc do jak najlepszego wykonania prób częściej wykazywali się ryzykownymi zachowaniami i działaniami jak np. skok do wody w warunkach braku widoczności, pokonywanie wąskich otworów w ścianach zatopionego domku, transport cięższej broni itp. Prowadzenie szkoleń ratowniczych i obronnych nie jest zagadnieniem prostym w realizacji. W wielu przypadkach zajęcia tego typu wiążą się z wielokrotnym powtarzaniem schematu czynności oraz kształtowaniem zachowań ratownika narażonego na stres. Jak wskazują obserwacje i doświadczenia własne wartościowym rozwiązaniem prowadzenia skutecznych szkoleń jest metoda problemowa.

Stosowanie zadań zbliżonych do warunków rzeczywistych, korzystanie z pomocniczego sprzętu w postaci między innymi atrap pozytywnie wpływa na oczekiwane efekty szkolenia. Wcześniejsze obserwacje z zakresu działań ratowniczych w wodzie, zwłaszcza dotyczące działań w warunkach ekstremalnych wykazały znaczne zainteresowanie opisywaną problematyką. Zdaniem uczestników badań opisywane zadania stanowią wartościowe szkolenie dla kandydatów służb mundurowych.

Dzięki różnym rozwiązaniom szkoleniowcy koncentrowali się na wykonaniu zadań poprawnej technice pływania, przez co można było bezpośrednio analizować zmiany w poziomie umiejętności motorycznych, sprawności fizycznej, wytrzymałości pływackiej i preferowanych technik podwodnych interwencji. Wśród wielu walorów tego typu szkoleń warto podkreślić wyrażanie do współpracy, samooceny i samokontroli efektów przez samych podopiecznych. Jak wskazują analizy prowadzonych obserwacji grupy męskie osiągały wyższe wyniki aniżeli uczestniczące w obserwacjach studentki AWF [Fot. 9, Fot. 10].



Fot. 9. Wyławianie z zatopionego domku atrapy broni [źródło własne].

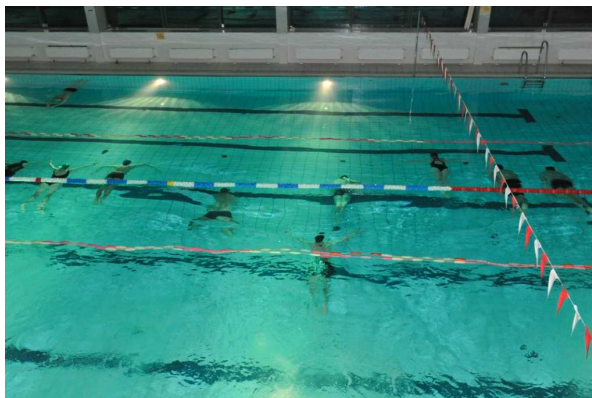
Taking full advantage of a thorough preparation and combining it with newly learned rescuing and defensive skills is conducive to effective performance in difficult conditions. In many of the recorded tests male subjects surpassed females in terms of fitness and stamina in a similar training programme. The observations also showed that males respond more readily to a competitive factor than females. With a view to a most effective completion of tasks at hand, male subjects were prepared to take greater risks, such as a head first dive in the conditions of no visibility, venturing through narrow openings of a sunken house, transportation of a heavier rifle etc. Lifeguarding and defence are by no means easy tasks to execute.

On numerous occasions training sessions of this type involve frequent repetition of a task and shape behaviour of lifeguard working in a highly stressful environment. Observations and personal experience have proved that successful and effective training should draw on the problem method. Imitation of real conditions and the use of auxiliary equipment (such as replica rifles) has a very beneficial influence on expected training effects. Earlier observations of aquatic rescue operations, especially those which concerned extreme conditions, showed that there is a steady demand for research in this area. According to the subjects who took part in the tests, the described tasks will greatly contribute to an increased training efficiency for uniformed services.

Thanks to the implementation of new solutions, trainers focused merely on task completion and correct swimming technique which enabled them to directly analyse changes in the level of motor skills, fitness, swimming stamina and preferred techniques of subaqueous interventions. Among many advantages of this type of training, it is worth noting that the subjects themselves implemented the effects of the training to improve their cooperative skills, self-control and self-evaluation. The analyses prove that male groups achieved better results than female groups [Photo 9, Photo 10].



