

Nr 1 (78) 2022

ISSN 1734 -7009
e-ISSN 2084 - 0535

styczeń 2022 rok

*Polish – English
Bilingual Publication*



Polish Hyperbaric Research

Kwartalnik

Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej

**Redaguje Zespół
Editorial Board**

Redaktor Naczelny
Editor-in-Chief
Piotr Siermontowski
editor-in-chief@phr.net.pl

Redaktor Prowadzący/Korekta
Executive/Technical Editor
Małgorzata Samborska
editor@phr.net.pl
tel. +48/518 702 941

Tłumaczenia
Translator
Anna Wójtowicz

Redaktor tematyczny
Nauki Techniczne
Section Editor
Technical Sciences
dr hab. inż. Ryszard Kłos,
prof. AMW
techeditor@phr.net.pl

Redaktor tematyczny
Nauki Medyczne
Section Editor
Medical Sciences
prof. dr hab. med.
Romuald Olszański
mededitor@phr.net.pl

Redaktor językowy
Language Editor
Stephen Burke (English)

Redaktor statystyczny
Statistical Editor
Adam Olejnik
stateeditor@phr.net.pl

Redaktor archiwaliów
Archive Editor
Joanna Siermontowska
archiv@phr.net.pl

www.phr.net.pl

www.degruyter.com/view/j/phr

Kontakt z redakcją:

81 – 103 Gdynia 3
ul. Grudzińskiego 4
skr. pocz. 18
e-mail: phr@phr.net.pl

POLISH HYPERBARIC RESEARCH

ISSN 1734 – 7009

eISSN 2084 – 0535

PolHypRes jest indeksowane w bazach:

- BazTech
- Index Copernicus
- ARIANTA
- Polish Medical Bibliography/Polish Medical Library
- Baidu Scholar
- Celdes
- CNPIEC
- EBSCO Discovery Service
- WorldCat (OCLC)
- Google Scholar
- J-Gate
- Naviga (Softweco)
- ReadCube
- Ulrich's Periodicals Directory/ulrichsweb
- Primo Central (ExLibris)
- Summon (Serials Solutions/ProQuest)
- TDOne (TDNet)
- CNKI Scholar
- DOAJ (Directory of open access journals)
- Cabell's Directory
- JournalTOCs
- POL-Index
- TEMA Technik und Management
- Case
- WanFang Data
- KESLI-NDSL
- Polish Scientific Journals Database
- (ESCI) Emerging Sources Citation Index



Oświadczenia Redakcji / Statement from the Editor

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

Pierwotną wersją każdego artykułu jest wersja anglojęzyczna.
The original version of each article is the English version

Artykuły nadsyłane do druku recenzowane są zgodnie z zaleceniami Ministerstwa Nauki.
Szczegóły procedury recenzowania na stronie internetowej www.phr.net.pl.
Submitted articles are peer-reviewed in accordance with the Ministry of Science and Higher Education guidelines. Detailed information on review procedures can be found at www.phr.net.pl.

Dbając o rzetelność naukową i zasady etyki publikacyjnej, redakcja stosuje procedury ujęte w diagramach Committee of Publication Ethics (COPE). Ich zachowanie przez Autorów jest warunkiem publikacji artykułu.
Szczegółowa procedura na stronie www.phr.net.pl i <https://publicationethics.org/resources>.
Dbając o prawa autorskie do przeprowadzanych badań a także rzetelność procesu recenzowania Redakcja Polish Hyperbaric Research zapewnia brak konfliktu interesów pomiędzy autorami a recenzentami.

The editorial team, concerned about the journal's academic reliability, implements procedures included in the diagrams Committee of Publication Ethics (COPE). Detailed information on exact procedures can be found at , <https://publicationethics.org/resources>.

In an effort to protect the copyrights to the conducted research as well as to ensure reliability of the reviewing process the editorial staff of Polish Hyperbaric Research hereby guarantees that there is no conflict of interest between the authors and the reviewers.

Wydawca: Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej 81-103 Gdynia 3 ul. Grudzińskiego 4 box. 18, e-mail: phr@phr.net.pl
Publisher: Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society 81-103 Gdynia 3, ul. Grudzińskiego 4 box. 18, e-mail: phr@phr.net.pl

© Copyright by Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society, Gdynia 2022

Pewne prawa zastrzeżone. Tekst niniejszej publikacji jest dostępny na licencji Creative Commons CC BY-NC-ND 3.0 Polska. Zasady własności prawnej na stronie internetowej www.phr.net.pl
Some rights reserved. The text of the publication is available within the license Creative Commons CC BY-NC-ND 3.0 Poland. The principles concerned with legal property are stipulated at www.phr.net.pl

Instytucja finansująca; Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej

Stowarzyszenie Pożytku Publicznego KRS 0000066650

Sponsoring: Polish Hyperbaric Medicine & Technology Society

Rada Naukowa / Editorial Board

prof. Andrzej Buczyński M.D., Ph.D.; prof. Dariusz Bogucki D.Sc. Ph.D. (USA); prof. Ugo Carraro M.D., Ph.D. (Italy); prof. Grzegorz Cieślak M.D., Ph.D.; prof. Adam Charchalis D.Sc., Eng.; Didier Chollet Ph.D. associate prof. (France); prof. Krzysztof Chomiczewski M.D., Ph.D.; prof. Mario J. Costa Ph.D. (Portugal); prof. Claude Cuvelier M.D., Ph.D. (Belgium); John T. Fitter M.D., Ph.D. (Australia); Wojciech Giermaziak Ph.D., Tadeusz Graczyk D.Sc.; Eng. associate prof.; prof. Siergiej Gulyar M.D., Ph.D. (Ukraine); Grzegorz Kowalski D.Sc., Eng.; prof. Juliusz Jakubaszko M.D., Ph.D.; prof. Arvils Lielvaris Ph.D. (Latvia); prof. Sam Mesiano (USA); prof. Igor Murawow Ph.D. (Ukraine); prof. Motomu Nakashima D.Sc., Eng. (Japan); prof. Katarzyna Ostapowicz van Damme M.D. Ph.D. (Norway); prof. Manny Radomski (Canada); Norbert Rehlis MBBS, MIH, PhD. (Papua New Guinea), Marek Rejman Ph.D. associate prof.; prof. Yoshimitsu Shimoyama Ph.D. (Japan); prof. Aleksander Sieroń M.D., Ph.D.; prof. António J. Silva Ph.D. (Portugal); prof. Roger Smith M.D., Ph.D. (Australia); prof. Robert Keig Stallman Ph.D. (Norway); Akin Toklu M.D. Ph.D. (Turkey); Wojciech Wiesner Ph.D. associate prof.; Ikuta Yasushi Ph.D. associate prof. (Japan); Paweł Zarzycki Ph.D.,

INSTRUKCJA DLA AUTORÓW

Materiał nadesłany do druku w PolHypRes powinien być napisany w całości czcionką Arial, Times New Roman lub Cambria 9 pcs w jednolitym stylu, bez podkreśleń, wersalików i kapitalików. Wykorzystanie pogrubienia czcionki i kursywy należy ograniczyć do niezbędnego minimum. W całym tekście należy zachować pojedyncze odstępy pomiędzy wierszami i normalne odstępy pomiędzy znakami. Wszystkie marginesy 2 cm, bez marginesu na oprawę, akapit 1,25 cm. Strona A4.

Do druku przyjmowane są artykuły w języku polskim, angielskim, rosyjskim. W przypadku innego języka konieczne jest dołączenie tłumaczenia na język angielski. W tekstach w języku polskim niedopuszczalne jest wtrącanie słów obcojęzycznych i zlepków słów polskich i angielskich „ponglis”.

Materiał powinien być opracowany za pomocą edytora tekstów MS Word. Na pierwszej stronie: pełne imię i nazwisko autora (autorów), ze wskazaniem autora do korespondencji i jego dane teleadresowe. Następnie, w języku polskim i angielskim: afiliacje poszczególnych autorów, tytuł pracy, streszczenie nie dłuższe niż 250 słów z zachowanym podziałem na wstęp, materiał i metody, wyniki i ich omówienie (dla prac oryginalnych), słowa kluczowe, nie mniej niż 3. Ten sam układ rozdziałów wzbogacony o wnioski również we właściwej pracy. Jeżeli badania były wykonywane na zlecenie, w ramach grantu, pracy statutowej itd., należy podać źródło finansowania. Przepisów dolnych nie stosujemy.

Liczba autocytowań nie może przekroczyć 20% pozycji piśmiennictwa. Bibliografię podajemy według stylu Vancouver; numeracja cytowań odpowiada kolejności występowania w tekście, gdzie są oznaczane cyframi arabskimi w nawiasach kwadratowych na końcu zdania i przed kropką.

Tabele, wyłącznie - biało czarne, w tekście wyśrodkowane, komórki tabel wyśrodkowane, tekst tabeli czcionką Cambria 11 pcs. Opis tabeli czcionką Arial 8 pcs. Linie tabeli jedynie poziome, bez cieniowania.

Ilustracje czarno-białe, w uzasadnionych przypadkach kolorowe. Opis czcionką Arial 7 pcs. Zdjęcia w rozdzielczości minimum 300 dpi. Dopuszcza się jednolitą numerację dla rysunków i zdjęć. Ilustracje w formacie umożliwiającym ich edycję (*.jpg, *.tif). Wykres wygenerowany za pomocą pakietu MS Excel nadsyłać należy z arkuszem źródłowym, jeśli wykres wygenerowanym w innym oprogramowaniu np. Statistica to jako plik graficzny (*.jpg, *.tif). Grafika wektorowa, nie rastrowa.

Równania należy tworzyć edytorem równań programu MS Word. Pod równaniem należy wyjaśnić wszystkie zastosowane w nim skróty i symbole.

Szczegółowa instrukcja dla autorów znajduje się na stronie internetowej PolHypRes.

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Material submitted for print in PolHypRes should be written entirely in Arial, Times New Roman or Cambria 9 pcs font in uniform style, without underlining, capitals or small capitals. The use of boldface and italics should be limited to a minimum. The whole text should maintain single spacing between paragraphs and normal spacing between characters. With the page being A4, all margins should be set at 2 cm, paragraph 1.25 cm, without leaving a margin for a frame.

We accept for publication articles in Polish, English and Russian. In the case of other languages, it is necessary to include a translation into English.

The material should be prepared with the use of text editor software MS Word. The first page should contain: first name and surname of the author(s) along with their correspondence address. Next, both in Polish and English, authors should provide: affiliations of particular authors, the title of the work along with an abstract of a maximum of 250 words (with a division into introduction, material and methods, results and discussion (for original works) and key words - this last being not less than 3 in number). The article should have the same structure, extended with conclusions. If a research was commissioned within a certain grant, statutory work, etc. it is required to specify the source of financing. It is recommended not to use footnotes.

The number of auto-citations must not exceed 20% of the bibliography items. The bibliography is to be provided in Vancouver style; the numbering of citations should be correspondent to the order of their occurrence in the text, where they will be marked with Arabic numerals provided in square brackets at the end of a sentence and before the full stop.

Tables should be black and white only, be middle spaced in the text, with centralised cells, and text provided in Cambria 11 pcs. Only horizontal lines, without shading effects, are allowable in tables. Table descriptions should be provided in Arial 7 pcs.

Illustrations should be black and white, but in substantiated cases can be colour. Descriptions should be in Arial 8 pcs, whilst photographs should be of a minimum resolution of 300 dpi. It is allowable to have uniform numbering of figures and photographs. Illustrations should be provided in an editable format (*.jpg, *.tif). Charts generated with the use of the MS Excel package should be submitted together with source sheets; if charts are generated with the use of a different software, e.g. Statistica, it should take the form of a graphic file (*.jpg, *.tif). Vector graphics, not raster.

Equations should be created with the equation editor of MS Word. It is required to provide an explanation of all the applied abbreviations and symbols.

Detailed instruction for authors is available at the PolHypRes website

**POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH**

2022 NUMBER 1(78)

List of content



TECHNOLOGY

R. Kłos

Design of mine warfare diving technology. Standardisation requirements..... p. 7

M. Miszczak, R. Warchoł, M. P. Gędziorowski, M. Piecuch, G. Grzeczka

VIS camera studies of the combustion process of pyrotechnic retarders of NGP-76 underwater fifle grenades..... p. 31

P. Chrabąszcz, A. Olejnik, K. Szumacher

Prototype of the unmanned marine system "Neogobius -1"..... p. 43

T. Graczyk

Underwater vehicles in the research work of Szczecin Universities – systems and applications..... p. 51

S. Skrzyński

Research on saturation diving in Poland ant its implementation. Part I B. General characteristics of saturation diving research in our Poland. Pioneer times: 1967-1985..... p. 73

MEDICINE

M. Lewicka, M. Zawadzka, P. Siermontowski, W. Giermaziak, G. Henrykowska

Biological threats in diving locations..... p. 87

XXII PTMiTH Scientific conferences..... p. 101

**POLISH
HYPERBARIC
RESEARCH**

2022 NUMER 1(78)

Spis treści



TECHNOLOGIA

R. Kłos

Projektowanie technologii nurkowania w systemie wojny minowej. Wymagania standaryzacyjne..... p. 7

M. Miszczak, R. Warchoń, M. P. Gędziorowski, M. Piecuch, G. Grzczka

Badania za pomocą kamery vis procesu spalania opóźniaczy pirotechnicznych nasadkowych granatów podwodnych NGP-76 p. 31

P. Chrabąszcz, A. Olejnik, K. Szumacher

Prototyp bezzalogowego systemu morskiego "Neogobius -1"..... p. 43

T. Graczyk

Pojazdy podwodne w pracach naukowych Uniwersytetu Szczecińskiego – systemy I zastosowania..... p. 51

S. Skrzyński

Badania nad nurkowaniem saturowanymi w Polsce i ich wdrażanie. Część I B. Ogólna charakterystyka badań nad nurkowaniem saturowanymi w naszym kraju. Czasy pionierskie: 1967- 1985..... p. 73

MEDYCYNA

M. Lewicka, M. Zawadzka, P. Siermontowski, W. Giermaziak, G. Henrykowska

Zagrożenia biologiczne w rejonach nurkowań..... p. 87

XXII Konferencja Naukowa PTMiTH

p. 101

DESIGN OF MINE WARFARE DIVING TECHNOLOGY. STANDARDISATION REQUIREMENTS

PROJEKTOWANIE TECHNOLOGII NURKOWANIA W SYSTEMIE WOJNY MINOWEJ. WYMAGANIA STANDARYZACYJNE

Ryszard Kłos

Naval Academy in Gdynia, Poland

Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

This article is consecutive in an unintended series on diving technology design [1,2]. Requests for a detailed account of the *strategy*¹ employed and its compatibility with methodology² suggest that the earlier description of it proved too general [3]. In the first part, on the example of diving technology used in mine warfare systems, its design is briefly discussed in the light of meeting NATO Standardisation Organisation requirements. The article refers to the elements of the methodology³ applied in the work on the Nx-SCR CRABE SCUBA diving technology on the basis of the national theory⁴ containing primarily deterministic methods⁵ for modelling semi-closed SCR breathing systems⁶, enabling reliable research with previously unavailable efficiency [4,5].

Keywords: Aparat nurkowy o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego/Semi-Closed Circuit Rebreather, Technologia nurkowania/Diving technology.

Artykuł jest kolejnym z niezamierzonego cyklu dotyczącego projektowania technologii nurkowania [1,2]. Żądania szczegółowego ukazania zastosowanej strategii¹ i jej zgodności z metodologią² sugerują, że wcześniejszy jej opis okazał się zbyt ogólny [3]. W części pierwszej, na przykładzie technologii nurkowania wykorzystywanej w systemie wojny minowej, omówiono pokrótce jej projektowanie, w świetle spełnienia wymagań standaryzacyjnych NATO Standardization Organization. Artykuł odnosi się do elementów metodyki³ zastosowanej przy pracach nad technologią wykorzystania aparatu nurkowego typu Nx/Tx-SCR CRABE SCUBA w oparciu o krajową teorię⁴ zawierającą przede wszystkim deterministyczne metody⁵ modelowania półzamkniętych systemów oddechowych SCR⁶, umożliwiającą prowadzenie wiarygodnych badań z niedostępną wcześniej efektywnością [4,5].

Słowa kluczowe: Aparat nurkowy o półzamkniętym obiegu czynnika oddechowego/Semi-Closed Circuit Rebreather, Technologia nurkowania/Diving technology.

Эта статья - очередная в незапланированной серии о разработке технологии погружения [1,2]. Запросы на детальную демонстрацию используемой стратегии¹ и на ее соответствие методологии² говорят о том, что предыдущее ее описание оказалось слишком общим [3].

В первой части на примере технологии погружения, используемой в системе противоминной борьбы, кратко обсуждается ее разработка, в свете соответствия ее требованиям по стандартизации, предъявляемым Standardization Organization.

В статье рассматриваются элементы методологии³, используемой при разработке технологии использования водолазного аппарата типа Nx/Tx - SCR Crabe Scuba на основе отечественной теории⁴, содержащей преимущественно детерминистические методы⁵ моделирования полужамкнутых дыхательных систем, которые позволяют проводить достоверные исследования с ранее недоступной эффективностью [4,5].

Ключевые слова: Водолазный аппарат с полужамкнутой циркуляцией дыхательного агента, Технология погружения

Der vorliegende Beitrag ist der nächste in einer eher unbeabsichtigten Reihe über die Gestaltung von Tauchtechniken [1,2]. Die detaillierte Darstellung der angewandten Strategie¹ und ihre Übereinstimmung mit der Methodik² lassen vermuten, dass sich die frühere Beschreibung als zu allgemein erwiesen hat [3]. Im ersten Teil wird am Beispiel der in einem Minenkampfsystem verwendeten Tauchertechnik kurz deren Auslegung unter Berücksichtigung der Normungsanforderungen der Normungsorganisation erörtert. Der Artikel bezieht sich auf Elemente der Methodik³, die bei der Entwicklung der Technologie für den Einsatz des Tauchgeräts Nx/Tx - SCR Crabe Scuba, angewandt wurde, was auf einer nationalen Theorie⁴ basiert, die in erster Linie deterministische Methoden⁵ für die Modellierung von halbgeschlossenen Atemsystemen⁶ enthält und es ermöglicht, zuverlässige Forschungen mit bisher nicht erreichter Effizienz durchzuführen [4,5].

Schlüsselwörter: Tauchgerät mit halbgeschlossenem Atemmittelkreislauf, Tauchtechnik.

El artículo es el siguiente de un ciclo no planeado relativo al diseño de la tecnología de buceo [1,2]. Las solicitudes de una presentación más detallada de la estrategia¹ empleada y su conformidad con la metodología² sugieren que antes su descripción resultó ser demasiado general [3].

En la primera parte, en el ejemplo de la tecnología de buceo empleada en el sistema de guerra de minas, se ha tratado brevemente su diseño, teniendo en consideración el cumplimiento de los requisitos de estandarización de Standardization Organization. El artículo hace referencia a los elementos de la metodología³ empleada en los trabajos en la tecnología de uso de un aparato de buceo del tipo Nx/Tx - SCR Crabe Scuba sobre la base de una teoría⁴ nacional que incluye ante todo métodos⁵ deterministas de modelado de sistemas respiratorios semicerrados⁶, que permite realizar estudios fiables con una eficiencia antes no disponible [4,5].

Palabras clave: Aparato de buceo con sistema semicerrado de gas respirable, tecnología de buceo.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2022 Vol. 78 Issue 1 pp. 7 – 30

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2022-0001

Pages: 24, figures: 3, tables: 0

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

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 13.03.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 14.05.2021 r.



WSTĘP

We wstępie zostaną pokrótce przedstawione definicje jakie będą potrzebne w dalszej części artykułu.

INTRODUCTION

The introduction will briefly outline the definitions that will be needed later in the article.

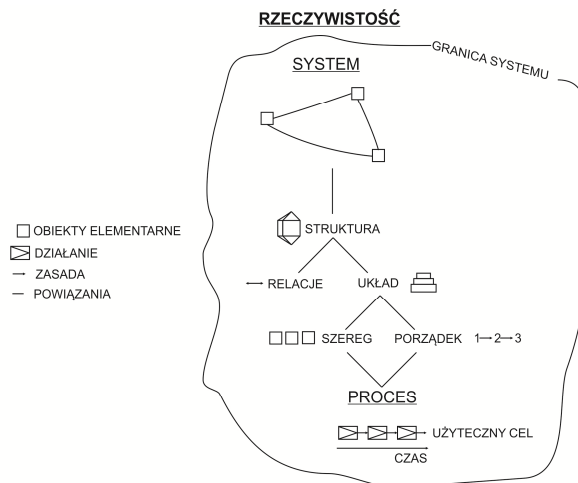


Fig.1 Pictogram model of the system and the process taking place in it.

Rys.1 Model piktogramowy⁷ systemu i przebiegającego w nim procesu.

PROCES

Proces to przebiegający w czasie szereg działań nastawionych na osiągnięcie konkretnego celu. Warunki oddziałujące na proces stanowią kontekst wewnętrzny i zewnętrzny⁸ – rys.1.

Proces może przebiegać jedynie w systemie, który może zapewnić mu homeostazę⁹ umożliwiającą jego realizację przy aprobowanym poziomie ryzyka niepowodzenia.

SYSTEM

Wyróżniony¹⁰ system stanowi racjonalnie minimalny¹¹ zbiór elementów wraz z synergicznymi¹² powiązaniem między nimi, gwarantujący możliwość przebiegu zdefiniowanych w nim procesów – rys.1.

W odróżnieniu od systemów naturalnych, dla których nie zawsze znany jest cel¹³ przebiegających w nim procesów¹⁴, przynajmniej w swym zamierzeniu system tworzony przez człowieka powinien posiadać racjonalne podstawy.

Elementy systemu wraz z relacjami tworzą strukturę systemu, w której można wyróżnić: porządek, układ, serie, relacje itp.

PODEJŚCIE PROCESOWE

Wszelką racjonalną działalność człowieka można ująć w postaci procesu, który może przebiegać jedynie we wspomagającym go otoczeniu systemowym, stanowiącym zbiór synergetycznie powiązanych elementów składających się na wyróżnioną z otaczającej rzeczywistości strukturę systemu, określaną kontekstem wewnętrznym.

PROCESS

A process is a series of activities taking place over time to achieve a specific objective. The conditions affecting the *process* are the internal and external context⁸ – fig.1.

The process can only take place in a system that can ensure its *homeostasis* allowing it to be carried out with an approved level of risk of failure.

SYSTEM

The distinguished¹⁰ *system* is a reasonably minimal¹¹ set of elements together with synergetic¹² relations between them, guaranteeing the possibility of running the processes defined in it – fig.1.

Unlike natural systems, for which the purpose¹³ of the processes¹⁴, taking place within them is not always known, a man-made system should have a rational basis, at least in its intention.

The elements of the system together with the relations form the structure of the system, in which we can distinguish: order, system, series, relations, etc.

PROCESS APPROACH

All rational human activity can be presented as a process, which can only take place in the supporting system environment, which is a set of synergetically related elements that make up the system structure, distinguished from the surrounding reality and defined by the internal context.

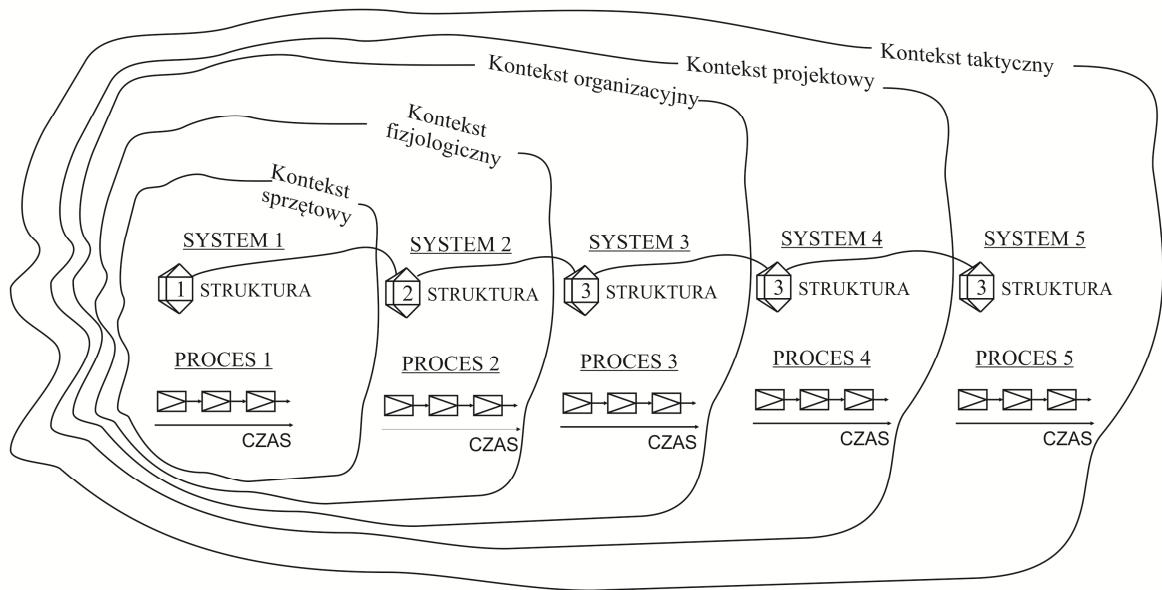


Fig. 2 Pictogram model of system boundary shifting depending on the chosen context:

SYSTEM STRUCTURE: 1-elements forming the technical armament such as: essential and emergency breathing devices, devices for descending the diver, providing thermal protection, hyperbaric treatment, etc.; 2-norms of oxygen toxicity, homeostasis ranges, decompression regimes, etc.; 3-organisational rules, legal norms, etc.; 4-research methods, project management rules, Bioethics Commission permits, etc.; 5-principles of warfare, in this case mine warfare.

MAIN PROCESSES: 1-technical execution of diving; 2-safe and efficient conduct of exposure and decompression; 3-safe and efficient conduct of underwater works; 4-efficient and timely achievement of the unique goal of technology development; 5-efficient fine-tuning of tactical requirements.

Rys. 2 Model piktogramowy przesuwania granic systemu zależnie od wybranego kontekstu:

STRUKTURA SYSTEMU: 1-elementy tworzące uzbrojenie techniczne, jak: zasadnicze i awaryjne aparaty oddechowe, urządzenia do opuszczania nurka, zapewnienia ochrony cieplnej, leczenia hiperbarycznego itp.; 2-normy toksyczności tlenowej, zakresy homeostazy, reżimy dekompresyjne itp.; 3-zasady organizacyjne, normy prawne itp.; 4-metody badawcze, zasady zarządzania projektem, pozwolenia Komisji Bioetycznej itp.; 5-zasady prowadzenia walki, w tym przypadku wojny minowej.

GŁÓWNE PROCESY: 1-techniczna realizacja nurkowania; 2-bezpieczne i efektywne prowadzenie ekspozycji i dekompresji; 3-bezpieczne i efektywne prowadzenie prac podwodnych; 4-efektywne i terminowe osiągnięcie unikatowego celu w postaci opracowania technologii; 5-efektywne dopracowanie wymagań taktycznych

Kontekst zewnętrzny stanowią elementy powiązane z elementami systemu, lecz leżące poza granicami systemu – rys.1. Zależnie od potrzeb prowadzonych analiz granice systemu mogą być przesuwane – rys. 2. Modelowanie przyjmujące proces jako jądro budowy systemu nazywane jest podejściem procesowym.

PERCEPCJA

Pojmowanie rzeczywistości jest realizowane poprzez budowę jej uproszczonych modeli, gdyż otaczająca rzeczywistość jest zbyt skomplikowana w stosunku do możliwości naszej percepcji¹⁵.

MODEL

Model jest maksymalnie uproszczoną wersją realnego systemu zdolną do podtrzymania interesującego nas procesu z wymaganą precyzją i dokładnością.

Modele teoretyczne często budowane są na bazie strukturalnego izomorfizmu¹⁶ poznanych systemów, homologii¹⁷ do poznanego procesu oraz analogii¹⁸ do poznanych procesów zachodzących w podobnych systemach.

The external context consists of elements connected with system elements, but lying beyond the system boundaries – Fig. 1. Depending on the needs of the conducted analyses, system boundaries may be shifted – Fig. 2. Such modelling of human activity is called a process approach.

PERCEPTION

The understanding of reality is realised through the construction of simplified models, as the surrounding reality is too complicated in relation to the possibilities of our perception¹⁵.

MODEL

A model is a maximally simplified version of a real system capable of supporting the process of interest with the required precision and accuracy.

Theoretical models are often built on the basis of structural isomorphism¹⁶ of known systems, homology¹⁷ to the known process and analogy¹⁸ to known processes occurring in similar systems.

At the initial stage of building models, cybernetic models¹⁹ are often used, reflecting the basic structure of

Na wstępnym etapie budowy modeli często wykorzystywane są modele cybernetyczne¹⁹, odzwierciedlające podstawową strukturę systemu podtrzymujące analogiczny do oryginału proces wymiany informacji wewnątrz jak i na zewnątrz systemu.

W obecnych warunkach rynkowych, dla każdego typu aktywności człowieka niezwykle istotne jest modelowanie ekonomiczne²⁰. Przy realizacji projektów model ekonomiczny często przyjmuje postać studium wykonalności.

WALIDACJA

Walidacja to proces mający na celu potwierdzenie w sposób udokumentowany i zgodny z założeniami, że ustanowiony na podstawie rozważań teoretycznych model systemu lub przebiegającego w nim procesu jest wystarczająco wiarogodny do zaplanowanych celów. Jeśli walidacja prowadzona jest w oparciu o modele statystyczne²¹, to ze względu na często znaczną kosztowność, powinna być ona wprzód oceniona pod kątem ekonomicznym²².

IMPLEMENTACJA

Zakończenie procesu walidacji wynikiem pozytywnym umożliwia implementację²³ modelu.

MONITORING

Najczęściej, w podejściu analitycznym nie można przewidzieć wszystkich interakcji pomiędzy elementami systemu. Dlatego struktura systemu, zbudowana na podstawie takiej analizy, musi być sprawdzona pod kątem spełnienia wymagań dotyczących możliwości bezspornego podtrzymania procesów, którym dedykowany był system. Całościowe sprawdzenie sprawności systemu nazywane jest podejściem holistycznym. Nawet adoptowanie sprawdzonej wcześniej technologii²⁴ musi być bezwzględnie walidowane przy jej dostosowaniu do wykorzystania w konkretnym środowisku systemowym, zwłaszcza jeśli dotyczy to technologii niosących duży ładunek zagrożeń. Dodatkowo, takie technologie powinny być obligatoryjnie, przynajmniej okresowo sprawdzane²⁵ a wypadki powstałe wskutek ich wykorzystania szczegółowo badane²⁶.

TECHNOLOGIA NURKOWANIA

Tradycyjnie, przy testowaniu systemów nurkowych stosowano w Polsce metodykę postępowania opartą o ocenę zagrożenia²⁷ chorobą ciśnieniową DCS metodami wnioskowania statystycznego. Klasyczne podejście bazuje na wnioskowaniu statystycznym na podstawie przeprowadzonych eksperymentów w oparciu o rozkład binominalny²⁸. Podobnie można podejść do oceny zagrożeń związanych z toksycznością tlenową, zwłaszcza ośrodkową formą toksyczności tlenowej CNSyn.

Plan eksperymentu walidacyjnego układany jest na podstawie dostępnej wiedzy o systemie, który opisywanym przypadkiem stanowi ergonomiczny układ maszyna–człowiek²⁹. Następnie multiplikowana jest ta sama, doświadczalna ekspozycja hiperbaryczna z wymaganą odtwarzalnością i powtarzalnością³⁰ oraz zbierane są odpowiedzi systemu w postaci

the system supporting analogous to the original process of information exchange inside and outside the system.

In the current market conditions, for every type of human activity, economic modelling is extremely important²⁰. In respect to the implementation of projects, it often takes the form of a feasibility study.

VALIDATION

Validation is the process of confirming in a documented and compliant manner that a model of a system or a process established on the basis of theoretical considerations is of sufficient reliability for the intended purposes. If validation is conducted based on statistical models²¹, it should first be evaluated from an economic point of view, given its often considerable cost²².

IMPLEMENTATION

Successful completion of the validation process enables model implementation²³.

MONITORING

In most cases, the analytical approach is unable to predict all interactions between system elements. Therefore, the system structure, built on the basis of such an analysis, must be checked in terms of meeting the requirements for the ability to unquestionably sustain the processes to which the system was dedicated. A system-wide check of the efficiency of the system is called a holistic approach. Even the adoption of a previously proven technology²⁴ must be validated in its adaptation to the use in a specific system environment, especially if it concerns technology with a high risk load. In addition, such technologies should be compulsorily, at least periodically checked²⁵ and accidents arising from their use investigated in detail²⁶.

DIVING TECHNOLOGY

Traditionally, when testing diving systems, the methodology used in Poland was based on assessing the risk²⁷ of decompression sickness (DCS) using statistical inference methods. The classical approach is based on statistical inference on the basis of performed experiments based on binominal distribution²⁸. A similar approach may be applied to assess the risk of oxygen toxicity, especially the central form of oxygen toxicity (CNSyn).

A validation experiment is planned on the basis of the available knowledge of the system, which in this case is an ergonomic machine-human system²⁹. The same experimental hyperbaric exposure is then multiplied with the required reproducibility and repeatability³⁰ and the system responses are collected in a dichotomous form³¹. The compiled results are used to determine the risk of DCS or CNSyn, expressed in terms of the probability of this risk materialising in the future, according to statistical inference based on an assumed statistical distribution. Such inference requires considerable effort to carry out experimental dives³². To confirm from the binomial distribution that the risk of DCS [6] is less than 1% at the 95% confidence level, a minimum of 299 experimental dives must be completed without a single case of DCS occurring. If one case of DCS occurs during the

dychotomicznej³¹. Zebrane wyniki służą do określenia ryzyka DCS czy CNSyn, wyrażonego prawdopodobieństwem materializacji tego ryzyka w przyszłości, na podstawie wnioskowania statystycznego w oparciu o przyjęty rozkład statystyczny. Wnioskowanie takie wymaga znacznych nakładów na przeprowadzenie nurkowań eksperymentalnych³². Aby potwierdzić na podstawie rozkładu binominalnego, że zagrożenie DCS jest mniejsze niż 1% przy 95% poziomie ufności należy wykonać minimum 299 nurkowań eksperymentalnych bez wystąpienia ani jednego przypadku choroby ciśnieniowej DCS [6]. Jeśli podczas cyklu wystąpi jeden przypadek DCS można kontynuować badanie do skompletowania 555 nurkowań eksperymentalnych bez wystąpienia już jakiegokolwiek przypadku DCS, aby potwierdzić zagrożenie chorobą ciśnieniową DCS na tym samym poziomie [7,8].

W warunkach krajowych stosowanie metody wnioskowania w oparciu o rozkład binominalny jest kłopotliwe do zastosowania. Dlatego, prowadzono je dotąd jako jedynie badania przesiewowe, wykorzystując analizę sekwencyjną [9]. Podobne podejście zaproponowane zostało przez Naval Medical Research Institute US Navy [10]. Procedura zapewnia odrzucenie rozkładu dekompresji, który generuje zagrożenie możliwością wystąpienia objawów DCS na poziomie większym niż 10% po maksymalnie 40 nurkowaniach eksperymentalnych³³ z prawdopodobieństwem ok. 90% [4].

W Polsce, takie podejście stosowane było dla skumulowanego modelu dekompresji i wentylacji, gdyż wykorzystanie tej procedury do zatwierdzania każdego rozkładu dekompresji przewidzianego w technologii nurkowania jest nierealne w warunkach krajowych³⁴.

Obecnie, ze względu na zapewnienie luki w wiedzy związanej z posiadaniem krajowych modeli deterministycznych i statystycznych dla ryzyka DCS oraz CNSyn walidacja w oparciu o rozkład binominalny stała się możliwa przy konsekwentnym zastosowaniu niezmiennych modeli do całej technologii. Jednak takie podejście może prowadzić do zmniejszenia efektywności tak opracowanych technologii w niektórych obszarach jej wykorzystania³⁵ [1].

PROJEKT

Projekt to tymczasowe działanie, najczęściej przebiegające w zmiennym i niepewnym środowisku, mające sprecyzowany termin swojego rozpoczęcia, zakres, budżet, unikalny cel, którego osiągnięcie może zatrzymać projekt oraz zdefiniowany termin zakończenia, który obowiązuje nawet jeśli cel projektu nie zostanie osiągnięty. Na podstawie zdefiniowanego unikalnego celu, projekt ma sprecyzowaną propozycję procesu służącego do jego osiągnięcia³⁶ przy minimalnej oraz optymalnej strukturze systemu³⁷ mogącego zapewnić stabilną i efektywną realizację tego procesu z uwzględnieniem zarówno wpływu na środowisko oraz wpływu środowiska na system i przebiegający w nim proces.

KONTEKST

Sposób pozyskiwania wiedzy oraz podejście procesowe nie będą tutaj szczegółowo charakteryzowane, gdyż zostały opisane wcześniej [1]. Kontekst sprzętowy, fizjologiczny, organizacyjny, badawczy i projektowy oraz

cycle the study can be continued until 555 experimental dives have been completed without the occurrence of any more cases of DCS to confirm the risk of decompression sickness at the same level [7,8].

Under domestic conditions, the application of the inference method based on binomial distribution is not practicable. Therefore, to date, it has only been conducted as a screening study using sequential analysis [9]. A similar approach was proposed by the Naval Medical Research Institute of the US Navy [10]. The procedure ensures the rejection of decompression schedules that generate a risk of DCS symptoms greater than 10% after a maximum of 40 experimental dives³³ with a probability of approximately 90% [4].

In Poland, this approach has been used for the cumulative decompression and ventilation model, as it is unrealistic under domestic conditions to use this procedure to validate every decompression schedule provided by the diving technology³⁴.

At present, due to the filling of the knowledge gap related to the possession of national deterministic and statistical models of DCS risk and CNSyn, validation based on binomial distribution has become possible with the application of models to the entire technology. However, this approach may lead to reduced effectiveness of the technology so developed in some areas of its use³⁵ [1].

PROJECT

A project is a temporary activity, typically taking place in a changing and uncertain environment, with a defined start date, scope, budget, and unique objective which, if achieved, can bring the project to a halt, and a defined end date which applies even if the project objective is not achieved. On the basis of the defined unique objective, the project has a specified proposal of the process for its achievement³⁶, with a minimal and optimum system structure ³⁷ capable of ensuring stable and effective implementation of this process, taking into account both the impact on the environment and the impact of the environment on the system, and the process taking place in it.

CONTEXT

The knowledge acquisition and process approach will not be characterised in detail here, as they have been previously described [1]. The equipment, physiological, organisational, research and design and tactical contexts³⁸ have also been outlined in general terms earlier against the background of the main purpose of the diving process [2]. However, the tactical context will be further developed here.

In the description of the tactical context it was pointed out that, in military diving, the dominant role is played by the use of diving gear and equipment as structural elements of the system ensuring the implementation of processes resulting from the adoption of specific tactics.

In the definition of the project tasks, diving is an element of the system serving the processes of ensuring the protection of own forces and public safety, which can be divided into three subsystems: MCM³⁹, EOD⁴⁰ and IED⁴¹. The aforementioned protection of own forces and public safety consists of the context of mine warfare,

taktyczny³⁸ został także ogólnie przedstawiony wcześniej na tle głównego celu procesu nurkowania [2]. Jednak kontekst taktyczny zostanie tutaj dodatkowo rozwinięty.

W opisie kontekstu taktycznego zaznaczono, że w nurkowaniach wojskowych dominującą rolę odgrywa wykorzystanie sprzętu i wyposażenia nurkowego, jako elementów strukturalnych systemu, zapewniającego realizację procesów wynikających z przyjęcia określonej taktyki.

W rozumieniu zadań projektowych, nurkowania stanowią element systemu służący procesom zapewnienia ochrony sił własnych oraz bezpieczeństwa publicznego, który można podzielić na trzy podsystemy: MCM³⁹, EOD⁴⁰, IED⁴¹. Wspomniane zapewnienie ochrony sił własnych oraz bezpieczeństwa publicznego składa się na kontekst wojny minowej, gdzie nurkowanie stanowi sposób przemieszczania się sił, podobnie jak samodzielne przemieszczanie się pododdziałów na lądzie.

Taktyczny kontekst wojny minowej stanowił kontekst systemowy dla projektu. Był on punktem wyjścia do sprecyzowania głównego celu procesu realizowanego w środowisku systemowym, które to środowisko stanowi technologię nurkowania w kontekście założeń wojny minowej.

Systemowy kontekst taktyczny projektu zostanie scharakteryzowany z punktu widzenia NATO Standardization Organization.

MINY MORSKIE

Miny morskie są jednym z głównych rodzajów uzbrojenia używanego na morzu. Zazwyczaj są to tanie i proste urządzenia, łatwe w produkcji i wdrażaniu, nie wyłączając w obecnym czasie tzw. min inteligentnych. Wody przybrzeżne wymagają od wszystkich marynarek wojennych zdolności do lokalizowania i niszczenia min morskich w celu zminimalizowania ryzyka zniszczenia okrętów i statków operujących na podejściach do różnego rodzaju infrastruktury morskiej, oraz zapewnienia bezpieczeństwa żeglugi [10].

Podstawowym elementem kontekstu do systemu operacji nurkowych, oprócz barier fizjologicznych i sprzętowych, należą ogólne zasady prowadzenia wojny minowej MCM⁴². Scenariusze operacji nurkowych stanowią podstawowy element struktury podsystemu wykorzystania nurków w systemie wojny minowej MCM. Ze scenariuszy operacyjnych wynikają podstawowe wymagania dotyczące wybranej technologii prowadzenia prac podwodnych. Dodatkowym podsystemem może być wykorzystanie nurków MCM w działaniach specjalnych. Zatem, scenariusze operacyjne mają wpływ na technologię realizacji prac podwodnych, która ma podstawowy wpływ na opracowanie adekwatnego systemu dekompresji⁴³.

Obecnie obserwuje się tendencję do znacznego ograniczenia wykorzystania nurków w wojnie minowej MCM a wyraźnego zwiększenia ich wykorzystania w działaniach specjalnych, zarówno wojskowych jak i policyjnych⁴⁴. Często działania minerskie prowadzi się w sposób skryty, bez wykorzystania wsparcia elektronicznego⁴⁵. Skryte działanie przy operacjach specjalnych jest zrozumiałe. Przy działaniach IED dedykowanych przeciw minom inteligentnym, ten wymóg jest także rozsądny. Za miny inteligentne można uważać każdy system ładunków sterowanych lub autonomicznych wyposażonych w jakiegokolwiek system inteligencji wewnętrznej⁴⁶ lub zewnętrznej⁴⁷. Przykładowo, za minę inteligentną można obecnie uznać

where diving is a way of moving forces, similarly to the independent movement of subunits on land.

The tactical context of mine warfare provided the system context for the project. It was the starting point for specifying the main objective of the process carried out in the system environment, which is the diving technology in the context of mine warfare assumptions.

The systemic tactical context of the project will be characterised from the point of view of the normative documents of the NATO Standardisation Organisation.