Photo 9. Recovery of a sunken replica rifle from the sunken house [own source].



Fot. 10. Szkolenie techniki pływania pod wodą bez wzrokowej kontroli kierunku pływnięcia.

### WNIOSKI KOŃCOWE

1. Okres 3-miesięcznego szkolenia sprzyjał wykształceniu określonych umiejętności w zakresie działań ratowniczych i obronnych w wodzie. Jednak warto podkreślić, iż otrzymane wyniki nie są wyłącznym efektem przeprowadzonego szkolenia lecz również umiejętności, które nabyli studenci AWF w czasie pierwszych lat studiowania w sportowej uczelni. Już przed rozpoczęciem zajęć z pływania użytkowego i ekstremalnego badana populacja charakteryzowała ponadprzeciętnym poziomem sprawności pływackiej. W analizowanych próbach osoby stosujące techniki pływania ratunkowego, w tym pracę nóg stylu klasycznego, techniki holowania, przemieszczania się pod wodą, wydobywania zatopionych przedmiotów itp. zdecydowanie częściej osiągnęli lepsze wyniki aniżeli osoby, które ich nie stosowały lub preferowały własne sposoby przemieszczania się w wodzie.

2. Spośród interwencji ratowniczych prowadzonych pod powierzchnią wody proponowane próby wydawały się być dostosowane do możliwości badanej populacji studentów AWF. W wielu sytuacjach już po jednokrotnym zaprezentowaniu działań ratunkowych lub technik podwodnych znaczna część studentów poprawnie odwzorowywała nauczane czynności interwencyjne. Pojawiały się też zadania, które sprawiały większe problemy w ich poprawności wykonania. Zwykle były to próby podwodne w warunkach ograniczonej widoczności, zadania z atrapami broni ograniczającymi ruchy ramion i kończyn dolnych. Znaczne problemy dostrzeżono podczas pływania pod wodą z utrzymaniem kierunku pływania w wyznaczonym torze, uwalnianiem się z kajdanek pod wodą, skokiem do wody bez kontroli wzroku oraz poszukiwaniem i wyławianiem atrap broni. Mimo ogólnej dobrej znajomości technik przemieszczania się w wodzie, problemy dostrzegane podczas wykonywania poszczególnych prób mogły mieć związek z czasem szkolenia, ograniczoną ilością powtórzeń doskonalących oraz tym, że wielu badanych pierwszy raz mieli kontakt z atrapami broni, kajdankami i zatopioną budowlą, w której musieli się przemieszczać.

3. Znaczne różnice stwierdzano w obrębie wielu parametrów sprawnościowych analizując płeć badanych grup studenckich. Grupa żeńska stanowiła nieznacznie ilościowo populację badawczą w stosunku do grupy studentów AWF. Jednak otrzymane wyniki sugerują, że w podejmowanych działaniach interwencyjnych, w których należy wykazywać się wytrzymałością, szybkością i odwagą płeć żeńska zwykle osiągała gorsze rezultaty.

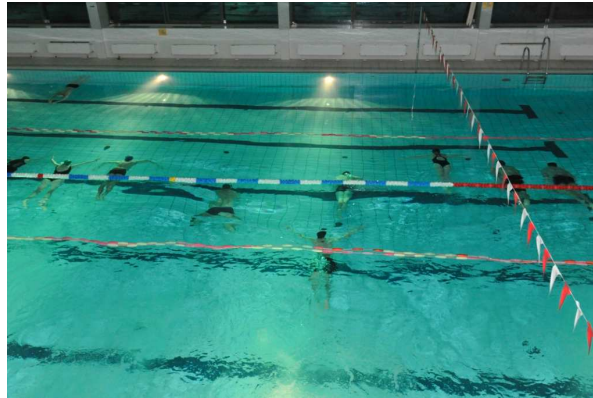


Photo 10. In training: underwater swimming technique without vision control.