NAVAL MINES

Naval mines are one of the main types of armament used at sea. They are cheap and simple devices, easy to produce and deploy, not excluding the current trend towards so-called 'smart' mines. Coastal waters require all navies to be capable of locating and destroying naval mines in order to minimise the risk of damage to ships and vessels operating on approaches to various maritime infrastructures, and to ensure the safety of shipping [10].

A fundamental element of the context to the dive operations system, in addition to physiological and equipment barriers, are the general principles of MCM mine warfare⁴². The diving operations scenarios are the basic element of the structure of the subsystem for the use of divers in the MCM mine warfare system. The operational scenarios provide the basic requirements for the selected underwater technology. An additional subsystem may be the use of MCM divers in special operations. Thus, operational scenarios have an impact on underwater work execution technology, which has a fundamental influence on the development of an adequate decompression system⁴³.

Currently, a trend is observed towards a significant reduction in the use of divers in MCM mine warfare and a marked increase in their use in special operations, whether military or police⁴⁴. Often mine operations are conducted covertly, without the use of electronic support⁴⁵. Covert action in special operations is understandable. With IED operations dedicated against smart mines, this requirement is also reasonable. Any system of guided or autonomous charges equipped with any internal⁴⁶ or external⁴⁷ intelligence system can be considered a smart mine. For example, an autonomous, self-propelled charge⁴⁸, a torpedo, a rocket-torpedo, a cruise munition, etc., may also be considered a smart mine at present. In contrast to covert operations and IEDs, typical EOD diving operations, dedicated to UXO elimination⁴⁹, can be supported by electronic equipment.

NATO DOCUMENTS

Recently, many NATO standardisation documents have been withdrawn. This is due to a change in the approach to these documents, which cease to serve as a common base of baseline knowledge and become only a form of minimum agreements applicable in case of joint operations. Thus, a significant part of the didactic value of these documents has been lost, while at the same time increasing the possibility to conduct faster implementations without the need to conduct state-of-the-art arrangements.

A transitional period of document reordering is currently underway, hence old documents developed as

także: niezależny, samobieźny ładunek⁴⁸, torpedę, rakięto-torpedę, amunicję krążącą itp. W odróżnieniu od operacji specjalnych i IED, typowe nurkowe działania EOD, dedykowane likwidacji UXO⁴⁹, mogą być wspierane wyposażeniem elektronicznym.

DOKUMENTY NATO

Ostatnio wycofano wiele dokumentów normalizacyjnych NATO. Jest to spowodowane zmianą podejścia do tych dokumentów, które przestają pełnić funkcję wspólnej bazy wiedzy podstawowej a stają się jedynie formą minimalnych uzgodnień obowiązujących w razie wspólnych działań. W ten sposób utracono znaczną część walorów dydaktycznych tych dokumentów, zwiększając jednocześnie możliwość prowadzenia szybszych ich wdrożeń, bez konieczności prowadzenia uzgodnień dotyczących aktualnego stanu wiedzy.

Trwa obecnie okres przejściowy porządkowania dokumentów, stąd czasami jeszcze egzystują stare dokumenty opracowane w stylu baz wiedzy. Można do takich zaliczyć wytyczne dotyczące dzielności morskiej okrętów [11]. Ten stosunkowo nowy dokument utrzymuje w mocy, między innymi, dość stary dokument precyzujący zalecenia dla okrętów wojny minowej MCM [10].

W aneksie A: *General problems of MCM operations* do ANEP – 16 zostały wyszczególnione podstawowe definicje oraz opisane zostały typy operacji MCM. Według ANEP – 16 rozróżnia się następujące podstawowe rodzaje aktywnych operacji MCM:

- *mechaniczne*: trałowanie min za pomocą urządzeń przeznaczonych do przecinania lin cumowniczych min,
- *aktywacyjne*: wymuszenie zadziałania min poprzez symulację sygnatury celu w postaci pola magnetycznego, akustycznego, ciśnieniowego, elektrycznego lub ich kombinacji,
- *poszukiwawcze* MH⁵⁰: wykrywanie pojedynczych min za pomocą urządzeń lokalizacyjnych i ich późniejsze usuwanie lub odzyskiwanie do celów badawczych, realizowane za pomocą pojazdów lub nurków operujących z jednostki poszukiwawczej,
- *nurkowe CDO*⁵¹: lokalizacja i usuwanie min przy wykorzystaniu nurków ograniczone do wód stosunkowo płytkich

Według ANEP – 16 w operacjach MCM można wyróżnić trzy fazy będące ogólnymi scenariuszami operacyjnymi:

- *rozpoznanie*: wstępne badanie obszaru lub trasy w celu określenia obecności lub braku min. Najbardziej efektywnym sposobem realizacji dla tych operacji są taktyki poszukiwawcze MH,
- *rozminowanie*: przy użyciu taktyki MH lub trałowania min, które są przeznaczone do usuwania lub redukcji min z określonego obszaru do określonego poziomu rozminowania⁵²,
- *utrzymanie/wyniszczenie*⁵³: są przedłużeniem operacji rozminowania gdy staje się to konieczne⁵⁴ do utrzymania niskiego ryzyka dla żeglugi.

knowledge bases occasionally still exist. These include the Guidelines for the Maritime Safety of Ships [11]. This relatively new document upholds in effect, among other things, a rather old document specifying recommendations for mine warfare ships MCM [10].

In Annex A: General problems of MCM operations do ANEP-16 the main definitions are listed and the types of MCM operations are described. According to ANEP-16 the following main types of active MCM operations are distinguished:

- *mechanical*: minesweeping with devices designed to cut the mooring lines of mines,
- *activation*: inducing a mine trigger by simulating a target signature in the form of a magnetic, acoustic, pressure, electric field or a combination thereof,
- *MH*⁵⁰ operations: detection of individual mines by means of tracking devices and their subsequent removal or recovery for research purposes by vehicles or divers operating from the exploration vessel,
- *CDO*⁵¹: location and clearance of mines by divers limited to relatively shallow waters.

According to ANEP-16 three phases can be distinguished in MCM operations as general operational scenarios:

- *reconnaissance*: preliminary survey of an area or route to determine the presence or absence of mines. The most effective means of execution for these operations are MH tactics,
- *demining*: using MH tactics or minesweeping, which are designed to remove or reduce mines from a defined area to a defined mine clearance level⁵²,
- *maintenance/destruction*⁵³: they are an extension to demining operations when it is necessary⁵⁴ to maintain a low risk to shipping.

The scenarios described in ANEP-16 take into account only maritime mine countermeasures MCM omitting military and police special operations⁵⁵, rescue⁵⁶ and destruction operations⁵⁷, etc. To these we may add active mine action security operations in maritime and inland waters⁵⁸. Elements of these scenarios were described earlier in the context analysis in the subsection: Tactical context [2].

A general overview of how CDO diving operations are conducted in NATO in the maritime mine countermeasures system MCM is described in Chapter 7 Clearance diving operations in the document MTP-24 Naval mine countermeasures – tactics and execution [12]. MTP-24 was introduced by the standardisation provision STANAG 1132 [13]. Chapter 7 MTP-24 outlines the general principles for the use of existing equipment and methods employed strictly in conjunction with Allied Guide to Diving Operations⁵⁹ ADivP-01 [14].

Under MTP-24 scenarios of mine countermeasures MCM implemented as clearance diving operations CDO are operations carried out autonomously by CDTs⁶⁰ with authorisation to locate, identify and remove mines and underwater munitions. MTP-24 does not restrict the operations carried out by CDTs to shallow waters VSW⁶¹, as in ANEP-16.

According to MTP – 24, the objectives of mine counteraction diving operations CDO are: to locate,

Opisane w ANEP – 16 scenariusze, uwzględniają jedynie morskie działania przeciwminowe MCM pomijając wojskowe i policyjne działania specjalne⁵⁵, działania ratownicze⁵⁶ i niszczenia⁵⁷ itp. Można do nich dodać aktywne działania zabezpieczenia przeciwminowego na wodach morskich i śródlądowych⁵⁸. Elementy tych scenariuszy zostały opisane wcześniej w analizie kontekstu w podrozdziale: *Kontekst taktyczny* [2].

Ogólnie sposób prowadzenia w NATO nurkowych działań przeciwminowych CDO w systemie morskich działań przeciwminowych MCM opisano w rozdziale 7 *Clearance diving operations* w dokumencie MTP – 24 *Naval mine countermeasures - tactics and execution* [12]. MTP – 24 zostało wprowadzone postanowieniem standaryzacyjnym STANAG 1132 [13]. Rozdział 7 MTP – 24 zawiera ogólne zasady dotyczące użytkowania istniejącego sprzętu i zastosowanych metod ściśle w połączeniu z *Allied Guide to Diving Operations* 59 ADivP – 01 [14].

Według MTP – 24 scenariusze operacyjne wojny minowej MCM realizowane jako przeciwminowe operacje nurkowe CDO to operacje wykonywane samodzielnie przez minerskie grupy nurkowe CDTs⁶⁰ z zezwoleniem na lokalizację, identyfikację i usuwanie min oraz podwodnej amunicji. MTP – 24 nie ogranicza operacji realizowanych przez minerskie grupy nurkowe CDTs do akwenów płytkich VSW⁶¹, tak jak to miało miejsce w ANEP – 16.

Według MTP – 24, celami nurkowych operacji przeciwminowych CDO jest: lokalizacja, identyfikacja i likwidacja min⁶².

Na możliwości realizacji tych celów przez minerskie grupy nurkowe CDTs wpływają warunki panujące na powierzchni⁶³ oraz pod wodą⁶⁴. Na możliwości do prowadzenia nurkowych operacji przeciwminowych CDO wpływa również używany sprzęt i czynniki oddechowe. Warunki prowadzenia CDO zostały opisane w ADivP – 01 [14].

- Section One. Chapter 1: *General Considerations on the Use of Divers*,
- Section Two. Chapter 11: *Diving Breathing Gases and Interoperability of Gas Supplies*

Według MTP – 24, przeciwminowe operacje nurkowe CDO mogą być prowadzone w ramach operacji wojny minowej MCM także na głębokościach większych niż operacje w pobliżu brzegu morza VSW, jak to zostało zasugerowane w ANEP – 16. Oczywiście należy rozumieć, że ograniczenia wyszczególnione w ANEP – 16 zostało wprowadzone z operacyjnego punktu widzenia jednostki pływającej, dla której nawigowanie w bezpośredniej bliskości brzegu jest niebezpieczne.

Według MTP – 24, w procesie planowania użycia minerskich grup nurkowych CDTs do prowadzenia nurkowych operacji przeciwminowych CDO należy uwzględnić wykorzystanie ekspertów MCM, zgodnie z MTP – 6 Volume II: *Naval mine countermeasures operations planning and evaluation*, Chapter 11: *Mine countermeasures planning and evaluation methods using MCM expert*. Przy planowaniu operacji wojny minowej MCM realizowanych metodą nurkowych operacji przeciwminowych CDO z uwzględnieniem tego zalecenia, łączy się walory technicznej realizacji misji z jednoczesnym zaangażowaniem wiedzy eksperckiej. Jest to szczególnie przydatne podczas diagnozowania⁶⁵ niezidentyfikowanych obiektów mino-podobnych UMO⁶⁶. Stąd operacje prowadzone metodą nurkowych operacji

identify and eliminate mines⁶².

The ability of CDTs to achieve these objectives are affected by the conditions on the surface⁶³ and under water⁶⁴. The capabilities to conduct CDOs is also impacted by the equipment and breathing mixes used. The conditions for conducting CDOs are described in ADivP-01 [14]:

- Section One. Chapter 1: *General Considerations on the Use of Divers*.
- Section Two. Chapter 11: *Diving Breathing Gases and Interoperability of Gas Supplies*.

Pursuant to MTP-24, CDOs can be conducted as part of MCM also at depths greater than the near-shore operations (VSW), as suggested in ANEP-16. Of course, it should be understood that the limitations detailed in ANEP-16 have been introduced from the operational point of view of a vessel for which navigating in close proximity to the shore is hazardous. According to MTP-24, in the planning process for the use of CDTs to carry out CDOs the use of experts in MCM should be considered in concord with MTP-6 Volume II: *Naval mine countermeasures operations planning and evaluation*, Chapter 11: *Mine countermeasures planning and evaluation methods using an MCM expert*. When planning MCM using CDOs while taking into account this recommendation, the qualities of technical mission accomplishment are combined with the involvement of expert knowledge. This is particularly useful when diagnosing⁶⁵ unidentified mine-like objects UMO⁶⁶. Hence, operations conducted by means of CDOs continue to play an important role in mine warfare tactics.

The introduction to ADivP-01 clarifies the basic types of diving missions carried out in NATO. Within MCM diver support operations counteracting naval mines, whereas in the field of EOD/IED divers are used to identify potential UXO/UMO, to remove or neutralise explosives IED, or for reconnaissance during customs clearance. Within the scope of disposal or neutralisation of explosives, divers are used to perform passages⁶⁷, remove obstacles, demolitions, etc. In the field of rescue operations, divers extract or free own equipment used during MCM, or can also perform destruction of technical objects, thus preventing their takeover by the enemy.

In Chapter 5: *Self-contained mixed gas diving* deeper than 54 metres it was stated that the specific objectives of deep diving are tasks undertaken as part of MCM, such as: detection, reconnaissance, clearance and neutralisation of mines and UMO, while maintaining the acoustic and magnetic field limits agreed with the NATO limits of acoustic and magnetic fields emitted by the equipment of a diver or a CDT. At present, the diver's gear is one of the elements of equipment used in MCM with the lowest signatures of the electric, magnetic, acoustic or pressure fields. Hence it is still an extremely effective technology, especially in the identification of mines and UMO suspected to be weapons equipped⁶⁸ with sensors and actuators⁶⁹, also with elements of artificial intelligence. The use of diving technologies is limited to the area⁷⁰, depth and effective diver activity. The capabilities related to depths achieved by particular NATO countries are summarised in Chapter 7: *National diving capabilities* ADivP-01.1 [15].

Currently, the destruction of detected UXO is most often carried out by conducting diving counter-mine operations CDO. AODP-10 *Explosive ordnance disposal (EOD) principles and minimum standards of proficiency* specifies the scope of authorisations and skills in this area

przeciwminowych *CDO* odgrywają nadal ważną rolę w taktyce wojny minowej *MCM*.

We wstępie do *ADivP* – 01 sprecyzowano podstawowe rodzaje misji nurkowych realizowanych w *NATO*. W zakresie wojny minowej *MCM* nurkowie wspierają operacje zwalczania min morskich, zaś w zakresie *EOD/IED* nurkowie są wykorzystywani do rozpoznania potencjalnych *UXO/UMO*, do usuwania lub neutralizacji materiałów wybuchowych *IED*, czy do prowadzenia rozpoznania podczas odprawy celnej. W zakresie wykorzystania materiałów wybuchowych lub ich neutralizacji, nurkowie wykorzystywani są do wykonywania przejść⁶⁷, usuwania przeszkód, wyburzeń itp. W zakresie operacji ratowniczych nurkowie wydobywają lub uwalniają sprzęt własny używany w operacjach wojny minowej *MCM*, mogą także wykonywać niszczenia obiektów technicznych, w ten sposób przeciwdziałając ich przejściu przez przeciwnika.

W *Chapter 5: Self-contained mixed gas diving deeper than 54 metres* stwierdzono, że szczególnym celem nurkowań głębokich są zadania podejmowane w ramach wojny minowej *MCM*, jak: wykrywanie, rozpoznanie, usuwanie czy neutralizacja min oraz *UMO*, przy zachowaniu uzgodnionych w ramach *NATO* limitów pola akustycznego i magnetycznego emitowanego przez sprzęt i wyposażenie nurka grupy minerskiej *CDT*. Jak dotąd sprzęt i wyposażenie nurka stanowią jeden z elementów wyposażenia stosowanego w wojnie minowej *MCM* o najniższych sygnaturach pola: elektrycznego, magnetycznego, akustycznego czy ciśnieniowego. Stąd nadal jest to technologia niezwykle skuteczna, zwłaszcza w rozpoznaniu min oraz *UMO* podejrzewanych, że stanowią uzbrojenie⁶⁸ wyposażone w czujniki oraz aktulatory⁶⁹, także z elementami sztucznej inteligencji. Wykorzystanie technologii nurkowych jest limitowane do obszaru⁷⁰, głębokości i czasu efektywnego działania nurka. Zdolności w zakresie osiągniętych głębokości przez poszczególne kraje *NATO* zebrano w *Chapter 7: National diving capabilities ADivP* – 01.1 [15].

Obecnie, niszczenia wykrytych *UXO* realizuje się najczęściej prowadząc nurkowe operacje przeciwminowe *CDO*. *AODP* – 10 *Explosive ordnance disposal (EOD) principles and minimum standards of proficiency* precyzuje zakres uprawnień i umiejętności w tym zakresie [16]. *AODP* – 10 zostało wprowadzone postanowieniem standaryzacyjnym *STANAG 2143: Explosive ordnance disposal (EOD) principles and minimum standards of proficiency* [17]. Ogólnie, według *AEODP* – 10, personel rozpoznawczy *EOR*⁷¹ posiadający kwalifikacje do wykonywania zadań z użyciem materiałów wybuchowych *EO*⁷² pod wodą w ramach misji *NATO* musi spełniać minimalne standardy biegłości określone w załączniku E: *Minimum standards of proficiency for underwater EOD*. Zaś personel *EOC*⁷³ jest uprawniony do rozmieszczania ładunków wybuchowych *EO* pod nadzorem nurka *CMD*⁷⁴.

AEODP – 10 podkreśla kluczową rolę nurków przy pozyskaniu i rozpoznaniu ładunków wybuchowych przeciwnika. Procedury w tym zakresie precyzuje *AEODP* – 14 *NATO EOD publications set (NEPS) – Identification and disposal of surface, air, and underwater munitions* [18]. *AEODP* – 14 został wprowadzony w celu spełnienia wymagań *STANAG 2369 EOD publications set (NEPS) – Identification and disposal of surface, air, and underwater munitions* [19] dostarczając informacji w zakresie identyfikacji i usuwania amunicji powierzchniowej, powietrznej i podwodnej. Jest to publikacja wywodząca się z amerykańskiego *Automated*

[16]. *AODP*-10 was introduced by a standardisation provision *STANAG 2143: Explosive ordnance disposal (EOD) principles and minimum standards of proficiency* [17]. Generally, according to *AEODP*-10, reconnaissance personnel *EOR*⁷¹ qualified to perform tasks with the use of explosives *EO*⁷² underwater in the course of *NATO* missions must meet the minimum standards of proficiency specified in Annex E: *Minimum standards of proficiency for underwater EOD*. In addition, *EOC*⁷³ personnel are authorised to deploy explosive devices *EO* under the supervision of a *CMD*⁷⁴ diver.

AEODP-10 emphasises the key role of divers in the acquisition and identification of enemy explosive devices. Procedures in this regard are specified in the *AEODP*-14 *NATO EOD publications set (NEPS) – Identification and disposal of surface, air, and underwater munitions* [18]. *AEODP*-14 was introduced in order to meet the requirements of the *STANAG 2369 EOD publications set (NEPS) – Identification and disposal of surface, air, and underwater munitions* [19] by providing information on the identification and disposal of surface, air and underwater munitions. It is a publication derived from the US Explosive Ordnance Disposal Publication System *AEODPS* consisting of information that have been validated and found to be available for *NATO*.

In mine warfare *MCM* it is essential that any unknown explosive charge (*EO*) of the enemy is secured, possibly in a non-destructive manner for examination by specialists. Before the reconnaissance phase and further exploration takes place, the initial task of reconnaissance carried out by divers *EOD* is to decide whether the object is a *UMO/AXO*⁷⁵. This function is particularly important in the case of *IEDs*, as the information obtained can be used in *C-IED*⁷⁶ procedures [20,21].

In the marine environment, specialised *CDTs* are tasked with the investigation and exploitation of newly discovered *AXO*, with the use of specialised tools, equipment, tactics, techniques and procedures (*TTP*)⁷⁷. If the movement of *AXO* or a tactical situation does not allow for immediate exploration⁷⁸, extensive documentation, including photographs and details of all markings must be completed prior to on-site destruction for future *AXO* identification.

The *AJP*-3.15: *Allied joint doctrine for countering improvised explosive devices* specifies the tasks of *CDTs* as related to countering improvised explosive devices *C-IED* concentrated on: search, detection, location, identification, and neutralisation – *IEDD*⁷⁹, investigation activities and the collection of material for analysis after and underwater explosion [20,21]. So, in relation to *C-IED*, *EOD* divers form demining teams *CDT*, which are operational factors supporting the protection of troops (*FP*)⁸⁰ by searching for and elimination of *IEDDs* in the marine environment.

Operations in contaminated or polluted waters, or works on chemical, biological, radioactive or nuclear explosives *CRBN* *EO*⁸¹ must be carried out by a specialised diving team *CDT*, in accordance with the *ADivP*-01 [14,22].

PHYSICAL FIELDS

Mines can trigger their destructive action through contact or through the influence of fields, most commonly magnetic, electric, acoustic, pressure or seismic fields⁸², in any combination of these.



Explosive Ordnance Disposal Publication System AEODPS składająca się z informacji, które zostały sprawdzone i uznane za udostępniane dla NATO.

W wojnie minowej MCM istotne jest, aby każdy nieznaną ładunek wybuchowy EO przeciwnika został zabezpieczony, możliwie w sposób nieniszczący w celu jego zbadania przez specjalistów. Zanim dojdzie do fazy rozpoznania i dalszej eksploracji zadaniem wstępnym rozpoznania realizowanego przez nurków EOD jest zdecydowanie, czy przedmiot jest pozostawionym ładunkiem wybuchowym UMO/AXO⁷⁵. Ta funkcja jest szczególnie ważna w przypadku urządzeń IED, gdyż pozyskane informacje mogą być wykorzystywane w procedurach C – IED⁷⁶ [20,21].

W środowisku morskim, wyspecjalizowane zespoły nurkowe CDTs mają za zadanie badanie i eksploatację nowoodkrytego pozostawionego ładunku wybuchowego AXO, przy użyciu specjalistycznych narzędzi, sprzętu oraz taktyki, technik i procedur TTP⁷⁷. Jeśli przemieszczanie się AXO lub sytuacja taktyczna nie pozwala na natychmiastową eksplorację⁷⁸, wówczas przed zniszczeniem na miejscu należy wykonać obszerną dokumentację, w tym zdjęcia i szczegóły wszystkich oznaczeń, aby w przyszłości zidentyfikować AXO.

Wspólna doktryna NATO dotycząca przeciwdziałania improwizowanym materiałom wybuchowym AJP-3.15: *Allied joint doctrine for countering improvised explosive devices* precyzuje zadania minerskich grup nurkowych CDTs jako związane z przeciwdziałaniem improwizowanym ładunkom wybuchowym C – IED skoncentrowanych na: poszukiwaniu, wykrywaniu, lokalizacji, identyfikacji, neutralizacji IEDD⁷⁹, czynnościach dochodzeniowych i gromadzeniu materiału do analizy po wybuchu podwodnym [20,21]. Czyli w odniesieniu do przeciwdziałania improwizowanym ładunkom wybuchowym C – IED, nurkowie EOD tworzą zespoły rozminowania CDT, które są operacyjnymi czynnikami wspierającymi ochronę wojsk FP⁸⁰ poprzez poszukiwanie i niwelację improwizowanych ładunków wybuchowych IEDD w środowisku morskim.

Operacje wykonywane w wodach zanieczyszczonych czy skażonych, lub w przypadku pracy z ładunkami chemicznymi, biologicznymi, promieniotwórczymi czy nuklearnymi materiałami wybuchowymi CRBN EO⁸¹ muszą być wykonywane przez wyspecjalizowany zespół nurkowy CDT, zgodnie z ADivP – 01 [22,14].

POLA FIZYCZNE

Miny mogą wyzwać swe niszczące działanie poprzez kontakt lub poprzez wpływ pól, najczęściej pola: magnetycznego, elektrycznego, akustycznego, ciśnieniowego czy sejsmicznego⁸², w dowolnych ich kombinacjach.

Miny mogą być cumowane na długich lub krótkich liniach kotwicznych, leżeć na dnie lub być w nim zakopane. Miny morskie mogą posiadać także zdolności do przemieszczania się, śledzenia celu⁸³, maskowania się⁸⁴, zwalczania przeciwmynowych ładunków sterowanych⁸⁵ EMDV⁸⁶ czy zwalczania nurków [10].

Pola fizyczne stanowią ważny kontekst przy wyborze technologii do wykorzystania w wojnie minowej MCM, gdyż miny mogą być wyposażone w akulatory do przeciwdziałania ich wykryciu, usunięciu⁸⁷ czy obezwładnieniu na podstawie procesów diagnozowania⁸⁸ pól fizycznych i genezowania⁸⁹ ich zmian na podstawie

Mines can be moored on long or short anchor lines, lie on the bottom or be buried in it. Naval mines may also have the ability to move, track a target⁸³, camouflage themselves⁸⁴, combat countermine guided charges⁸⁵ EMDV⁸⁶ or counteract divers [10].

Physical fields are an important context for the selection of technologies to be used in MCM, as mines can be equipped with actuators to counteract their detection, removal⁸⁷ or overpowering on the basis of processes of diagnosis⁸⁸ physical fields and generating⁸⁹ their changes on the basis of physical fields measurements with the use of appropriate sensors.

One of the most commonly diagnosed physical fields is the acoustic field, generated both by objects in close proximity to mines and from sonar beam sweeps. Although the theoretically effective, guaranteed range of active hydroacoustic detection may reach⁹⁰ 800 m, this is an extremely useful method. Most often, smart mine detectors will be geared towards passive detection, which has a much smaller radius and is subject to strong interference. NATO provisions on acoustic signature limits⁹¹ and their measurements are summarised in the standard AMP – 15 [22], which was introduced by standardisation agreement STANAG 1418 [23]. Chapter 6 *Measuring and reporting acoustic characteristics of divers and their equipment*. AMP – 15 also contains measurement requirements for determining the acoustic signatures of diving equipment, and their limits are specified in a classified supplement to AMP – 15.

Another important physical field is the magnetic field⁹², for which requirements are included in AEODP – 07 *Explosive ordnance disposal equipment requirements and equipment* [24]. In Annex A to AEODP – 07 it has been clarified that divers are used to detect underwater UXO/AXO, and Annex B in point B6 defines the scope, whereas point B7 the manner of testing the equipment of divers cleared for this task. According to these provisions, diving apparatus and other equipment intended for underwater EOD should be subjected to the typical MCM equipment static magnetic tests⁹³, as specified in point B5, and may be subjected to dynamic tests in an underwater environment.

Research conducted on perimetric protection⁹⁴ using pressure field analysis for diver detection, by measuring fin-induced pressure changes and shock-induced vibrations has been previously described [25]. However, these diver detection routes have not been developed into NATO standardisation documents.

COUNTERACTING DIVERS

Anti-diving systems are based on the detection of physical fields produced by divers, but also on other measurements, carried out by video cameras or laser sensors.

Sonar technology is used to find and track targets, including those with such poor target strength⁹⁵ as divers. Commercial solutions already exist, such as *Cerberus*⁹⁶ manufactured by *ATLAS Elektronik UK*. This is an intelligent sonar capable of detecting the air-filled chest of a diver and allow the operator to distinguish the echo coming from a human, or an animal such as a seal or dolphin. Moreover, it can distinguish a human from a school of fish, cavitation bubbles induced by the propeller of a surface or underwater platform, etc. Similar target locating and tracking systems can be used as part of external intelligence⁹⁷ of a mine or a minefield.

pomiaru pól fizycznych przy pomocy odpowiednich czujników.

Jednym z najczęściej diagnozowanych pól fizycznych jest pole akustyczne, zarówno wytwarzane przez obiekty znajdujące się w bezpośredniej bliskości min jak i na podstawie omiatania wiązką sonarową. Choć teoretycznie efektywny, gwarantowany zasięg aktywnej detekcji hydroakustycznej może wynosić⁹⁰ 800 m, to jest to metoda niezwykle użyteczna. Najczęściej czujniki min inteligentnych będą nastawione na detekcję pasywną, której promień jest znacznie mniejszy i ulega silnym zakłóceniom. Postanowienia NATO dotyczące limitów sygnatur akustycznych⁹¹ i ich pomiarów zebrano w normie AMP – 15 [22], która została wprowadzona porozumieniem standaryzacyjnym STANAG 1418 [23]. Rozdział 6 *Measuring and reporting acoustic characteristics of divers and their equipment*. AMP – 15 zawiera także wymagania pomiarowe dla ustalenia sygnatur akustycznych dla sprzętu nurkowego, zaś ich limity zawarto w niejawnym suplemencie do AMP – 15.

Innym ważnym polem fizycznym jest pole magnetyczne⁹², co do którego wymagania zawarto w AEODP – 07 *Explosive ordnance disposal equipment requirements and equipment* [24]. W załączniku A do AEODP – 07 sprecyzowano, że nurkowie są wykorzystywani do detektowania podwodnych UXO/AXO, stąd w załączniku B w punkcie B6 sprecyzowano zakres, zaś w punkcie B7 sposób testowania wyposażenia nurków dopuszczanych do tego zadania. Zgodnie z tymi zapisami aparat nurkowy i inny sprzęt przeznaczony do podwodnego EOD powinien być poddany typowym dla wyposażenia MCM statycznym testom magnetycznym⁹³, określonych w punkcie B5, oraz może zostać poddany testom dynamicznym w środowisku podwodnym.

Prowadzone są badania nad ochroną perymetryczną⁹⁴ z wykorzystaniem analizy pola ciśnieniowego do detekcji nurków, poprzez pomiary zmian ciśnienia powodowanego przez płetwy oraz drgań powodowanych udarami, opisano wcześniej [25]. Jednak te drogi detekcji nurków nie doczekały się opracowania w formie dokumentów normalizacyjnych NATO.

PRZECIWDZIAŁANIE NURKOM

Systemy przeciwdziałające nurkom opierają się na detekcji wytwarzanych przez nurków pól fizycznych, ale także na innych pomiarach, realizowanych przez kamery wizyjne czy czujniki laserowe.

Technika sonarowa wykorzystywana jest do znajdowania i śledzenia celów, także o tak słabej sile celu⁹⁵ jak nurkowie. Istnieją już rozwiązania komercyjne, jak *Cerberus*⁹⁶ produkowany przez *ATLAS Elektronik UK*. Jest to inteligentny sonar, który jest w stanie wykryć wypełnioną powietrzem jamę klatki piersiowej nurka i pozwolić operatorowi odróżnić echo pochodzące od człowieka, czy zwierzęcia, jak foka czy delfin. Potrafi także odróżnić człowieka od ławicy ryb, pęcherzy kawitacyjnych pochodzących od pędnika platformy nawodnej czy podwodnej itp. Podobne systemy lokacji i śledzenia celów mogą być wykorzystane jako element inteligencji zewnętrznej⁹⁷ miny lub pola minowego. W Polsce *Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Centrum Techniki Morskiej S.A.* posiada własne systemy o podobnych właściwościach, przetestowane w ramach projektu

In Poland *Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Centrum Techniki Morskiej S.A.* [Research and Development Centre of the Maritime Technology Centre S.A.] has its own systems with similar properties, tested under the project of the *National Centre for Research and Development NCBiR* No. O R 0000 98 1 *Detection and counteracting of underwater attack*.

The use of magnetic anomaly sensors, can be an effective method for finding divers over relatively short distances. The radius of effective detection of magnetic field changes generally does not exceed 10 m. However, it is a relatively effective method in shallow water regions. Near infrastructure, this method requires compensation for existing magnetic field anomalies.

Sonar and magnetic surveying techniques are not very effective on waterways due to interference from passing surface vessels and, in general, clutter from magnetic elements.

Classic detection methods in perimeter protection⁹⁸ against divers have been the use of: vision methods⁹⁹, animals, barrier nets equipped with accelerometers, sonar obstacles, etc. Currently, attempts are being made to use green laser systems or pressure sensors. Measures used to fight divers include small explosive charges, firing from anti-aircraft guns¹⁰⁰ or coupled guns, air guns, sonar pulses, animals, abrasive weapons¹⁰¹ etc. Technical means of passive detection of combat divers¹⁰² are often located on the bottom and their effectiveness decreases drastically with distance. Staying close to the surface minimises the risk of detection by these technical means.

Also for active sonar systems used to detect divers, surface detection is less effective¹⁰³ especially in cases of a larger target on the sweeping course, such as a surface vessel, drifting debris, fauna, a layer of air suspended solids formed during wave action, etc.

As already mentioned, for technical safeguards, specialised sonar systems, designed specifically for diver detection, are most often employed¹⁰⁴. A diver is an object with relatively low target strength and small dimensions, hence these devices are characterised by a limited effective range, which depending on hydrological conditions ranges between 300-800 m [26]. When approaching an unrecognised shore, the 800 m operational radius is assumed to be the smallest due to the possibility of the presence of technical shore infrastructure equipped with protective/reconnaissance devices¹⁰⁵.

The disadvantage of the diver remaining at shallow depths in clear water is that it may increase detection by surface observers. However, due to water reflections, they would need to be relatively high and at an angle ensuring that the reflections would not blind them¹⁰⁶. Promising results are expected with the use of green lasers to detect shallow-water objects. These are already being used in technical structures such as breakwaters, jetties and piers that can make it easier for divers to navigate and hide.

In turbid water, in the absence of respiratory emissions, a diver is a difficult target to detect, provided he does not cause turbulence on the surface due to intensive finning.

Narodowego Centrum Badań i Rozwoju NCBiR Nr O R 0000 98 1 *Detekcja i przeciwdziałanie atakowi spod wody.*

Wykorzystanie czujników anomalii magnetycznych, może być skuteczną metodą do znajdowania nurków na stosunkowo małych dystansach. Promień skutecznej detekcji zmian pola magnetycznego z reguły nie przekracza 10 m. Jednak jest to stosunkowo skuteczna metoda w rejonach płytkich VSW. W pobliżu infrastruktury, metoda ta wymaga kompensacji istniejących anomalii pola magnetycznego.

Technika sonarowa i pomiarów magnetycznych jest mało skuteczna na torach wodnych ze względu na zakłócenia wprowadzane przez przepływające jednostki nawodne oraz, z reguły zaśmiecenie elementami magnetycznymi.

Klasycznymi metodami detekcji w ochronie perymetrycznej⁹⁸ przeciw nurkom było wykorzystanie: metod wizyjnych⁹⁹, wykorzystanie zwierząt, sieci zagrodzeniowych uzbrojonych w akcelerometry, przeszkód sonarowych itp. Obecnie próbuje się wykorzystać zielone systemy laserowe czy czujniki ciśnieniowe. Do zwalczania nurków używano małych ładunków wybuchowych, ostrzeliwania z działek przeciwlotniczych¹⁰⁰ czy sprzężonych karabinów, działek powietrznych, impulsów sonarowych, zwierząt, broni na ścierniwo¹⁰¹ itp.

Techniczne środki pasywnego wykrywania nurków bojowych¹⁰² sytuowane są często na dnie a ich skuteczność drastycznie maleje z odległością. Trzymanie się blisko powierzchni minimalizuje ryzyko wykrycia przez te środki techniczne.

Także dla aktywnych systemów sonarowych służących do wykrywania nurków ich detekcja przy powierzchni jest mniej skuteczna¹⁰³ zwłaszcza, gdy na kursie omiatania znajduje się większy cel, jak nawodna jednostka pływająca, dryfujące śmieci, fauna, tworząca się podczas falowania warstwa zawiesiny powietrznej itp. Jak już wspomniano, do technicznego zabezpieczenia, najczęściej stosuje się wyspecjalizowane systemy sonarowe, zaprojektowane specjalnie do detekcji nurków¹⁰⁴. Nurek stanowi obiekt o stosunkowo małej sile celu oraz małych gabarytach, stąd urządzenia te charakteryzują się ograniczonym zasięgiem skutecznym, który w zależności od warunków hydrologicznych wynosi (300 – 800) m [26]. Przy podejściu do nierozpoznanego brzegu, przyjmuje się 800 m promień operacyjny za najmniejszy ze względu na możliwość występowania technicznego uzbrojenia infrastruktury brzegowej w urządzenia ochronne/ rozpoznawcze¹⁰⁵.

Pozostawanie nurka na małej głębokości w czystej wodzie ma tę wadę, że może zwiększać wykrywalność przez obserwatorów znajdujących się na powierzchni. Jednakże ze względu na refleksy wodne muszą oni znajdować się stosunkowo wysoko patrząc pod takim kątem, aby refleksy te ich nie oślepiły¹⁰⁶. Obiecujące efekty oczekiwane są przy wykorzystaniu zielonego lasera do detekcji płytkowodnych obiektów. Już teraz stosowane są one przy konstrukcjach technicznych, jak falochrony, pirsy, pomosty, które mogą ułatwić nawigację i ukrycie się nurków.

W mętnej wodzie przy braku emisji czynnika oddechowego nurek stanowi trudno wykrywalny cel pod warunkiem, że nie powoduje zawirowań wody na powierzchni powstających przy intensywnej pracy płetw.

MISSIONS

In the past, reconnaissance of mine-like *UMO* objects was only carried out by conducting dives. Reconnaissance by technical means has now become possible, although visual inspection by divers still performs an important role. It is also the only method to acquire *UXO/AXO* for reconnaissance purposes [27]. Reconnaissance is carried out to retrieve *UXO* by picking it up with an attached rope or net with or without prior immobilisation¹⁰⁷.

In-situ clearance is carried out to remove *UXO* suspected of being set in an unrecoverable position on a critical structure, for example the side of a ship. Explosive deflagration¹⁰⁸ may prove to be a useful method. *UXO* placed on critical infrastructure should be neutralised¹⁰⁹ or removed using the quickest method possible¹¹⁰.

The in-situ clearance of *AXO* suspected of being set as non-recoverable or threatening to explode during displacement is carried out almost exclusively by means of diving missions.

In-situ reconnaissance and destruction of *UXO* carried out by divers of the *CDT* is practically performed using spot diving technology with the ability to move within a limited radius.

Another basic combat mission scenario for *CDT* divers is the execution of demining, usually accomplished with explosive charges. Deflagration is not used in this case. This scenario is usually performed in a maximally covert manner. Where full covertness is not required *CDTs* may be supported by an underwater vehicle system, as shown in the example of *VSW* diving operations with AUV support. This type of operation to prepare a landing site for invading forces by blowing up defence infrastructure is not considered in national doctrine, as naval landing operations were abandoned by the Polish Army in 1993.

COMMUNICATION

Spot dives are usually conducted on a lowering line or on a tether¹¹¹. When visibility is good, dives to relatively shallow depths can be conducted without cable system protection. Whenever possible, MCM operations should be conducted with communication protection. Training dives can be secured with simplex safety communication systems, command post→diver, through loudspeaker systems carrying the message to the diver through the water.

School dives should be secured by wired communication systems. Deep dives, even in good visibility, should be secured with ropes due to the possibility of deep currents. In areas of low and medium visibility diving without safety lines is rather impossible due to limited use of electronic navigation and communication systems. If the lifeline also serves as a wired communication system¹¹², it is questionable whether a diver equipped with such a communication system should approach a mine. Secure telephones are used to suppress electromagnetic fields from the communication system¹¹³. The microphone transducer converts sound pressure into electrical current, which is then converted back into sound by the receiver transducer. Most telephones powered by sound use a dynamic microphone without signal amplification.

MISJE

Dawniej rozpoznanie obiektów mino-podobnych *UMO* prowadzone było jedynie poprzez prowadzenie nurkowań. Obecnie stało się możliwe rozpoznanie środkami technicznymi, choć nadal oględziny wykonywane przez nurków pełnią ważną rolę. Jest to także jedyna metoda do pozyskania *UXO/AXO* w celach rozpoznawczych [27]. Rozpoznanie prowadzone jest celem pozyskania *UXO* poprzez jego podebranie podczepioną liną lub siecią przy wcześniejszym obezwładnieniu¹⁰⁷ bądź bez obezwładnienia.

Unieszkodliwianie na miejscu prowadzone jest celem usunięcia *UXO* podejrzewanego na ustawienie na nieusuwalność na konstrukcji krytycznej, przykładowo na burcie okrętu. Użyteczna metodą może okazać się *deflagracja*¹⁰⁸ ładunku wybuchowego. *UXO* ustawione na infrastrukturze krytycznej należy unieszkodliwić¹⁰⁹ lub usunąć możliwie szybką metodą¹¹⁰.

Unieszkodliwienie na miejscu *AXO* podejrzewanych o ustawienie na nieusuwalność lub grożących wybuchem podczas przemieszczania prowadzone jest prawie wyłącznie przy wykorzystaniu misji nurkowych.

Rozpoznanie i niszczenia na miejscu *UXO* realizowane przez nurków *CDT* jest wykonywane praktycznie przy wykorzystaniu technologii nurkowań punktowych z możliwością przemieszczania się w ograniczonym promieniu.

Innym, podstawowym scenariuszem misji bojowej dla nurków *CDT* jest wykonanie rozgrodzenia, najczęściej poprzez rozminowanie przy pomocy ładunków wybuchowych. Nie stosuje się w tym przypadku deflagracji. Ten scenariusz wykonywany jest najczęściej w sposób maksymalnie skryty. Tam gdzie pełna skrytość nie jest wymagana nurkowie *CDT* mogą być wspomagani przez system pojazdów podwodnych, jak to pokazano na przykładzie operacji nurkowych *VSW* przy wsparciu *AUV*. Tego typu operacje przygotowania miejsca desantowania sił inwazyjnych poprzez wysadzenie infrastruktury obronnej nie jest rozpatrywane w krajowej doktrynie, gdyż morskie działania desantowe zostały przez Wojsko Polskie zarzucone w 1993.

ŁĄCZNOŚĆ

Nurkowania punktowe prowadzone są najczęściej po linii opustowej lub na uwięzi¹¹¹. Przy dobrej widoczności nurkowania na stosunkowo małe głębokości można prowadzić bez zabezpieczenia systemem lin. Jeśli to tylko możliwe, to prowadzenie operacji *MCM* powinno być prowadzenie z zabezpieczeniem łączności. Nurkowania treningowe mogą być zabezpieczane simpleksowymi systemami łączności bezpieczeństwa, stanowisko dowodzenia → nurek, poprzez systemy głośnikowe przenoszące wiadomość do nurka przez wodę za pomocą systemów głośnikowych¹¹².

Nurkowania głębokie, nawet przy dobrej widoczności, powinny być zabezpieczane linami ze względu na możliwość wystąpienia prądów w głębinach. Na akwenach o małej i średniej widoczności nurkowania bez zabezpieczeń linami są raczej niemożliwe, ze względu na ograniczoną możliwość korzystania z elektronicznych systemów nawigacyjnych i łączności.

DIVE PLANNING

Diving technology should take into account the possibility of compensating for situations that may occur during the execution of diving operations both in training and during the execution of tasks, in peace and war time.

Mine countermeasures are usually performed in offshore as well as near shore conditions, hence a diving system dedicated to *MCM* operations does not usually need to take into account decompression in reduced pressure conditions occurring in the conditions of elevation of a body of water, as in high mountain lakes. Similarly, these operations are not usually carried out in deep pits nor is decompression carried out to the elevated pressures found in air traps, as can happen in flooded mines or caves. The implication of this is that diving technology does not need to take such scenarios into account. In offshore conditions, the effect of wave action on the diver is present, hence decompression systems for offshore diving technologies are required to accommodate the possibility of completing the decompression at a greater depth than is assumed in typical decompression schedules.

Due to the resignation of the Polish Navy from offensive landing operations, *MCM* diving technologies do not necessarily include the divers' ability to independently cover significant distances underwater. However, *MCM* operations accompanying the activities of special sections *SRT* during both military and police operations may require the undertaking of such operations.

In many cases, stealth plays an important role. Not just tactical stealth when operating in close proximity to the enemy, but also in terms of protecting the diver against defensive systems of smart mines¹¹⁵ or mines set to be non-removable¹¹⁶. Tactical stealth requires the use of self-contained diving devices. In a peacetime environment, it is more important to maintain stealth against smart mines, so it is acceptable to use wired systems which can provide a longer duration of protective action. The intensity of underwater work may also be increased by considering the possibility of successive dives¹¹⁷. The possibility of conducting successive dives is closely related to the problem of maintaining fitness divers to undergo decompression and performing diving.

The organisation of military operations often involves the use of air transport, therefore the decompression system should define the possibilities and rules for flights, especially after diving.

Air apparatuses are seldom used in *MCM* diving. The use of special-purpose breathing apparatus, especially with a semi-closed circuit breathing mix, is connected with the search for its optimal composition. One of the parameters determining the efficiency of diving operations is the ratio of the time which can be allocated to work vs the decompression time. Minimising this ratio involves considering a compromise between the decompression process and oxygen toxicity. Diving technology should be able to balance these two risks, while also taking into account the processes of accelerated decompression in depth or surface decompression. The application of changes of breathing medium during the diving process should also consider the risk of losing one of them and hence the equivalent use of another available breathing mix. Additionally, emergency situations related to aborted dives, prolonged

Jeżeli liny bezpieczeństwa spełniają także funkcję łączności przewodowej¹¹³, to podchodzenie nurka wyposażonego w taki system łączności do miny jest dyskusyjne. Celem niwelacji pola elektromagnetycznego od systemu łączności, wykorzystuje się bezpieczne telefony¹¹⁴. Przetwornik mikrofonowy przetwarza ciśnienie dźwięku na prąd elektryczny, który jest następnie przetwarzany z powrotem na dźwięk przez przetwornik odbiornika. Większość telefonów zasilanych dźwiękiem wykorzystuje mikrofon dynamiczny bez wzmocnienia sygnału.

PLANOWANIE NURKOWANIA

Technologia nurkowania powinna uwzględniać możliwości kompensowania sytuacji mogących wystąpić podczas wykonywania operacji nurkowych zarówno przy szkoleniu jak i podczas realizacji zadań, zarówno w czasie pokoju jak i wojny.

Zwalczanie min wykonywane jest zazwyczaj w warunkach morskich i w pobliżu wybrzeża, stąd system nurkowania dedykowany operacjom *MCM* nie musi zazwyczaj uwzględniać dekompresji do warunków obniżonego ciśnienia występujących w warunkach wyniesienia akwenu, jak w wysokogórskich jeziorach. Podobnie operacje te nie są zazwyczaj realizowane w głębokich wyrobiskach czyli dekompresja nie przebiega do podwyższonego ciśnienia występującego w pułapkach powietrznych, jak to się może zdarzyć w zalanych kopalniach czy jaskiniach. Wynika stąd, że technologia nurkowania nie musi uwzględniać takich scenariuszy. W warunkach morskich występuje wpływ falowania na nurka, stąd systemy dekompresji dla nurkowych technologii morskich muszą uwzględniać możliwość zakończenia dekompresji na większej głębokości niż to się przyjmuje w typowych rozkładach dekompresji.

W związku z rezygnacją *MW RP* z ofensywnych operacji desantowych, technologie nurkowe *MCM* nie muszą zawierać możliwości samodzielnego pokonywania przez nurków znacznych dystansów pod wodą. Jednak działania *MCM* towarzyszące działaniom sekcji specjalnych *SRT* zarówno podczas operacji wojskowych jak i policyjnych mogą wymagać podjęcia takich operacji.

W wielu przypadkach skrytość działania odgrywa ważną rolę. Nie chodzi tu tylko o zachowanie skrytości taktycznej podczas działań w bezpośredniej bliskości przeciwnika, lecz także w zakresie zabezpieczenia nurka przeciwko systemom obronnym min inteligentnych¹¹⁵ czy ustawionych na nieusuwalność¹¹⁶. Zapewnienie skrytości taktycznej wymaga stosowania niezależnych aparatów nurkowych. W warunkach pokoju ważniejszym jest utrzymanie skrytości przeciw minom inteligentnym, dlatego dopuszczalne jest stosowanie systemów przewodowych, które mogą zapewnić dłuższy czas ochronnego działania. Intensywność prowadzenia prac podwodnych może podnieść także uwzględnienie możliwości prowadzenia nurkowań sukcesywnych¹¹⁷. Z możliwością podejmowania nurkowań sukcesywnych jest ściśle powiązana problematyka utrzymania nurków w kondycji do przechodzenia dekompresji i nurkowania.

Przy organizowaniu operacji wojskowych często korzysta się z transportu lotniczego, dlatego system dekompresji powinien określać możliwości i zasady odbywania lotów zwłaszcza po nurkowaniu.

W nurkowaniach *MCM* rzadko wykorzystywane są aparaty powietrzne. Wykorzystanie aparatów specjalnych, zwłaszcza o półzamkniętym obiegu czynnika

exposure, descents or shortened planned stay should be based on pre-planned emergency scenarios.

SUMMARY

Military tactical thought is moving towards eliminating the soldier from the battlefield. For example, this is now evident in military aviation, where the role of unmanned aerial vehicles *UCAV*¹¹⁸ has considerably increased. In particular, battlefield reconnaissance and precision attacks are dominated by the use of *UCAVs*. The scale of implementation of unmanned technologies in aviation seems to eliminate even the need for satellite reconnaissance¹¹⁹.

Similar trends are observed in land operations, where a significant increase in the role of unmanned robots is observed in the areas of reconnaissance, transport, demining, combat operations, etc.

Combat operations require the seizure of territory, its control and maintenance. As yet, this does not seem to be feasible, if only because of the need to introduce police operations in the occupied area to maintain public order. But reconnaissance and combat systems can already be networked centrally into air-sea-land systems.

Typical maritime operations are also becoming progressively automated. We are witnessing an increasing role for reconnaissance systems, both from the air

from the water and from under the water. However, for the time being, operations in support of combat operations from the water or from under the water most often require the use of manpower, even in peacetime conditions. This is due to the economics of military operations. Combat systems for mine neutralisation are relatively expensive. Forces are equipped with self-propelled explosive devices *EMDV*¹²⁰, such as: *SeaFox*, *ArcherFish* czy *Głuptak*, but in order to economise remote operations based on *ROUVs*¹²¹, such as: *SeaFox/Cobra* or *Ukwiał/Toczek* have been introduced.

Outside of military exercises, however, all *EOD* operations are performed by *CDTs*, due to cost considerations. The use of *EMDV* self-propelled explosive charges, or *ROUV* systems dedicated to mine countermeasures *MCM*, usually requires the close assistance of a mine warfare vessel *MCMV*¹²². These ships are built to withstand nearby explosions. Operations by *CDTs* can be conducted at a considerable distance from the assisting vessel, hence it does not need to be of the *MCMV* class. The trade-off is that divers operating from a small *RIB*-class boat must be equipped with diving apparatus and tools¹²³ to ensure they can work fully autonomously away from surface or shore support.

Sometimes mine action is carried out covertly, without the use of electronic support¹²⁴. Covert operations are an absolute requirement for special operations. In *MCM* and *IOD* operations, dedicated to counter intelligent mines, this requirement is also reasonable. When conducting *EOD* operations, with the exception of *UXO* clearance, it is possible to support diving operations with electronic equipment and devices, hence there is ample room for the use of unmanned systems. However, precision mine clearance operations both at sea and on land are still conducted using humans.

The majority of hazardous *MCM* activities carried out in peacetime are organised through the use of *CDT* groups, although it would seem that in these

oddechowego wiąże się z poszukiwaniem jego optymalnego składu. Jednym z parametrów określających efektywność operacji nurkowych jest stosunek czasu użytecznego, który może być przeznaczony na wykonywanie przez nurka pracy użytecznej do czasu dekompresji. Minimalizowanie tego stosunku polega na rozpatrzeniu kompromisu pomiędzy procesem dekompresji a zatrucia tlenowego. Technologia nurkowania powinna równoważyć te dwa zagrożenia, uwzględniając także procesy akceleracji dekompresji w toni czy dekompresji powierzchniowej. Wykorzystanie zmian czynnika oddechowego podczas procesu nurkowania powinno uwzględniać także ryzyko utraty jednego z nich i stąd ekwiwalentnego zastosowania innego, dostępnego czynnika oddechowego. Także sytuacje awaryjne, związane z przzerwaniem zanurzania, przedłużenia ekspozycji, przegłębienia czy skrócenia planowanego czasu pobytu powinny opierać się o przewidziane wcześniej scenariusze sytuacji awaryjnych.

PODSUMOWANIE

Myśl taktyczna podąża drogą eliminacji żołnierza z pola walki. Obecnie widać to ewidentnie w lotnictwie wojskowym, gdzie znacząco wzrosła rola bezzałogowych obiektów latających *UCAV*¹¹⁸. Szczególnie rozpoznanie pola walki oraz precyzyjne ataki zostają zdominowane przez obiekty bezzałogowe *UCAV*. Skala wdrożeń technologii bezzałogowych w lotnictwie wydaje się eliminować nawet konieczność rozpoznania satelitarne¹¹⁹.

Podobne tendencje obserwuje się w działaniach lądowych, gdzie obserwuje się znaczny wzrost roli bezzałogowych robotów: rozpoznawczych, transportowych, rozminowania, bojowych itp.

Działania bojowe wymagają zajęcia terenu, jego kontroli i utrzymania. Wydaje się, że jak na razie nie da się tego wykonywać jedynie zdalnie, chociażby ze względu na konieczność wprowadzenia na zajęty teren działań policyjnych w celu utrzymania porządku publicznego. Lecz systemy rozpoznania i walki można już łączyć siecjo-centrycznie w systemy powietrzno-morsko-lądowe.

Typowe działania morskie zaczynają także ulegać stopniowej automatyzacji. Widać coraz większą rolę systemów rozpoznawczych, zarówno z powietrza z wody jak i spod wody. Jednak, na razie, działania wspomagające operacje bojowe prowadzone z wody czy spod wody wymagają najczęściej użycia siły żywej¹²⁰, nawet w warunkach pokoju. Spowodowane jest to ekonomią prowadzenia działań wojskowych. Systemy bojowe do neutralizacji min są stosunkowo drogie. Na wyposażeniu wojsk znajdują się samobieżne ładunki wybuchowe *EMDV*¹²¹, przykładowo: *SeaFox*, *ArcherFish* czy *Głuptak*, jednak do potania operacji zdalnych wprowadzono systemy wielokrotnego użycia oparte o sterowane pojazdy podwodne *ROUV*¹²², jak: *SeaFox/Cobra* czy *Ukwiał/Toczek*. Poza ćwiczeniami wojskowymi, wszelkie operacje *EOD* wykonuje się jednak nurkami *CDT*, ze względu na koszty. Wykorzystanie samobieżnych ładunków wybuchowych *EMDV*, czy systemów sterowanych *ROUV* dedykowanych wojnie minowej *MCM*, wymaga zazwyczaj pobliskiej asysty okrętu wojny minowej *MCMV*¹²³. Okręty te są tak zbudowane, że wytrzymują pobliskie eksplozje. Operacje

operations direct human exposure should be eliminated as a priority. This is arguably due less to a technological gap than to economic conditions. For example, even if it is possible to directly eliminate a sea mine by using unmanned systems such as *SeaFox* or *Głuptak*, as this does not threaten any infrastructure or environment, their cost is considerable. The use of *CDTs* using conventional explosives to trigger an explosion or specially shaped and applied charges to deflagrate a *UXO* charge are much more effective methods from an economic point of view. This is shown by the analysis of recent *UXO* activities in Polish waters.

CDTs are not only indispensable in the acquisition of, for example, *IEDs*¹²⁵, but also in situations where it is unacceptable to clear or trigger an explosion. This was the case with the deflagration¹²⁶ of the British *Tallboy* bomb, weighing 5340 kg from the time of World War II, performed in 2020 on the Szczecin-Świnoujście waterway by 13 *dTr*. The detonation of the bomb posed a direct threat to a nearby ferry crossing, pipelines and coastal infrastructure.

realizowane przez grupy *CDT* mogą być prowadzone w znacznej odległości od asystującej jednostki pływającej, stąd nie musi być ona klasy *MCMV*. Okupione jest to tym, że nurkowie operując z małej łodzi klasy *RIB*¹²⁴ muszą być wyposażeni w aparaty nurkowe oraz narzędzia¹²⁵ gwarantujące im pracę w pełni niezależną w oddaleniu od wsparcia nawodnego czy brzegowego.

Czasami działania minerskie prowadzi się w sposób skryty, bez wykorzystania wsparcia elektronicznego¹²⁶. Skryte działania wymagane są bezwzględnie przy operacjach specjalnych. Przy działaniach *MCM* oraz *IOD*, dedykowanych przeciw minom inteligentnym, ten wymóg jest także rozsądny. Przy prowadzeniu operacji *EOD*, za wyjątkiem likwidacji *UXO*, możliwe jest wsparcie operacji nurkowych sprzętem i wyposażeniem elektronicznym, stąd istnieje duża przestrzeń do stosowania systemów bezzałogowych. Jednak precyzyjne działania minerskie zarówno morskie jak i lądowe nadal prowadzone są przy wykorzystaniu ludzi.

Gros niebezpiecznych działań *MCM* prowadzonych w stanie pokoju organizuje się w oparciu o wykorzystanie grup *CDT*, choć wydawałoby się, że w pierwszej kolejności to w tych działaniach powinno się eliminować bezpośrednie narażenie człowieka. Wynika to zapewne nie tyle z luki technologicznej, co z warunków ekonomicznych. Przykładowo, jeśli nawet istnieje możliwość bezpośredniej likwidacji miny morskiej przez użycie systemów bezzałogowych typu *SeaFox* czy *Głuptak*, gdyż nie zagraża to żadnej infrastrukturze czy środowisku, to ich koszt jest znaczny. Użycie grup *CDT* wykorzystujących klasyczne materiały wybuchowe do pobudzenia eksplozji czy specjalnie uformowane i przyłożone ładunki do deflagracji ładunku wybuchowego *UXO* są metodami o wiele efektywniejszymi z ekonomicznego punktu widzenia. Pokazuje to analiza ostatnio prowadzonych akcji rozminowania *UXO* na akwenach polskich.

Grupy *CDT* są nie do zastąpienia nie tylko przy pozyskaniu np. improwizowanych ładunków wybuchowych *IED*¹²⁷, ale także w sytuacji, gdy usunięcie lub wywołanie eksplozji jest nie do zaakceptowania. Taka sytuacja miała miejsce przy deflagracji¹²⁸ brytyjskiej bomby *TallBoy* o masie 5340 kg, pochodzącej z czasów II Wojny Światowej, wykonanej w 2020 r. na torze wodnym Szczecin–Świnoujście, przez 13 *dTr*. Detonacja bomby stwarzała bezpośrednie zagrożenie dla pobliskiej przeprawy promowej, rurociągów i infrastruktury brzegowej.

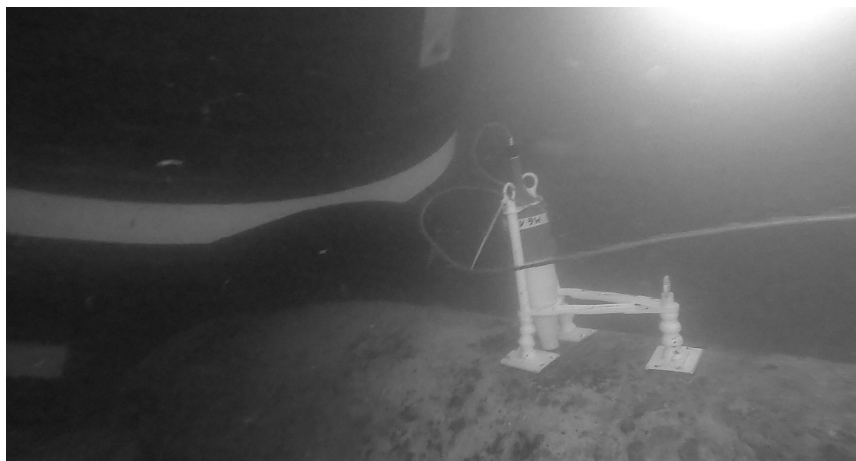


Fig. 3 One of the applied incendiary charges on the body of the *Tallboy* bomb. [Courtesy of 13 dTr, Swinoujście].

Rys. 3 Jeden z zastosowanych ładunków zapalających na korpusie bomby TallBoy. [Dzięki uprzejmości 13 dTr, Świnoujście].

Próba usunięcia bomby mogła nie tylko spowodować zniszczenia wspomnianej infrastruktury, lecz stwarzała także zagrożenie dla pracującej grupy *CDT* oraz użytego sprzętu. Zapoczątkowanie procesu deflagracji wymagało jednak precyzyjnego ustawienia ładunku zapalającego, możliwie najdalej od zapalników bomby, które to zadanie najlepiej powierzyć grupie *CDT* – rys. 3.

WNIOSKI

Systemowy kontekst taktyczny jest podstawą precyzowania wymagań co do elementów struktury *systemu* i *podsystemów* dając podstawę do prowadzenia badań nad jego właściwościami, np.: niezawodnością, odparowalnością, redundancją itp.

Przy realizacji zadań projektowych, należy bezwzględnie pamiętać, że nurkowanie stanowi jedynie drobny element *systemu* służący realizacji *procesów* w ramach większego *systemu* wojny minowej *MCM*. W swej istocie, nurkowanie stanowi jedynie sposób przemieszczania się sił do wykonania zadań wynikających z celów *MCM*.

W ramach krajowych zadań przypadających grupom *CDT* należało skupić się na nurkowaniach punktowych, jako podstawowym scenariuszu wynikającym z potrzeb *MCM*. Inne scenariusze stały się mniej istotne po rozformowaniu morskich sił desantowych w 1993 roku.

ZAKOŃCZENIE

Artykuł jest efektem projektu nr DOB-BIO-12-03-001-2022 z dnia 2.01.2023 r. o wykonanie i finansowanie projektu realizowanego na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa w ramach Konkursu Nr 12/2022 NCBiR pt. "Wpływ wysiłku bojowego i transportu lotniczego na bezpieczeństwo nurków bojowych w trakcie realizacji podwodnych działań bojowych" zaplanowanego na lata 2023-2025.

An attempt to remove the bomb was likely not only to cause damage to the aforementioned infrastructure, but also posed a risk to the *CDT* at work and the equipment used. Initiating the deflagration process, however, required precise positioning of the incendiary charge as far from the bomb's fuses as possible, a task best left to a *CDT* group – fig. 3.

CONCLUSIONS

The system tactical context constitutes the basis for specifying requirements as to the elements of the system structure and subsystems - thus allowing for conducting research into its properties, e.g.: reliability, vaporisation, redundancy, etc.

When carrying out design tasks, it is essential to remember that diving represents only a small element of the system serving the realisation of processes within the larger *MCM* mine warfare system. In its essence, diving is merely a means of moving forces to perform tasks arising from *MCM* objectives.

The national tasks falling to the *CDT* groups had to focus on spot diving as the primary scenario arising from *MCM* needs. Other scenarios became less relevant after the maritime landing force was demobilised in 1993.

FINAL NOTES

The article is the result of the project No. DOB-BIO-12-03-001-2022 dated 2.01.2023 r. for the implementation and financing of the project carried out for national defence and security within the framework of the Competition No. 12/2022 NCBiR entitled "The impact of combat effort and air transport on the safety of combat divers during underwater combat operations" implemented in 2023-2025.

REFERENCES

1. Klos R. 2019a. Designing of diving technologies – process approach. *Polish Hyperbaric Research*. 1, 2019a, Tom 66, DOI: 10.2478/phr-2019-0001, strony 7-24.
2. Klos R. 2019b. Context analysis in the development of diving technologies. *Polish Hyperbaric Research*. 2, 2019b, Tom 67, DOI: 10.2478/phr-2019-0005, strony 7 – 58.
3. Klos R. 2000. *Aparaty Nurkowe z regeneracją czynnika oddechowego*. Poznań : COOPgraf, 2000. ISBN 83-909187-2-2.
4. Klos R. 2011. *Możliwości doboru dekompresji dla aparatu nurkowego typu CRABE - założenia do nurkowań standardowych i eksperymentalnych*. Gdynia : Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, 2011. ISBN 978-83-924989-4-0.
5. .Klos R. 2016. *System trymiksowej dekompresji dla aparatu nurkowego typu CRABE*. Gdynia : Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, 2016. ISBN 978-83-938322-5-5.
6. (Klos R., Nishi R., Olszanski R., 2002)
7. Klos R. 2007. *Zastosowanie metod statystycznych w technice nurkowej - Skrypt*. Gdynia : Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, 2007. ISBN 978-83-924989-26.
8. Wienke B.R., 2016
9. Wald A. 1947. *Sequential Analysis*. New York : Jon Willey & Sons, Inc., 1947.
10. Homer L.D. Weathersby P.K. 1985. Statistical aspects of the design and testing of decompression tables. *Undersea Biomedical Research*. 1985, Tom 12, 3, strony 239-249.
11. ANEP-16. APRIL 1989. *Mine Countermeasure Vessels SUPPLEMENT 2 to STANAG 4154 -General Criteria and Common Procedures for Seakeeping Performance Assess-ment mine counter measure vessels*. Edition 1. Brussels : NATO Standardization Office, APRIL 1989. CPT 2041.
12. STANAG 4154. 22 February 2018. *Common procedures for seakeeping in the ship design process*. Edition 4. Brussels : NATO Standardization Office, 22 February 2018. NSO/0241(2018)SDCG/4154.
13. MTP-24. May 2002. *Naval mine countermeasures - tactics and execution*. Brussels: NATO Standardization Agency, May 2002. Tom I. MTP-24(C) VOL I.
14. STANAG 1132. 26 September 2016. *Naval mine countermeasures - tactics and execution* . Brussels : The NATO Standardization Office, 26 September 2016. NSO(NAVAL)1177(2016)NMW/1132.
15. ADivP-01. September 2019. *Allied guide to diving operations*. Edition C Version 3 . Brussels : NATO Standardization Office, September 2019.
16. AEODP-10. February 2020. *Explosive ordnance disposal (EOD) principles and minimum standards of proficiency*. Edition C Version 1. Brussels : NATO Standardization Office, February 2020.
17. STANAG 2143. 7 FEBRUARY 2020. *Explosive ordnance disposal (EOD) principles and minimum standards of proficiency* . 7. Brussels : NATO Standardization Office, 7 FEBRUARY 2020.
18. AEODP-14. June 2016. *NATO EOD publications set (NEPS) – Identification and disposal of surface, air, and underwater munitions*. Edition A Version 1. Brussels : NATO Allied Explosive Ordnance Disposal Publication, June 2016.
19. STANAG 2369. June 2016. *EOD publications set (NEPS) – Identification and disposal of sur-face, air, and underwater munitions*. Edition 4. Brussels : The NATO Standardization Office, June 2016. NSO(ARMY)0845(2016)EOD/2369.
20. STANAG 2295. 8 February 2018. *Allied joint doctrine for countering improvised explosive devices (C-IED)*. 4. Brussels : NATO Standardization Office, 8 February 2018. NSO(JOINT)0176(2018)C-IED/2295.
21. AJP-3.15. February 2018. *Allied joint doctrine for countering improvised explosive devices*. Edition C Version 1. Brussels: NATO Standardization Office, February 2018.
22. STANAG 1372. 28 July 2014. *Allied guide to diving operations*. 11. Brussels : The NATO Standardization Office, 28 July 2014. NSO(NAVAL)1054(2014)UD/1372.
23. AMP-15. May 2013. *Standards for naval mine warfare acoustic measurements*. Edition (A) Version (1) . Brussels : NATO Standardization Agency, May 2013.
24. STANAG 1418. 7 May 2013. *Standards for naval mine warfare acoustic measurements*. Brussels : NATO Standardization Office, 7 May 2013. NSA(NAVAL)0766(2013)NMW/1418.
25. AEODP-07. November 2015. *Explosive ordnance disposal equipment requirements and equi-pment*. Edition B Version 1. Brussels : NATO Allied explosive ordnance disposal publication, November 2015.
26. Korenbaum V., Kostiv A., Gorovoy S., Dorozhko V., Shiryayev A. 2020. Underwater Noi-ses of Open-Circuit Scuba Diver. *Archives of Acoustics*. 2020, Tom 45, 2, strony 349–357.
27. Pozański P. 2011. Współczesne zagrożenia elementów infrastruktury morskiej oraz systemy ich detekcji. *Polish Hyperbaric Research*. 2011, Tom 35, strony 7-34.
28. Greenlaw J. 2013. *Sea mines and naval mine countermeasures: are autonomous underwater vehicles the answer, and is the Royal Canadian Navy ready for the new paradigm?* . Toronto : Canadian Forces College, 2013. JCSP 39.
29. Ligęza K. 2013. *Leksykon działań sił morskich*. Gdynia : Akademia Marynarki Wojennej, 2013. ISBN 978-83-60278-71-0.

¹to ogólna taktyka (def. patrz dalej), która niekoniecznie musi być dostrzegalna dla osób postronnych,
¹ it is a general tactic (see below for def.) which may not necessarily be perceptible to the public,

² nauka o metodach badań naukowych, ich skuteczności i wartości poznawczej,
² the study of scientific research methods, their effectiveness and cognitive value,

³ zbiór metod,
³ set of methods,

⁴ teoria to ogólna koncepcja oparta na poznaniu i zrozumieniu istotnych czynników kształtujących pewien wycinek rzeczywistości,
⁴ a theory is a general concept based on knowledge and understanding of the relevant factors that shape a particular part of reality,

⁵ sprawdzony, skuteczny i powtarzalny sposób postępowania prowadzący do rozwiązania danego problemu oraz osiągnięcia zdefiniowanego celu,
⁵ a proven, effective and reproducible process for solving a problem and achieving a defined objective,

⁶ Semi-Closed Rebreather,
⁶ Semi-Closed Rebreather,

⁷ piktogram to przedstawienie pojęcia za pomocą obrazka,
⁷ a pictogram is the representation of a concept by means of a picture,

⁸ leżący poza systemem, lecz wywierający wpływ na przebiegające w nim procesy,
⁸ lying outside the system but influencing processes within it,

⁹ zdolność utrzymywania względnie stałych parametrów wewnętrznych w systemie,
⁹ the ability to maintain relatively constant internal parameters in the system,

¹⁰ przykładowo, poprzez ustalenie granic,
¹⁰ for example, by fixing the boundaries,

¹¹ jeżeli ze względów sposobu budowania systemu istnieje konieczność zastosowanie elementów redundantnych, przykładowo ze względów bezpieczeństwa, to takie podejście mieści się także w zastosowanym tutaj określeniu „racjonalnie minimalny zbiór elementów”,
¹¹ if, for reasons of the method of system construction, it is necessary to use redundant elements, for example for safety reasons, this approach also falls within the term “reasonably minimal set of elements’ as used here”,

¹² wspólne oddziaływanie silniejsze niż suma oddzielnych działań,
¹² joint impact is greater than the sum of separate actions,

¹³ celem nauk podstawowych jest poznanie tych procesów,
¹³ the purpose of basic research is to learn about these processes,

¹⁴ przykładowo, nie bardzo wiadomo, czemu tak naprawdę ma służyć proces naturalnego rozpadu jądra atomowego,
¹⁴ for instance, it is not very clear what the process of natural nuclear decay is intended to achieve,

¹⁵ proces fenomenologicznego poznania zachodzący przy wykorzystaniu jedynie naszych narządów zmysłowych,
¹⁵ the process of phenomenological cognition that takes place using only our sensory organs,

¹⁶ występowanie różnych systemów w tym samym typie struktury systemowej,
¹⁶ the existence of different systems in the same type of system structure,

¹⁷ występowanie podobnych systemów zdolnych do podtrzymania różnych procesów,
¹⁷ existence of similar systems capable of supporting different processes,

¹⁸ podobieństwo systemów i zachodzących w nich procesów,
¹⁸ similarity of systems and their processes,

¹⁹ system względnie odosobniony, możliwie mało skomplikowany, działający analogicznie do oryginału służący do badania przepływu informacji i sterowania w modelowanych systemach,
¹⁹ a relatively isolated system, possibly of low complexity, working in a similar way to the original, to study information flow and control in modelled systems,

²⁰ model ekonomiczny stanowi konstrukcję myślową obejmującą układ założeń przyjętych w ekonomii dla uchwycenia najistotniejszych cech i zależności występujących w danym procesie ekonomicznym,
²⁰ an economic model is a mental construct comprising a set of assumptions adopted in economics to capture the most salient features and relationships in a given economic process,

²¹ opis probabilistyczny umożliwiający wartościowanie ryzyka podejmowanych decyzji podczas wnioskowania prowadzonego w sytuacji problemowej,
²¹ a probabilistic description to allow the risk of decisions to be evaluated when making inferences in a problematic situation,

²² znaczy to, że nie może być oceniany jedynie pod kątem finansowej opłacalności, lecz także pod kątem skutków społecznych,
²² this means that it must not only be assessed in terms of financial viability, but also in terms of its social impact,

²³ wprowadzenie na stałe do systemu wiedzy modelu, jako wiarogodnego narzędzia do przewidywania zachowania procesów zachodzących w zdefiniowanych systemach,
²³ permanent introduction of the model into the knowledge system as a reliable tool for predicting the behaviour of processes in defined systems,

²⁴ metoda przygotowania i prowadzenia procesu,
²⁴ process preparation and conduct method,

²⁵ przykładowo do okresowego sprawdzania niektórych zagrożeń technicznych powołany jest w Polsce Urząd Dozoru Technicznego,
²⁵ for example, the Office of Technical Inspection in Poland is established to periodically check certain technical risks,

²⁶ przykładowo do badania wypadków lotniczych powołana jest w Polsce Państwowa Komisja Badania Wypadków Lotniczych,
²⁶ for example, the State Commission for the Investigation of Air Accidents is established in Poland to investigate air accidents,

²⁷ zagrożenie jest tu rozumiane jako całka po czasie ryzyka,
²⁷ the risk is understood here as the integral over time of the risk,

²⁸ podobnie jak przy testowaniu nowych leków lub procedur klinicznych,
²⁸ as in the testing of new drugs or clinical procedures,

²⁹ aparat nurkowy – nurek,
²⁹ rebreather – diver,

³⁰ najczęściej przyjmuje się jeden parametr zmienny przy tej multiplikacji, którym jest osoba nurka doświadczalnego, rozciągając wnioskowanie na wybraną populację nurków,
³⁰ usually one variable parameter is assumed for this multiplication, which is the person/experimental diver, extending the inference to the selected population of divers,

³¹ nie wystąpiły lub wystąpiły objawy DCS,
³¹ presence or absence of DCS symptoms,

³² co uzmysławia długi czas potwierdzania możliwości dopuszczenia leków do sprzedaży,
³² which explains the long time it takes to confirm the marketability of medicines,

³³ minimalnie po 28 nurkowaniach eksperymentalnych,
³³ after a minimum of 28 experimental dives,

³⁴ w warunkach krajowych teoretycznie możliwe jest przeprowadzenie max. 150 nurkowań eksperymentalnych w ciągu roku, lecz koszt takiego postępowania wynosi ok. 1 mln. zł netto,
³⁴ under domestic conditions, it is theoretically possible to conduct max. 150 experimental dives per year, but the cost of such procedure is approx. 1 million PLN net,

³⁵ przykładowo, często stosuje się bloki parametrów dla pewnych zakresów czasów pobytu co powoduje, że tak opracowana technologia jest bardziej efektywna, lecz proces walidacji jest wydłużony, gdyż powinien on być prowadzony dla każdego bloku osobno,
³⁵ for example, blocks of parameters are often used for certain ranges of stay times, which makes the technology thus developed more efficient, but the validation process is lengthened as it should be carried out for each block separately,

³⁶ wynikającej z taktyki,
³⁶ resulting from tactics,

³⁷ na drodze różnych analiz, jak studium wykonalności, konkurencyjności, analizy ryzyka czy analizy niezawodności,
³⁷ through various analyses such as feasibility, competitiveness, risk and non-reliability studies,

³⁸ teoria i praktyka posługiwania się zasobami dla osiągnięcia zamierzonego celu,
³⁸ theory and practice of using resources to achieve a desired goal,

³⁹ **Mine Countermeasure,**
³⁹ **Mine Countermeasure,**

⁴⁰ **Explosive Ordnance Disposal,**
⁴⁰ **Explosive Ordnance Disposal,**

⁴¹ **Improvised Explosive Device Disposal,**
⁴¹ **Improvised Explosive Device Disposal,**

⁴² wszystkie odniesienia, jak: Mine Warfare, Naval Mine Countermeasures czy Naval Mine Warfare odnoszą się do Mine Countermeasures MCM i tutaj znaczą to samo,

⁴² all such references as: Mine Warfare, Naval Mine Countermeasures or Naval Mine Warfare refer to Mine Countermeasures MCM and mean the same here,

⁴³ system dekompresji będzie stanowić jedynie element procesu realizacji przyjętego scenariusza operacyjnego,
⁴³ the decompression system will only be part of the operational scenario process,

⁴⁴ w działaniach asymetrycznych regularnych armii i policji przeciw słabo zorganizowanemu przeciwnikowi,
⁴⁴ in asymmetric operations by regular armies and police against a poorly organised opponent,

⁴⁵ łączności bezprzewodowej, systemów nawigacji elektronicznej, aparatów sterowanych czy kontrolowanych elektronicznie itp.,
⁴⁵ wireless communications, electronic navigation systems, electronically operated or controlled instruments, etc.,

⁴⁶ np. systemu autonomii opartej na sztucznej inteligencji,
⁴⁶ e.g. an autonomous system based on artificial intelligence,

⁴⁷ np. systemy zdalnego sterowania pojedynczą miną lub polem minowym z wykorzystaniem inteligencji rozproszonej (inteligencji roju) oznaczającej współpracę pomiędzy wieloma robotami bez uprzednio zdefiniowanego planu i bez jednego organu dowodzącego,

⁴⁷ e.g. systems for remote control of a single mine or minefield using distributed intelligence (swarm intelligence), meaning cooperation between multiple robots without a predefined plan and without a single command body,

⁴⁸ także używany do niszczenia min,
⁴⁸ also used for mine destruction,

⁴⁹ **Unexploded Ordnance,**
⁴⁹ **Unexploded Ordnance,**

⁵⁰ **Mine Hunting,**
⁵⁰ **Mine Hunting,**

51 Clearance Diving Operations
51 Clearance Diving Operations

⁵² najczęściej wyrażanego, jako wartość oczekiwaną dla prawdopodobieństwa poderwania się okrętu na minie lub liczbą okrętów podrywających się na minach pozostałych po procesie rozminowania [29].

⁵² most often expressed as the expected value of the probability of a ship hitting a mine, or the number of ships hitting mines remaining after the demining process [29].

⁵³ proces stopniowego zmniejszania siły lub skuteczności min poprzez ciągły nadzór,
⁵³ a process of progressive reduction of mine strength or effectiveness through continuous surveillance,

⁵⁴ w skutek uzupełniania postawionych min lub opóźnionego mechanizmu ich uzbrajania,
⁵⁴ due to mine replenishment or delayed arming mechanism,

⁵⁵ najczęściej, polegające na rozpoznaniu spod wody, zarówno typowe rozpoznanie podwodne jak i jedynie element misji rozpoznawczej w postaci transportu podwodnego przed rozpoznaniem, wypadem, napadem odejściem, prace rozgrodzeniowe lub zagrodzeniowe,

⁵⁵ usually involving underwater reconnaissance, either as a typical underwater reconnaissance or merely as an element of a reconnaissance mission in the form of an underwater transport prior to reconnaissance, assault, diversion, barrier setting works,

⁵⁶ najczęściej, ratowanie techniki używanej w misjach MCM,
⁵⁶ most frequently, the rescue of technology used in MCM,

⁵⁷ najczęściej, wykonywanie przejść i niszczenia w celu uniemożliwienia przejęcia techniki wojskowej przez nieprzyjaciela,
⁵⁷ most frequently, the execution of penetrations and destructions to prevent the acquisition of military technology by the enemy,

⁵⁸ przykładowo, inwigilacja aktywności potencjalnych przeciwników w wojnie minowej,
⁵⁸ for example, surveillance of the activities of potential adversaries in mine warfare,

⁵⁹ ADivP – 01 został wprowadzony postanowieniem standaryzacyjnym STANAG 1372 Allied Guide to Diving Operations [22].

⁵⁹ ADivP – 01 was introduced by standardisation provision STANAG 1372 Allied Guide to Diving Operations [22].