## **CONCLUSIONS**

1. The period of training (3 months) was conducive to the emergence of certain skills within the scope of rescue and defence operations in water. However, it is important to realize that the obtained results are not an exclusive effect of the training, but that skills gained in the course of the four-year training at the University of Physical Education also played their part. Prior to the commencement of utility and extreme swimming training sessions the research population had displayed an extraordinary skill in swimming ability. In the observed tests, the subjects who used rescue swimming techniques, including breaststroke style leg movement, towing techniques, movement in water, recovery of sunken objects etc. obtained much better results than those who preferred methods of their own choice.

2. The underwater rescue operations which were selected for the purpose of these training sessions seemed to be finely adjusted to the AWF students' potential and capability. In many of the practiced tasks students were capable of imitating a given rescue technique or underwater intervention only after having been introduced to it once. The subjects were also faced with tasks which made greater demands on them. They notably included tests performed in the circumstances of reduced visibility and tasks involving the management of rifle replicas with leg or arm constriction. Among problematic areas were tasks involving handcuff escape, swimming along a designated route, diving into water without vision control and search and recovery of sunken rifle replicas. Although the students' overall knowledge of swimming techniques was good, the discernible problems might have been caused by limited training time, limited number of repetitions and the fact that they had never had contact with such props as rifles, handcuffs and a sunken house before.

3. Considerable differences were recorded in terms of efficiency when subjects were compared according to gender. The ratio of female and male research populations was greatly in favour of the latter. However, the obtained results suggest that in the tasks which required more stamina, speed and courage, female subjects underachieved. Male groups were more effective, faster and more accurate in most of the subaqueous tasks. It was only in a few exceptions that the analysed results achieved by female subjects were to any degree comparable with those of male subjects. However, in order to make more accurate analyses, similar tests should be carried out on a larger female population.

W większości prób wykonywanych pod wodą grupy męskie w większym zakresie, krótszym czasie i z większą dokładnością zaliczały próby z wysokimi wynikami. Tylko w nielicznych przypadkach, analizowane wyniki badań będące udziałem studentek były porównywalne z wynikami przedstawicieli grupy męskiej. Jednak w celu dokonania dokładniejszych analiz podobne badania warto prowadzić na znacznie większej populacji dziewcząt.

#### LITERATURA/ BIBLIOGRAPHY

1. Błasiak P., Chadaj M.; „Ratownictwo wodne vademecum”. WOPR, Warszawa 1993;
2. Clancy T.; „Special Forces”. US Army Special Forces, London, 2001;
3. Gniwkiewicz G., Ozga M.; „Kampfschwimmer – komandosi Bundesmarine”. Polish Hyperbaric Research, 2007, 4, 33, 7-21;
4. Micheletti E.; „French Special Forces”. Paryż 1999;
5. Płuciennik W.; „Prawie wszystko o ratownictwie wodnym”. ZG WOPR Warszawa 1993;
6. Rahimi M.; „Nurkowanie bez strachu”. Oficyna Wyd. Alma-Press, Warszawa 2002;
7. Róžański P., Tybura S.; „Selected extreme activities in water”. W: A Diagnosis Of Physical Fitness In The Contemporary Army. Edited: M. Sokołowski. Warszawa 2011, 353-366;
8. Róžański P., Tybura S.; „Wybór technik ratowniczych do działań ekstremalnych w wodzie na przykładzie podchorążych Akademii Marynarki Wojennej”. W: Polski Przegląd Medycyny Lotniczej, WIML Warszawa 2009, 2, 15, 155-163;
9. Róžański P.; „Pływanie użytkowe w szkoleniach ekstremalnych”. WFiZdr., Warszawa 2010, 6, 494, 23-28;
10. Wernicki P. G.; „Lifeguarding: The Sport, the Profesion, the Hazards”, London, 1991;
11. Zarembovskij V. I., Kljesnikov J.I.; „Morskoj Specnaz”. Petersburg, 2001.