⁶⁰ **Clearance Diving Team,**
⁶⁰ **Clearance Diving Team,**

⁶¹ **Very Shallow Water,**
⁶¹ **Very Shallow Water,**

- ⁶² zapomniano tutaj o może najważniejszym zadaniu realizowanym właściwie jedynie przez CDTs, związanym z rozpoznaniem, dochodzeniem i analizą pozyskanych niezidentyfikowanych UXO czy IOD,
⁶² missing here is perhaps the most important task actually performed only by CDTs, related to the identification, investigation and analysis of acquired unidentified UXO or IOD,
- ⁶³ jak, stan morza, pogoda, rodzaj wsparcia itd.,
⁶³ like sea state, weather, type of support, etc.,
- ⁶⁴ jak, temperatura wody, prąd, głębokość, rodzaj dna, sposób transportu,
⁶⁴ like water temperature, current, depth, type of bottom, mode of transport,
- ⁶⁵ diagnozowanie rozumiane tutaj jako ocena stanu przedstawiona na podstawie badań i analiz przeprowadzona po rozpoznaniu podwodnym, dochodzeniu podwodnym, pozyskaniu niezidentyfikowanego obiektu mino-podobnego UMO i analizą działania pozyskanych w całości lub pozostałości po neutralizacji UMO,
⁶⁵ diagnosis, understood here as the assessment of the condition based on examination and analysis following an underwater reconnaissance, underwater investigation, capture of an unidentified mine-like object (UMO) and analysis of the performance of the acquired whole or residual UMO,
- ⁶⁶ **Unidentified Mine-like Object,**
⁶⁶ **Unidentified Mine-like Object,**
- ⁶⁷ zarówno w planowanych operacjach jak i podejmowanych ad hoc,
⁶⁷ in both planned and ad hoc operations,
- ⁶⁸ rozumiane jako wszelkie środki walki umożliwiające zadanie przeciwnikowi strat,
⁶⁸ understood as any means of warfare capable of inflicting losses on an opponent,
- ⁶⁹ aktuatory są urządzeniami, które na podstawie pomiaru wykonanego przez współpracujący system pomiarowy powoduje zadziałanie elementu wykonawczego, przykładowo uruchomienie: ogrzewania, oświetlenia, włączenie dźwiękowego sygnału ostrzegawczego itp.,
⁶⁹ Actuators are devices which, on the basis of the measurement made by the co-operating measuring system, cause the activation of the actuating element, for example triggering the heating, lighting, sounding the warning signal, etc.,
- ⁷⁰ ograniczenia obszarowe mogą dotyczyć niektórych parametrów akwenu, jak jego skażenie,
⁷⁰ area restrictions may concern certain parameters of a water body, such as its contamination,
- ⁷¹ **Explosive Ordnance Reconnaissance,**
⁷¹ **Explosive Ordnance Reconnaissance,**
- ⁷² **Explosive Ordnanc,**
⁷² **Explosive Ordnance,**
- ⁷³ **Explosive Ordnance Clearance,**
⁷³ **Explosive Ordnance Clearance,**
- ⁷⁴ **Conventional Munition Disposal,**
⁷⁴ **Conventional Munition Disposal,**
- ⁷⁵ **Abandoned Explosive Ordnance,**
⁷⁵ **Abandoned Explosive Ordnance,**
- ⁷⁶ **Countering Improvised Explosive Devices,**
⁷⁶ **Countering Improvised Explosive Devices,**
- ⁷⁷ **Tactics, Techniques and Procedures,**
⁷⁷ **Tactics, Techniques and Procedures,**
- ⁷⁸ rozumiana jako badanie nieznanymi obiektów,
⁷⁸ understood as the study of unknown objects,
- ⁷⁹ **Improvised Explosive Device Disposal,**
⁷⁹ **Improvised Explosive Device Disposal,**
- ⁸⁰ **Force Protection,**
⁸⁰ **Force Protection,**
- ⁸¹ **Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Explosive Ordnance Disposal,**
⁸¹ **Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Explosive Ordnance Disposal,**
- ⁸² tutaj dotyczące drgań mechanicznych tworzących się w warstwie dna oraz w wodzie na skutek uderzeń lub ruchów mechanicznych, przykładowo pochodzących od pędników, ruchów płetw nurka itp.,
⁸² here concerning mechanical vibrations created in the bottom layer and in the water by impacts or mechanical movements, e.g. from thrusters, diving fin movements, etc.,
- ⁸³ torpedy krążące podobnie jak amunicja krążąca na lądzie,
⁸³ circulating torpedoes similar to shore-based munitions,
- ⁸⁴ np. zagrzebywania,
⁸⁴ e.g. burying,
- ⁸⁵ przykładowo, niemieckie ładunki typu SeaFox, amerykańskie Archerfish czy polskie Głuptak,
⁸⁵ e.g. German SeaFox, American Archerfish or Polish Głuptak,
- ⁸⁶ **Expendable Mine Disposal Vehicle,**
⁸⁶ **Expendable Mine Disposal Vehicle,**
- ⁸⁷ zabezpieczenia na nieusuwalność,
⁸⁷ safeguards in the event of non-removability,

- ⁸⁸ proces mający na celu określenie aktualnego stanu i na tej podstawie postawienie diagnozy,
⁸⁸ a process aimed at determining the current state and making a diagnosis on this basis,
- ⁸⁹ proces mający na celu ustalenie domniemanej przyczyny powstania zmian w czasie,
⁸⁹ a process to determine the presumed cause of a change over time,
- ⁹⁰ skuteczny zasięg detekcji hydroakustycznej silnie zależy od pory roku,
⁹⁰ the effective range of hydroacoustic detection strongly depends on the season of the year,
- ⁹¹ charakterystyczny sygnał dźwiękowy o określonej strukturze fali akustycznej, emitowany przez dany obiekt techniczny, na podstawie którego można dokonać jego identyfikacji,
⁹¹ the characteristic sound signal of a specific acoustic wave structure emitted by a technical object, from which its identification can be made,
- ⁹² także indukowane elektrycznie,
⁹² also electrically induced,
- ⁹³ testom sygnatury magnetycznej, elektrycznej i powstającej na skutek prądów błądzących,
⁹³ magnetic, electrical and stray current signature tests,
- ⁹⁴ ochrona przed wtargnięciem na teren chroniony,
⁹⁴ protection against intrusion into the protected site,
- ⁹⁵ siła celu to wyrażany najczęściej w decybelach [dB@1 m] iloraz natężenia fali [$W \cdot m^{-2}$] odbitej od celu w kierunku odbiornika w odległości 1 m od jego środka i natężenia płaskiej fali akustycznej [$W \cdot m^{-2}$] padającej na cel z kierunku odbiornika,
⁹⁵ target force is the ratio usually expressed in decibels [dB@1 m], it is a quotient of wave intensity [$W \cdot m^{-2}$] reflected from the target towards the receiver at a distance of 1 m from its centre and the intensity of a plane acoustic wave [$W \cdot m^{-2}$] incident on the target from the direction of the receiver,
- ⁹⁶ [https://en.wikipedia.org/wiki/Cerberus_\(sonar\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cerberus_(sonar)),
⁹⁶ [https://en.wikipedia.org/wiki/Cerberus_\(sonar\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cerberus_(sonar)),
- ⁹⁷ systemy współpracujące pozostające zlokalizowane poza miną lub polem minowym oparte o nadzór sprawowany przez człowieka wspomagany przez systemy dyskryminacyjne (ekspertowe, sztuczną inteligencję), swarm intelligence itp.,
⁹⁷ cooperative systems that remain located outside the mine or minefield, based on human supervision supported by discrimination systems (expert systems, artificial intelligence), swarm intelligence, etc.,
- ⁹⁸ perymetria rozumiana jest tutaj, jako pole widzenia systemów technicznych do obserwacji wizyjnej,
⁹⁸ perimetry is understood here as the field of view of technical systems for visual observation,
- ⁹⁹ stanowiska wspomagane przez polaryzatory światła przeciwko refleksom wodnym, kamery podwodne stałe i lokalizowane na pojazdach podwodnych, prowadzenie warty podwodnej itp.,
⁹⁹ posts supported by light polarisers against water reflections, underwater cameras fixed and located on underwater vehicles, underwater guarding, etc.,
- ¹⁰⁰ jeśli udawało się je pochylić do ostrzeliwania wody,
¹⁰⁰ if they could be inclined to fire at water,
- ¹⁰¹ urządzenia podobne do maszyn do cięcia strugą wodną ze ścierniwem,
¹⁰¹ equipment similar to abrasive water jet cutting machines,
- ¹⁰² takie jak pasywne bariery akustyczne, bariery magnetyczne itp.,
¹⁰² such as passive acoustic barriers, magnetic barriers, etc.,
- ¹⁰³ z reguły głowice aktywnych systemów sonarnych nie są kierowane do powierzchni ze względu na zakłócenia występujące podczas odbicia i interferencji fal,
¹⁰³ as a rule, the heads of active sonar systems are not directed towards the surface due to interference from wave reflection and interference,
- ¹⁰⁴ sonary DDS – **D**iver **D**etection **S**onar,
¹⁰⁴ DDS – **D**iver **D**etection **S**onars,
- ¹⁰⁵ wynika stąd, że ze względów taktycznych minimalny dystans limitujący konieczność podjęcia skrytego działania powinien być większy od 800 m,
¹⁰⁵ thus, for tactical reasons, the minimum distance limiting the need for covert action should be greater than 800 m,
- ¹⁰⁶ zastosowanie polaryzatorów poprawia warunki prowadzonej obserwacji ze względu na zjawisko znacznej polaryzacji odbijanego światła przez powierzchnię wody,
¹⁰⁶ the use of polarisers improves observation conditions due to the phenomenon of considerable polarisation of the reflected light by the water surface,
- ¹⁰⁷ przykładowo przez jamming polegający na obezwładnieniu systemów elektronicznych, np. przez wytworzenie impulsu elektromagnetycznego,
¹⁰⁷ for example, by jamming electronic systems, e.g. creating an electromagnetic pulse,
- ¹⁰⁸ rodzaj stosunkowo powolnego rozkładu materiałów wybuchowych, który rozprzestrzenia się z prędkością znacznie mniejszą niż prędkość dźwięku w tym materiale,
¹⁰⁸ a mode of relatively slow decomposition of explosives that disperse at a rate significantly lower than the speed of sound in the explosive,
- ¹⁰⁹ przykładowo: poprzez wytopienie materiału wybuchowego, obezwładnienie poprzez jamming elektroniczny, przestrzelenie różnego rodzaju pociskami, ładunkiem kumulacyjnym itp.,
¹⁰⁹ for example: by melting down an explosive, incapacitation by electro-technical jamming, shooting with various types of projectiles, cumulative charges, etc.,
- ¹¹⁰ przykładowo: oderwanie wybuchem, zestrzeleniem, linką odciągową itp.,
¹¹⁰ for example: detachment by explosion, shooting down, extraction line, etc.,
- ¹¹¹ lina sygnałowa, na której wisi nurek; najczęściej lina sygnałowa nie spełnia warunków dla liny bezpieczeństwa,
¹¹¹ signal rope on which a diver is suspended; in most cases the signal rope does not fulfil the conditions for a safety rope,
- ¹¹² loudspeaker,
¹¹² loudspeaker,
- ¹¹³ najczęściej liny łączności przewodowej spełniają warunki stawiane linom bezpieczeństwa,
¹¹³ in most cases, the wire communication ropes meet the conditions for safety ropes,

¹¹⁴ sound-powered telephone,
¹¹⁴ sound-powered telephone,

¹¹⁵ miny posiadające elementy detekcji nurków oraz akulatory pozwalające na przeciwdziałanie wykryciu i dezaktywacji przez nurka,
¹¹⁵ mines with diver detection elements and actuators to prevent detection and deactivation by the diver,

¹¹⁶ z reguły ustawienie na nieusuwalność nie jest związane z detekcją przeciwdziałania UXO realizowanego przez nurków, lecz do pomyślenia jest także taki mechanizm,
¹¹⁶ as a rule, the setting for non-removability is not related to the detection of UXO countermeasures implemented by divers, but such a mechanism is also conceivable,

¹¹⁷ sukcesywny, to taki w którym po fazie procesu, która zakończy się sukcesem można przejść do kolejnej lub powtórzyć poprzednią,
¹¹⁷ successive, i.e. when a successful process phase can be followed by another or the previous one can be repeated,

¹¹⁸ Unmanned Combat Air Vehicle,
¹¹⁸ Unmanned Combat Air Vehicle,

¹¹⁹ rozpoznanie satelitarne wymaga drogiej inwestycji, a jak pokazują ostatnie doświadczenia rosyjskie, bardzo łatwo jest satelitę zestrzelić, co wobec stosunkowo taniej technologii UCAV oraz to, że stanowią trudny do zestrzelenia cel, stanowi przesłankę do coraz szerszego ich stosowania,
¹¹⁹ satellite reconnaissance requires expensive investment and, as recent Russian experience shows, it is very easy to shoot down a satellite, which, in view of the relatively cheap UCAV technology and the fact that they are difficult to shoot down, provides a rationale for their increasing use,

¹²⁰ wprowadzono pojęcie siły żywej a nie żołnierzy, gdyż istnieją koncepcje oraz ograniczona praktyka wykorzystania w tych celach także zwierząt,
¹²⁰ the concept of manpower was introduced, not soldiers, because there are concepts and limited practice of using animals for these purposes,

¹²¹ Expendable Mine Disposal Vehicle,
¹²¹ Expendable Mine Disposal Vehicle,

¹²² Remotely Operated Underwater Vehicle,
¹²² Remotely Operated Underwater Vehicle,\

¹²³ Mine Countermeasures Vessel,
¹²³ Mine Countermeasures Vessel,

¹²⁴ Rigid Inflatable Boat,
¹²⁴ Rigid Inflatable Boat,

¹²⁵ np. zdalnie sterowane systemy podnośne, zapoczątkowania eksplozji bądź deflagracji itp.,
¹²⁵ e.g. remotely controlled lifting systems, initiation of explosions or deflagrations, etc.,

¹²⁶ łączności bezprzewodowej, systemów nawigacji elektronicznej, aparatów sterowanych czy kontrolowanych elektronicznie itp.,
¹²⁶ wireless communications, electronic navigation systems, electronically controlled devices, etc.,

¹²⁷ Improvised Explosive Device,
¹²⁷ Improvised Explosive Device,

¹²⁸ w stosunku do detonacji, rodzaj spowolnionej, w skutek rozproszenia ciepła na drodze przewodnictwa oraz promieniowania, reakcji spalania rozprzestrzeniającej się z prędkością znacznie mniejszą niż prędkość dźwięku w reagującym materiale.
¹²⁸ as compared with detonation, it is a kind of slowed down, due to heat dissipation by conduction and radiation, combustion reaction propagating at a speed much lower than the speed of sound in the reacting material.

VIS CAMERA STUDIES OF THE COMBUSTION PROCESS OF PYROTECHNIC RETARDERS OF NGP-76 UNDERWATER FIFLE GRENADES

BADANIA ZA POMOCĄ KAMERY VIS PROCESU SPALANIA OPÓŹNIACZY PIROTECHNICZNYCH NASADKOWYCH GRANATÓW PODWODNYCH NGP-76

Miszczak M., Warchoła R., Gędziorowski M.P., Piecuch M., Grzeczka G.

Naval Academy, Military Institute of Armament Technology, Zielonka, Warsaw, Poland
Akademia Marynarki Wojennej, Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, Zielonka, Warszawa

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The study presents the combustion process of the multi-segment, low-gas pyrotechnic column of the warhead retarder of the NGP-76 underwater rifle grenade, designed to combat divers with an underwater shock wave. The combustion process, i.e. process from the ignition of the first segment of the retarder to the completion of combustion of its last segment, was recorded with a VIS camera filming at 30 frames per second. The rapid, short combustion of these outermost segments containing zirconium and Pb_3O_4 (minium) was accompanied by a blinding plume of brightly glowing particles of zirconium dioxide and lead vapor. The combustion of the middle segments formed from the MGS-54 pyrotechnic mixture containing $BaCrO_4$, $KClO_4$ and Sb_2S_5 , determining the duration of the delay, i.e. the delay produced by the retarder, was much slower and longer than that of the outermost segments. During the combustion of each MGS-54 segment, the combustion front took the form of a flat section in the initial part of the segment, i.e. in the area of higher density, while in the further part of the segment (with lower density) the shape of the front became irregular. At the MGS-54 segment boundary, the combustion front halted briefly. Behind the combustion front, a conical tail of luminous solid combustion products became clearly visible at the MGS-54 segment boundary. The gaseous combustion products of the MGS-54 segments, formed in small amounts and revealed as white plumes, were probably KCl vapor and/or sulfur dioxide. After combustion, the retarder column of the MGS-54 segments was green in color due to the presence of chromium compounds, possibly $Ba(CrO_2)_2$.

Keywords: underwater rifle grenade NGP-76, Pyrotechnic retarder, multi-segment pyrotechnic column, combustion front, VIS registration, shock wave diver incapacitation.

Przedstawiono proces spalania wielosegmentowej, małogazowej kolumny pirotechnicznej opóźniacza głowicy bojowej nasadkowego granatu podwodnego NGP-76, przeznaczonego do zwalczania nurków za pomocą podwodnej fali uderzeniowej. Proces spalania, tj. od zaplonu pierwszego segmentu opóźniacza do zakończenia spalania ostatniego jego segmentu rejestrowano kamerą VIS filmującą z częstotliwością 30 klatek na sekundę. Gwałtownemu, krótkiemu spalaniu tych skrajnych segmentów zawierających cyrkon i Pb_3O_4 (minię ołowianą) towarzyszył oślepiający snop smug jaskrawo świecących cząstek ditlenku cyrkonu i par ołowiu. Spalanie środkowych segmentów utworzonych z mieszaniny pirotechnicznej MGS-54 zawierającej $BaCrO_4$, $KClO_4$ i Sb_2S_5 , decydujących o czasie trwania opóźnienia, tj. zwłoki wypracowanej przez opóźniacz, przebiegało znacznie wolniej i dłużej niż segmentów skrajnych. Podczas spalania każdego segmentu MGS-54 front spalania przyjmował postać płaskiego odcinka w początkowej części segmentu, tj. w obszarze o większej gęstości, zaś w dalszej części segmentu (o mniejszej gęstości) kształt frontu stawał się nieregularny. Na granicy segmentów MGS-54 front spalania zatrzymywał się na krótko. Za frontem spalania, na odcinku segmentów MGS-54 uwidaczniał się wyraźnie stożkowy ogon świecących, stałych produktów spalania. Gazowymi produktami spalania segmentów MGS-54, powstającymi w niewielkich ilościach, ujawniającymi się w postaci białych smug były prawdopodobnie pary KCl i/lub ditlenek siarki. Po spalaniu kolumny opóźniacza na odcinku segmentów MGS-54 miała kolor zielony spowodowany obecnością związków chromu, prawdopodobnie $Ba(CrO_2)_2$.

Słowa kluczowe: nasadkowe granaty podwodne NGP-76, opóźniacz pirotechniczny, wielosegmentowa kolumna pirotechniczna, front spalania, rejestracja VIS, obezwładnianie nurków falą uderzeniową.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2022 Vol. 78 Issue 1 pp. 31 – 42

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2022-0002

Pages: 12, figures: 6, tables: 0

page [www of the periodical: www.phr.net.pl](http://www.phr.net.pl)

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 3.11.2021 r.
Termin zatwierdzenia do druku: 10.12.2022 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



Представлен процесс горения многосегментного малогазового пиротехнического столба замедлителя боеголовки штурмовой подводной гранаты NGP-76, предназначенной для борьбы с водолазами с помощью подводной ударной волны. Процесс горения, т.е. от зажигания первого сегмента замедлителя до завершения горения его последнего сегмента, был записан с помощью VIS-камеры, снимающей со скоростью 30 кадров в секунду. Быстрое кратковременное горение этих крайних сегментов, содержащих цирконий и Pb_3O_4 (рудный свинец), сопровождалось слепящим снопом полос ярко светящихся частиц диоксида циркония и паров свинца. Горение средних сегментов, изготовленных из пиротехнической смеси MGS-54, содержащей $BaCrO_4$, $KClO_4$ и Sb_2S_5 , определяющих продолжительность задержки, т.е. задержки, развиваемой замедлителем, протекало значительно медленнее и дольше, чем крайних сегментов. При горении каждого сегмента MGS-54 фронт горения имел вид плоского участка в начальной части сегмента, т.е. в области большей плотности, а в дальнейшей части сегмента (меньшей плотности) форма фронта стала неправильной. На границе сегментов MGS-54 фронт горения кратковременно прекращался. За фронтом горения вдоль сегментов MGS-54 отчетливо виден конический хвост из светящихся твердых продуктов горения. Газообразные продукты сгорания сегментов MGS-54, образовавшиеся в небольшом количестве в виде белых полос, вероятно, представляли собой пары KCl и/или диоксид серы. После сгорания столб замедлителя на участке сегментов MGS-54 был зеленого цвета из-за присутствия соединений хрома, вероятно, $Ba(CrO_2)_2$.

Ключевые слова: штурмовая подводная граната NGP-76, пиротехнический замедлитель, многосегментный пиротехнический столб, фронт горения, регистрация VIS, выведение водолазов из строя ударной волной.

Vorgestellt werden soll der Verbrennungsprozess der pyrotechnischen, aus mehreren Segmenten und geringen Gasen bestehenden Säule des Gefechtskopf-Retarders der Unterwassergranate NGP-76 mit Deckel, die zur Bekämpfung von Tauchern durch Unterwasser-Schockwelle entwickelt wurde. Der Verbrennungsprozess, d. h. von der Zündung des ersten Retardersegments bis zum Abschluss der Verbrennung seines letzten Segments, wurde mit einer VIS-Kamera aufgezeichnet, die mit einer Geschwindigkeit von 30 Bildern pro Sekunde filmte. Die schnelle, kurze Verbrennung dieser extremen Segmente, die Zirkonium und Pb_3O_4 (Bleimine) enthielten, war von einer gleißenden Wolke aus hell leuchtenden Zirkoniumdioxid- und Bleidampfparkeln begleitet. Die Verbrennung der mittleren Segmente, die aus der pyrotechnischen Mischung MGS-54 mit $BaCrO_4$, $KClO_4$ und Sb_2S_5 hergestellt wurden und welche die Verzögerungszeit, d. h. die vom Retarder hervorgerufene Verzögerung, bestimmen, war viel langsamer und länger als die der äußeren Segmente. Während der Verbrennung jedes MGS-54-Segments nahm die Verbrennungsfrent im Anfangsbereich des Segments, d. h. im Bereich mit höherer Dichte, die Form eines flachen Abschnitts an, während sie im weiteren Verlauf des Segments (geringere Dichte) unregelmäßig wurde. An der Segmentgrenze von MGS-54 kam die Verbrennungsfrent zum Stillstand. Hinter der Verbrennungsfrent war auf dem MGS-54-Segment deutlich ein kegelförmiger Schweif aus leuchtenden festen Verbrennungsprodukten zu erkennen. Bei den gasförmigen Verbrennungsprodukten der MGS-54-Segmente, die sich in geringen Mengen bildeten und sich als weiße Streifen abzeichneten, handelte es sich wahrscheinlich um KCl - Dampf und/oder Schwefeldioxid. Nach der Verbrennung war die Retardersäule auf dem MGS-54-Segmentabschnitt grün, was auf das Vorhandensein von Chromverbindungen, wahrscheinlich $Ba(CrO_2)_2$, zurückzuführen ist.

Schlüsselwörter: Unterwasser-Gewehrgranaten NGP-76, pyrotechnischer Retarder, pyrotechnische Säule mit mehreren Segmenten, Verbrennungsfrent, VIS-Registrierung, Taucher mit einer Schockwelle außer Gefecht setzen.

Se ha presentado el proceso de combustión de la columna pirotécnica de múltiples segmentos y bajo contenido de gases del retardador de la ojiva de la granada de fusil submarina NGP-76, destinada para luchar contra buzos mediante una onda de choque submarina. El proceso de combustión, es decir, desde la ignición del primer segmento del retardador hasta el final de la combustión de su último segmento, fue registrado con una cámara VIS que filmó con una frecuencia de 30 fotogramas por segundo. La breve combustión súbita de estos segmentos extremos que contienen circonio y Pb_3O_4 (minio de plomo) fue acompañada de un deslumbrante haz de estelas de partículas incandescentes de dióxido de circonio y vapores de plomo. La combustión de los segmentos centrales formados por una mezcla pirotécnica MGS-54 que contiene $BaCrO_4$, $KClO_4$ y Sb_2S_5 , que determinan la duración del retardo, es decir, el retraso conseguido por el retardador, transcurrió mucho más lentamente que la de los segmentos extremos. Durante la combustión de cada segmento MGS-54 el frente de combustión adoptó la forma de un tramo plano en la parte inicial del segmento, es decir, en la zona de mayor densidad, mientras que en la siguiente parte del segmento (de menor densidad) la forma del frente se volvió irregular. En los límites de los segmentos MGS-54 el frente de combustión se detuvo brevemente. Tras el frente de combustión, en el tramo de los segmentos MGS-54 se hizo visible una cola marcadamente cónica de productos sólidos de la combustión incandescentes. Los productos gaseosos de la combustión de los segmentos MGS-54, generados en pequeñas cantidades, manifestados en forma de estelas blancas, eran posiblemente vapores de KCl y/o dióxido de azufre. Tras la combustión la columna del retardador en el tramo de los segmentos MGS-54 tenía un color verde provocado por la presencia de compuestos de cromo, posiblemente $Ba(CrO_2)_2$.

Palabras clave: granadas de fusil submarinas NGP-76, retardador pirotécnico, columna pirotécnica de múltiples segmentos, frente de combustión, registro VIS, incapacitación de buzos mediante onda de choque.

WSTĘP

Badania za pomocą kamery VIS procesu spalania wielosegmentowych, kolumnowych ładunków pirotechnicznych opóźniaczy zespołów głowic bojowych nasadkowych granatów podwodnych NGP-76 (Fot.1a, b, c) przeznaczonych do zwalczania nurków za pomocą podwodnej fali uderzeniowej, przedstawione w niniejszym artykule mają na celu rozpoznanie i zarejestrowanie zjawisk zachodzących podczas spalania tych kolumn pirotechnicznych, w kontekście bezpieczeństwa eksploatacji i niezawodności działania tego rodzaju granatów.

INTRODUCTION

Investigations by means of a VIS camera of the combustion process of multi-segment, column pyrotechnic charge retarder warhead assemblies of NGP-76 underwater rifle grenades (Fig. 1a, b, c) intended to combat divers by means of an underwater shock wave, presented in this article are aimed at identifying and recording the phenomena occurring during the combustion of these pyrotechnic columns, in the context of the operational safety and reliability of the operation of these types of grenades.



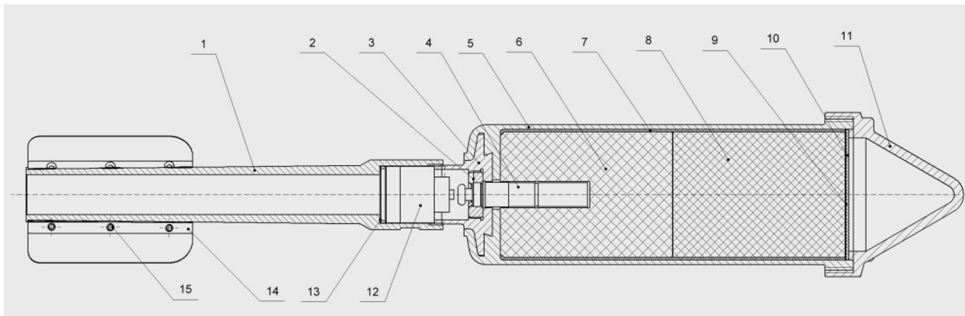
a



b

Underwater rifle grenade NGP-76:
a – stabiliser with fin assembly, b – warhead

Nasadkowy granat podwodny NGP-76:
a – stabilizator z brzechwami, b – głowica.



A cross-section of the underwater rifle grenade NGP-76

Przekrój osiowy nasadkowego granatu podwodnego NGP-76

1 – stabiliserreduction sleeve, 3 – steel connecting element between the warhead and the shaft, 4 – pyrotechnic warhead retarder assembly, 5 – warhead body, 6 – rear cube of the crushing MW, 7 – paraffin layer, 8 – front cube of the MW, 9,10 – shock absorbing spacers, 11 – ballistic head cap, 12 – bottom fuse DC-1, 13 – safety washer, 14 – fin assembly of the stabiliser, 15 – rivets attaching the fin assembly to the stabiliser body.

1 – stabilizator, 2 – tuleja redukcyjna, 3 – stalowy element łączący głowicę z trzonem, 4 – zespół pirotechnicznego opóźniacza głowicy, 5 – korpus głowicy, 6 – tylna kostka MW kruszącego, 7 – warstwa parafiny, 8 – przednia kostka MW, 9,10 – przekładki amortyzujące, 11 – czepiec balistyczny głowicy, 12 – denny zapalnik DC-1, 13 – podkładka zabezpieczająca, 14 – brzechwy stabilizatora, 15 – nity mocujące brzechwy do korpusu stabilizatora.

Fig. 1 (a,b,c): Underwater rifle grenade NGP-76 and its elements.

Fot.1 (a,b,c): Nasadkowy granat podwodny NGP-76 i jego elementy.

Przed ww. badaniami nad spalaniem opóźniaczy pirotechnicznych, bardzo istotnymi początkowymi etapami prac eksperymentalnych było przygotowanie próbek oraz ich rentgenograficzne badania defektoskopowe techniką radioskopii w czasie rzeczywistym (RTR- ang. Real Time-X-ray Radioscopy).

BADANIA EKSPERYMENTALNE

PRZYGOTOWANIE I OPIS PRÓBEK PRZEZNACZONYCH DO BADAŃ

Z bojowych głowic nasadkowych granatów podwodnych NGP-76 wyjmowano spłonkę pobudzającą połączoną z opóźniaczem, oddzielano od siebie oba ww. elementy, a następnie opóźniacz pirotechniczny (Fot. 2) przecięto wzdłużnie na półcylicydryczne połowy, z których każda stanowiła próbkę (Fot. 3) gotową do dalszych badań, tj. spalaniem.



Photo 2. Pyrotechnic retarder of underwater rifle grenade NGP-76.

Fot. 2 Opóźniacz pirotechniczny nasadkowego granatu podwodnego NGP-76.

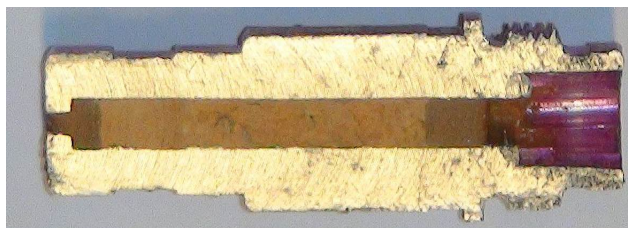


Photo 3. Pyrotechnic retarder of an underwater rifle grenade NGP-76 cut lengthwise.

Fot. 3 Przecięty wzdłużnie opóźniacz pirotechniczny nasadkowego granatu podwodnego NGP-76.

Próbka badawcza składała się z siedmiosegmentowej kolumny pirotechnicznej wprasowanej w aluminiowy korpus. Długość kolumny pirotechnicznej wynosiła 32,0 mm, zaś jej średnica 3,2 mm na odcinku mieszczącym sześć pierwszych segmentów i część siódmego segmentu. Na zwężonym, wylotowym odcinku ostatniego (siódmego) segmentu, wynoszącym ok. 2,1 mm, średnica kolumny pirotechnicznej wynosiła ok. 2,0 mm. Skrajne, ciemnobrązowe segmenty ładunku pirotechnicznego, tj. pierwsze dwa - wlotowe (trudne do rozróżnienia) mają za zadanie zapoczątkować i ustabilizować fazę zapłonu opóźniacza, zaś ostatni - wylotowy, ma pobudzić spłonkę detonującą, inicjującą wybuch zasadniczego ładunku wybuchowego granatu NPG-76. Segmenty te zawierają związki ołowiu i cyrkon. Ciemnobrązowy kolor mieszaniny te zawdzięczają obecności minii ołowianej (Pb_3O_4) w ich składach. Pierwszy segment o długości ok. 0,4 mm wykonany był z mieszaniny pirotechnicznej SC-1 zawierającej 2,0% wagowych nitrocelulozy (koloksyliny),

Prior to the above-mentioned pyrotechnic retarder combustion studies, crucial initial stages of the experimental work were the preparation of the samples and their X-ray defect examination using the Real Time-X-ray Radioscopy (RTR) technique).

EXPERIMENTAL RESEARCH

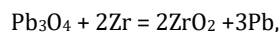
PREPARATION AND DESCRIPTION OF TEST SAMPLES

From the NGP-76 submarine grenade warheads, the booster primer connected to the retarder was removed, the two aforementioned elements were separated from each other, and then the pyrotechnic retarder (Photo. 2) was cut longitudinally into semi-cylindrical halves, each of which constituted a sample (Photo. 3) ready for further testing, i.e. combustion.

The test sample consisted of a seven-segment pyrotechnic column pressed into an aluminium body. The length of the pyrotechnic column was 32.0 mm, with a diameter of 3.2 mm at the section containing the first six segments and part of the seventh segment. The diameter of the pyrotechnic column was approximately 2.1 mm at the tapered, exit section of the last (seventh) segment. The extreme, dark brown segments of the pyrotechnic charge, i.e. the first two - the inlet segments (difficult to distinguish) are intended to initiate and stabilise the ignition phase of the retarder, while the last - the outlet segment, is intended to excite the detonating primer, initiating the explosion of the main explosive charge of the NPG-76 grenade. The segments contain lead compounds and zirconium. The dark brown colour of these mixtures is due to the presence of red lead (Pb_3O_4) in their compositions. The first segment, approximately 0.4 mm in length, was made from the SC-1 pyrotechnic mixture containing 2.0 per cent parts by weight of nitrocellulose (colloxylin), 74.5 per cent parts by weight

74,5% części wagowych tlenku ołowiu (II, IV) (Pb_{304}) oraz 23,5% części wagowych proszku cyrkonowego (Zr). A zatem, Pb_3O_4 i proszek Zr zmieszane były w stosunku stechiometrycznym.

Zgodnie z równaniem reakcji spalania podanym w szwajcarskim opisie patentowym CH₆₄₈₀₁₂ (A5) [1] oraz książce [2]:



w wyniku spalania mieszaniny pirotechnicznej SC-1 powstają gorące cząstki ditlenku cyrkonu oraz pary ołowiu (temp. topnienia Pb wynosi 327°C, zaś wrzenia ok. 1750°C).

Drugi segment o długości ok. 4,4 mm wykonany był z kompozycji pirotechnicznej W-11 zawierającej 24,2% części wagowych chromianu (VI) baru ($BaCrO_4$), 52,3% części wagowych Pb_3O_4 , 16,3% części wagowych proszku Zr, 2,9% części wagowych chloranu (VII) potasu ($KClO_4$), 2,3% części wagowych siarki i 2,0% części wagowych koloksyliny.

Cztery wewnętrzne (środkowe), jasnobrązowe segmenty pirotechniczne tworzące zasadniczy odcinek opóźniający o długości ok. 23,0 mm wykonane były z mieszaniny pirotechnicznej MGS-54 zawierającej 78,2% części wagowych $BaCrO_4$, 9,9% części wagowych pięciosiarczku antymonu (Sb_2S_5) oraz 2,0% części wagowych koloksyliny. Barwa segmentów MGS-54 spowodowana była obecnością Sb_2S_5 i $BaCrO_4$. Ostatni, wylotowy segment o długości ok. 4,2 mm wykonany był z kompozycji W-11.

A zatem, kolejność spalania siedmiu segmentów ładunku pirotechnicznego była następująca: SC-1, W-11, MGS-54, MGS-54, MGS-54, MGS-54 oraz W-11.

BADANIA DEFETOSKOPOWE PRÓBEK

Bezpośrednio przed spalaniem każda próbka poddana została rentgenograficznym badaniom defektoskopowym w komorze detekcyjnej systemu diagnostycznego RTR typu MU-17F-225-9 firmy YXLON International X-ray Corporation.

W wyniku badań defektoskopowych stwierdzono, że segmenty kolumny pirotechnicznej nie posiadały widocznych wad strukturalnych w postaci pęknięć czy wnęk (ubytków) (Fot. 4).



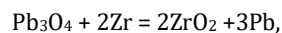
Photo 4. RTR photo of the NGP-76 underwater rifle grenade pyrotechnic retarder.

Fot. 4 Zdjęcie RTR opóźniacza pirotechnicznego nasadkowego granatu podwodnego NGP-76.

Gęstość segmentów MGS-54 wzdłuż ich długości nie była jednorodna. Od strony części wylotowej korpusu opóźniacza gęstość każdego segmentu MGS-54 była mniejsza niż od strony zapłonu. Segmenty SC-1 i W-11 były najciemniejsze na rentgenogramie RTR ze względu na obecność Pb_3O_4 ich składzie. Granicy między segmentem SC-1 i W-11 nie można było rozróżnić na rentgenogramie RTR ze względu na ich zbliżoną zdolność pochłaniania promieniowania rentgenowskiego.

of lead (II, IV) oxide (Pb_3O_4) and 23.5 per cent parts by weight of zirconium powder (Zr). Thus, Pb_3O_4 and Zr powder were mixed in a stoichiometric ratio.

The combustion reaction equation is given in the Swiss patent description CH₆₄₈₀₁₂ (A5) [1] and the book [2]:



The combustion of pyrotechnic mixture SC-1 produces hot particles of zirconium dioxide and lead vapour (the melting point of Pb is 327 °C, and the boiling point is about 1750°C).

The second segment with a length of about 4.4 mm was made of pyrotechnic composition W-11 containing 24.2% parts by weight of barium chromate (VI) ($BaCrO_4$), 52.3% parts by weight of Pb_3O_4 , 16.3% parts by weight of Zr powder, 2.9% parts by weight of potassium chlorate (VII) ($KClO_4$), 2.3% parts by weight of sulphur and 2.0% parts by weight of colloxylin.

The four inner (middle), light brown pyrotechnic segments forming the primary retarding segment, approximately 23.0 mm in length, were made from a pyrotechnic mixture of MGS-54 containing 78.2% parts by weight of $BaCrO_4$, 9.9% parts by weight of antimony pentosulphide (Sb_2S_5) and 2.0% parts by weight of colloxylin. The colour of the MGS-54 segments was due to the presence of Sb_2S_5 and $BaCrO_4$. The final, outlet segment, approximately 4.2 mm long, was made from the W-11 composition.

Thus, the order of combustion of the seven segments of the pyrotechnic charge was as follows: SC-1, W-11, MGS-54, MGS-54, MGS-54, MGS-54 oraz W-11.

DEFECTOSCOPIC TESTING OF SAMPLES

Directly preceding combustion, each sample was subjected to roentgenographic defectoscopic examination in the detection chamber of the RTR diagnostic system type MU-17F-225-9 developed by YXLON International X-ray Corporation.

As a result of the defectoscopic examination, it was found that the pyrotechnic column segments had no visible structural defects in the form of cracks or indentations (cavities) (Fig. 4).

The density of the MGS-54 segments along their length was not uniform. On the outlet side of the retarder body, the density of each MGS-54 segment was lower than on the ignition side. Segments SC-1 and W-11 were the darkest on the RTR roentgenogram due to the presence of Pb_3O_4 in their composition. The boundary between the SC-1 and W-11 segments could not be distinguished on the RTR roentgenogram due to their similar X-ray absorption capacity.

BADANIA PRÓBEK SPALANIEM

Po badaniach defektoskopowych spalanie każdej próbki inicjowano wiązką laserową (laser CO₂) z prawej strony (Fot. 5), tj. od strony segmentu pirotechnicznego SC-1.



Photo 5. Test sample - longitudinally cut pyrotechnic retarder of an NGP-76 underwater rifle grenade, immediately before ignition by laser beam.

Fot. 5 Próbka badawcza – przecięty wzdłużnie opóźniacz pirotechniczny nasadkowego granatu podwodnego NGP-76, bezpośrednio przed zapłonem za pomocą wiązki laserowej.

Proces spalania półcylicydrycznej, siedmiosegmentowej kolumny pirotechnicznej rejestrowano kamerą VIS filmującą z częstotliwością 30 klatek na sekundę przy rozdzielczości obrazu 1920x1080 pikseli.

Z filmu wybrano zdjęcia (klatki filmowe) (Fot.6(a-u)), na których zarejestrowano najważniejsze etapy i zjawiska zachodzące podczas spalania próbki.

COMBUSTION TESTING OF SAMPLES

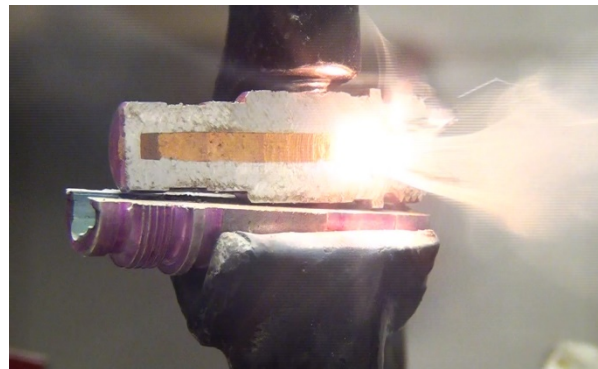
Following the defectoscopic tests, combustion of each sample was initiated with a laser beam (CO₂ laser) from the right side (Fig. 5), i.e. from the side of the SC-1 pyrotechnic segment.

The combustion process of the semi-cylindrical, seven-segment pyrotechnic column was recorded with a VIS camera filming at 30 frames per second with an image resolution of 1920x1080 pixels.

Images (film frames) were selected from the film (Fig.6(a-u)), recording the most important stages and phenomena occurring during the combustion of the sample.



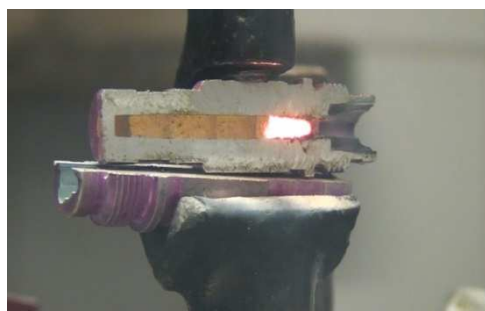
Fot. 6a; t=0,43(3)s



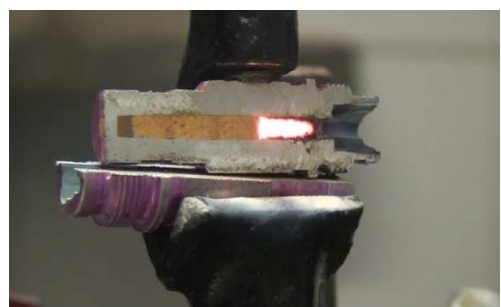
Fot. 6b; t=0,46(6)s



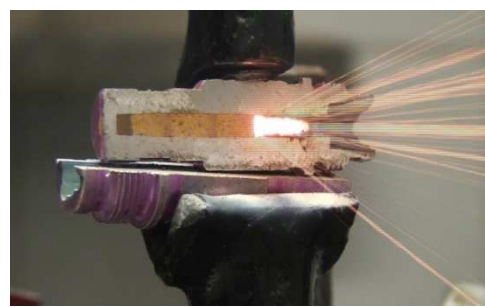
Fot. 6c; t=0,73(3)s



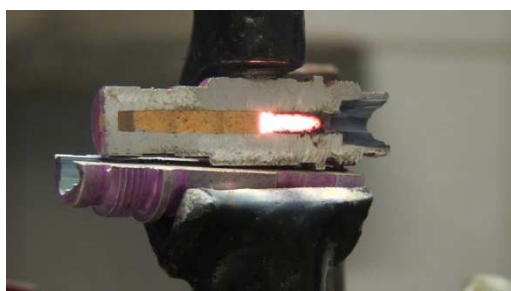
Fot. 6; t=1,06(6)s



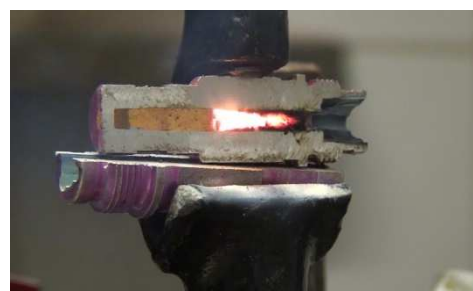
Fot. 6e; t=1,33(3)s



Fot. 6f; t=1,36(6)s



Fot. 6g; t=1,4s



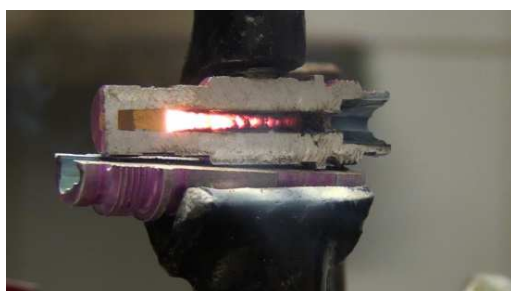
Fot. 6h; t=2,06s



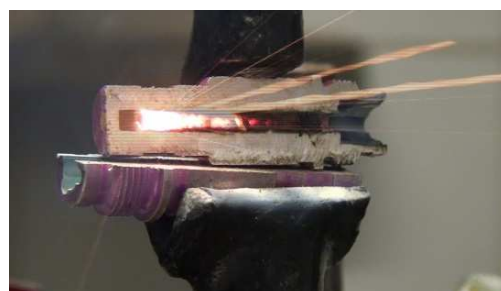
Fot. 6i; t=2,5s



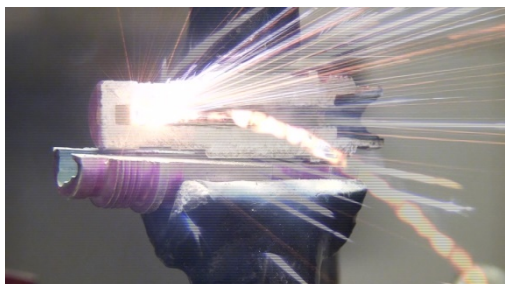
Fot. 6j; t=3,06(6)s



Fot. 6; t=3,33(3)s



Fot. 6l; t=3,83(3)s



Fot. 6m; t=3,86(6)s



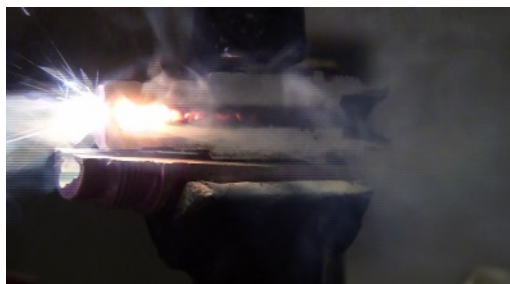
Fot. 6n; t=4,06(6)s



Fot. 6o; t=4,1s



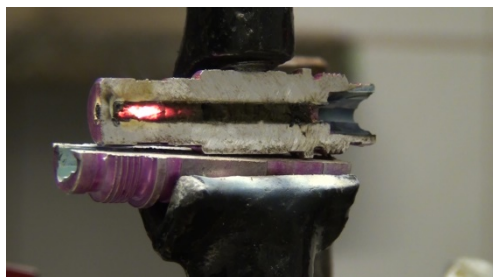
Fot. 6p; t=4,13(3)



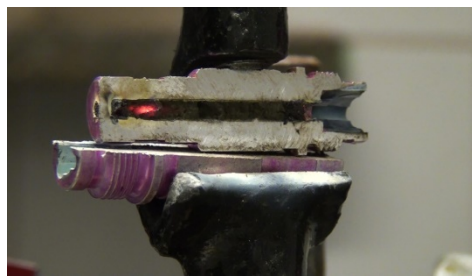
Fot. 6r; t=4,16(6)s



Fot. 6s; t=4,2s



Fot. 6t; t=5,46(6)s



Fot. 6u; t=6,23(3)

Photo 6 (a-u): Sequence of selected photographs of the combustion process of the multi-segment pyrotechnic column of the NGP-76 underwater rifle grenade retarder. Time points of the combustion process are indicated under each photograph.

Fot. 6 (a-u): Sekwencja wybranych zdjęć procesu spalania wielosegmentowej kolumny pirotechnicznej opóźniacza nasadkowego granatu podwodnego NGP-76. Punkty czasowe trwania procesu spalania pokazano pod każdym zdjęciem.

Podczas spalania pierwszych dwóch segmentów pirotechnicznych (SC-1 i W-11) oraz ostatniego-wylotowego (W-11) dominował oślepiający snop smug jaskrawo świecących cząstek ZrO_2 (Fot. 6(a, b, m, n, o, p, r)) oraz pary Pb (Fot. 5(b, n, o, p, r, s)).

Na podstawie czasu trwania intensywnego świecenia ZrO_2 oszacowano, że czas spalania dwóch pierwszych segmentów: SC-1 i W-11 mieścił się w przedziale 0.1-0.2 s.

Niestety, oślepiające produkty spalania tych segmentów uniemożliwiły obserwację początkowej fazy spalania pierwszego segmentu opóźniającego (MGS-54).

Stabilne spalanie pierwszego segmentu opóźniającego MGS-54 (Fot. 6c) widoczne było po upływie ok. 0,73 s od chwili zapłonu segmentu SC-1. Na Fot.6c widać prostoliniowy front spalania znajdujący się w obszarze pierwszego segmentu MGS-54 o większej gęstości. Widoczna jest także biała mgła (smuga) gazowych produktów spalania segmentu MGS-54, którymi mogą być pary KCl oraz kwasu siarkowego(IV) (H_2SO_3) powstałego w wyniku połączenia wydzielanego z MGS-54 ditlenku siarki (SO_2) z wodą (wilgocią) zawartą w powietrzu. Wyżej wymienione, gazowe produkty stwierdzono [3] podczas spalania małogazowej mieszaniny pirotechnicznej o podobnym składzie co mieszanina pirotechniczna MGS-54, tj. zawierającej 72% części wagowe $BaCrO_4$, 20% części wagowych Sb_2S_3 , 8% części wagowych $KClO_4$ oraz 1% części wagowej koloksyliny. Po przejściu frontu spalania z obszaru pierwszego segmentu MGS-54 o większej gęstości w obszar o mniejszej gęstości, front spalania przyjmuje kształt nieregularny (Fot. 6d). Na granicy pierwszego i drugiego segmentu MGS-54 front spalania „wyrównywał się”, stawał się prawie prostoliniowy i zatrzymywał (Fot. 6e), po czym zaczynał przemieszczać się w drugim segmencie MGS-54, utrzymując swój prostoliniowy kształt (Fot. 6f-g). Występowanie zjawiska zatrzymania przemieszczania frontu spalania na granicy sąsiadujących ze sobą sprasowanych segmentów pirotechnicznych zasygnalizowano w książce [4]. Front spalania przemieszczając się w obszarze drugiego segmentu MGS-54 stawał się nieregularny (Fot. 6h), zatrzymywał się na granicy drugiego i trzeciego segmentu MGS-54, po czym przemieszczał się w trzecim segmencie MGS-54, przyjmując kolejno kształt prostoliniowy (Fot. 5i), nieregularny (Fot. 5j) i zatrzymywał się na granicy trzeciego i czwartego segmentu MGS-54. Podobnie jak w segmencie trzecim MGS-54, front spalania zachowywał się w segmencie czwartym MGS-54, przyjmując kształt regularny (Fot. 6k) i nieregularny (Fot. 6l). Podczas przemieszczania się frontu spalania w segmentach MGS-54 bardzo widoczny stawał się obszar („ogon”) świecących, stałych produktów spalania (Fot. 6c-t). „Ogon” wydłużał się i zwężał w kierunku zapłonowego końca kolumny pirotechnicznej, wyraźnie przybierając kształt stożkowy (Fot. 6h-l), który wynikał z kolejności stygnięcia stałych produktów spalania, rozpoczynającego się od bocznej powierzchni (bocznych brzegów) na odcinku spalanej kolumny pirotechnicznej. Stożkowy „ogon” składał się ze świecących „komórek”, zwężających się i gasnących wraz ze wzrostem odległości od frontu spalania (Fot. 6i-l).

W wyniku zetknięcia się frontu spalania z ostatnim-wylotowym pirotechnicznym segmentem W-11, segment ten zapalał się gwałtownie, intensywnie, generując jasny snop cząstek ZrO_2 rozlatujących się

The combustion of the first two pyrotechnic segments (SC-1 and W-11) and the last exit segment (W-11) was dominated by a dazzling plume of brightly glowing ZrO_2 particles (Photo 6(a, b, m, n, o, p, r)) and Pb vapour (Fot5(b, n, o, p, r, s)).

Based on the duration of intense ZrO_2 glow, it was estimated that the burning time of the first two segments: SC-1 and W-11 was in the range of 0.1-0.2 s.

Unfortunately, the blinding combustion products of these segments prevented the observation of the initial combustion phase of the first retarding segment (MGS-54).

Stable combustion of the first retarder segment of the MGS-54 (Fig. 6c) was visible approximately 0.73 s following ignition of the SC-1 segment. Fig.6c shows a rectilinear combustion front located in the higher density area of the first MGS-54 segment. Also visible is a white haze (plume) of gaseous combustion products of the MGS-54 segment, which may be KCl vapour and sulphuric acid(IV) (H_2SO_3) formed by the combination of sulphur dioxide (SO_2) emitted from the MGS-54 with water (moisture) contained in the air. The above-mentioned gaseous products were found [3] during the combustion of a small-gas pyrotechnic mixture of similar composition to the MGS-54 pyrotechnic mixture, i.e. containing 72% parts by weight $BaCrO_4$, 20% parts by weight Sb_2S_3 , 8% parts by weight $KClO_4$ and 1% parts by weight colloxylin. When the combustion front passes from the higher-density area of the first MGS-54 segment into the lower-density area, the combustion front assumes an irregular shape (Fig. 6d). At the border of the first and second MGS-54 segments, the combustion front 'aligned,' became almost rectilinear and stopped (Fig. 6e), after which it started to move in the second MGS-54 segment, maintaining its rectilinear shape (Fig. 6f-g). The occurrence of the phenomenon of stopping the displacement of the combustion front at the border of adjacent compressed pyrotechnic segments was signalled in [4]. The combustion front became irregular in the area of the second segment of the MGS-54 (Fig. 6h), stopped at the border of the second and third segments of the MGS-54, and then moved into the third segment of the MGS-54, assuming successively a rectilinear (Fig. 5i), irregular shape (Photo. 5j) and stopped at the border of the third and fourth segments of the MGS-54. The combustion front behaved similarly to the third segment of the MGS-54 in the fourth segment of the MGS-54, assuming a regular (Photo. 6k) and then irregular shape (Photo. 6l). As the combustion front moved through the MGS-54 segments, an area ('tail') of luminous solid combustion products became very visible (Fig. 6c-t). The 'tail' elongated and tapered towards the ignition end of the pyrotechnic column, clearly taking on a conical shape (Fig. 6h-l), which resulted from the sequence of cooling of the solid combustion products starting from the lateral surface (side edges) on the section of the burnt pyrotechnic column. The conical 'tail' consisted of glowing 'cells,' narrowing and fading with increasing distance from the combustion front (Fig. 6i-l).

As a result of the contact between the combustion front and the final exit pyrotechnic segment W-11, this segment ignited abruptly generating a bright plume of ZrO_2 particles propagating in a straight line, backwards (Fig. 6m). The impact of some of the ZrO_2 particles on the burnt segments of MGS-54 sometimes resulted in a fragment(s) of these segments flying

prostoliniowo, do tyłu (Fot. 6m) Uderzenie niektórych cząstek ZrO_2 w spalane segmenty MGS-54 czasami powodowało oderwanie i wyrzucenie do tyłu fragmentu (fragmentów) tych segmentów lecącego (lecących) po zakrzywionej trajektorii, widocznej w postaci grubej, żółto-szarej smugi (Fot. 6m). Na kolejnych trzech klatkach filmu (Fot. 6n,o,p) widać narastający snop prostoliniowych smug świecących cząstek ZrO_2 wyrzucanych przez wylotowy otwór opóźniacza, stanowiących zasadniczy impuls energetyczny mający zainicjować działanie następnego elementu - spłonki pobudzającej w łańcuchu ogniowym granatu NGP-76. Wraz z narastaniem wylotowego impulsu ogniowego malał impuls ogniowy generowany przez segment W-11 do tyłu (Fot. 6n,o,p). Podczas dopalania się segmentu W-11 (Fot. 6r,s) widoczne są pary stygnącego Pb. Na ostatnich dwóch klatkach filmu (Fot. 6t,u) przedstawiających końcową fazę ostygnięcia spalanej, segmentowej kolumny pirotechnicznej widoczne jest zielone zabarwienie czterech spalonych segmentów MGS-54. Zielony kolor tych segmentów wynika z obecności związków chemicznych zawierających chrom, prawdopodobnie $Ba(CrO_2)_2$. Obecność tego związku chemicznego stwierdzono w produktach spalania mieszaniny pirotechnicznej o zbliżonym składzie do MGS-54 [3].

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Proces spalania segmentowej kolumny pirotechnicznej opóźniacza głowicy bojowej nasadkowego granatu podwodnego NGP-76, tj. od zapłonu segmentu SC-1 do początkowej fazy intensywnego wyrzutu produktów spalania ostatniego segmentu pirotechnicznego W-11 przez wylot korpusu opóźniacza (Fot. 6o) zarejestrowano na 121 kolejnych klatkach, czyli proces ten trwał ok. 4s. A zatem czas opóźnienia (zwłoki) opóźniacza mieścił się w dopuszczalnym przedziale czasowym wynoszącym od 3,8 do 4,5 s.

Front spalania przemieszczał się przez kolejne segmenty pirotechniczne (bez t.zw. „przeskoków”, czyli nie występowało bardzo niebezpieczne zjawisko przedwczesnego zapłonu ostatniego segmentu (W-11) opóźniacza.

Przebieg procesu spalania w poszczególnych segmentach opóźniających MGS-54 był podobny, tzn. na początkowym odcinku każdego segmentu MGS-54 o większej gęstości front spalania miał kształt płaski, zaś na odcinku końcowym każdego segmentu kształt frontu spalania stawał się nieregularny. Na granicy segmentów MGS-54 front spalania zatrzymywał się na krótko.

Za frontem spalania wykształcał się stożkowy, wydłużający się w czasie spalania ogon świecących, stałych produktów spalania mieszaniny pirotechnicznej MGS-54.

Gazowe produkty spalania segmentów MGS-54, to prawdopodobnie pary KCl oraz SO_2 , zaś stałym produktem spalania tych segmentów, nadającym zieloną barwę spalanej kolumny pirotechnicznej na odcinku tych segmentów jest prawdopodobnie $Ba(CrO_2)_2$.

Produkty spalania segmentów skrajnych: SC-1 i W-11, to gorące cząstki ZrO_2 zarejestrowane na zdjęciach w postaci jaskrawo świecącego snopu (pęku) smug oraz pary Pb widoczne w postaci białoszarych wijących się smug.

backwards along a curved trajectory, visible as a thick, yellow-grey streak (Fig. 6m). The next three frames of the film (Fig. 6n,o,p) show an increasing plume of rectilinear streaks of glowing ZrO_2 particles ejected through the retarder's exit aperture, constituting the basic energy impulse to initiate the action of the next element - the booster primer in the fire chain of the NGP-76 grenade. As the exit fire impulse increased, the fire impulse produced by the W-11 segment backwards decreased (Fig. 6n,o,p). During the aftercombustion of the W-11 segment (Fig. 6r,s), vapours of cooling Pb are visible. In the last two frames of the film (Fig. 6t,u) showing the final phase of cooling of the burnt segmented pyrotechnic column, the green colour of the four burnt segments of MGS-54 is visible. The colour of these segments is due to the presence of chemical compounds containing chromium, probably $Ba(CrO_2)_2$. The presence of this chemical compound was found in the products of combustion of a pyrotechnic mixture of similar composition to MGS-54 [3].

SUMMARY AND CONCLUSIONS

The combustion process of the segmental pyrotechnic column of the retarder of the warhead of the NGP-76 underwater rifle grenade, i.e. from the ignition of the SC-1 segment to the initial phase of the intensive ejection of the combustion products of the last W-11 pyrotechnic segment through the outlet of the retarder body (Fig. 6o), was recorded on 121 consecutive frames, i.e. the process had a duration of approximately 4s. Thus, the time of the delay of the retarder was within the permissible time range of 3.8 to 4.5 s.

The combustion front moved through successive pyrotechnic segments (without so-called 'skips,' i.e. the very dangerous phenomenon of premature ignition of the last segment (W-11) of the retarder did not occur.

The course of the combustion process in the individual MGS-54 retarder segments was similar, i.e. at the initial section of each MGS-54 segment with a higher density, the combustion front had a flat shape, while at the end section of each segment the shape of the combustion front became irregular. At the boundary of the MGS-54 segments, the combustion front stopped briefly.

Following the combustion front, a conical, elongated tail of luminous, solid products of combustion of the MGS-54 pyrotechnic mixture developed.

The gaseous combustion products of the MGS-54 segments are probably KCl vapour and SO_2 , while the solid combustion product of these segments, which gives the green colour to the burnt pyrotechnic column in the segment, is presumably $Ba(CrO_2)_2$.

The combustion products of the outermost segments: SC-1 and W-11, are hot ZrO_2 particles recorded on the images as a brightly glowing sheaf (bundle) of streaks and Pb vapour visible as white-grey swirling streaks.

REFERENCES

1. Ryffel K., Delay Composition Containing Primary Explosives, Swiss Patent CH 648012 (A5), 28.02.1985
2. Kubota N., Propellants and Explosives. Thermochemical Aspects of Combustion, 2007, VILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Weinheim, str. 293. ISBN: 978-3-527-31424-9
3. Sarawadekar R.G., Swarge N.G., Jayaraman S., Agrawal J.P., Use of Bismuth Chromate with Antimony Trisulphide in Delay Compositions, *Energetic Materials*, 2003, 21, 97-107. ISSN: 0737-0652; DOI: 10.1080/07370650390227702
4. Kosanke B.J. (Ed.), *Pyrotechnic Chemistry. Pyrotechnic Reference Series No.4*, 2004, Publisher Journal of Pyrotechnics Inc. p.8-4, p.8-11

dr hab. inż. Grzegorz Grzeczka
Akademia Marynarki Wojennej,
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
Ul. Wyszyńskiego 7
05 – 220 Zielonka

PROTOTYPE OF THE UNMANNED MARINE SYSTEM "NEOGOBIOUS-1"

PROTOTYP BEZZAŁOGOWEGO SYSTEMU MORSKIEGO „NEOGOBIOUS-1”

Chrabąszcz P., Olejnik A., Szumacher K.

Naval Academy, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Gdynia, Poland
Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny w Gdyni

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The paper presents the design of the unmanned marine system Neogobious-1 developed and built at the Polish Naval Academy. It is a surface remotely operated boat designed to carry out operational and reconnaissance tasks. The material also presents the results of preliminary functional tests of the system indicating that it has reached Level VII of technological preparedness. In 2021, the Neogobious-1 system won first place in the competition of the Ministry of Defence for the development and construction of an unmanned aerial/maritime system in the operational and reconnaissance category. Currently, the system is being used by students of the Naval Academy's Mechanical and Electrical Engineering Department to develop practical skills and solidify theoretical knowledge.

Keywords: sea engineering, mechanical engineering, automatic and robotics, unmanned sea vehicles.

W pracy przedstawiono konstrukcję bezzałogowego systemu morskiego Neogobious-1 opracowanego i zbudowanego w Akademii Marynarki Wojennej. Jest to powierzchniowa zdalnie sterowana łódź przeznaczona do realizacji zadań operacyjno-rozpoznawczych. W materiale przedstawiono także wyniki wstępnych badań funkcjonalnych systemu wskazujących na osiągnięcie VII poziomu gotowości technologicznej. System Neogobious-1 w 2021 roku zajął pierwsze miejsce w konkursie Ministra Obrony Narodowej na opracowanie i zbudowanie bezzałogowego systemu powietrznego/morskiego w kategorii operacyjno-rozpoznawczej. Obecnie system jest wykorzystywany przez studentów Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej do rozwoju umiejętności praktycznych i ugruntowania wiedzy teoretycznej.

Słowa kluczowe: inżynieria morska, inżynieria mechaniczna, automatyka i robotyka, bezzałogowe statki morskie.

В статье представлен несчастный случай водолаза в классическом снаряжении. После нескольких часов напряженной работы под водой, вместо расширенной декомпрессии, была применена укороченная. Персонал проигнорировал симптомы декомпрессионной болезни I типа, о которых сообщил водолаз, в связи с чем, лечение было начато со значительной задержкой. Применение рекомпрессионного лечения - лечебной декомпрессии, привело к стойкому и полному исчезновению симптомов.

Ключевые слова: классическое снаряжение, неправильная декомпрессия, игнорирование симптомов, кожно-суставная форма декомпрессионной болезни.

In diesem Beitrag wird der Unfall eines Tauchers in klassischer Ausrüstung geschildert. Nach mehreren Stunden harter Arbeit unter Wasser wurde eine verkürzte statt einer verlängerten Dekompression durchgeführt. Das Personal missachtete die vom Taucher angegebenen Symptome der Dekompressionskrankheit vom Typ I, so dass die Behandlung mit erheblicher Verzögerung eingeleitet wurde. Die Anwendung der Rekompressionsbehandlung - therapeutische Dekompression - führte zu einer dauerhaften und vollständigen Beseitigung der Symptome.

Schlüsselwörter: klassische Ausrüstung, unzureichende Dekompression, Unterschätzung der Symptome, kutane und artikuläre Form der Dekompressionskrankheit.

En el trabajo se ha presentado el caso de un buzo con equipo clásico. Tras varias horas de duro trabajo bajo el agua se empleó una descompresión acortada, en lugar de una más larga. El personal menospreció los síntomas notificados por el buzo de enfermedad descompresiva del tipo I, en relación con lo cual el tratamiento comenzó con un retraso considerable. El empleo de un tratamiento de recompresión - descompresión terapéutica provocó la desaparición permanente y total de los síntomas.

Palabras clave: equipo clásico, descompresión incorrecta, subestimación de los síntomas, forma cutánea y articular de la enfermedad descompresiva.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2022 Vol. 78 Issue 1 pp. 43 – 50

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2022-0003

Pages: 8, figures: 5, tables: 0

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 13.06.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 14.09.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Bezzałogowe statki morskie należą obecnie do najbardziej żywiołowego nurtu rozwoju techniki wykorzystywanej przez człowieka w środowisku wodnym. Perspektywa ostatnich dziesięciu lat pokazuje wyraźnie, że coraz większego znaczenia będzie nabierał podział sił morskich według określonych, funkcjonalnych, zestawów sił o połączonym charakterze wyposażonych dość szeroko w autonomiczne lub zdalnie sterowane środki techniczne. Co oznacza, że wielomodalne systemy obserwacji nawodnej i podwodnej będą w przyszłości wykorzystywane do obrony baz morskich i portów oraz szlaków komunikacyjnych [1]. Jest to podejście rekomendowane przez Departament Marynarki Wojennej USA od prawie 20 lat [2,3].

Należy zwrócić uwagę na fakt, że powszechnie stosowane w nazewnictwie bezzałogowych obiektów oceanotechnicznych określenie „*dron*” jest niewłaściwe. Ogromne znaczenie odgrywają tu media, gdzie powyższy termin zrobił zawrotną karierę, używany głównie jako synonim nowoczesności, a w odniesieniu do systemów morskich stoi on w przeciwieństwie do, po pierwsze tradycji, a po drugie do normy językowej oraz do aktualnej wiedzy. Przy tworzeniu nowej terminologii technicznej obowiązują szczególne zasady dotyczące nazewnictwa, jedna z nich to zasada jednoznaczności, która mówi, że jednemu pojęciu odpowiada tylko jedna nazwa [4]. W pisarstwie naukowym należy unikać wieloznaczności, ponieważ pojęciom technicznym odpowiadają określone nazwy techniczne [5]. Z czego wynika prosty wniosek, że statku powietrznego i statku morskiego nie należy określać tym samym mianem. Nazwa *dron* została przyporządkowana w terminologii technicznej do bezzałogowego statku latającego [6,7]. Tradycyjnie bezzałogowe statki morskie, których konstrukcja i zasada działania wywodzi się z okrętownictwa są określane właśnie jako statki lub pojazdy, co wynika z tłumaczenia ich angielskich akronimów i okrętowego rodowodu. Ponadto patrząc z gruntu teorii obiektów pływających, nazwa *dron* łącząca statek latający ze statkiem pływającym jest niejednoznaczna i myląca, ponieważ statek latający nie posiada środka wyporu, nie ma więc metacentrum. Próba wybrnięcia z tej sytuacji za pomocą dookreślenia „*dron podwodny*” lub „*dron nawodny*” jest karkołomna, gdyż oznaczałoby to, albo bezzałogowy statek latający pod wodą albo bezzałogowy statek latający po wodzie.

Z powyższych powodów nazywanie szeroko rozumianej rodziny bezzałogowych statków morskich mianem „*dron*” jest rażącym błędem metodologicznym.

Biorąc pod uwagę wspomnianą powyżej rekomendację Departamentu Marynarki Wojennej USA oraz własne obserwacje i potrzeby rozwojowe polskiej floty, w Akademii Marynarki Wojennej od szeregu lat prowadzone są różnego rodzaju prace badawcze nad skonstruowaniem bezzałogowych statków morskich, przykładowo takich jak bezzałogowa autonomiczna łódź powierzchniowa o nazwie „*Edredon*” [8]. Jednym z najnowszych przejawów tej działalności jest budowa prototypu wielozadaniowej bezzałogowej łodzi powierzchniowej o bardzo specyficznych właściwościach i funkcjach celu, która może znaleźć różne zastosowania, od militarnych do badawczo-naukowych, co tylko potwierdza tezę, że jest to technika podwodnego przeznaczenia. Z założenia pojazd o roboczej nazwie

INTRODUCTION

Unmanned naval vessels are currently among the most vibrant trend in the development of technology used by man in the aquatic environment. The perspective of the last decade clearly shows that the division of naval forces according to specific, functional sets of forces of a combined capacity, equipped quite extensively with autonomous or remotely controlled technical devices will continue to gain importance. This implies that multi-modal surface and underwater surveillance systems will be used in the future for the defense of naval bases and ports and communication routes [1]. This approach has been recommended by the US Department of the Navy for nearly 20 years [2,3].

It should be noted that the commonly used term "drone" in the naming of unmanned ocean-technical objects is incorrect. A huge role is played here by the media, where the above term has made a spectacular career, used mainly as a synonym for modernity, and in relation to marine systems it stands in contrast to, firstly, tradition, and secondly, to the linguistic standard and current knowledge. When creating new technical terminology special rules apply to naming, one of which is the principle of unambiguity, which states that only one name is appropriate for a single concept [4]. In scientific writing, ambiguity should be avoided as technical concepts correspond to specific technical names [5]. A simple conclusion from this is that an aircraft and a marine vessel should not be referred to using the same name. The name drone has been assigned in technical terminology to an unmanned aerial vehicle [6,7]. Traditionally, unmanned naval vessels, whose design and operating principle originated in shipbuilding, are referred to precisely as vessels or vehicles, as a result of the translation of their English acronyms and naval origins. Moreover, looking at it from the ground of the floating objects theory, the name drone combining an aerial vehicle with a floating vessel is ambiguous and misleading, since an aerial vehicle does not have a center of buoyancy, and thus it lacks a metacenter. An attempt to overcome this situation by using the auxiliary term "underwater drone" or "surface drone" is considered to be breakneck, as it would mean either an unmanned vehicle flying underwater or an unmanned vehicle flying on water. For the above reasons, calling the broadly defined family of unmanned marine vessels by the term "drone" constitutes a gross methodological error.

Taking into account the above-mentioned recommendation of the US Navy Department, as well as our own observations and the development needs of the Polish fleet, various types of research work have been carried out at the Naval Academy for a number of years on the construction of unmanned marine vessels, for example, such as an unmanned autonomous surface boat called "Edredon" [8]. One of the most recent manifestations of this activity is the construction of a prototype of a multipurpose unmanned surface boat with very specific properties and functions of purpose, which can find various applications, from military applications to research and development, which only confirms the thesis that it is a dual-purpose technique. By design, the vehicle, with the working name Neogobius¹, is a double-hulled floating platform with a distinctive interchangeable mast for installing various types of sensors and a ballast keel. The vessel was built at the

*Neogobius*¹ to dwukadłubowa platforma pływająca z charakterystycznym wymiennym masztem przeznaczonym do instalacji różnego rodzaju sensorów oraz kilem balastowym. Pojazd zbudowano na Wydziale Mechaniczno-Elektrycznym Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.

KONSTRUKCJA SYSTEMU NEOGOBIUS-1

Bezzałogowy System Morski Neogobius-1 składa się z trzech zasadniczych komponentów (Rys. 1):

- łodzi powierzchniowej, której konstrukcję nośną stanowią dwa niezależne szczelne kadłuby wykonane ze zbrojonego laminatu,
- podsystemu zarządzania BSM - stanowiska do zdalnego zarządzania pracą łodzi podczas eksploatacji zawierającego moduł sterowania i obserwacji wizyjnej,
- urządzenia do transportu i przechowywania.

Kadłuby jednostki pływającej, o całkowitej długości między pionami 1528 mm, zostały wykonane z laminatu poliestrowo-szklanego o grubości do 7,5 mm z wylaminowaną siatką ekranującą w celu minimalizacji pól fizycznych. Wolne przestrzenie wypełniono pianką poliuretanową o zamkniętych porach w celu zwiększenia niezatapialności jednostki. Kadłuby są odseparowane od siebie i szczelnie zamknięte, co ma przeciwdziałać ewentualnemu zalaniu wyposażenia umieszczonego w środku (Rys. 2). Szerokość dwóch kadłubów połączonych stelażem montażowym wynosi 833 mm. Całkowita wyporność wynosi 95 kg. Na pokładzie jednostki zamontowano komputer pokładowy z oprogramowaniem, odbiornikiem GPS GSM, aparaturą zdalnego sterowania oraz cztery kamery – dwie kamery sterowane typu FPV, jedną kamerę szybkoobrotową i kamerę pomocniczą z systemami transmisji analogowej oraz cyfrowej. Wszystkie elementy elektroniczne zabudowano w szczelnych oddzielnych pojemnikach z wymuszonym chłodzeniem.

Department of Mechanical and Electrical Engineering of the Naval Academy in Gdynia.

THE CONSTRUCTION OF THE NEOGOBIUS-1 SYSTEM

The unmanned marine system Neogobius-1 consists of three essential components (Fig. 1):

- a surface boat, the supporting structure of which consists of two independent sealed hulls made of reinforced laminate,
- a management subsystem - a workstation for remote management of the boat's operation during operation containing a control and video observation module,
- transport and storage equipment.

The hulls of the vessel, with a total length between the uprights of 1528 mm, were made of polyester-glass laminate with a thickness of up to 7.5 [mm] with a laminated screen mesh to minimize physical fields. Free spaces were filled with closed-pore polyurethane foam to increase the craft's unsinkability. The hulls are separated from each other and tightly sealed to counteract possible flooding of equipment housed inside (Fig. 2). The width of the two hulls connected by a mounting rack is 833 mm. The total load displacement is 95 kg. On board the vessel there is an on-board computer with software, a GSM GPS receiver, remote control apparatus and four cameras - two FPV type controlled cameras, one high-speed camera and an auxiliary camera with analog and digital transmission systems. All electronic components were built in sealed separate containers with forced cooling.



Fig. 1 Unmanned marine system Neogobius.

Rys. 1 Bezzałogowy system morski Neogobius.

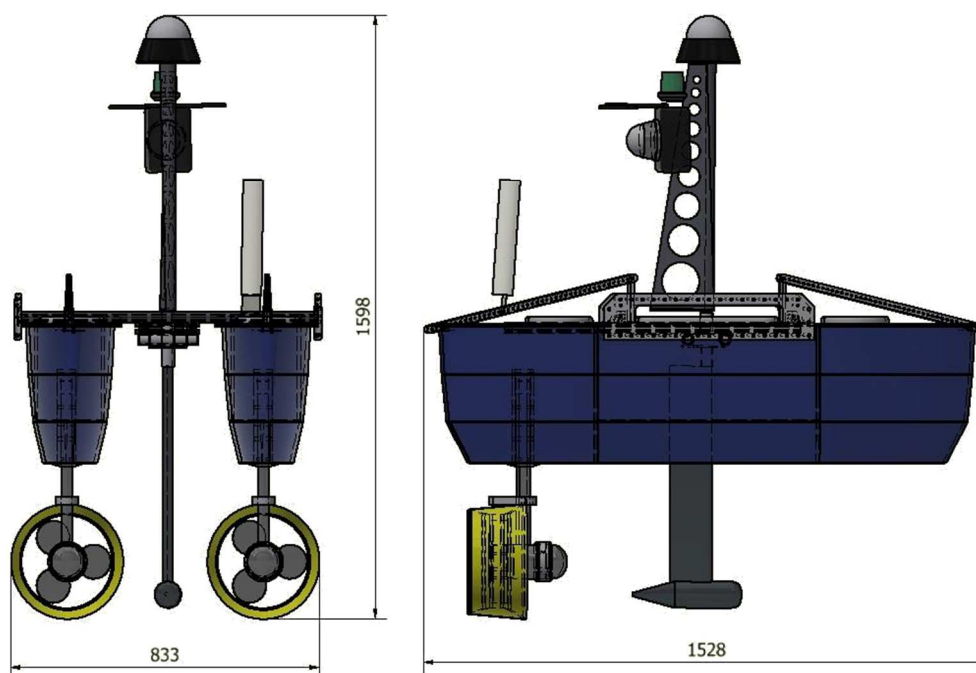


Fig. 2 Main dimensions of the Neogobius system.

Rys. 2 Wymiary główne systemu Neogobius.

Jednostkę wyposażono w lampę nawigacyjną, niezależny lokalizator GPS, tyfon, wyłącznik awaryjny, zabezpieczenia oraz oprogramowanie trybu fail-safe – zaprogramowane działanie na wypadek utraty łączności ze stanowiskiem zdalnego sterowania i kontroli. Układ napędowy jednostki pływającej stanowią dwa silniki bezszczotkowe prądu stałego sprzężone mechanicznie z trzyłopatkowym pędnikiem śrubowym o średnicy 240 mm umieszczone w obrotowych dyszach korta. Na pokładzie jednostki zamontowano cztery akumulatory litowo-żelazowo-fosforanowe z wbudowanym układem zabezpieczającym przed skutkami nierównomiernego ładowania, przeładowania, nadmiernego rozładowania lub przegrzania, sprzężone z blokiem super kondensatorów wspomagających stany dynamiczne zasilania. Dwa akumulatory są przeznaczone do zasilania elektroniki łodzi, a dwa do zasilania układu napędowego.

Stanowisko zdalnej kontroli i sterowania składa się z trzech zasadniczych komponentów umieszczonych w dwóch mobilnych zasobnikach. Największym komponentem stanowiska jest zasobnik wyposażony w system łączności z układem wizyjnym (cyfrowej oraz analogowej) jednostki. Zaimplementowano w nim układ sterowania kamerą obrotową oraz rejestrator umożliwiający gromadzenie i post-procesing danych wizyjnych z kamer cyfrowych. Wbudowane źródło energii umożliwia do 15 godzin pracy dla wszystkich podłączonych komponentów stanowiska. Wyposażono go w instalację pozwalającą na bezprzewodowe korzystanie z zasobów sieci internetowej w obrębie stanowiska. Drugi zasobnik wyposażony jest w aparaturę pozwalającą na ręczne sterowanie bezałogową łodzią morską. Zawiera układ podglądu wizji z kamer FPV wykorzystywanych do prowadzenia nawigacji. Wbudowany akumulator umożliwia pracę w przypadku nie podłączenia do

The vessel is equipped with a navigation lamp, an independent GPS locator, a tiphon, an emergency stop switch, safety features and fail-safe mode software - which is programmed to activate in case of loss of communication with the remote command and control station. The propulsion system of the vessel consists of two DC brushless motors mechanically coupled to a three-blade screw propeller with a diameter of 240 mm located in rotating Kort nozzles. Four lithium-iron-phosphate batteries are fitted on board the vessel with built-in protection system against the effects of uneven charging, overcharging, over-discharge or overheating, coupled with a block of super capacitors to support dynamic power states. Two batteries are designed to power the vessel's electronics, and two are designed to power the propulsion system.

The remote monitoring and control station consists of three major components housed in two portable trays. The largest component of the station is a tray equipped with a communication system with the vessel's video system (digital and analog). It implements a rotating camera control system and a recorder for collecting and post-processing video data from digital cameras. The built-in power source allows up to 15 hours of operation for all connected components of the workstation. It is equipped with an installation that allows wireless use of Internet network resources within the station. The second tray is equipped with an apparatus that enables manual control of the unmanned marine vessel. It includes a system for viewing the vision from FPV cameras used to conduct navigation. The built-in rechargeable battery allows operation in case the first tray is not connected. The third independent component is a computer used for mission planning. It is equipped with a telemetry module, which makes it possible to send

zasobnika pierwszego. Trzeci niezależny komponent stanowi komputer służący do planowania przebiegu misji. Wyposażony jest w moduł telemetryczny, który umożliwia wysyłanie zadań do komputera pokładowego bezzałogowej łodzi morskiej (nawet do 15 km) oraz odbieranie parametrów dotyczących stanu jednostki, takich jak: położenie geograficzne, prędkość, parametry źródła zasilania, przechyły. Konstrukcja stanowiska zdalnej kontroli umożliwia dwuosobowemu personelowi przygotowanie go do pracy w ciągu dwóch minut. Stanowisko to może działać niezależnie zasilane z wbudowanych akumulatorów lub może być zasilane z sieci elektroenergetycznej.

Do przewożenia, wodowania i przechowywania systemu zaprojektowano specjalnej konstrukcji transporter przedstawiony na Rys. 3. Transporter pozwala na różne warianty wodowania i podjęcia łodzi z wody. Za jego pomocą można slipować łódź (wtoczenie po rampie), wykorzystać żurawik do opuszczenia lub podniesienia łodzi z pokładu jednostki lub nabrzeża. W ostateczności można go przenieść do wody ręcznie, do czego wymaganych jest czterech ludzi obsługi. Całkowita masa systemu Neogobius z uwzględnieniem wszystkich komponentów wynosi 150 kg.

WSTĘPNE BADANIA FUNKCJONALNE SYSTEMU

Badania omawianego systemu zaplanowano w warunkach zbliżonych do warunków rzeczywistych, w akwenu portowym i na redzie portu Gdynia. Zanim zrealizowano badania w wodach morskich, pierwsze sprawdzenie wykonano na akwenu śródlądowym (Rys. 4). Celem badań było sprawdzenie konstrukcji oraz weryfikacja współdziałania elementów systemu, a także określenie niektórych parametrów eksploatacyjnych.

tasks to the unmanned marine vessel's on-board computer (up to 15 km) and receive parameters regarding the vessel's status, such as geographic location, speed, power source parameters, heeling. The design of the remote control station allows a two-person staff to prepare it for operation inside two minutes. The station can operate independently powered from built-in batteries, or it can be powered from the power grid.

A specially designed transporter, shown in Figure 3, has been developed for transporting, launching and storing the system. The transporter allows a number of variants of launching and retrieving the boat from the water. With its help, the boat can be slipped (rolled down a ramp), a davit can be used to lower or raise the boat from the deck of a vessel or quay. Lastly, it can be moved into the water manually, which requires four operating personnel. The total weight of the Neogobius system including all components is 150 kg.

PRELIMINARY FUNCTIONAL TESTING OF THE SYSTEM

Tests of the system in question were planned in conditions approximating real ones, in the harbour basin and in the roadstead of the port of Gdynia. Prior to the implementation of the tests in sea waters, the first check was performed on an inland body of water (Fig. 4). The purpose of the tests was to check the structural design and verify the interoperability of system components, as well as to determine some operational parameters.



Fig. 3 The Neogobius system in the transport variant.

Rys. 3 System Neogobius w wariacie transportowym.



Fig. 4 The Neogobius system during preliminary functional tests in an inland body of water.

Rys. 4 System Neogobius podczas wstępnych badań funkcjonalnych w akwenu śródlądowym.

Testy w środowisku wodnym wykazały, że siła ciągu dwuśrubowego układu napędowego wynosi łącznie 55 kg. Ponadto okazało się, że założenie usytuowania dość głęboko pędników śrubowych sprawdza się podczas pływania na fali. Śruby nie zasysają powietrza przy dynamicznych manewrach oraz na fali, a obrotowe dysze korta zapewniają dużą manewrowość jednostki. Ponadto, stwierdzono, że łódź ma spory zapas mocy umożliwiający holowanie obiektów wielokrotnie od niej cięższych. Maksymalna prędkość pozioma wynosiła 4 kn. Zapas energetyczny zgromadzony w akumulatorach na łodzi pozwala na pływanie z prędkością ok. 3 kn w czasie do 4 godzin, a z prędkościami do 2 kn w czasie do 10 godzin. Natomiast akumulatory zasilające stanowisko zdalnego sterowania i kontroli pozwalają na 15 godzin niezależnej pracy stanowiska. Ponadto stwierdzono, że wymagane jest zamontowanie układu stabilizacji kamer obserwacyjnych, programowo lub mechanicznie. Zauważono także, że konstrukcję należy wyposażyć w dźwiękowy system antykolizyjny sygnalizujący zbliżanie się do przeszkody, albo zamontować stereoskopowy układ kamer dla operatora, który wtedy mógłby samodzielnie określać odległość od przeszkód.

Wstępne badania funkcjonalne systemu Neogobius wykazały poprawne współdziałanie mechanizmów i komponentów systemu oraz pozwoliły na zdefiniowanie podstawowych parametrów eksploatacyjnych. Wskazały też potencjalne kierunki rozwoju tego urządzenia, np. w zakresie kamer obserwacyjnych i systemu antykolizyjnego. Badania pokazały też, że niecelowe jest dalsze dążenie do miniaturyzacji konstrukcji, ponieważ ograniczyłoby to jej dzielność morską.

PODSUMOWANIE

W materiale opisano konstrukcję bezałogowego systemu morskiego Neogobius oraz przedstawiono wyniki wstępnych badań funkcjonalnych tego urządzenia. Wyniki badań potwierdziły, że opracowana konstrukcja sprawdza się w warunkach operacyjnych w zakresie wód przybrzeżnych i śródlądowych, dokonano więc demonstracji prototypu technologii, a zatem osiągnięto VII poziom rozwoju gotowości technologicznej. Oczywiście rozwiązanie można dalej rozwijać. Konstrukcja nie była

Tests in an aquatic environment showed that the thrust of the two-screw propulsion system is a total of 55 kg. In addition, it was found that the assumption of locating the screw propellers quite deep works well during wave floating. The propellers do not suck in air during dynamic maneuvering and in waves, and the rotating Kort nozzles provide considerable maneuverability of the vessel. In addition, the vessel was found to have a substantial power reserve to tow objects many times heavier than it. The maximum horizontal speed was 4 kn. The energy reserve stored in the batteries on the boat allows it to sail at a speed of approximately 3 kn within up to 4 hours, and at speeds of up to 2 kn within up to 10 hours. Meanwhile, the batteries powering the remote command and control station allow for 15 hours of independent operation of the station. In addition, it was found that a stabilization system for the observation camera is required, either programmed or mechanical. It was also noted that the structure should be equipped with an audible anti-collision system to signal the approach of an obstacle, or a stereoscopic camera system should be mounted for the operator, who could then independently determine the distance from obstructions.

Preliminary functional tests of the Neogobius system have demonstrated the correct interaction of the system's mechanisms and components, and allowed the definition of key performance parameters. They also indicated potential directions for the development of the device, such as in the area of observation cameras and the anti-collision system. The research also showed that it is inexpedient to continue pursuing the miniaturization of the device's design, as this would limit its marine prowess.

CONCLUSION

The material describes the engineering of the unmanned marine system Neogobius and presents the results of preliminary functional tests on this device. The results of the tests confirmed that the developed structure works well in operational conditions in coastal and inland waters, thus a demonstration of the technology prototype has been carried out, and accordingly Level VII of technology readiness development has been achieved. Naturally, the solution

opracowywana w ramach jakiegoś projektu badawczego, to było działanie w ramach koła naukowego AIROMECH działającego przy Laboratorium Napędów Elektrycznych w Katedrze Elektrotechniki Okrętowej oraz we współdziałaniu z Katedrą Technologii Prac Podwodnych. Obecnie urządzenie jest wykorzystywane przez studentów Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni i stanowi bazę do rozwoju umiejętności praktycznych i ugruntowania wiedzy teoretycznej. Może też stanowić punkt wyjścia do dalszych prac nad rozwojem takiego typu rozwiązań. Rozbudowane i ulepszone rozwiązanie konstrukcyjne może znaleźć szerokie zastosowanie w działalności na morzu od militarych po naukowo-badawcze.

W połowie 2021 roku pojazd Neogobius został zgłoszony do konkursu Ministra Obrony Narodowej pt. „Opracowanie i realizacja projektu bezzałogowego systemu powietrznego/morskiego”, gdzie w kategorii operacyjno-rozpoznawczej zajął I miejsce.

can be further developed. The design was not developed as part of any research project, it was an activity within the AIROMECH scientific circle operating at the Electrical Propulsion Laboratory in the Department of Ship Electrical Engineering and in cooperation with the Department of Underwater Works Technology. Currently, the device is used by students of the Faculty of Mechanical and Electrical Engineering at the Naval Academy in Gdynia and provides a basis for the development of practical skills and consolidation of theoretical knowledge. It can also serve as a starting point for further work on the development of this type of solutions. The developed and improved design concept can find a wide range of applications in maritime activities from military operations to scientific research.

In the middle of 2021, the Neogobius vehicle was submitted to the competition of the Ministry of Defense entitled "Development and implementation of an unmanned aerial/maritime system design," where it won first place in the operational and reconnaissance category.



Fig. 5 The team developing the design of the Neogobius vehicle: on the left Karol Szumacher (currently a student is in his fourth year of mechatronics), on the right Capt. Seaman Przemysław Chrabąszcz, M.Sc.

Rys. 5 Zespół opracowujący konstrukcję pojazdu Neogobius: z lewej Karol Szumacher (obecnie student jest na IV roku mechatroniki), z prawej kpt. mar. mgr inż. Przemysław Chrabąszcz.

¹ Neogobius caspius – rodzaj ryb okoniokształtnych z rodziny babkowatych.

¹ Neogobius caspius – a genus of perch-like fish from the goby family.

REFERENCES

1. Olejnik A.: Activity civity tactics of an unmanned underwater Remotely Operated Vehicle from the deck of an unmanned surface vehicle in underwater inspection task; Polish Hyperbaric Research No. 3 (40) 2012; pp. 23 – 56; ISSN 1734-7009; e-ISSN 2084-0535;
2. Molchan M.: The role of microROV in marine safety and security; Molochan Marine Sciences, USA 2005 rok;
3. Collective work: The Navy Unmanned Undersea Vehicle Master Plan, Department of the Navy, USA 2004;
4. Nowicki W.: On accuracy of concepts and culture of words in technology; Publ. Komunikacji i Łączności W-wa 1978 rok;
5. Leszek W.: The technology of scientific writing; Instytut Technologii Eksploatacji PIB, Poznań 2007 r., ISBN 978-83-7204-655-0;
6. Collective work: Słownik Języka Polskiego - <https://sjp.pwn.pl/sjp/dron;5574734.html> – 05.2022;
7. Praca zbiorowa: Oxford University Press - <https://www.lexico.com/definition/drone> - 05.2022;
8. Kitowski Z.: Autonomous unmanned surface vessel "Edredon" Polish Hyperbaric Research No. 3 (40) 2012; pp. 7 – 22; ISSN 1734-7009; e-ISSN 2084-0535.

mgr inż. Przemysław Chrabąszcz
Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
e-mail: p.chrabaszcz@amw.gdynia.pl

UNDERWATER VEHICLES IN THE RESEARCH WORK OF SZCZECIN UNIVERSITIES – SYSTEMS AND APPLICATIONS

POJAZDY PODWODNE W PRACACH NAUKOWYCH UNIwersYTETU SZCZECIŃSKIEGO - SYSTEMY I ZASTOSOWANIA

Tadeusz Graczyk

Faculty of Navigation, Department of Ocean Engineering and Shipbuilding, Maritime University in Szczecin, Poland
Wydział Nawigacyjny, Katedra Oceanotechniki i Okrętów Akademii Morskiej w Szczecinie

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The article presents the scope of research and application work on unmanned remotely operated deep-sea vehicle systems carried out at the then Szczecin University of Technology (now the West Pomeranian University of Technology in Szczecin). The work culminated in the construction of said systems and subsequent pioneering underwater work using them, implemented in cooperation with maritime industry establishments.