## **TRAINING OF BIAŁA PODLASKA AWF STUDENTS SPECIALISING IN PHYSICAL EDUCATION FOR UNIFORMED SERVICES FOR INTERVENTION IN SHALLOW WATERS**

*The present research paper contains a selection of fitness tests that are implemented among AWF (University of Physical Education) students specialising in physical education for uniformed services. Sample survey tasks were conducted in a subaqueous environment. The observations are based on periodical training sessions held since 2010 for students of the Faculty of Physical Education and Sport in Biała Podlaska at Józef Piłsudski University of Physical Education. The research observations mentioned below were made during 2011 at the University of Physical Education in the Biała Podlaska indoor pool. They took the form of logs and analyses of rescue and defensive interventions made at depths of up to 2 meters beneath the surface of the pool. The suggestions of the presented tasks are a consequence of the author's previous publications which concerned*

similar training organised for the cadets of the Westerplatte Heroes Polish Naval Academy in Gdynia.

The study contains descriptions of subaqueous tests and the results of AWF students' undertaken actions. The research was complemented with auxiliary equipment such as replica rifles, handcuffs and a sunken house. The aim of this publication is to present the results achieved by the AWF students in terms of preparation for defensive and rescue interventions after the completion of 3-months training in utility and extreme swimming. The descriptions of tasks performed under water and test measurements taken by AWF students comprise the main topic area of the present study. The research observations were made possible with the contribution of 69 people [56 male and 13 female AWF students specialising in physical education for uniformed services from the Faculty of Physical Education in Biała Podlaska. The results that were analysed encompassed the abilities to move about underwater with a weapon, to dive in without vision control, to swim underwater in conditions of restricted visibility or to dive with restricted arm movement. Moreover, the participants were introduced to a new type of activity wherein they penetrated a sunken house and recovered a sunken dummy from the bottom. None of the literature available to the author contained similar training material or subaqueous tests to model on. Therefore, the present study may provide interesting reference for all those who organize submarine rescue and defence trainings.

**Keywords:** utility swimming, lifesaving, extreme underwater activities, rescue interventions.

## **ПОДГОТОВКА СТУДЕНТОВ В АКАДЕМИИ ФИЗКУЛЬТУРЫ И СПОРТА В БЯЛА-ПОДЛЯСКА НА ФАКУЛЬТЕТЕ ФИЗИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ В СИЛОВЫХ СТРУКТУРАХ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ**

В представленном материале содержится предложение о проведение исследования выбранных тестов физической подготовки реализованных для студентов в Академии Физкультуры и Спорта на факультете физического воспитания в силовых структурах. Надлюдения выбранных тестов проводились в подводных условиях. Данные наблюдений касались периодически проводимых занятий с 2010 года обучения студентов Академии Физкультуры и Спорта им.Юзефа Пилсудского на факультете физического воспитания в Бяла-Подляска. Описанные наблюдения проводились в крытом плавательном бассейне Академии Физкультуры и Спорта в Бяла-Подляске в 2011 году.

Они имели характер регистрации и анализа защитно-спасательных операций, которые осуществляются под водой с максимальной глубиной 2 метра. Описанные предложения являются результатом задач, осуществляемых автором публикации подобного обучения курсантов в Военно-Морской Академии им. Героев Вестерплатте в Гданьске. В статье приведено описание подводных испытаний и результаты, сделанные студентами физического воспитания. В реализации исследования использовано дополнительное оборудование в виде макетов оружия, наручников и погружной модели дома. Целью данной публикации является

представление результатов в подготовке студентов Академии Физкультуры и Спорта проведения защитно-спасательных операций после отбытия 3-месячной обучения в области полезного и экстремального плавания. Описания задач, выполняемых под водой и контрольные измерения, сделанные студентами физического воспитания, являются главной темой исследования. В наблюдениях участвовало 69 человек [56 студентов и 13 студентек] Академии Физкультуры и Спорта в Бяла-Подляска факультет: Физическое воспитание в силовых структурах.

Проанализированы результаты в области навыков: передвижения под водой с оружием, прыжки без зрительного контроля, ныряние в условиях плохой видимости, подводные техники плавания с ограниченной работой рук. Кроме того, новостью для участников исследования было нырять в затопленном доме, проникать в его внутрь и добывать со дна затонувший манекен. В доступной литературе автор не нашел подобных предложений для обучения и испытания под водой, с помощью которых можно учиться. Таким образом, этот материал может быть интересным для людей, которые занимаются подводным обучением защитно-спасательных работ.

**Ключевые слова:** полезное плавание, водное спасение, экстремальные действия под водой, защитно-спасательные работы.