Keywords: deep-sea technology, remotely operated vehicles, manned deep-sea vehicles.

W artykule przedstawiono zakres prac badawczych i aplikacyjnych dotyczących systemów bezzałogowych zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych prowadzonych na ówczesnej Politechnice Szczecińskiej (obecnie Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie). Zwieńczeniem prac była budowa takich systemów i pionierskie prace podwodne z ich zastosowaniem, prowadzone przy współudziale instytucji gospodarki morskiej.

Słowa kluczowe: technika głębinowa, pojazdy głębinowe, załogowe pojazdy głębinowe.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2022 Vol. 78 Issue 1 pp. 51 – 64

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2022-0004

Pages: 12, figures: 0, tables: 1

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

Typ artykułu: przeglądowy
Review article

Termin nadesłania: 23.10.2020 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 18.02.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Lata dziewięćdziesiąte ubiegłego wieku to na Wydziale Techniki Morskiej (od 2011 r. – Wydział Techniki Morskiej i Transportu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie) okres rozwoju systemów bezzałogowych zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych (BZSPG) i współpracy z uczelniami i instytucjami gospodarki morskiej w zakresie aplikacji tych systemów.

Badania rozszerzono na projektowanie koncepcyjne systemów pojazdów głębinowych, projektowanie i analizy wykonawcze podsystemów pojazdów, zagadnienia prognozowania i realizacji określonych właściwości ruchowych pojazdów, budowę systemów pojazdów głębinowych i aplikacje zbudowanych systemów [1,2,3,4,5,7].

Artykuł jest kontynuacją tematyki prezentowanej w osobnym opracowaniu pt. „Pojazdy głębinowe w pracach badawczych uczelni szczecińskich – projekty”.

OBSZAR I ZAKRES PRAC BADAWCZYCH W DZIEDZINIE TECHNIKI GŁĘBINOWEJ

Konieczność badania akwenów w celu identyfikacji zatopionych obiektów technicznych takich, jak: rurociągi, kable, obiekty metalowe, a w szczególności pozostałości I i II wojny światowej, w tym środki militarne w postaci amunicji i pojemników z gazem bojowym, była przyczyną podjęcia badań i rozwoju systemów pojazdów głębinowych o takim przeznaczeniu.

Prace badawcze dotyczyły projektowania i budowy BZSPG, które zapewniały oddalenie człowieka od miejsc niebezpiecznych, możliwość długotrwałej pracy bez ograniczeń fizjologicznych, energetycznych i czasowych oraz zastąpienie kosztownych misji pojazdów załogowych i zatrudniania nurków, co na znacznych głębokościach wymaga zwykle rozbudowanej bazy technicznej i medycznej.

W Tabeli 1 zestawiono systemy BZSPG projektowane i budowane na Wydziale Techniki Morskiej (autor pełnił rolę kierownika projektów). Dwa z nich, wykorzystujące do zadań podwodnych pojazdy *NUR* i *MAGIS*, znalazły praktyczne zastosowanie w zadaniach głębinowych realizowanych dla instytucji gospodarki morskiej [6]. Systemy te funkcjonują do dzisiaj.

INTRODUCTION

The 1990s were a period of development of unmanned remotely operated deep-sea vehicles (ROVs) at the Faculty of Marine Technology (since 2011 – Faculty of Maritime Technology and Transport at the West Pomeranian University of Technology in Szczecin) and cooperation with universities and maritime institutions in the application of these systems.

The research was extended to include conceptual design of ROV systems, design and performance analysis of vehicle subsystems, issues of forecasting and realisation of specific vehicle motion properties, construction of the ROV systems and applications of the systems developed [1,2,3,4,5,7].

The article is a continuation of the subject presented in a separate paper entitled “Underwater vehicles in research works of Szczecin universities – projects”.

AREA AND SCOPE OF RESEARCH WORK IN THE FIELD OF UNDERWATER TECHNOLOGY

The need to explore bodies of water in order to identify submerged technical objects such as pipelines, cables, metal objects and, in particular, remnants of the First and Second World Wars, including military assets in the form of ammunition and combat gas containers, was the trigger for the research and development of underwater vehicle systems with such a purpose.

The research work involved the design and construction of ROVs that guaranteed distance of humans from dangerous sites, the possibility of long-term operation without physiological, energy and time constraints, and the replacement of costly manned vehicle missions and the employment of divers, which at considerable depths usually requires an extensive technical and medical base.

Table 1 lists the ROV systems designed and built at the Marine Technology Department (the author acted as project manager). Two of them, using *NUR* and *MAGIS* vehicles for underwater tasks, found practical application in deep-sea tasks carried out for maritime institutions [6]. These systems continue to be in operation today.

Underwater vehicle systems built at the Marine Technology Department.

Systemy pojazdów głębinowych zbudowane na Wydziale Techniki Morskiej.

No.	System name	Vehicle name	Vehicle characteristics		Research/ construction period
			working depth [m] shape/form purpose	dimensions [mm] propellers weight [kg]	
1	SMP-50	<i>KRAB I</i>	50 frame structure inspection	1200x1270x700 5 propellers 62	1991-1993
2	SWOT-150	<i>KRAB II</i>	150 frame structure inspection, monitoring	1200x1270x700 5 propellers 70	1993-1995
3	MZSPG	<i>PNP-50</i>	50 frame structure inspection, search	1000x800x600 5 propellers	1997 projekt
4	TODS-400	<i>MAGIS</i>	400 shape of the spindle research equipment pilotage system inspection, measurements, simple works	2250x760x600 6 propellers 120	1994-1999
5	SMG	<i>MAGIS</i>	as above, system miniaturisation change in vehicle equipment configuration change in power of transverse propellers control system automation		2004-2007

SYSTEMY MONITORINGU SMP/SWOT

System i urządzenia zbudowane w Zespole Techniki Głębinowej na Wydziale Techniki Morskiej przewidziane były do pracy w Morzu Bałtyckim, akwatoriach portowych, w tym basenach byłych baz wojskowych, a także w zbiornikach śródlądowych. Zadaniem urzędzeń było też określenie stopnia szkodliwości ekologicznej zalegających obiektów oraz opracowanie sposobu ich rejestracji i ewidencjonowania dla dalszych prac zmierzających do wydobycia lub unieszkodliwienia zalegających znalezisk. Zastosowanie systemu obejmowało także ocenę zagrożeń podczas prac pogłębiarskich zbiorników i torów wodnych.

System Monitoringu Podwodnego SMP wykorzystywał bezzałogowy pojazd głębinowy *KRAB I*, jako nośnik aparatury, który był zaprojektowany przy współudziale Przedsiębiorstwa Projektowo-Usługowego Submar i zbudowany w kooperacji z kanadyjską firmą Hydrobotics Engineering Inc., co było konieczne z powodu embarga na dostawy do Polski specjalistycznego wyposażenia pojazdu. W skład SMP wchodziły dwa obiekty:

- stanowisko sterowniczo-badawcze zawierające: konsolę kontrolną, pulpit sterowniczy, monitory, podsystem wizualizacji danych monitorowania,
- podwodny nośnik aparatury *KRAB I* o konstrukcji nośnej z rur aluminiowych, zawierający wyposażenie umieszczone w pojemnikach ciśnieniowych, Fot. 1, Tabela 2.

SMP/SWOT MONITORING SYSTEMS

The system and equipment built at the Underwater Engineering Unit at the Marine Technology Department were designed for use in the Baltic Sea, port basins, including the basins of former military bases, as well as in inland reservoirs. The equipment was also tasked with determining the degree of ecological harmfulness of the objects deposited and developing a method of recording and logging them for further work aimed at excavating or neutralising the deposited finds. The use of the system also included the assessment of risks during dredging of reservoirs and fairways.

The SMP Underwater Monitoring System used the *KRAB I* unmanned underwater vehicle as the apparatus carrier, which was designed with the participation of the Submar Design and Service Company and built in cooperation with the Canadian company Hydrobotics Engineering Inc. which was necessary due to the embargo on the supply of specialised equipment for the vehicle to Poland. The SMP consisted of two facilities:

- a control and research station containing: control console, control panel, monitors, monitoring data visualisation subsystem,
- the *KRAB I* underwater equipment carrier with a support structure made of aluminium tubes, containing equipment placed in pressure containers, Fig. 1, Table 2.

The vehicle was subsequently upgraded to the *KRAB II* version, Fig. 1, Fig. 2, Table 2, characterised by the expansion of the vehicle and equipping it with additional



Pojazd zmodernizowano wkrótce do wersji *KRAB II*, Rys. 1, Fot. 2, Tabela 2, charakteryzującej się rozbudową pojazdu i wyposażeniu go w dodatkowe urządzenia monitorujące stan środowiska wodnego (sonda pomiarowa parametrów fizykochemicznych wody), urządzenie do pobierania próbek wody, magnetometr, echosondę do pomiaru odległości od dna i powierzchni wody. Pojazd *KRAB II* stanowiący nośnik aparatury w nowym Systemie Wykrywania Obiektów Technicznych SWOT przeszedł pomyślnie badania poligonowe, a system znalazł zastosowania komercyjne. Prace inspekcyjne można wykonywać przy użyciu tego systemu do głębokości 150 m, a pomiary własności fizycznych i chemicznych wody do głębokości 50 m.

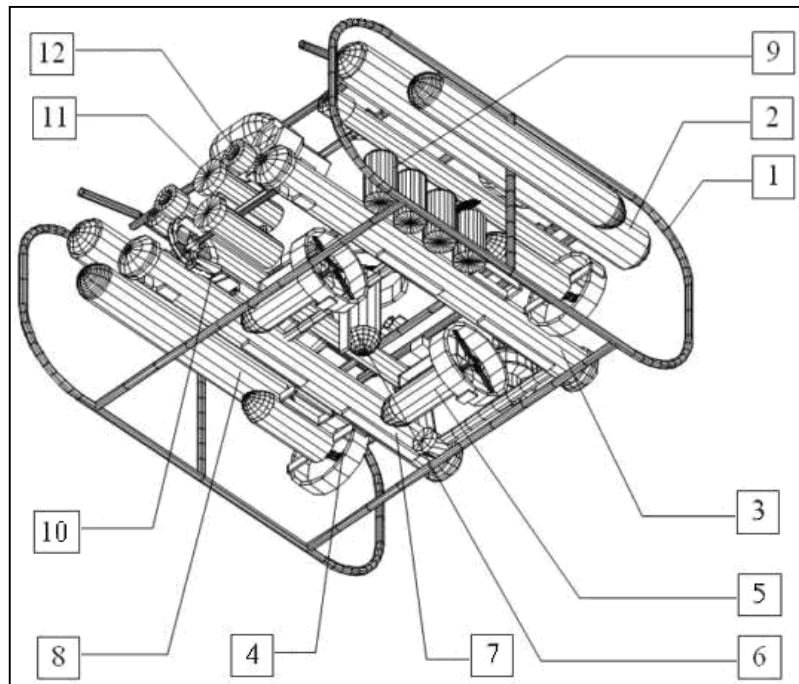
devices for monitoring the state of the aquatic environment (measuring probe for physicochemical parameters of water), water sampling device, magnetometer, echo sounder for measuring the distance from the bottom and water surface. The *KRAB II* vehicle, which is the equipment carrier for the new SWOT Technical Object Detection System, has successfully passed field tests and the system has found commercial applications. Inspection work can be carried out with this system down to a depth of 150 m, and measurements of the physical and chemical properties of the water down to a depth of 50 m.

Tab. 2

Technical characteristics of the *KRAB I* and *KRAB II* underwater vehicles.

Charakterystyka techniczna pojazdów głębinowych *KRAB I* i *KRAB II*.

No.	Specification		<i>KRAB I</i> in SMP system	<i>KRAB II</i> in SWOT system
1	Weight	[kg]	70	90
2	Dimensions	[mm]	1200x1270x700 mm	
3	Difference in the height of centres of buoyancy and gravity	[mm]	40	50
3	Working depth	[m]	50	150
4	Speed	[m/sec]	2,0	1,5
5	Load-bearing structure		rectangular frame made of aluminium tubes	
6	Proppelers, configuration		4 longitudinal, 1 vertical	2 longitudinal, 2 transverse, 1 vertical
7	Power supply		220 V/50Hz	
8	Equipment		colour and monochrome TV camera, tilting platform for cameras and lights 2x150 W, single-function joystick magnetic compass, depth gauge.	colour and monochrome TV camera, tilting platform for cameras and lights 4x150 W, single-function manipulator-grip, magnetic compass, depth gauge, measuring probe for physical-chemical water parameters. Optionally: magnetometer, water sampling device, echo sounder to measure distance from the bottom and water surface.



- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1 - frame | 7 - electronics container |
| 2 - buoyancy container | 8 - measuring head |
| 3 - buoyancy container | 9 - water probe |
| 4 - longitudinal propeller | 10 - manipulator |
| 5 - transverse propeller | 11 - tv camera |
| 6 - vertical propeller | 12 - floodlight |

Fig. 1 Configuration of the *KRAB II* underwater vehicle – view from below.

- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| 1 - rama | 7 - pojemnik układów elektronicznych |
| 2 - pojemnik wypornościowy | 8 - głowica pomiarowa |
| 3 - pojemnik wypornościowy | 9 - próbnik wody |
| 4 - pędnik wzdłużny | 10 - manipulator |
| 5 - pędnik poprzeczny | 11 - kamera tv |
| 6 - pędnik pionowy | 12 - reflektor |

Rys. 1 Konfiguracja pojazdu głębinowego *KRAB II* – widok od dołu.

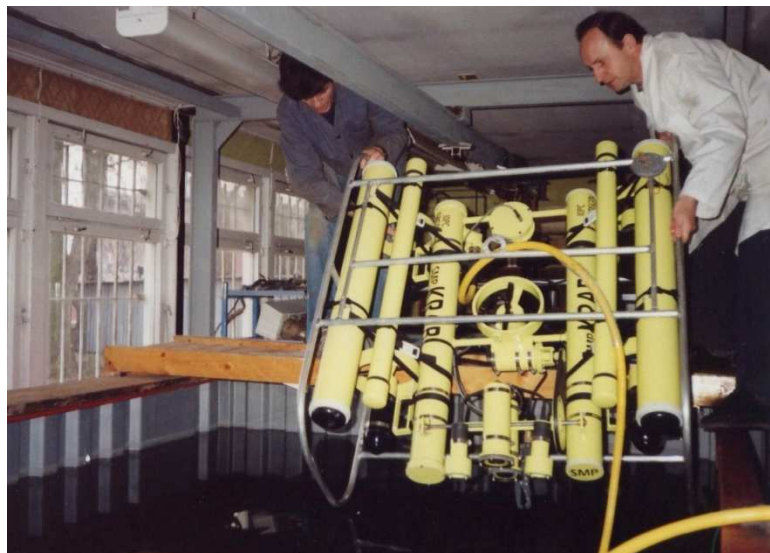


Fig. 2 *KRAB I* unmanned remotely operated underwater vehicle - first launch in the indoor technological basin of the Faculty of Marine Engineering of the Szczecin University of Technology.

Fig. 2 Bezałogowy zdalnie sterowany pojazd głębinowy *KRAB I* – pierwsze autorskie wodowanie w krytym basenie technologicznym Wydziału Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej.



Fig. 3 Unmanned remotely operated underwater vehicle (ROV) *KRAB II* equipped with laser tracer L for the study of the vehicle's trajectory.

Rys. 3 Bezałogowy zdalnie sterowany pojazd głębinowy *KRAB II* wyposażony w znacznik laserowy L do badań trajektorii ruchu pojazdu.

Realizacja w Zakładzie Technologii Okrętów na Wydziale Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej: Projekt Badawczy Komitetu Badań Naukowych nr 7 0117 91 01 pn. „Systemy i urządzenia technologii prac podwodnych”, lata 1991-1993 i Projekt Badawczy Komitetu Badań Naukowych nr 9 S604 063 04 pn. „Systemy wykrywania obiektów technicznych w toni wodnej SWOT”, lata 1993-1995.

Zespół Badawczy: Tadeusz Graczyk, Leszek Bednarski, Bartłomiej Jakus, Henryk Kierul, Mariusz Matejski, Łukasz Piskorski, Eugeniusz Skrzymowski, Władysław Skurski, Zbigniew Szymczyk, Antoni Wiliński.

PIROROZPOZNAWCZY NOŚNIK PODWODNY PNP-50

Projekt pirorozpoznawczego nośnika podwodnego *PNP-50* powstał dla zaspokojenia potrzeb Marynarki Wojennej i Policji w zakresie wykonywania inspekcji obiektów niebezpiecznych i poszukiwań ładunków wybuchowych – głównie w wodach przybrzeżnych i śródlądowych do głębokości 50 m, Rys. 3. W projekcie wykorzystano doświadczenia zespołu przeniesione z budowy systemu SMP/SWOT oraz antyterrorystycznych badań poligonowych z zastosowaniem pojazdu *KRAB II*.

Opracowano założenia do miniaturyzacji systemu pojazdu oraz procedurę jego zastosowania w działaniach inspekcyjnych i antyterrorystycznych.

Realizacja w Zakładzie Technologii Okrętów na Wydziale Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej: 1997 r.

Zespół Badawczy: Tadeusz Graczyk, Mariusz Matejski, Łukasz Piskorski, Władysław Skurski.

Implemented in the Ship Technology Department at the Faculty of Marine Technology, Szczecin University of Technology: Research Project of the Committee for Scientific Research No. 7 0117 91 01 entitled “Systems and Equipment for Underwater Works Technology,” 1991-1993 and Research Project of the Committee for Scientific Research No. 9 S604 063 04 entitled “SWOT Systems for Detection of Technical Objects in Water,” 1993-1995.

Research team: Tadeusz Graczyk, Leszek Bednarski, Bartłomiej Jakus, Henryk Kierul, Mariusz Matejski, Łukasz Piskorski, Eugeniusz Skrzymowski, Władysław Skurski, Zbigniew Szymczyk, Antoni Wiliński.

SEARCHING UNDERWATER CARRIER PNP-50

The design of the *PNP-50* searching underwater carrier vehicle was developed to meet the needs of the Navy and the Police in performing inspections of dangerous objects and searches for explosive charges – mainly in coastal and inland waters to a depth of 50 m, Fig. 3. The design draws on the team's experience gained from the construction of the SMP/SWOT system and anti-terrorist field tests using the *KRAB II* vehicle.

Assumptions were developed for the miniaturisation of the vehicle system and a procedure for its use in inspection and anti-terrorist operations.

Implementation in the Ship Technology Department at the Faculty of Maritime Technology, Szczecin University of Technology: 1997.

Research team: Tadeusz Graczyk, Mariusz Matejski, Łukasz Piskorski, Władysław Skurski.

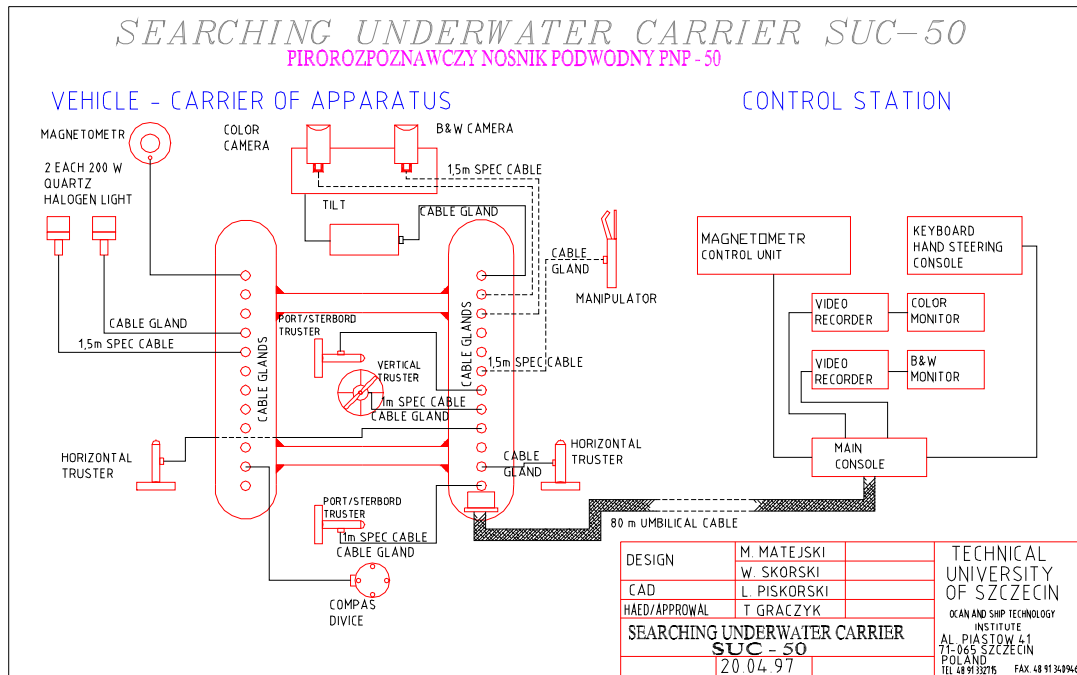


Fig. 4 PNP-50 searching underwater carrier – block diagram of the modification of the KRAB II vehicle system for anti-terrorist operations.

Rys. 4 Pirorozpoznawczy nośnik podwodny PNP-50 – schemat blokowy modyfikacji systemu pojazdu KRAB II do działań antyterrorystycznych.

SYSTEM WYKRYWANIA OBIEKTÓW TECHNICZNYCH TODS-400

Badania prowadzone na Wydziale Techniki Morskiej przez Zespół Techniki Głębinowej obejmowały: monitoring jezior, badania torów wodnych, basenów portowych, prace archeologiczne w pewnych rejonach Bałtyku, badania stanu technicznego platform wiertniczych, badania sztucznych raf na polskich wodach terytorialnych itp. Rezultaty tych badań oraz prace badawcze zespołu w dziedzinie ochrony środowiska morskiego wykorzystane zostały do zaprojektowania i budowy uniwersalnego narzędzia do badania strefy przybrzeżnej i regionów głębokowodnych Bałtyku, tj. systemu wykrywania obiektów technicznych TODS-400 (Technical Object Detection System), w oparciu o fundusze europejskie Phare, Rys. 4.

System TODS-400 składa się z następujących podzespołów:

- nośnika podwodnego *MAGIS*, którego charakterystykę techniczną przedstawia Rys. 6 i Tabela 3,
- mobilnego stanowiska sterowania i kontroli w przyczepie samochodowej zawierającego: moduł dystrybucji mocy, kołowroty kablolin 100 i 400 m, konsolę kontrolną, konsolę zdalnego sterowania.

W systemie TODS-400 zastosowano technikę światłowodową do transmisji sygnałów sterujących i wizyjnych.

TODS-400 TECHNICAL OBJECT DETECTION SYSTEM

Research carried out at the Marine Technology Department by the Underwater Technology Unit included: monitoring of lakes, surveys of fairways, harbour basins, archaeological work in selected areas of the Baltic, investigations of the technical condition of oil rigs, surveys of artificial reefs in Polish territorial waters, etc. The results of these studies and the team's research work in the field of marine environment protection were used to design and build a universal tool for surveying the coastal zone and deep-water regions of the Baltic Sea, i.e. the TODS-400 (Technical Object Detection System), based on Phare European funds, Fig. 4.

The TODS-400 system consists of the following components:

- the *MAGIS* underwater carrier, the technical specifications of which are shown in Fig. 6 and Table 3,
- a mobile command and control station in a truck trailer containing: power distribution module, 100 and 400 m cable reels, control console, remote control console.

The TODS-400 system uses fibre-optic technology to transmit control and video signals.



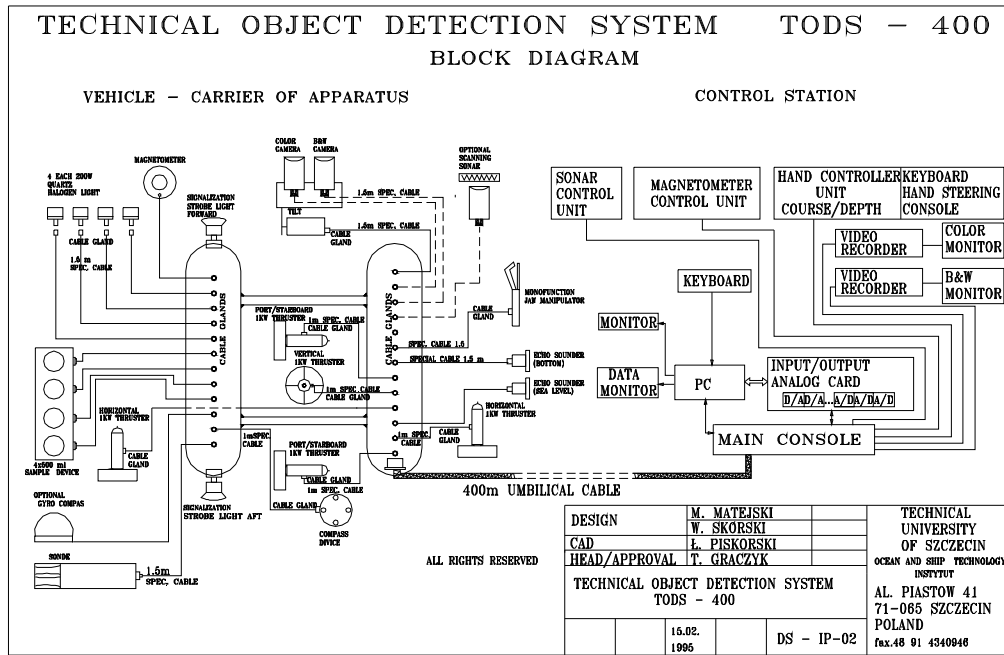


Fig. 5. Block diagram of the TODS-400 underwater system.

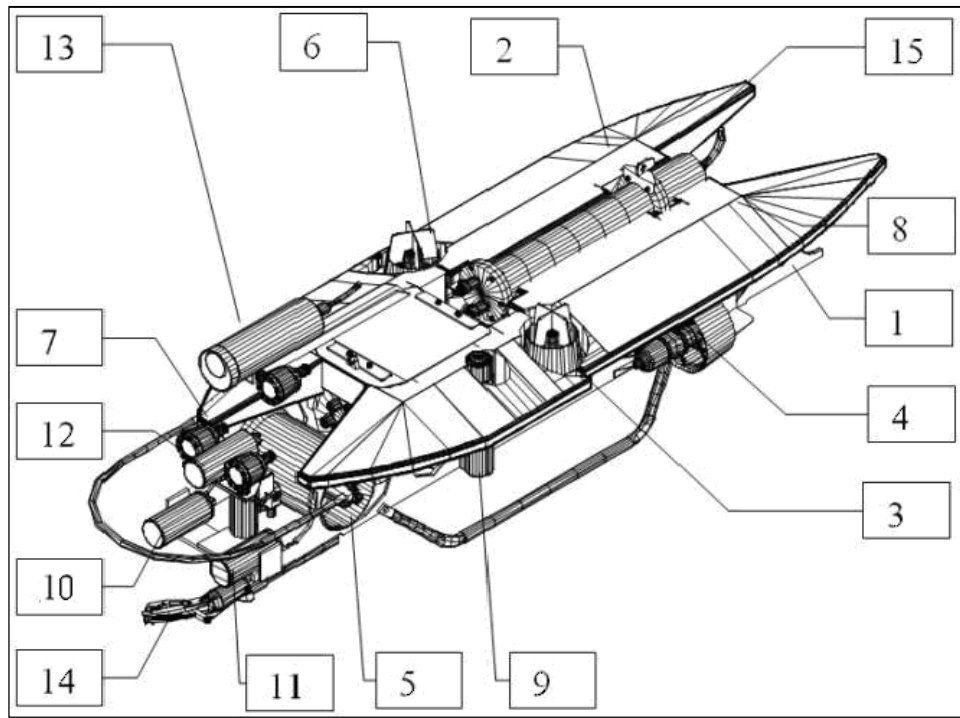
Rys. 5 Schemat blokowy systemu głębinowego TODS-400.

Tab. 3

Technical characteristics of the *MAGIS* vehicle.

Charakterystyka techniczna pojazdu *MAGIS*.

No.	Specification	Description
1	Weight [kg]	120
2	Dimensions [mm]	2250x760x600
3	Difference in the height of centres of buoyancy and gravity [mm]	50
3	Working depth [m]	400
4	Speed [m/sec]	2,5
5	Hull shape, structure	spindle, frame - aluminium plates, pressure containers - PVC, floats - laminated polystyrene
6	Propellers, configuration	2 longitudinal, 2 transverse, 2 vertical
7	Power supply	3x380 V/50Hz
8	Equipment	colour TV camera and 2 floodlights with tilt mechanism, black and white fixed TV camera, camera and strobe light, dual-function manipulator - grip, rotation, hydro-acoustic transmitter, compass, pressure gauge, water property measuring probe



- | | | |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1 - vehicle frame | 2 - buoyancy module | 3 - electronics container |
| 4 - longitudinal propeller | 5 - transverse propeller | 6 - vertical propeller |
| 7 - floodlight | 8 - compass (invisible) | 9 - hydroacoustic transmitter |
| 10 - photo camera | 11 - strobe light | 12 - colour tv camera |
| 13 - black and white tv camera | 14 - manipulator | 15 - umbilical cable |

Fig. 6 The MAG/S vehicle configuration.

- | | | |
|---------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 1 - rama pojazdu | 2 - moduł wypornościowy | 3 - pojemnik elektroniki |
| 4 - pędnik wzdłużny | 5 - pędnik poprzeczny | 6 - pędnik pionowy |
| 7 - reflektor | 8 - kompas (niewidoczny) | 9 - nadajnik hydroakustyczny |
| 10 - aparat fotograficzny | 11 - lampa stroboskopowa | 12 - kamera tv kolor. |
| 13 - kamera tv cz.-b. | 14 - manipulator | 15 - kablolina |

Rys. 6 Konfiguracja pojazdu MAG/S.

Realizacja w Zakładzie Technologii Okrętów na Wydziale Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej; EU Project Phare PL 9409-01-03 pn. „The Modification of the Technical Objects Detection System (TODS-400) to Specify Pollution in Near-Bottom Zone of the Baltic Sea”, Cross Border Co-Operation Programme Poland-Denmark, Coastal Monitoring, lata 1994-1999 oraz Projekt nr 5/97/MN-PO/D pn. „System wykrywania skażeń w strefie przydennej Morza Bałtyckiego z modyfikacją”, Wojewódzki Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Szczecinie, 1997 r.

Zespół Badawczy: Tadeusz Graczyk, Sławomir Jaszczak, Henryk Kierul, Mariusz Matejski, Łukasz Piskorski, Władysław Skurski, Włodzimierz Stawarz, Zbigniew Szymczyk.

SYSTEM MONITORINGU GŁĘBINOWEGO SMG

System monitoringu głębinowego SMG dla warunków niebezpiecznych, Fig. 7,8,9 zbudowany w ramach projektu badawczego Ministerstwa Edukacji i Nauki, oparty jest na koncepcji systemu TODS, który dla pewnych zastosowań jest niewystarczająco mobilny (duża masa i objętość modułów systemu, obsługa przez cztery osoby) i ma ograniczone możliwości badania stanu środowiska wodnego. W systemie SMG wykorzystywany

Implemented at the Ship Technology Department, Faculty of Marine Engineering, Szczecin University of Technology; EU Project Phare PL 9409-01-03 titled “The Modification of the Technical Objects Detection System (TODS-400) to Specify Pollution in Near-Bottom Zone of the Baltic Sea,” Cross Border Co-Operation Programme Poland-Denmark, Coastal Monitoring, 1994-1999 and Project No. 5/97/MN-PO/D titled “Contamination Detection System in the Near-Bottom Zone of the Baltic Sea with Modification,” Voivodship Fund for Environmental Protection and Water Management in Szczecin, 1997.

Research team: Tadeusz Graczyk, Sławomir Jaszczak, Henryk Kierul, Mariusz Matejski, Łukasz Piskorski, Władysław Skurski, Włodzimierz Stawarz, Zbigniew Szymczyk.

SMG UNDERWATER MONITORING SYSTEM

The SMG underwater monitoring system for hazardous conditions, Fig. 7,8,9 built within the framework of a research project of the Ministry of Education and Science, is based on the concept of the TODS system, which is not sufficiently mobile for certain applications (large weight and volume of system modules, operation by four people) and has limited capabilities for

jest zmodyfikowany pojazd *MAGIS* przeznaczony do wykonywania zadań podwodnych do głębokości 400 m.

Modyfikacja dawnego systemu TODS polegała na dostosowaniu go do oczekiwań użytkowników, które sprecyzowano po zebraniu doświadczeń w trakcie badań poligonowych i dotychczasowych aplikacji. W szczególności zaś polegała na:

- powiększeniu mobilności systemu poprzez miniaturyzację podzespołów, m.in. modułu dystrybucji zasilania,
- wyposażeniu systemu w kołowroty kablin o długości 100 i 400 m,
- modernizacji systemu napędowego – zmiana rozdziału mocy w układzie pędników w celu zwiększenia mocy pędników wzdłużnych, kosztem ograniczenia mocy pędników ruchu poprzecznego,
- zastosowaniu automatyki sterowania ruchem pojazdu – stabilizacja kursu i głębokości,
- zastosowaniu nowoczesnych nośników informacji do zapisywania danych,
- rozszerzenie możliwości pomiarowych stanu środowiska – identyfikacja pozostałości militarnych.

investigating the state of the aquatic environment. The SMG system uses a modified *MAGIS* vehicle designed to perform underwater tasks to depths of 400 m.

The modification of the former TODS system involved adapting it to the expectations of the users, which were pinpointed after gathering experience from the field tests and previous applications. In particular, it entailed:

- increasing the mobility of the system through miniaturisation of components, such as the power distribution module,
- equipping the system with umbilical cable reels of 100 and 400 m in length,
- modernisation of the propulsion system – changing the power distribution in the propeller system to increase the power of the longitudinal propellers at the expense of reducing the power of the transverse propellers,
- application of automatic vehicle motion control – stabilisation of the course and depth,
- use of modern storage media for data recording,
- extension of the possibilities of measuring the state of the environment - identification of military remains.



Fig. 7 The underwater vehicle *MAGIS* during technical condition surveys of the floating dock at the Szczecin Shiprepair Yard Gryfia.

Rys. 7 Pojazd głębinowy *MAGIS* podczas badań stanu technicznego doku pływającego w Szczecińskiej Stoczni Remontowej Gryfia.



Fig. 8 Testing of the properties of the *MAGIS* underwater vehicle in the technological pool of the Ship Technology Department of the Szczecin University of Technology.

Rys. 8 Badania właściwości pojazdu głębinowego *MAGIS* w basenie technologicznym Zakładu Technologii Okrętów Politechniki Szczecińskiej.



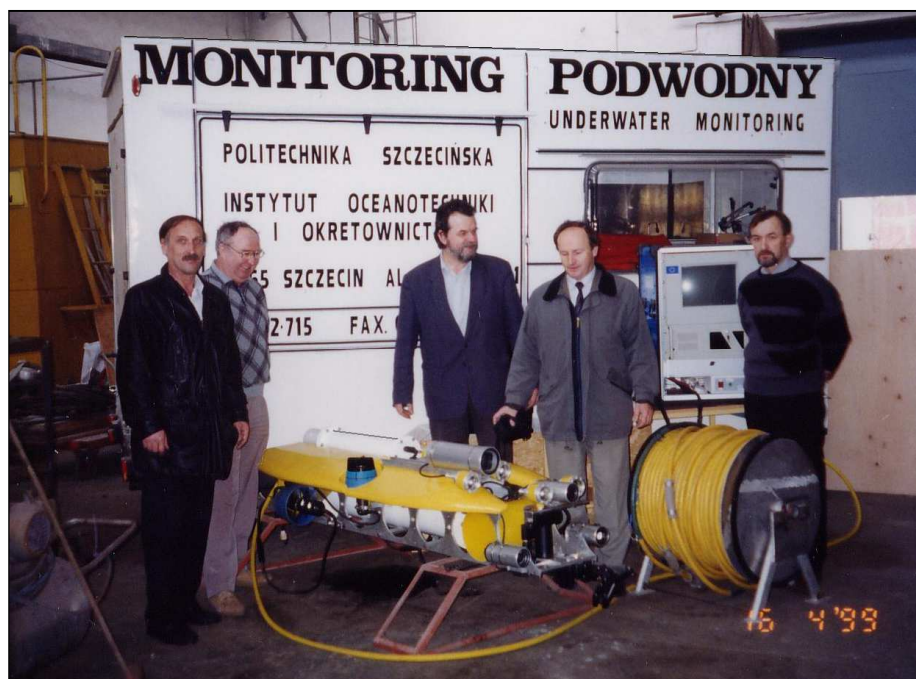


Fig. 9 Underwater Monitoring System and the design and research team of the Faculty of Marine Engineering, Szczecin University of Technology. From the left: Zbigniew Szymczyk, Henryk Kierul, Władysław Skórski, Tadeusz Graczyk, Mariusz Matejski.

Rys. 9 System Monitoringu Głębinowego i zespół projektowo-badawczy Wydziału Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej. Od lewej: Zbigniew Szymczyk, Henryk Kierul, Władysław Skórski, Tadeusz Graczyk, Mariusz Matejski.

Realizacja w Zakładzie Technologii Okrętów na Wydziale Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej: Projekt Badawczy Ministerstwa Edukacji i Nauki nr 4 T12C 020 26 pn. „System monitoringu głębinowego dla warunków niebezpiecznych”, lata 2004-2007.

Zespół Badawczy: Tadeusz Graczyk, Sławomir Jaszczak, Henryk Kierul, Mariusz Matejski, Łukasz Piskorski, Władysław Skurski, Włodzimierz Stawarz, Zbigniew Szymczyk.

WSPÓŁPRACA INSTYTUCJI W ZAKRESIE BADAŃ PODWODNYCH

Prace badawcze, projektowe i wykonawcze systemów pojazdów głębinowych wykonywane były na Politechnice Szczecińskiej, później w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie. Niektóre prace projektowe, badania modelowe, a zwłaszcza badania aplikacyjne systemów pojazdów prowadzono we współpracy z innymi uczelniami i instytucjami głównie gospodarki morskiej. Były to :

- Akademia Rolnicza w Szczecinie – Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa,
- Akademia Morska w Szczecinie,
- Uniwersytet Szczeciński – Zakład Archeologii,
- Politechnika Gdańska – Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa,
- Urząd Wojewódzki w Szczecinie – Wydział Ochrony Środowiska,
- Marynarka Wojenna – 8 Flotylla Obrony Wybrzeża w Świnoujściu,
- Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni – Wydział Mechaniczno-Elektryczny,
- Przedsiębiorstwo Projektowo-Usługowe Submar w Gdyni,

Implemented at the Ship Technology Department, Faculty of Marine Engineering, Szczecin University of Technology: Research Project of the Ministry of Education and Science No. 4 T12C 020 26 entitled “Underwater Monitoring System for Hazardous Conditions,” 2004-2007.

Research team: Tadeusz Graczyk, Sławomir Jaszczak, Henryk Kierul, Mariusz Matejski, Łukasz Piskorski, Władysław Skurski, Włodzimierz Stawarz, Zbigniew Szymczyk.

COOPERATION BETWEEN INSTITUTIONS ON UNDERWATER RESEARCH

Research, design and implementation work on underwater vehicle systems was carried out at the Szczecin University of Technology, and later at the West Pomeranian University of Technology in Szczecin. Some design work, model tests and especially application tests on vehicle systems were carried out in cooperation with other universities and institutions mainly in the maritime industry. These included:

- Academy of Agriculture in Szczecin – Faculty of Food Sciences and Fisheries,
- Maritime Academy in Szczecin,
- University of Szczecin – Department of Archaeology,
- Gdańsk University of Technology – Faculty of Ocean Engineering and Shipbuilding,
- Provincial Office in Szczecin – Environmental Protection Division,
- Polish Navy – the 8th Flotilla of Coastal Defence in Świnoujście,
- Naval Academy in Gdynia – Mechanical and Electrical Department,
- Design and Service Company Submar in Gdynia,

- Fabryka Maszyn Budowlanych Bumar Hydroma w Szczecinie,
- Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie,
- Komenda Główna Policji w Warszawie,
- Karkonoskie Zakłady Maszyn Elektrycznych w Piechowicach,
- Hydrobotics Engineering Inc. w Ajax, Kanada,
- Hytec w Montpellier, Francja,
- usługowe przedsiębiorstwa nurkowe specjalizujące się w pracach podwodnych.

Badania aplikacyjne obejmowały obserwacje i monitoring obiektów pod wodą w Morzu Bałtyckim i jeziorach. Dokonano oceny stanu sztucznej rafy w Zalewie Szczecińskim i wlotu Kanału Piastowskiego, oceny stanu technicznego wieży wydobywczej ropy naftowej oraz stanu poszycia kadłubów okrętowych z urządzeniami napędowymi i sterowymi, oceny stanu doku pływającego i głębi dokowej. Przeprowadzono skuteczne poszukiwania wraków i obiektów militarnych w Zatoce Pomorskiej i Zalewie Szczecińskim. Dokonano inspekcji akwatoriów portowych, konstrukcji wsporczych nabrzeży i innych obiektów hydrotechnicznych, przeglądu ujęcia wodnego i czepni elektrociepłowni. Poszukiwano zagubionych obiektów w jeziorach. Dokonano obserwacji morskiej i jeziorowej flory i fauny. Przeprowadzono pobory i badania próbek wody. Asystowano nurkom w pracach podwodnych.

PODSUMOWANIE

W zakresie prac teoretycznych stworzono uporządkowane podstawy dla badań w dziedzinie projektowania urządzeń oceanotechnicznych. Opracowano metodykę projektowania bezzałogowych zdalnie sterowanych pojazdów głębinowych (BZSPG). Wobec braku dostępu do danych projektowych systemów oferowanych na rynku, ograniczanego przez firmy, dla systemu pojazdu *MAGIS* zastosowano autorski algorytm projektowy pozwalający wykorzystywać rozszerzający się zbiór doświadczeń projektanta oraz rozwijający się stan techniki. Rezultatem takiego postępowania jest możliwość budowy pojazdu spełniającego przyjęte założenia, o określonych właściwościach użytkowych, które satysfakcjonują przyszłego użytkownika, ale także umożliwiają budowę pojazdu w warunkach technicznych znajdujących się w zakresie możliwości projektanta i wytwórcy.

Rezultatem praktycznej części prac badawczych jest zbudowanie czterech użytkowych systemów BZSPG (System Monitoringu Podwodnego SMP – *KRAB I*, System Wykrywania Obiektów Technicznych SWOT – *KRAB II*, Technical Object Detection System TODS-400 – *MAGIS*, System Monitoringu Głębinowego SMG – *MAGIS*), przy zastosowaniu których realizowano prace podwodne dla instytucji związanych z gospodarką morską. Dwa z systemów SWOT i SMG wykorzystywane są do chwili obecnej.

Efektom popularytarskim jest ponad 250 publikacji autora oraz bliskich współpracowników uczestniczących w badaniach w obszarze techniki głębinowej w periodykach technicznych, materiałach konferencyjnych i wydaniach książkowych.

- Ship Technology Centre in Gdańsk,
- Central Maritime Museum in Gdańsk,
- Petrobaltic Oil and Gas Exploration and Exploitation Company in Gdańsk,
- Szczecin Shipyard,
- Szczecin Shiprepair Yard Gryfia,
- Bumar Hydroma Building Machinery Factory in Szczecin,
- Precision Mechanics Institute in Warsaw,
- Police Headquarters in Warsaw,
- Karkonoskie Zakłady Maszyn Elektrycznych [Karkonosze Electrical Machinery Works] in Piechowice,
- Hydrobotics Engineering Inc. w Ajax, Canada,
- Hytec in Montpellier, France,
- diving service companies specialising in underwater works.

Application studies included observation and monitoring of underwater facilities in the Baltic Sea and lakes. Assessments were made of the condition of the artificial reef in the Szczecin Lagoon and the mouth of the Piastowski Channel, assessments of the technical condition of the oil extraction tower and the condition of the hull plating of the ship's propulsion and steering gear, assessments of the condition of the floating dock and the docking depth. A successful search for wrecks and military objects in the Pomeranian Bay and Szczecin Lagoon was carried out. Inspections of harbour aquatoriums, quay support structures and other hydrotechnical facilities, a survey of the water intake and power plant intakes were carried out. Searches were undertaken for lost objects in the lakes. Observations of marine and lake flora and fauna were performed. Water sampling and testing was carried out. Divers were assisted in underwater works.

CONCLUSION

In terms of theoretical work, a structured basis for research in the field of oceanotechnical equipment design was established. A methodology was developed for the design of unmanned remotely operated underwater vehicles (BZSPG). In view of the lack of access to design data for systems offered on the market, limited by companies, a proprietary design algorithm was applied for the *MAGIS* vehicle system, allowing the use of the designer's expanding body of experience and the developing state of the art. The result of such a procedure is the possibility to build a vehicle meeting the adopted assumptions, with specific performance characteristics that satisfy the future user, but also enable the vehicle to be built in the technical conditions within the capabilities of the designer and manufacturer.

The result of the practical part of the research work is the construction of four operational BZSPG systems (Underwater Monitoring System SMP – *KRAB I*, SWOT Technical Object Detection System – *KRAB II*, Technical Object Detection System TODS-400 – *MAGIS*, and Underwater Monitoring System SMG – *MAGIS*), using which underwater works were carried out for institutions related to maritime economy. Two of the SWOT and SMG systems continue to be used today.

The result of research popularisation is more than 250 publications by the author and close collaborators involved in research in the area of underwater technology in technical journals, conference materials and book editions.

REFERENCES

1. Graczyk T.: Optimisation of power distribution in the motor system of an unmanned underwater vehicle, doctoral thesis, supervisor Anoni Wiliński, Ph.D., Naval Academy, Gdynia, 1992, p. 267.
2. Graczyk T.: Design issues on the example of an unmanned underwater vehicle. Dissertations, no. 421, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2008, ISSN 0551-6528, ISBN 978-83-7143-375-7, Edition I, p.175.
3. Jaszczak S.: Application of artificial intelligence methods in the design of a digital underwater vehicle course controller, doctoral thesis, supervisor prof. Andrzej Piegat, Ph.D. Eng., Szczecin University of Technology, Szczecin 2001.
4. Matejski M.: Method for developing and verifying a motor model of an unmanned underwater vehicle in the vertical plane under limited experimental conditions, doctoral thesis, supervisor, prof. Andrzej Piegat, Ph.D. Eng., Szczecin University of Technology, 2006.
5. Matejski M.: Modelling the movement of unmanned underwater vehicles under experimental conditions, Wydawnictwo Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, Gdynia 2011, ISBN 978-83-924989-7-1, Edition I, p. 92.
6. Matejski M., Graczyk T.: Selected conditions for the management of underwater systems utilising unmanned vehicles, Polish Hyperbaric Research, No. 1 (50) 2015. Publ.: Polskie Towarzystwo Medycyny i Techniki Hiperbarycznej, Gdynia 2015, ISSN: 1734-7009 e-ISSN: 2084-0535, pp. 47-54.
7. Pluciński M. P.: An adaptive course control system for an unmanned underwater vehicle using a fuzzy knowledge base of objections, doctoral thesis, supervisor prof. Andrzej Piegat, Ph.D. Eng., Szczecin University of Technology, Szczecin 1996.

dr hab. inż. Tadeusz Graczyk, prof. nadzw.

Akademia Morska w Szczecinie
Wydział Nawigacyjny
Katedra Oceanotechniki i Budowy Okrętów
ORCID 0000-0001-7136-0773
t.graczyk@am.szczecin.pl

RESEARCH ON SATURATION DIVING IN POLAND AND ITS IMPLEMENTATION. PART I B. GENERAL CHARACTERISTICS OF SATURATION DIVING RESEARCH IN OUR POLAND. PIONEER TIMES: 1967-1985

BADANIA NAD NURKOWANIAMİ SATUROWANYMI W POLSCE I ICH WDRAŻANIE. CZĘŚĆ I B. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADAŃ NAD NURKOWANIAMİ SATUROWANYMI W NASZYM KRAJU. CZASY PIONIERSKIE: LATA 1967-1985

Stanisław Skrzyński

Department of Underwater Works Technology, Polish Naval Academy
Katedra Technologii Prac Podwodnych, Akademii Marynarki Wojennej

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

The article is the first in a series of articles on the research and implementation of saturation diving technology in our country which presents the specific Polish conditions and achievements against the background of economic and historical circumstances. In view of the fact that research and implementation has a history of more than half a century, selected key figures of this period are recalled, some of whom have disappeared in the fogs of history. In the specialized literature of the world, the Polish underwater habitats of Meduza are among top 6 countries that researched and implemented, this high technology of saturation diving. Regarded as the inspirer, pioneer and creator of the first saturation diving, he designed and developed the technique and decompression with the cooperation of a team of enthusiasts from clubs and professional divers, as well as engineering staff from the Tri-City enterprises. In the first part of the article the author characterizes the saturation dives in comparison with short dives with particular emphasis on decompression, which is the key to safe diving. The article also takes into account the technical conditions for the implementation of the first saturation dives. The author discusses the general methodology of validation and verification of the assumed decompression, referring to the Polish conditions. He describes how the medical, technical, and organizational problems of implementation of saturation diving were solved in the pioneering period against the background of world achievements. Furthermore, the author describes Polish habitat constructions of Meduza and Geonur types and their application to underwater work on the Polish shelf and coastal areas. Despite the great progress in the field of medicine and technology, as well as organization, the problems of saturation diving, despite the passage of time, remain relevant, as these are the most difficult dives from the point of view of organization, underwater physiology and safety technology.

Keywords: pioneering implementation of saturation diving, medical and technical problems of diver decompression, research validation of decompression tables, saturation diving, saturation diving parameters, underwater work, diving system, saturation diving, decompression of divers underwater habitat, decompression tables.

Artykuł jest pierwszym z cyklu artykułów dotyczących badań i wdrażania technologii nurkowań saturovani w naszym kraju. Przedstawiono w nim polską specyfikę i osiągnięcia na tle uwarunkowań gospodarczych i historycznych w tej dziedzinie. W związku z tym, że historia badań i wdrażania technologii nurkowań saturovani w naszym kraju ma ponad półwieczną historię, przypomniano w artykule wybranych animatorów, bohaterów tego okresu z których kilku zniknęło w mrokach dziejów. W specjalistycznej literaturze światowej w pierwszej 6-ce krajów, które badały i wdrażały, tą będącą „high technology” technologie znajduje się Polska. W I części artykułu autor opisuje polskie konstrukcje habitatów typu Meduza i Geonur i ich zastosowanie do prac podwodnych na polskim szelfie i akwenach przybrzeżnych. Mimo wielkiego postępu w dziedzinie medycyny i techniki oraz organizacji problemy nurkowań saturovani mimo upływającego czasu wciąż są aktualne, gdyż są to nurkowania najtrudniejsze z punktu widzenia organizacji, fizjologii podwodnej i techniki zabezpieczającej.

Słowa kluczowe: pionierskie wdrożenia nurkowań saturovani, medyczne i techniczne problemy dekompresji nurków, badania walidacja tabel dekompresyjnych, nurkowania saturowane, parametry nurkowania saturowanego, prace podwodne, system nurkowy, nurkowania saturowane, dekompresja nurków podwodny habitat, tabele dekompresji.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2022 Vol. 78 Issue 1 pp. 65 – 86

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2022-0005

Pages: 22, figures: 3, tables: 4

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

Typ artykułu: oryginalny
Original article

Termin nadesłania: 13.05.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 14.06.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



Статья является первой в серии статей об исследованиях и внедрении технологий погружения с насыщением в нашей стране. Она представляет польскую специфику и достижения на фоне экономических и исторических условий в этой области. В связи с тем, что история исследования и внедрения технологий погружения с насыщением в нашей стране насчитывает более полувека, в статье вспоминаются избранные аниматоры, герои этого периода, некоторые из которых исчезли в тумане истории. В специализированной мировой литературе указывается, что Польша входит в число 6 стран, которые исследовали и внедрились эту „high technology“. В первой части статьи автор описывает польские конструкции средств обитания типа Медуза и Геонур и их применение для подводных работ на польском шельфе и в прибрежных водах. Вопреки большому прогрессу в области медицины, техники и организации, проблемы погружения с насыщением, несмотря на прошедшее время, все еще актуальны, ведь это самые сложные погружения с точки зрения организации, подводной физиологии и техники безопасности.

Ключевые слова: пионерское внедрение погружения с насыщением, медико-технические проблемы декомпрессии водолазов, исследования валидации декомпрессионных таблиц, погружение с насыщением, параметры погружения с насыщением, подводные работы, водолазная система, погружение с насыщением, декомпрессия водолазов, подводное средство обитания, декомпрессионные таблицы.

Dieser Artikel ist der erste einer Reihe von Artikeln über die Erforschung und Anwendung der Sättigungstauchtechnik in unserem Land und stellt die polnischen Besonderheiten und Errungenschaften vor dem Hintergrund der wirtschaftlichen und historischen Bedingungen in diesem Bereich dar. Da die Geschichte der Erforschung und Einführung der Technologie des Sättigungstauchens in unserem Land mehr als ein halbes Jahrhundert alt ist, erinnert der Artikel an ausgewählte Animatoren und Helden dieser Zeit, von denen einige im Dunkel der Geschichte verloren gegangen sind. In der weltweiten Fachliteratur gehört Polen zu den sechs Ländern, die diese "High Technology" erforscht und umgesetzt haben. Im ersten Teil des Artikels beschreibt der Autor die polnischen Habitatkonstruktionen vom Typ Medusa und Geonur und ihre Anwendung bei Unterwasserarbeiten auf dem polnischen Schelf und in Küstengebieten. Trotz der großen Fortschritte in Medizin, Technik und Organisation sind die Probleme des Sättigungstauchens nach wie vor aktuell, denn es ist der schwierigste Tauchgang in Bezug auf Organisation, Unterwasserphysiologie und Sicherheitstechnik.

Schlüsselwörter: Pionierarbeit bei der Einführung des Sättigungstauchens, medizinische und technische Probleme der Dekompression von Tauchern, Validierung von Dekompressionstabellen, Sättigungstauchen, Parameter des Sättigungstauchens, Unterwasserarbeit, Tauchsysteem, Sättigungstauchen, Dekompression von Tauchern unter Wasser, Dekompressionstabellen.

El artículo es el primero de una serie de artículos relativos a los estudios y la aplicación de la tecnología de buceo de saturación en nuestro país. Se han presentado en él los rasgos específicos de Polonia y los logros en el trasfondo de los condicionantes económicos e históricos en este campo. En relación con el hecho de que la historia de los estudios y la aplicación de la tecnología de buceo de saturación en nuestro país tiene más de medio siglo de historia, se ha mencionado en el artículo a determinados iniciadores, héroes de este periodo, de los cuales varios desaparecieron en las tinieblas de la historia. En la literatura mundial especializada, entre los primeros 6 países que estudiaron e implementaron esta tecnología considerada «high technology» se encuentra Polonia. En la primera parte del artículo el autor describe las construcciones polacas de hábitats del tipo Medusa y Geonur y su empleo para trabajos subacuáticos en la plataforma continental polaca y en las aguas costeras. A pesar del gran progreso en los campos de la medicina y la técnica, así como de la organización, los problemas del buceo de saturación siguen siendo actuales, a pesar del tiempo pasado, ya que este buceo es el más complejo desde el punto de vista de la organización, la fisiología subacuática y las técnicas de seguridad.

Palabras clave: aplicaciones pioneras del buceo de saturación, problemas médicos y técnicos de la descompresión de buzos, estudios de validación de tablas de descompresión, buceo de saturación, parámetros del buceo de saturación, trabajos subacuáticos, sistema de buceo, buceo de saturación, descompresión de buzos, hábitat subacuático, tablas de descompresión.

WSTĘP

POLSKA W GRONIE PIONIERÓW NURKOWAŃ SATUROWANYCH NA ŚWIECIE

W krajach eksploatujących offshore za umowy okres wdrażania nurkowań saturowanych dla celów komercyjnych należy przyjąć zakres od 1960 do 1980 roku (USA, Wielka Brytania i Francja). Polska zapisała się w światowej historii jako jedno z pierwszych państw realizujących nurkowania saturowane. Wg źródeł pochodzących z państw europejskich, Zachodnich i Wschodnich, nurkowania w Meduzach mieszczą się w pierwszej dwudziestce eksperymentalnych nurkowań na świecie. Na listach prowadzonych w latach 60-tych ubiegłego wieku Polska znajduje się na miejscu 16-tym. Nurkowania saturowane z użyciem MEDUZA I rozpoczęły się równoległe z badaniami prowadzonymi w innych miejscach [1,2]. W większości krajów na świecie badaniami nad nurkowaniami saturowanymi zajmowały się specjalnie do tego powołane ośrodki badawcze pracujące dla obronności i na rzecz przemysłu offshore. Jednak w tym czasie w Polsce nie było placówek, które podjęłyby się prowadzenia takich badań, mimo istniejącego zapotrzebowania gospodarki morskiej zainteresowanej poszukiwaniem i pozyskiwaniem surowców z dna morskiego, oraz wydobywaniem wraków nie tylko na terenie Polski. Pierwsze eksperymenty w tej dziedzinie w naszym kraju prowadziła grupa entuzjastów z klubu płetwonurków GKP „POSEJDON” wspartych kadram inżynieryjną z przedsiębiorstw usług podwodnych, jakim były PRCIP (Przedsiębiorstwo Robót Czerpalnych i Podwodnych) i przez lekarzy należących do Polskiego Ratownictwa Okrętowego.

W latach 70-tych i 80-tych trendem badawczym była ocena zasobów surowców mineralnych oraz opracowywanie metod wydobywczych tych surowców ze strefy przybrzeżnej i szelfu morskiego. Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi podjęło tematykę badań batynautycznych, powołując w tym celu zespół przy Oddziale Pomorskim Towarzystwa. Plonem pracy tego Zespołu są konstrukcje batynautyczne (zaprojektowane i wybudowane) GEONUR I i GEONUR II. Konstrukcje te pozwoliły na rozwiązanie pewnych istotnych problemów fizjologicznych i technicznych występujących podczas prowadzenia badań toni morskiej i dna morskiego.

Bez wątplenia pierwsze eksperymenty nurkowań saturowanych oparte były na entuzjazmie grupy pasjonatów którym przewodził Antoni Dębski, uważany przez wielu za ojca polskiej batynautyki. Jest to tym bardziej godne uwagi, że był on jedynie technikiem i samoukiem. Jego wiedza i umiejętności wynikały z niebywałej pasji, tzw. „nosa technicznego” i zaangażowania. Większość rozwiązań i urządzeń podwodnych używanych w latach 70-tych i 80-tych przez polską gospodarkę morską, było zaprojektowanych i wykonanych przez Stocznnię Gdynia. Zacytujmy głównego twórcę powyższych: „było to wybijanie dziury głową w murze przyzwyczajęń i nawyków”. Myślenie było proste - skoro nurek ma być dłużej pod wodą to trzeba stworzyć mu warunki bytowe trochę lepsze niż dobrze ocieplany skafander. Tak oto powstała kabina „Meduza”. Było w tym trochę i patriotyzmu, jako że „Polacy nie gęsi” no i chęci przygody oraz wyjścia w nieznanne. Historia polskiej

INTRODUCTION

POLAND AS ONE OF GLOBAL PIONEERS OF SATURATION DIVING

It is commonly assumed that commercial saturation diving in countries operating offshore (USA, UK and France) emerged as a fully-fledged activity between 1960 and 1980. Poland made its way into the pages of the world history as one of the first countries using this diving technique. According to the European sources, Western and Eastern alike, diving in MEDUZA (Meduza) chamber was one of the first 20 experimental dives in the world. In records from the 1960s, Poland ranked 16th on the lists of experimental diving. Saturation diving using MEDUZA 1 began in parallel with research conducted elsewhere [1,2]. In most countries, research into saturation diving was carried out by specially established research centres working for the defence sector and the offshore industry. Yet, at that time there were no research centres in Poland that would be ready to undertake such studies, even though the maritime sector was interested in exploration and extraction of raw materials from the seabed, and in carrying out maritime salvage operations not only in Poland. The first experiments in this field in our country were conducted by a group of enthusiasts from the GKP "POSEJDON" diving club supported by the engineering staff from underwater service companies such as the PRCIP (Przedsiębiorstwo Robót Czerpalnych i Podwodnych) Ridging and Underwater Works Company Ltd., and medical doctors from the Polish Maritime Salvage organisation.

In the 1970s and 1980s research tended to focus on the assessment of mineral resources and the development of methods for extracting them from the coastal zone and the sea shelf. The Polish Society of Friends of Earth Sciences (Polish abbr. PTPNoZ) took up the subject of bathyscaphe-nautical research by setting up a team at the Pomeranian Branch of the Society for this purpose. The team designed and built two bathyscaphes Geonur 1 and Geonur 2. These structures helped in resolving some major physiological and technical problems occurring during deep-sea and seabed exploration.

Undoubtedly, the first experiments in saturation diving could take place because there was a group of enthusiasts led by Antoni Dębski, who many consider the father of Polish bathyscaphe nautical studies. This is all the more remarkable given that he was only a technician and an autodidact. His knowledge and skills were the result of his incredible passion, having a good nose for technical engineering and his commitment.

The history of Polish submersible watercrafts begins in 1967 when the first almost handmade Polish diving chamber was constructed" [3]. Most of the submarine solutions and equipment used by the Polish maritime industry in the 1970s and 1980s were designed and made by the Gdynia Shipyard. To quote the main designer of the vessel: "it was like punching a hole with your head in the wall of habits." The reasoning was quite simple: if a diver is to stay underwater for longer periods of time, it is necessary to ensure them living conditions a little better than a well-insulated wetsuit. This is where

batynautyki rozpoczyna się od 1967 roku, w którym została wybudowana metodami prawie że chałupniczym podwodna nasza pierwsza kabina nurkowa [3].

W Polsce starano się udowodnić, że swoją kreatywnością i inwencją rozwiązaliśmy każdy problem w nurkowaniu, podobnie francuzi, tylko z tą różnicą, że we Francji na pewnym etapie włączyło się państwo i bogate przedsiębiorstwa. Wszystkie nowatorskie rozwiązania i pomysły, wymagające przetestowania i zbadania entuzjaści i pasjonaci przedsięwzięcia testowali na sobie. Tak było z badaniem wpływu na organizm nurka długotrwałego przebywania na małych głębokościach i oddychania sprężonym powietrzem. Nikt w Polsce nigdy wcześniej tego nie sprawdzał, a i światowe doświadczenia były w tej dziedzinie w początkowej fazie. Wielu „mądrych” w tym czasie twierdziło, że A. Dębski narażał w ten sposób życie nie tylko swoje, ale i kolegów. Dzięki niespotykanemu darowi przekonywania i gromadzenia pasjonatów, łowców przygód oraz ludzi z przemysłu morskiego realizowano przedsięwzięcia mające na celu przedłużenie czasu pracy nurków, tak potrzebne w gospodarce morskiej. Powstały specjalistyczne tabele dekompresyjne, pozwalające w bezpieczny sposób z nich korzystać, mimo że wielu uczonych i specjalistów zajmujących się tematyką nurkowań wyrażało swoją dezaprobatę. Pierwsze tabele dekompresji dla programu MEDUZA na podstawie skąpych informacji ze świata opracował A. Dębski wraz z zespołem. Wspierali się oni tabelami US Navy dla czasów awaryjnych 6 godzinnego przebywania nurków pod ciśnieniem, wyrywkowymi informacjami z Francji a nawet metodyką obliczania tabel czeskiej firmy Aqua Cetrum. W przypadku programów GEONUR I pracowano na tabelach opracowanych dla MEDUZY II oraz tabelach opracowanych przez Centralny Instytut Ochrony Pracy [4,5].

MEDUZA I

Wszystko zaczęło się od lektury doniesień prasowych, jakoby Francuzcy pionierzy nurkowania swobodnego – Jacques Cousteau i przyjaciele, ulegając urokowi podwodnego świata zaczęli marzyć o „homo-aquaticus”, a więc podwodnym życiu człowieka. W ten sposób powstał ich „podwodny dom”, czyli taki, swego rodzaju podwodny dzwon o nazwie „Diogenes”. Kilku płetwonurków spędziło w nim kilka dni na głębokości 16 metrów. Opisem francuskich eksperymentów zainteresował się niezmiernie Antoni Dębski, technik mechanik, absolwent Gdyńskiej Szkoły Rybołówstwa Morskiego, pracownik Stoczni im. Komuny Paryskiej, członek Gdańskiego Klubu Płetwonurków „Posejdon”. W jego głowie powstał pomysł budowy miniaturki „Diogenesa”. Pomysłem zaraził mgr inż. chemika Aleksandra Lassaud'a.

Poczynaniom entuzjastów przyglądał się instruktor nurkowania, mgr inż. hydrotechnik pracujący w Przedsiębiorstwie Robót Czerpalnych. Uznał, że pomysł kabiny MEDUZA może znaleźć praktyczne zastosowanie w pracach podwodnych PRCiP prowadzonych na znacznych głębokościach w górskich hydroelektrowniach. – Dla eksperymentu MEDUZA I twórcy pozyskali grupę ludzi co prawda nie będących naukowcami, lecz wręcz palących się do pomocy przy projekcie. Niestety także nie posiadali oni odpowiedniego przygotowania oraz zabezpieczenia technicznego. Powód był prosty. Ludzie mający wówczas środki tj. wiedzę, laboratoria, zabezpieczenie techniczno-sprzętowe itp. Byli obwarowani przepisami

the concept of Meduza 1 chamber came from. The project was a combination of a patriotic act, as "Poles are not anserine", and also a desire for adventure and venturing into the unknown. The history of Polish bathyscaphe-assisted diving began in 1967, when our first almost handmade underwater diving chamber was built [3].

Poles, similarly to the French, were doing their best to prove that their creativity and inventiveness would solve any problem related to diving. The difference was that in France, at a certain stage, the project received the attention and support of the government and rich French companies. All innovative solutions and ideas that required testing and further research were tested by enthusiasts and people committed to the project on themselves. This was the case with investigating the effects on the diver's body of staying at shallow depths for long periods of time and breathing in compressed air. At that time, no one in Poland had ever tested this before, and the world's experiments in this field were also in their early stages. Many 'wise guys' asserted that A. Dębski was thus putting in danger not only his own life, but that of his colleagues as well. Nevertheless, his amazing ability to persuade and bring together enthusiasts, adventurers and people from the maritime industry enabled the carrying out of projects that led to the extension of divers' working time, so necessary in the maritime sector. Despite the disapproval of many researchers and experts dealing with diving, specialised decompression tables were put together, allowing for the safe use of the new equipment. The first decompression tables for Meduza project were developed by A. Dębski and his team based on scarce data from around the world. They availed themselves of data from the US Navy tables providing times for divers remaining 6 hours under pressure, random data from France and even a methodology for calculating the tables from the Czech company Aqua Cetrum. Geonur 1 programmes used tables developed for Meduza 2 and the Central Institute for Labour Protection [4,5].

MEDUZA 1

It all started with reading press reports informing that French free diving pioneers, Jacques Cousteau and friends, succumbing to the charm of the underwater world, began to dream of a 'homo-aquaticus', i.e. underwater human life. This led to the creation of their 'underwater habitat', a kind of a diving bell called 'Diogenes'. Several divers spent several days in it at 16 metres. Antoni Dębski, a mechanical technician, graduate of the Gdynia Sea Fisheries School, employee of the Gdynia Shipyard, and a member of the Gdańsk Divers' Club 'Poseidon' got extremely interested in what he had read about the French experiment and he started thinking about building a miniature 'Diogenes.' A. Dębski managed to pass on this idea to a chemical engineer, Alexander Lassaud, M.Sc.

The enthusiasts were closely watched by a diving instructor, a hydrotechnical engineer, M.Sc., employed at the Ridging and Underwater Works Company Ltd. [Polish abbr. PRCiP]. He decided that the idea of a Meduza chamber could be useful for the PRCiP's underwater works carried out at considerable depths in mountain hydroelectric plants. For the Meduza 1 experiment, its originators recruited a group of people, who were not scientists but very much wanted to help with the project. Unfortunately, they also lacked the

i ograniczeniami organizacyjnymi. Co więcej, wyznawali oni podejście zachowawcze i nie chcieli wplatać się w „afere”. Natomiast grupa stosunkowo młodych zapaleńców chciała działać, chciała ryzykować.

Budowy MEDUZY podjęło się przedsiębiorstwo PRCiP, natomiast kabinę wybudowała w Stoczni im. Komuny Paryskiej w Gdyni z materiałów odpadowych i po godzinach pracy grupa płetwonurków Zakładowego Oddziału Samoobrony. Projekt opracował zespół w którego skład wchodził: technik Antoni Dębski, mgr inż. Jerzy Kuliński, mgr inż. Aleksander Lassaud. Tak oto sposobem prawie że chałupniczym została wybudowana podwodna kabina nurkowa wykorzystująca sprężone powietrze jako czynnik oddechowy [6]. Przy projekcie MEDUZY i jego praktycznej realizacji trzeba było odrzucić możliwość korzystania ze statku bazy, podobnie jak urządzeń dźwigowych, a tym samym zrezygnować z większych gabarytów. MEDUZA była „kabiną rozbieralną”, którą dało się przewieźć ciężarówką z możliwością montażu ręcznego bezpośrednio na jeziorze [7]. Najważniejsza w tych warunkach stała się możliwość samodzielnego zanurzenia i dowolnej zmiany głębokości regulowanej przez załogę kabiny. Problem ten rozwiązano za pomocą balastu dennego połączonego liną stalową z wciągarką umieszczoną w kabinie. System ten pozwalał na dowolne przeprowadzenie dekompresji w końcowej fazie zanurzenia.

Oto niektóre dane techniczne kabiny:

- Wyporność - 3750 dcm³- przy ciężarze - 2950 kG- ciężar balastu dennego 1300 kG.
- Gabaryty - długość - 220 cm - wysokość - 210 cm.
- Zapas sprężonego powietrza - 24 butle o pojemności wodnej 40 l i 150 atm, w tym 6 butli z 37% zawartością tlenu mieszaniną dekompresyjną i 2 butle z tlenem.
- Urządzenia utrzymania parametrów atmosfery - grzejnik 200W, - pochłaniacz CO z dmuchawą- analizatory gazu.
- Wyposażenie: Telefon przewodowy,- koje do wypoczynku. Wciągarka kabiny napęd ręczny regulowany przez nurków. Zasilanie z lądu 24V z prostownika 400W [6].

Konstrukcja Meduzy zapewniała pierwszym polskim akwanautom warunki delikatnie mówiąc spartańskie. Tzw. habitabilność kabiny odpowiadała habitabilności średniej wielkości dzwonu nurkowego. Jak twierdzili oponenti tego eksperymentu, wykonawcy nie spełnili minimalnych warunków komfortu pracy nurka. Z perspektywy czasu warunki dla nurków faktycznie były niezgodne z obowiązującymi wówczas kanonami. W powodzenie tego eksperymentu wierzyli za to jego uczestnicy, jak i wspierające ich „szaleńczą wyprawę” media.

Kabina MEDUZY zanurzyła się samodzielnie po raz pierwszy na Jeziorze Kłodno 14 lipca 1967 r. o godz. 13:00, natomiast o godz. 18:00 - osiągnięto głębokość 17 m. Na tej głębokości przebywała do godziny 04:00, by następnego dnia o godz. 05:00 rano osiągnąć głębokość 24 m. Głębokość do dna jeziora wynosiła 38 m. Na głębokości 24 m. kabina wraz z załogą (Antoni Dębski i Aleksander Lassaud) przebywała do dnia 17 lipca 1967 r. do godziny 20:00. Od tego czasu rozpoczęto dekompresję skokową. Wynurzenie i wyjście załogi z kabiny nastąpiło o godzinie 13-tej w dniu 18 lipca 1967 r. [7,8]. Podczas pobytu akwanautów odczuwali zimno, w kabinie było

necessary background, training, and technical support. The reason was simple. Those who had the required resources at the time, i.e. the knowledge, access to laboratories, technical means, equipment, etc., had little leeway as they had to observe stringent regulations and organisational ramifications. Moreover, they were rather conservative and did not want to get involved in an 'affair'. In contrast, a group of relatively young enthusiasts wanted to act and were ready to take risk.

The PRCiP agreed to take over the Meduza project and commissioned the Gdynia Shipyard to construct the chamber. Meduza was built from waste materials by divers from the Self-Defence Section after their regular working hours. It was designed by a team comprising: a technician Antoni Dębski, M.Sc., Eng. Jerzy Kuliński, and M.Sc., Eng. Aleksander Lassaud. Thus, one can say that a diving chamber using pressurised air as a breathing medium was almost entirely homemade [6]. When working on the Meduza project, the idea of using a ship as a diving support vessel or lifting equipment had to be completely abandoned, meaning larger dimensions of the chamber were not a viable option. Meduza was a "demountable chamber" that could be transported by truck and manually reassembled directly on the lake [7]. Under such circumstances, the most important was its ability to submerge in water independently and to move at different depths set by the crew. This problem was solved with a bottom ballast connected by a steel cable to a winch inside the chamber. This system allowed any decompression to be carried out at the end of the submersion period.

These are some technical data of the chamber:

- Water displacement volume 3750 dcm³ for the weight 2950 kG, bottom ballast weight 1300 kG,
- Dimensions: length - 220 cm, height - 210 cm,
- Compressed air supply - 24 cylinders with water capacity of 40 l and 150 atm, including 6 cylinders with 37% oxygen decompression mixture and 2 cylinders with oxygen.
- Equipment that maintains normal atmospheric parameters: 200W heater, CO absorber with a blower, gas analysers.
- Equipment: Wired telephone, rest berths, chamber winch with manual drive adjustable by divers. 24V shore power from a 400W rectifier [6].

Medusa's design provided the first Polish aquanauts with conditions that were, to put it mildly, rather spartan. The so-called habitability of the chamber corresponded to that of a medium-sized diving bell. According to the opponents of this experiment, those who built the chamber failed to meet the minimum conditions for diver comfort. With the benefit of hindsight, one needs to admit that the conditions for the divers were indeed incompatible with the then binding standards. Yet, the participants of the experiment and media representatives who supported their 'crazy expedition' believed in its success.

The 'Meduza' chamber dived in water for the first time on Lake Kłodno on 14 July 1967 at 13:00 hrs and reached a depth of 17 m at 18:00 hrs. It remained at this depth until 04:00 hrs to reach 24 m on the next day at 05:00 hrs. The depth of the lake is 38 m. At the depth of 24 m, the chamber with the crew (Antoni Dębski and Aleksander Lassaud) stayed until 20:00 hrs on 17 July 1967 when a stepwise decompression began. The

prawie 100% wilgotność. Posiłki i konieczne materiały donosili im płetwonurkowie [7]. Warty odnotowania jest fakt, że w czasie pobytu na 24 m. załoga obniżyła zawartość procentową tlenu do 10%, a przed rozpoczęciem dekompresji podwy szła do 14% tlenu. W końcu w czasie dekompresji od głębokości 9 m używano nitroksu o zawartości 37% tlenu.

Dane dotyczące dekompresji i pobytu na głębokości 24 m przez 79 godzin plus 17-godzinna dekompresję potwierdzają dokumenty z tego eksperymentu [7,8,9].

Natomiast źródła zagraniczne [10] wyprawę opisują następująco: „Misja planowana pierwotnie na 7 dni została skrócona z powodu problemów z izolacją i niektórymi elementami wyposażenia. Wystąpił również problem z wciągarką podczas zanurzenia, co spowodowało zatrzymanie habitatów na głębokości 24 m. Była to głębokość plateau saturacji zanurzenia trwającego 95 godzin. Dekompresja została osiągnięta poprzez bardzo stopniowe wynurzenie w czasie 53 godzin i 35 minut”. Dane te kolidują z danymi podanymi przez zespół.

Zabezpieczenie medyczne zapewniali lekarze z Instytutu Medycyny Morskiej. Stan psychofizyczny i zdrowotny akwonautów po nurkowaniu był dobry [4,7].

Z wspomnień A. Dębskiego i rozmów przeprowadzonych z nim oraz z pozostałymi członkami zespołu autor wyciągnął wniosek, iż przebieg tego nurkowania był bardzo dramatyczny. Dla zabezpieczenia życia i zadanych parametrów pobytu atmosfery technicznie eksperyment realizowano w sposób podobny do pobytu w komorze, poprzez wentylację i wykorzystanie eklektycznego pochłaniacza, który w fazie dekompresji odmówił posłuszeństwa ze względu na nasycenie sorbentu. Temperatura w kabinie była bliska temperaturze otoczenia a nurkowie ogrzewali się w sposób naturalny, co przy wilgotności sięgającej 100% nie zapewniało wystarczającego komfortu cieplnego. Akwonauty sami obsługiwali czynności mające na celu utrzymanie założonych parametrów atmosfery. Wykonywali pomiary zawartości tlenu wykorzystując aparat Orsata, który w warunkach panującego w kabinie ciśnienia był niedokładny (zasada pracy na podstawie chłonności chemicznej). Skład atmosfery regulowano naturalnie [7].

Obniżenie zawartości tlenu oparte było o zużycie naturalne akwonautów, z przestrzeni, co było pozytywne z punktu widzenia dekompresji. Skład atmosfery był zmienny, gdyż podstawą podtrzymania życia była wentylacja powietrzem z powierzchni, bardzo skąpa na skutek awarii i nieprawidłowej pracy sprężarki, oraz z zapasów butli powietrza umieszczonych na Meduzie. Zapas powietrza z butli stale się zmniejszał na skutek szczelności. MEDUZA posiadała wiele szczelności a zmiana objętości podeszki powietrznej na skutek ubytku powietrza spowodowała opadnięcie na dno podczas dekompresji. Pływalność została przywrócona przy dużym wysiłku i stresie załogi, gdyż istniała obawa wypłynięcia na powierzchnię lub zaplątania liny i braku możliwości powrotu do wymaganego położenia w toni wodnej.

Realizacja dekompresji obliczonej przez samych akwonautów przewidywała przystanki dekompresyjne co 3 m, (począwszy od 21m) i czasie trwania 55 minut. Na 9 metrach po 2 godzinach 50' miało nastąpić przejście na mieszaninę nitroksową o zawartości tlenu 37% podawaną z butli do kabiny. Taka operacja podnosiła zawartość tlenu do 28-33% w atmosferze. Po 8 godzinach dekompresji na 6-u metrach załoga oddychała tlenem bezpośrednio

chamber emerged and the crew left the chamber at 13:00 hrs on 18 July 1967 [7,8]. During their stay inside the chamber, where the humidity reached almost 100% the aquanauts felt cold. They were supplied with meals and all necessary materials by assisting divers [7]. Notably, when they were at the depth of 24 m, the crew reduced the percentage oxygen content to 10% and increased it to 14% before decompression. In the final phase of decompression from 9 m depth, nitrox with 37% oxygen was used.

Decompression-related data and the stay at a depth of 24 m for 79 hours plus a 17-hour decompression are confirmed by the documents and log data from this experiment [7,8,9].

This is how foreign sources [10] described the expedition: *“The mission, originally planned for seven days, was cut short due to problems with insulation and some of the equipment. There was also a problem with the winch during the immersion, which caused the habitat to stop at 24 m. This was the saturation plateau depth of the immersion lasting 95 hours. Decompression was achieved by a very gradual emersion over 53 hours and 35 minutes.”* This is in conflict with the data provided by the team.

Medical supervision over the mission was provided by physicians from the Institute of Maritime Medicine. The psycho-physical and health condition of the aquanauts after the dive was good [4,7].

From the recollections of A. Dębski and the interviews conducted with him and the other team members, the author concluded that the course of this dive was very dramatic. In order to safeguard life and maintain the pre-set ambient parameters, technically the experiment was carried out as if they stayed in the chamber, through ventilation and the use of an eclectic absorber, which in the decompression phase refused to work due to the saturation of the sorbent. The temperature in the chamber was close to that of the ambient and the divers used the heat generated by their bodies, which, with humidity reaching 100%, did not provide sufficient thermal comfort. Aquanauts themselves carried out activities intended to maintain the pre-set ambient parameters. They measured the oxygen content using the Orsat apparatus, which performed rather inaccurately considering the pressure in the chamber (the apparatus working principle is based on chemical absorption). The composition of the atmosphere was regulated naturally [7].

The reduction in oxygen content was the effect of its natural consumption by aquanauts, which was positive from a decompression point of view. The composition of the atmosphere varied, as the life support function was played by ventilation by air from the surface, very sparse due to compressor failure and malfunction, and from air cylinders stored on Meduza. The air cylinder supplies were constantly diminishing due to leaks. There were many leaks in Meduza and the change in air cushion volume due to the loss of air caused it to sink to the bottom during decompression. The crew managed to restore the buoyancy for which they paid with a great deal of effort and stress as there was a fear of surfacing or braiding the line and not being able to return to the required position deep in the water.

To carry out decompression in accordance with the aquanauts own calculations, 55-minute decompression stops were planned every 3 m, (starting at 21 m). At 9 m, after 2 hours 50' they were to switch to a nitrox mixture with an oxygen content of 37% administered from the cylinder into the chamber. The

z butli, podawanym przy użyciu wężyka w okolice ust. Atmosfera w przerwach tlenowych zawierała podwyższoną zawartość tlenu, by na stacji 3 m przejść na oddychanie tylko powietrzem. Takie warunki poprawiały jakość dekompresji, ale równocześnie wprowadzały zagrożenie toksyczności tlenowej [5,7,8].

Pożywienie dla akwonautów donosili płetwonurkowie dyżurni w szczelnych „bańkach” tak, że podczas tej operacji gorący posiłek stygł. Napoje gorące podawane w termosach były radością uczestników eksperymentu.

Po eksperymencie opinia naukowa i publiczna podzieliła się na dwie radykalne grupy ostro krytykujących i wspierających przedsięwzięcie. Najlepszą prasę miał eksperyment w literaturze i prasie zagranicznej. Osobiście uważam, że nie należało się obrażać na entuzjastów, lecz miast tego wykorzystać ich doświadczenie do działań w warunkach ekstremalnych i uznać ich wkład w tą wtedy ledwo raczkującą dziedzinę batynautyki jaką jest nurkowanie saturowane. Wielu znawców przedmiotu oburzało się na poczynania realizatorów tego eksperymentu zarzucając im nieznamość przedmiotu i brak odpowiedzialności. Wyrażali też oburzenie brakiem reakcji Państwa na ich działania. Większość tych uwag dotyczyła reakcji po eksperymencie i po nagłośnieniu go przez prasę. Eksperyment, jak mówili oponenty z tzw. „branży” odbył się na poziomie klubowym, przy udziale nieświadomych profesjonalnych lekarzy. Istniała też druga strona medalu, która pomijając sensoryjny watek tej sprawy nagradzała realizatorów wieloma nagrodami za inwencje i kreatywność. Przykładem tuaj niech będzie nagroda Naczelnej Organizacji Technicznej.

Mimo tak „prymitywnych” i trudnych warunków, realizacji oraz niedoskonałości z punktu widzenia metodyki badań naukowych MEDUZA I pokazała ludziom przemysłu i nauki zajmującymi się pozyskiwaniem bogactw z morza oraz budującym obiekty w środowisku wodnym, nowe doskonalsze narzędzie, dające szersze możliwości badań w tej dziedzinie. Tak oto wbrew piętrzącym się przeciwnościom podczas realizacji projektu MEDUZY I pasja i wyobraźnia sprawiły, iż nasz kraj zapisał się w światowej czołówce w dziedzinie rozwiązywania problemu długotrwałego przebywania człowieka w warunkach podwyższonego ciśnienia.

MEDUZA II

Następny etap zwany MEDUZA II został rozpoczęty tuż po zakończeniu eksperymentu z MEDUZA I. Budowy podjęło się Przedsiębiorstwo Robót Czerpalnych i Podwodnych w Gdańsku. Z rozpoznania rynku potrzeb wynikało, że istnieje możliwość praktycznego zastosowania tego typu urządzeń w różnych rodzajach długotrwałych prac podwodnych, tak na morzu jak i na śródlądziu. W związku z tym konstruktorzy, (z A. Dębskim ponownie na czele) zaprojektowali podwodny habitat o większej objętości i z większym komfortem socjalnym przeznaczony dla 3-ch nurków. Kadłub MEDUZY II była to konstrukcja spawana z blachy stalowej o grubości 5 i 8 mm. Długość 3,6 m szerokość 2,20 m, wysokość wewnętrzna 1,8 m.

Wyporność – Ciężar – Ciężar z balastem – Objętość
3750 dcm³ - 2950 kg - 8000 kg - 9 m³

operation would raise oxygen content in the atmosphere to 28-33%. After 8 hours of decompression at 6 m, the crew was breathing oxygen directly from the cylinder, administered with a hose to the mouth area. During oxygen breaks, the content of oxygen in the atmosphere increased to the levels that prevented the crew from switching to breathing air only at the 3 m stop. Such conditions improved the quality of decompression, but at the same time triggered the risk of oxygen toxicity [5,7,8].

Food for the aquanauts was delivered by assisting divers in sealed 'bubbles' but hot meals were getting cold during this operation. Hot drinks served in thermoses brought the participants of the experiment the only moments of joy and warmth.

After the experiment, scientists and public opinion got divided into two radical groups of strong opponents and enthusiasts of the venture. The experiment received very positive international media coverage. I personally believe that we should not have taken umbrage at the enthusiasts, but instead take advantage of their experience in working in extreme conditions and appreciate their contribution to the then barely fledgling field of saturation diving. Many experts on the subject were outraged at the actions of those carrying out this experiment, accusing them of ignorance and lack of responsibility. In addition, they were upset by the lack of government interference with what had happened. Most of these comments concerned the ex-post reaction after the experiment had received media attention. As asserted by the opponents from the so-called "industry", the experiment was a sort of club event involving professional doctors unaware of what they participated in. There was also the other side of the coin, where the sensationalist aspect of the case was put aside and those who carried out the experiment got awarded with numerous prizes for their ingenuity and creativity, e.g., with the award of the Supreme Technical Organisation [Naczelna Organizacja Techniczna].

Despite such "primitive" and difficult conditions in which the experiment took place and a series of research and methodological shortcomings, Meduza 1 demonstrated to people from industrial and academic circles dealing with the extraction of resources from the sea and carrying out construction works in the maritime environment, that there is a new and improved tool that offers more opportunities for research in this field. Thus, in spite of the adversities piling up during the Meduza 1 project, passion and imagination have made our country one of the world leaders in solving the problem of prolonged human habitation under elevated pressure.

MEDUZA 2

The next stage, called 'Meduza 2' began shortly after the completion of the experiment with 'Meduza 1'. The Ridging and Underwater Works Company in Gdansk took on the construction of the chamber. Market needs analysis showed that such equipment may be of practical use in various types of long-term underwater work, both at sea and in inland waters. Consequently, the constructors, (this time also led by A. Dębski) designed an underwater habitat larger in volume and offering greater social comfort for three divers. The hull of Meduza 2 was a welded construction of 5 and 8 mm thick steel sheets. It was 3.6 m long, 2.20 m wide and had an internal height of

Objętość przedziału Meduzy mieściła się w objętościach dzwonów nurkowych stosowanych w systemach nurkowych do nurkowań głębokich i saturowanych.

Część ciśnieniowa była podzielona na dwie sekcje, jedną do wypoczynku (w tym celu wyposażono przedział w koje oraz muszlę toaletową), drugą do pracy (gdzie znajdował się system komunikacji i wciągarka linowa). Cechą wyróżniającą konstrukcję było umożliwienie korzystania z niej także nurkom klasycznym.

Opracowany przez realizatorów program tygodniowego zanurzenia na głębokości 24m napotkał na wiele trudności natury prawnej. Sam projekt kabiny podwodnej, „zanurzalny habitat” jak go wtedy nazywano, został oceniany przez kilkunastoosobowy zespół z Instytutu Morskiego w Gdańsku. Program zanurzenia nie został nigdy formalnie zatwierdzony ani zaopiniowany. Jedynym dowodem „przychylnej opinii” ze strony Instytutu Medycyny Morskiej była taśma z nagraniem rozmowy z dr L. Łabą dotyczącej planowanej dekompresji.

Po pokonaniu wielu trudności natury prawnej, organizacyjnej oraz przekonaniu otoczenia i sponsorów, dnia 9 listopada 1968r. o godzinie 1830 MEDUZA II rozpoczęła zanurzenie w rejonie redy portu na Helu. Zanurzeniu asystował statek ratowniczy PRO KORAL, z którego podawano energię elektryczną, sprężone powietrze oraz przesyłano ciepłe posiłki dla załogi kabiny w specjalnych pojemnikach. MEDUZA II była większa w porównaniu z MEDUZĄ I, miała pojemność 9,4 m, co wystarczało do stworzenia w miarę znośnych, ale wciąż nie komfortowych warunków życia dla trzyosobowej załogi. Habitat posiadał elektryczne ogrzewanie i oświetlenie, dwie klasyczne koje i jedna rozkładana, urządzenia sanitarne i system podtrzymywania życia zdolny do samodzielnego utrzymania trzech akwautów przez 50 godzin. Balast w MEDUZIE obsługiwała wciągarka linowa o uciążu 1,5 t z podczepionym do liny balastem dennym.

Wciągarkę uruchamiano za pomocą dźwigni operowanej przez załogę wewnątrz kabiny, co umożliwiło samodzielne zanurzenie i dowolną zmianę głębokości. Było to istotne przy ustawianiu habitatu na głębokości pożądanej dla dekompresji. Wyposażenie elektryczne przedziału mieszkalnego zawierało grzejnik 200 W, pochłaniacz dwutlenku węgla z wentylatorem 60 W i oświetlenie 25 W. Habitat posiadał także baterie akumulatorów dla celów awaryjnych. Łączność z bazą habitatu utrzymywano przy pomocy łączności przewodowej i hydroakustycznej. Powietrze i energia elektryczna dostarczane były ze statku zabezpieczającego. Zasilanie elektryczne z bazy wymagało napięcia 24 V z prostownika 400. Przedział mieszkalny wyposażony był w proste przyrządy do pomiaru parametrów atmosfery, zawartości dwutlenku węgla i tlenu (rurki wskaźnikowe) oraz higrometr i termometr [7,8].

Poza tym MEDUZA II posiadała swój własny zapas sprężonego powietrza w postaci 4 butli o pojemności wodnej 40dm³ (150 atm) oraz osobne 2 butle z tlenem przewidzianym na okres końcowej fazy dekompresji. System regeneracji atmosfery opierał się na wewnętrznej regeneracji (pochłaniacz CO₂) i wentylacji powietrzem. Jak podkreśla literatura zagraniczna „regeneracja atmosfery musiała być bardzo wydajna, ponieważ jeden z akwaut w palił w przedziale mieszkalnym przez cały okres 7-dniowej misji”. Warunki panujące w przedziale mieszkalnym. MEDUZY II

1.8 m.

Displaced volume - Weight - Weight with ballast
3,750 dcm³ - 2,950 kg - 8,000 kg - 9 m³

The volume of Meduza compartment remained within the range of diving bells volumes used for deep dives and saturation diving.

The high pressure section was divided into two parts, one for relaxation (for this purpose the compartment was equipped with berths and a toilet bowl) and the other for work (where the communication system and rope winch were located). What was distinctive of the design was the possibility to use it for classic diving purposes.

The programme of weekly immersion at a depth of 24 m developed by the team participating in the experiment was faced with many legal difficulties. The design of the submersible chamber, the 'submersible habitat' as it was then called, was evaluated by a team of a dozen people from the Maritime Institute in Gdańsk. The programme of submersions was never formally approved or given an opinion. The only evidence of a 'favourable opinion' from the Maritime Institute was a tape recording of a conversation with dr L. Łaba regarding the planned decompression.

Having overcome many difficulties of a legal and organisational nature and having convinced people around and sponsors, on 9 November 1968 at 18:30 Meduza 2 started to descend at the Hel harbour roadstead. The submersion was assisted by the rescue ship PRO KORAL, from which electricity, compressed air and hot meals were supplied to the chamber crew in special containers. Meduza 2 was larger compared to Meduza 1, with the capacity of 9.4 m, which was sufficient to offer reasonably bearable but still not comfortable living conditions for the three-man crew. The habitat had electric heating and lighting installation, two conventional and one folding berths, sanitary facilities and a life support system capable of sustaining three aquanauts for 50 hours. The ballast in Meduza was operated by a 1.5 t rope winch with the bottom ballast hooked up to the rope.

The winch was operated by a lever operated by the crew inside the chamber, which allowed independent submersion and any depth change. This was important when setting the habitat at the desired depth for decompression. The electrical equipment in the habitat compartment included a 200 W heater, a carbon dioxide absorber with 60 W fan and 25 W lighting. The habitat also had battery packs for emergency purposes. Communication with the diving support vessel (floating base) of the habitat was maintained using wired and hydroacoustic communications. Air and electricity were supplied from the diving support vessel. The electrical supply from the floating base required 24 V from a 400 rectifier. The habitat compartment was equipped with simple devices measuring atmospheric parameters, carbon dioxide and oxygen content (indicator tubes), as well as a hygrometer and thermometer [7,8].

In addition, Meduza 2 had its own compressed air supply in the form of 4 cylinders with water capacity of 40dm³ (150 atm), and separate 2 cylinders of oxygen for the final decompression phase. The atmospheric regeneration system relied on internal regeneration (CO₂ absorber) and air ventilation. As highlighted in international literature, "the atmospheric regeneration must have been very efficient because one of the aquanauts smoked in the habitation compartment

charakteryzowały się niską temperaturą (około 17°C), przy wilgotności względnej 90-95%, co czyniło atmosferę mało komfortową. Zanurzenie MEDUZY na głębokość 26m przy użyciu tylko sprężonego powietrza było za głębokie ze względu na przekroczenie dopuszczalnego ciśnienia parcyjnego tlenu. W eksperymencie stosowano naturalne obniżanie tego ciśnienia, poprzez zmniejszanie jego koncentracji wskutek zużycia tlenu przez akwonautów.

W pierwszym okresie załogę stanowili Antoni Dębski i Jerzy Kuliński. Następnego dnia o godzinie 11:00 na głębokości 16 m dołączył nurek zawodowy Bogdan Bełdowski w sprzęcie klasycznym. Na tej głębokości spędzono noc ze względu na awarię wciągarek. Głębokość 24 m osiągnięto dopiero 10 listopada o godzinie 15:15. Głębokość akwenu w miejscu posadowienia balastu dennego wynosiła 45 m. Wrak okrętu który planowo mieli eksplorować akwonauty znajdował się około 60 m od balastu dennego, a głębokość przy wraku wynosiła 50 m. Wielokrotnie wychodzono z MEDUZY II na penetrację i badanie dna oraz w celu filmowania wraku. Misje na penetrację dna i na wrak odbywały się bez potrzeby dekompresji, lecz planowany 4 godzinny pobyt nurków w toni wodnej musiał być skrócony do około 1,5 -2 godz. ze względu na słabe własności izolacyjne skafandrów nurkowych [7].

Po 159 godzinach pobytu pod wodą (w tym 22,5 godziny dekompresji) kabina MEDUZA II wynurzyła się na powierzchnię o godzinie 09:00 16 listopada 1968 r. Dekompresja odbywała się na stacjach co trzy metry, a dłuższe przystanki z tlenem odbywały się na głębokościach 9 m, 6 m i 3 m (w sumie 22 godziny). Tabele opracowane były przez zespół autorski mgr inż Aleksander Lassaud przy współpracy Dębskiego oraz lek. med. Stanisława Korzeniowskiego jako ekstrapolacja danych z nurkowych tabel dekompresyjnych.

W ekipie akwonautów znajdował się wyżej już wspomniany nurek zawodowy, pracownik Polskiego Ratownictwa Okrętowego. Podczas dekompresji lekarz tej firmy zażądał, by B. Bełdowski został wysłużowany, ubrany w sprzęt klasyczny i dekompresowany według dekompresji firmowej w wodzie. Jak ta dekompresja miała wyglądać w praktyce jest wiele teorii. Wykonawcy odrzucili tę sugestię. Po dłuższych sporach realizowano dekompresję wg wcześniej przyjętego sposobu [7].

Ekipa nurków asekuracyjnych na pokładzie KORALA pełniła także funkcje zabezpieczenia technicznego i logistycznego. Do jej obowiązków należało dostarczanie posiłków, filmowanie od zewnątrz oraz usuwanie usterek technicznych. Pożywienie dla akwonautów i tym razem donosili płetwonurkowie dyżurni w szczelnych pojemnikach. Podobnie jak podczas eksperymentu z MEDUZA I, podczas tej operacji gorący posiłek stygł. I po raz kolejny napoje gorące podawane w termosach były radością uczestników eksperymentu. Lekarzem ekipy był dr Stanisław Korzeniowski. Na czas wynurzenia przybył również dr L. Łąba lekarz nurkowy Polskiego Ratownictwa Okrętowego.

W informacjach historyków nurkowania ten 7-mio dniowy eksperyment odbył się na głębokości 85,3 stóp (26 m) W czasie jego trwania trzyosobowa załoga pracowała na wraku przez 4 godziny, każdego dnia na głębokości 164 stóp (50 m). Co ciekawe, ten czas zejścia odpowiada dokładnie zmodyfikowanym czasem zejścia NOAA-OPS opisanym w rozdziale 8 i zawartym w Miller (1979). Projekt MEDUZA II był sponsorowany przez PRCIP i stanowi jedną z najwcześniejszych misji roboczych wykorzystujących nurkowanie saturowane.

throughout the entire 7-day mission". Conditions in the habitat compartment of Meduza 2 were characterised by low temperatures (around 17°C) at relative humidity of 90-95%, making the atmosphere uncomfortable. It was impossible to take Meduza 2 to 26 m underwater using compressed air only as that would lead to exceeding the allowable oxygen partial pressure. In the experiment this pressure was lowered naturally by reducing oxygen concentration through its consumption by the aquanauts.

In the first period the crew consisted of Antoni Dębski and Jerzy Kuliński. The next day at 11:00 at the depth of 16 m they were joined by a professional diver Bogdan Bełdowski in classic equipment. They spent a night at this depth due to the failure of the winches. The 24 m depth was not reached until 10 November at 15:15 hrs. The depth of the basin at the location of the bottom ballast was 45 m. The wreck of the ship that the aquanauts were scheduled to explore was about 60 m from the bottom ballast and the depth at the wreck was 50 m. The divers left Meduza 2 on a number of occasions to penetrate and explore the bottom and to film the wreck. These missions did not require decompression, but the 4-hour stay underwater originally planned for divers had to be reduced to about 1.5 -2h due to the poor insulating properties of the diving suits [7].

After 159 hours underwater (including 22.5 hours of decompression), the Meduza 2 chamber surfaced at 09:00 on 16 November 1968. Decompression took place at stations located every three metres and longer oxygen stops were made at depths of 9 m, 6 m and 3 m (22.0 hours in total). The tables were developed by Aleksander Lassaud, M.Sc. in collaboration with A. Dębski and Stanisław Korzeniowski, M.D., as an extrapolation of data from the diving decompression tables.

The aquanaut team included the aforementioned professional diver, an employee of Polskie Ratownictwo Okrętowe [Polish Ship Salvage Co.]. During decompression, the doctor from this company demanded that B. Bełdowski was buoyed up, dressed in classic equipment and decompressed according to the company's decompression protocol in water. There are many theories explaining what this decompression was supposed to look like in practice. Ultimately, the aquanauts rejected this suggestion. After prolonged disputes, decompression was carried out in line with the previously accepted method [7].

The team of divers who supported them on board of KORAL also performed technical and logistical security functions. Its duties included delivering food, filming from the outside and fixing technical faults. Food for the aquanauts was also this time delivered in sealed containers by divers from the support team. As during the Meduza 1 experiment, hot meals were getting cold during this operation. And once again, hot drinks served in thermoses brought the participants the only moments of joy. The team's doctor was Dr Stanisław Korzeniowski. For the time of coming to the surface, Dr L. Łąba, a physician and diver of the Polish Ship Rescue Service, joined the team.

According to historians of underwater diving, this 7-day experiment took place at a depth of 85.3 ft (26 m). Over its duration, the three-man crew worked on the wreck for 4 hours every day at a depth of 164 ft (50m). Interestingly, this time of going underwater corresponds exactly to the modified NOAA-OPS descent times described in Chapter 8 of Miller's Diving Manual (1979). The Meduza 2 project was sponsored by the Ridging and

Czas dekompresji na zakończenie misji wyniósł 22 godziny, czyli mniej niż połowę czasu wymaganego w przypadku MEDUZY I, gdzie głębokość plateau saturacji była w rzeczywistości o 2 m (6,6 stopy) większa. Siedlisko MEDUZY II zostało prawdopodobnie wykorzystane do innych projektów roboczych w ciągu następujących pięciu lat [1].

Po reklamie, jaką miała MEDUZAII posypały się zagraniczne oferty, które zgaszono barierami administracyjnymi. Po tym eksperymencie rozpoczęły się dyskusje: jak usprawnić MEDUZĘ II tak, by mogła mieć praktyczne zastosowanie przy pobieraniu próbek i badaniu gruntu, jak i by zapewnić bezpieczeństwo nurkom. Wśród problemów podnoszonych przez oponentów głównymi zarzutami było odejście od tzw. dobrej praktyki nurkowej, brak metodyki badań dekompresji, oraz ogólnie podstaw formalnych działania nurkowania saturowanego. W problemy te zaangażowały się wszystkie instytucje państwowe zajmujące się gospodarką morską oraz wiodące przedsiębiorstwa usług podwodnych. Pomimo dobrych wyników opisanego eksperymentu i zainteresowania nimi nie tylko w kraju MEDUZA II nie od razu znalazła zastosowanie praktyczne.

Praca MEDUZY II pokazała wiele aspektów podwodnej pracy długotrwałej, takich jak wielogodzinna praca nurków w toni wodnej, przystosowanie konstrukcyjne podwodnego habitatu do prac badawczych a szczególnie pobierania próbek (wiercenie podwodne), odizolowanie przedziałów mieszkalnych habitatu od wpływu falowania, szczególnie na małych głębokościach, określenie autonomiczności w przypadku, gdy baza nawodna zabezpieczająca nie ma możliwości stabilnego postoju nad miejscem zabezpieczenia. Również ważnym było opracowanie formalne wymagania technicznego i organizacyjnego w wyposażenie i urządzenia podstawowe oraz awaryjne, pomiarowe a także zagadnienia autonomiczności. Firmy do wykorzystania MEDUZY II żądały pełnej dokumentacji i zatwierdzonych metod nurkowania. Dlatego też następnym użycie MEDUZY II nastąpiło w 1972 r. na żądanie nowego właściciela OBRBWI „Hydrobudowa”, w jeziorze Ostrzyckim. Rezultatem tych prób była modernizacja w celu dostosowania przedziału mieszkalnego do prac i badań geologicznych, w tym przystosowania do prac na otwartym morzu w warunkach dużego i częstego falowania, grożącego zalewaniem przy otwartym górnym wlocie. Równoległe próbnymi wykonano zalecenia techniczne i organizacyjne dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy podczas nurkowania jak to nazywano w „kabinie nurkowej”. Głównymi zmianami w konstrukcji MEDUZY II były:

- zmiana kształtu przedziału i balastu dla uproszczenia obsługi i cech manewrowych,
- wyposażenia kabiny w górny wloc i dolny wloc oraz nową wciągarkę,
- podzielenie na dwie części, przedział mieszkalny i roboczy,
- zmiana podłączenia zbiornika balastowego,
- zamontowano: reflektor 100 W,
- zamontowano hak holowniczy,
- wyposażenie kadłuba zewnętrznego w barierki i trape zejściowy,
- przystosowanie do korzystania przez nurków klasycznych.

Zalecenia bezpieczeństwa przygotował uczestnik tych prób lek. med. Krzysztof Kuszewski, instruktor nurkowania amatorskiego.

Underwater Works Company and represents one of the earliest working missions using saturation diving.

Decompression time at the end of the mission was 22 hours, less than half the time required for Meduza 1, where the saturation plateau depth was actually 2 m (6.6 ft) greater. The Meduza 2 habitat was most probably used for other projects over the next five years [1].

After the publicity that Meduza 2 received, offers from abroad started pouring in, but they crashed against the wall of insurmountable administrative hurdles. The experiment triggered various discussions about how to improve Meduza 2 so that it could have practical applications in sampling and ground research, as well as ensuring the safety of divers. Among the problems raised by opponents, the main objections were the departure from so-called good diving practice, the lack of a methodology for testing decompression, and the absence of formal basis for saturation diving in general. These problems involved all state institutions dealing with marine economy and leading underwater service companies. Despite the good results of the described experiment and the interest in them that exceeded national borders, Meduza 2 did not immediately find practical application.

The experience of Meduza 2 revealed many aspects of long-term underwater work, such as divers working for many hours in the depths of water, the structural adaptation of the underwater habitat for research work and especially for sampling (underwater drilling), the isolation of the habitat's living compartments from the effect of waves, especially at shallow depths, the identification of autonomy when the floating base cannot be anchored at a stable location above the secured diving site. Another important aspect consisted in adopting formal technical and organisational requirements concerning basic as well as emergency equipment, measurement devices, and the issue of autonomy. Companies willing to use Meduza 2 required full documentation and approved diving methods. Therefore, the next use of Meduza 2 took place in 1972 at the request of the new owner of OBRBWI "Hydrobudowa", in Lake Ostrzyckie. These attempts led to the adaptation of the accommodation compartment for geological works and research, including adaptation for open sea work when one has to cope with high waves of high frequency that threaten to flood the habitat if the upper hatch is open. In parallel with the trials, technical and organisational recommendations were made for the health and safety of diving in, as it was called, the 'diving chamber'. Major changes to the Meduza 2 design included:

- new shape of the compartment and ballast intended to simplify handling and enhance manoeuvring features;
- providing the chamber with an upper hatch and a bottom hatch and a new winch;
- splitting the habitat into living and working compartments;
- changing the connection of the ballast tank;
- adding 100 W headlight;
- adding a towing hook;
- the outer hull was equipped with railings and descent gangway;
- adaptation for use by classic divers.

Safety recommendations were drafted by a physician, doctor Krzysztof Kuszewski, a amateur diving instructor who took part in these trial tests. This was the first document standardising the Polish habitat-

Był to pierwszy dokument normujący polskie doświadczenia z habitatem uwzględniający tzw. dobrą praktykę nurkową. Wiele wymagań opracowywano od zera [6]. Wybrane zalecenia punktów powyższych założeń (pisownia oryginalna) to:

- Kabina może być używana do prac podwodnych przy maksymalnej głębokości zanurzenia 25 m. Nurkowie mogą wykonywać prace do głębokości 40 m.
- Zasilanie podczas normalnej pracy następuje sprężonym powietrzem z pokładu statku bazy:
- ✓ powietrze to odpowiadać musi normom powietrza nurkowego,
- ✓ istnieć musi możliwość podłączenia w razie awarii sprężarki zapasowej,
- ✓ wentylacja kabiny musi być taka, aby skład powietrza nie różnił się od normy,
- ✓ Między bazą a kabiną musi być utrzymywana łączność za pomocą radiotelefonu, telefonu nurkowego oraz awaryjnie telefonu typu wojskowego. 79
- Przyrządy kontrolne kabiny muszą pozwalać na pomiar następujących wartości:
- ✓ ciśnienia wewnątrz kabiny, głębokości zanurzenia, poziomu CO₂ w kabinie, poziomu CO w kabinie wilgotności, temperatury, czasu, kontrola ciśnienia w kabinie musi być możliwa również z bazy.
- Urządzenie ustalające głębokość zanurzenia kabiny musi mieć dodatkowe wyposażenie w razie awarii (druga wciągarka).

W zabezpieczenie nurkowania,

- Posiadać sprężarkę do napełniania aparatów nurkowych oraz 10 aparatów.
- Komora musi mieć możliwość zasilania tlenem.
- Posiadać baterię 10 butli 40-litrowych ze sprężonym powietrzem oraz 2 butle 40-litr z tlenem medycznym.
- Baza posiadać musi inhalator tlenowy, który nadawać się musi do transportu chorego nurka.
- W miarę możliwości baza powinna być wyposażona w komorę dekompresyjną transportową.
- Praca załogi kabiny wynosi 8 godzin dziennie wraz z przygotowaniem. Jednorazowe opuszczenie kabiny nie może być dłuższe niż 90 minut.
- ✓ Pełnione są 4 godzinne wachty w kabinie przez całą dobę.
- ✓ Dekompresja załogi odbywać się musi wg ustalonego z góry schematu. Kieruje dekompresją lekarz, którego decyzje są ostateczne. Lekarz obowiązany jest przed rozpoczęciem prac podwodnych ustalić schemat hospitalizacji nurków (miejsce, transport, łączność).

Nurkowania z MEDUZY I i MEDUZY II były z definicji nurkowaniem saturowanymi. Podczas wykorzystania dla celów komercyjnych nurkowania z Meduzy II można nazwać nurkowaniem przejściowymi lub krótkotrwałymi o długim czasie przebywania nurków pod ciśnieniem. Czas ekspozycji na głębokości pracy wynosił kilka godzin (4 do 10). W tym czasie nazywano ten rodzaj nurkowania „nurkowaniem subsaturowanymi”. Co było przyczyną takiego rozwiązania? W ocenie autora,

related experience and taking so-called ‘good diving practice’ into account. Many requirements were developed from scratch [6]. Selected recommendations are presented below (original spelling):

- The chamber can be used for underwater works at the maximum depth of 25 m. Divers can work at depths not bigger than 40 m.
- During normal work the chamber is supplied with compressed air from the floating base:
- ✓ air must meet the norms for breathing air for divers,
- ✓ there must be a possibility to connect a backup compressor in case of failure,
- ✓ chamber ventilation must guarantee air composition as laid down in the standard.
- ✓ Communication must be maintained between the floating base and the chamber by means of a radio telephone, a diver phone and, in emergency cases, a field telephone. 79
- Control devices in the chamber must allow for the measurement of the following values:
- ✓ pressure inside the chamber, the depth of submersion, CO₂ content in the chamber, CO content in the chamber, humidity, temperature, time; pressure in the chamber must also be controlled from the diving support vessel.
- A device that identifies the depth of the chamber submersion must be provided with additional emergency equipment (the second winch).

Ensuring security and safety of diving operations,

- Air compressor for filling diving cylinders and 10 cylinders.
- The chamber must be fit for being supplied with oxygen.
- A stock of 10 40-litre cylinders with compressed air and 2 40-litre cylinders with medical oxygen.
- The floating base must be equipped with portable oxygen inhaler that can be used to transport an injured diver.
- If possible, the floating base should also be equipped with a decompression transport chamber.
- Chamber crew work 8 hours a day, including the time of preparations. A single descent of a chamber may not last more than 90 minutes.
- In the chamber 4-hour watches are performed around the clock.
- Crew decompression must follow a pre-set protocol. It shall proceed under the supervision of a physician whose decisions are final. Before the start of underwater works, the physician is obliged to specify details of the hospitalization of divers (where, means of transport, communication).

Meduza 1 and Meduza 2 dives were by definition saturation dives. When used commercially, the Medusa 2 dives could be called transient or short duration dives with divers spending long time under pressure. Exposure time at working depths was several hours (between 4 and 10). At the time, this type of diving was referred to as ‘sub-saturation dives’. What was the reason for this arrangement? According to the author, the following factors contributed to it:

- research works required the habitat to be moved to another position, which in turn

złożyły się na to następujące czynniki:

- prace badawcze wymagały zmiany położenia habitatu, co z kolei wymagało wynurzenia i przestawienia habitatu. Należy pamiętać, że MEDUZA II położenie swoje w toni opierała o balast regulowany liną łączącą przedziały habitatu,
- warunki pracy i wypoczynku nurków w tym habitacie nie zapewniały im pełnego komfortu - prace przy pobieraniu próbek były pracami męczącymi, co wymagało zmian ekipy,
- brak przekonania do tego typu nurkowań przy równoczesnym zapotrzebowaniu na tak długie prace,
- na małych głębokościach usługa z wykorzystaniem habitatu była nie ekonomiczna.

Habitat MEDUZA II wykorzystano przy budowie Portu Północnego w Gdańsku. Przedsięwzięcie to wymagało pracy nurków na małych głębokościach, do 20m. Prace te dotyczyły pobierania rdzeniowych próbek dna, oraz badania twardości i nośności dna przed utwardzaniem i po utwardzaniu metodą wybuchową. MEDUZA II pracowała również na zlecenie Instytutu Geologicznego w Sopocie na Bałtyku w strefie głębokości do 60 m (w tym czasie ta głębokość była maksymalną do której można było stosować powietrze jako czynnik oddechowy) przy pobieraniu próbek dna mających na celu poszukiwanie rzadkich minerałów [4].

- required the habitat to ascend to the surface and be repositioned. One needs to bear in mind that
- Meduza 2 position in the depths of water was achieved through the ballast adjusted by a rope connecting the habitat compartments,
- working and resting conditions of the divers in this habitat did not provide them with full comfort,
- sampling was a strenuous work, which required team shifting,
- lack of belief that this type of diving is really necessary although there was demand for such long underwater works,
- at shallow depths the service using the habitat was not economically viable.

Meduza 2 habitat was used in the construction of the Port Północny (Northern Port) in Gdańsk. This project required divers to work at shallow depths of up to 20 m. The work involved taking samples of sediment cores from the bottom and testing the hardness and bearing capacity of the bottom before and after explosion hardening. Meduza 2 also worked for the Geological Institute in Sopot in the Baltic Sea in the depth zone down to 60 m (at the time, this depth was the maximum up to which air could be used as a breathing medium) for bottom sampling aimed at searching for rare minerals [4].



Fig. 1 Meduza 2 after modernisation.

Rys. 1 Meduza II po modernizacji.

GENOUR I 1975-1980

Niedostatki i wady MEDUZY II miała usunąć następna konstrukcja habitatu dla celów wierceń na głębokościach, zaprojektowana i pod auspicjami Polskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk o Ziemi (PTPNoZ). GEONUR został zaprojektowany przez Antoniego Dębskiego i wybudowany w Stoczni im. Komuny Paryskiej w Gdyni na zlecenie wyżej wspomnianej organizacji. W praktyce okazało się, że prace wiertnicze pod wodą można kontynuować tak długo, jak długo statek baza może podawać energię elektryczną. Innymi słowy zależało to od stanu morza, który pozwalał utrzymać się na kotwicy.

Kształt tego habitatu przystosowany był do wierceń metoda udarową i przypominał kształt obudowanej wieży wiertniczej. Powstała więc podwodna wieża wiertnicza, której wysokość wynosiła 8 m, szerokość u podstawy 4,20 m, szerokość komory roboczej 3 m., wyporność całkowita - 33 T, a masa całkowita 24 t. GEONUR I miał rozwiązać problem wierceń na średnich głębokościach oraz dodatkowo miał służyć do prowadzenia działań ratowniczych, budowlanych i naprawczych, a także do wspierania badań biologicznych, archeologicznych i fizjologicznych. GEONUR ("nurek geologiczny") czteroosobowy habitat w założeniach powinien być zdolny do kilkudniowego pobytu na głębokości do 164 stóp (50 m). W skład habitatu wchodził przedział roboczy do wierceń, balasty wodne i komora dekompresyjna. Komora dekompresyjna posiadała połączenie dolnym włazem z tonią wodną, górnym włazem z powierzchnią oraz trzecim włazem z szybem wiertniczym. Przy wyszczególnionych zbiornikach balastowych na powierzchni wody GEONUR I przyjmował pozycję pochyloną ok. 45° co ułatwiało holowanie i jednocześnie stanowiło amortyzator holu. Gaz do oddychania dostarczany był ze statku zabezpieczającego, choć habitat zawierał 30-godzinny niezależny system podtrzymywania życia. Łączność utrzymywana była za pomocą telefonu kablowego oraz radiotelefonu poprzez kabel koncentryczny, pławę i antenę.

W czasie prac na morzu statek baza często był zmuszony warunkami sztormowymi do wyrzucenia holu kabli i węży powietrznego na przygotowanym pontonie. W takim wypadku załoga GEONURA I przechodziła na własne zasilanie i po ukończeniu wiercenia habitat wynurzany był na powierzchnię morza, utrzymując wewnątrz niezbędne ciśnienie dla danego okresu dekompresji. GEONUR I mógł przeczekać okres sztormu na dnie lub być odholowanym do portu i przeprowadzać dekompresję w czasie holowania [11]. Jednym z podstawowych celów jego konstrukcji było uniknięcie wpływu najgroźniejszego czynnika na morzu, czyli falowania, a szczególnie jego wpływu na zmianę ciśnienia w przedziale habitatu. Przy wysokości fali 1 m periodycznie ciśnienie wzrasta i maleje o 0,1bar, co wpływa na ucieczkę atmosfery oraz, co gorsze, niekorzystnie podrażnia błędnik nurka. Zjawisko to wraz ze wzrostem głębokości jest coraz mniej odczuwalne. GEONUR I był testowany na morzu przy wietrze o prędkości do 26 węzłów. W czasie jego budowy celem głównie były wiercenia do głębokości 20 - 30m. poniżej dna. Biorąc pod uwagę rejon południowego Bałtyku i jego prawie ciągle sfalowaną powierzchnię, wszelkie wiercenia z pontonów i pływających jednostek były

GENOUR I 1975-1980

The shortcomings and defects of Medusa 2 were to be remedied by the next generation habitat for deep-sea drilling, designed under the auspices of the Polish Society of Friends of the Earth Sciences (Polish abbr. PTPNoZ). Geonur was designed by Antoni Dębski and built at the Gdynia Shipyard on order of the above-mentioned Society. In practice, it turned out that drilling works underwater could continue as long as the floating base could supply electricity. In other words, it depended on sea condition decisive for anchoring.

The shape of this habitat was adapted for impact drilling and resembled that of a cased drilling rig. Thus, an underwater drilling rig was designed that was 8 m high, 4.20 m wide at the base, a working chamber width of 3 m, a total displacement of 33 T and a total weight of 24 t. Geonur 1 was intended to solve the problem of drilling at medium depths and additionally to be used for salvage, construction and remedial operations, as well as to support biological, archaeological and physiological research. Geonur (a 'geological diver') four-person habitat was to be capable of staying for several days at depths of up to 164ft (50 m). The habitat included a working compartment for drilling, water ballasts and a decompression chamber. The decompression chamber was connected via a lower hatch with the depth of water, via an upper hatch with the surface and via a third hatch with the drilling shaft. With the ballast tanks blown negative on the water surface, Geonur 1 assumed a 45 degree inclined position, which facilitated towing and acted as a shock absorber for the tow. Breathing gas was supplied from the diving support vessel, although the habitat contained a 30-hour independent life support system. Communications were maintained by cable telephone and radio via coaxial cable, buoy and antenna.

While working at sea, the diving support vessel was often forced by storm conditions to dump the cable tow and air hose on a prepared pontoon. In such cases, Geonur 1 crew would switch to their own power supply and, once the drilling was complete, the habitat would be brought to the sea surface, maintaining the necessary pressure inside for a given period of decompression. Geonur 1 could wait out the storm on the bottom or be towed to port and carry out decompression while being towed [11]. One of the primary objectives of its design was to avoid the impact of the most dangerous factor at sea, the wave action, and in particular its effect on the pressure change in the habitat compartment. At a wave height of 1m, the pressure periodically increases and decreases by 0.1 bar, which affects the escape of the atmosphere and, worse, adversely irritates the diver's vestibular system. This phenomenon becomes less and less noticeable with increasing depth. Geonur 1 was tested offshore in wind speeds up to 26 knots. At the time of its construction, the aim was mainly to drill to depths of 20 - 30 m below the bottom. Given the region of the southern Baltic Sea and its almost constantly undulating surface, any drilling from pontoons and floating vessels was very expensive and stretched by the extended time of waiting for good weather. The designers envisaged submerging this habitat together with the drilling rig, with all the equipment, and placing it on the bottom.

The time spent by divers underwater varied, depending on the structure of the bottom, which dictated

bardzo drogie i rozciągnięte w czasie wydłużonym oczekiwaniem na dobrą pogodę. Konstruktorzy przewidzieli zanurzenia tego habitatu razem z wiertnią, z całym urządzeniem i postawienie go na dnie.

Czasy pobytu nurków pod wodą były różne, zależnie od struktury dna, co limitowało czas odwiertu. Najkrótsze zanurzenie łącznie z dekompresją trwało 18 godzin. Inne w granicach od 48 do 96 godzin. W 1976 roku GEONUR umożliwił wyprawę do wraku "Wilhelm Gustloff" leżącego na głębokości 46-49, która była rozstawiona przez środki masowego przekazu. (poszukiwanie Bursztynowej Komnaty). Całkowity czas przebywania batynautów w GEONURZE I to blisko 47 godzin. Z czego dekompresja zajęła ponad 15 godzin. W tym czasie stosowano dekompresje wedle tabel nurkowań subsaturowanych opracowywanych przez A. Dębskiego, oraz przez grono ludzi z zagranicy z wykorzystaniem tabel z użyciem powietrza [11].

Geolodzy określili GEONURĄ jako „wiertnicę pływającą” której konstrukcja była pierwszym tego typu urządzeniem we wschodniej Europie. Wykonała ona wiele sondowań podwodnych, głównie w portach, stoczniach i na szlakach żeglugowych. GEONUR I zakończył swoje istnienie na wodach Atlantyku przy ujściu rzeki Senegal na trawersie St.Luis, gdzie miał wykonać wiercenia blisko strefy przyboju. Badania te konieczne były do planowanej budowy w tym rejonie portu morskiego. Na skutek błędu statku transportowego GEONUR został wyrzucony przez przybój na brzeg i uszkodzony, w efekcie czego stał się niezdolny do dalszego zastosowania [12].

the drilling time. The shortest dive including decompression lasted 18 hours. Other ranged from 48 to 96 hours. In 1976, the Geonur enabled an expedition to the wreck of the 'Wilhelm Gustloff' lying at a depth of 46-49 m, which was made famous by the mass media (search for the Amber Chamber). The total time spent in Geonur 1 was nearly 47 hours of which decompression took more than 15 hours. During this time decompression followed the sub-atmospheric dive tables developed by A. Dębski, and by a group of people from abroad interested using tables of using air [11].

Geologists described the Geonur as a 'floating drilling rig' whose design was the first of its kind in eastern Europe. It carried out many underwater probing tests, mainly in ports, shipyards and shipping lanes. Geonur 1 terminated its existence in Atlantic waters at the mouth of the Senegal River on the St. Luis traverse, where it was to carry out drilling close to the undertow. The surveys were necessary for the planned construction of a seaport in the area. As a result of an error on the part of the transport vessel, Geonur was thrown ashore by the undertow and damaged, resulting in it becoming unfit for further use [12].

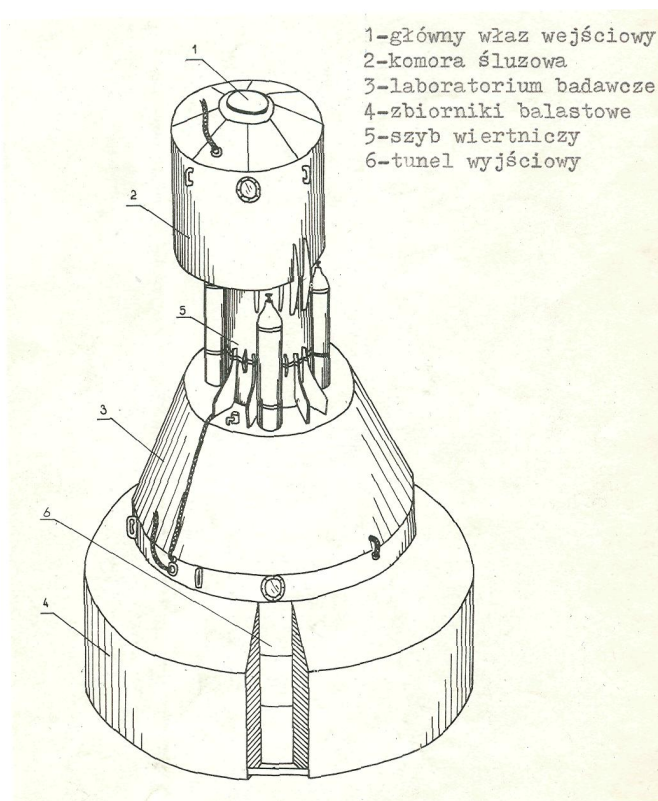


Fig. 2 Functional description of Geonur 1.

Rys. 2 Opis funkcjonalny Geonur 1.

GENOUR II 1981- 1984

Zebrane doświadczenia i potrzeby nakazywały wybudowanie urządzenia bardziej uniwersalnego i wieloczynnościowego. Na zlecenie PTPNoZ Stocznia im. Komuny Paryskiej w Gdyni w 1981r zbudowała GEONUR II. Głównym projektantem ponownie był A. Dębski. Projekt zakładał bardzo wszechstronne wykorzystanie batyskafu, np.:

- bezpośrednie obserwacje i badania laboratoryjne pod wodą,
- badania stanu zanieczyszczeń dna i wody na różnych głębokościach,
- wiercenia do głębokości 30 m od poziomu dna,
- prowadzenie prac ratowniczych, montażowych, poszukiwawczych i filmowych pod wodą,
- prowadzenie prac badawczych z zakresu fizjologii nurkowania,
- realizację badań wymagających samodzielnego przesuwania się w toni wodnej.

Plany przewidywały również, że GEONUR-II będzie służył jako podwodna baza do nurkowania, wiercenia, inspekcji kabli i konstrukcji podwodnych w polskich portach, oraz jako platforma obserwacyjna, z której będzie można zbierać dane o środowisku morskim.

GEONUR-II wykorzystywany był także do mapowania przydennych złóż mineralnych w południowym Bałtyku. Zakładano, że załoga będzie mogła liczyć do ośmiu osób [4,5].

O przeszkodach, perypetiach i emocjach towarzyszących uruchomieniu i wykorzystaniu GEONURA mogła by powstać nader interesująca książka. Na tej krętej, pełnej barier drodze bohaterami byli oponenci, entuzjaści, agendy państwowe, sponsorzy oraz instytucje nadzorcze. Wynikało to głównie z braku przepisów i przygotowania instytucji nadzorczych oraz ambiwalentnego podejścia ludzi nauki, a także nieprzejednanego, dążącego do celu charakteru głównego konstruktora.

Opływowy kadłub pozwalał GEONUROWI II na opcjonalnie samodzielne pływanie i ułatwiał holowanie.

Dane techniczno-operacyjne GEONURA II:

Gabaryty:

- długość 9,65m.
- szerokość 4,4 m.
- wysokość 4,3 m. lub 7,1 m z wiertnią,
- wypór całkowity 66,0 - 67,7 m³.
- ciężar bez balastu stałego 21 ton
- zanurzenie 2,0 m.

Dane eksploatacyjne:

- załoga 2 - 8 osób,
- zapas powietrza i tlenu na 150 godz. dla 4-ch osób.
- Planowany był napęd z baterią akumulatorów zapewniającą pracę ciągłą silnika napędowego przez 4 godziny, lecz tego nie zrealizowano z oczywistych względów braku czasu i finansów.

GEONUR II był przygotowany do zainstalowania systemu mieszaninowego dla głębokości poniżej 60m, jako że miał pracować przy układaniu rurociągów na morzach południowych [8]. Cztery zbiorniki trzymające

GENOUR 2 1981- 1984

The experience gained and needs dictated the construction of a more versatile and multifunctional device. Acting on order of the PTPNoZ, the Gdynia Shipyard built Geonur 2 in 1981. The main designer was again A. Dębski. The project envisaged a very versatile use of the bathyscaphe, e.g.:

- direct observation and underwater laboratory tests,
- studies on the contamination of bottom sediments and water at different depths,
- drillings down to 30 m from the bottom,
- underwater rescue, assembly, search, and filming operations,
- research works in the physiology of diving,
- research effort requiring independent moving around in the depths of water.

Plans also envisaged that Geonur 2 would serve as an underwater base for diving, drilling, inspection of cables and underwater structures in Polish ports, and as an observation platform from which data on the marine environment could be collected.

The Genour 2 was also used to map bottom mineral deposits in the southern Baltic. It was assumed that the crew would consist of up to eight people [4,5].

One could write a fascinating book about the obstacles, adventures and emotions surrounding the launch and use of the Geonur. On this winding road full of barriers, the protagonists were opponents, enthusiasts, state agencies, sponsors and supervisory institutions. This was mainly due to the lack of regulations and preparation of supervisory institutions, the ambivalent attitude of scientists and the intransigent, goal-oriented character of the chief designer.

The streamlined hull allowed Geonur 2 to optionally float on its own and facilitated towing.

Technical and operating data of GEONUR II:

Dimensions:

- length 9.65m
- width 4.4 m
- height 4.3 m or 7.1 m with the drilling rig
- total displacement 66.0 - 67.7 m³
- weight without permanent ballast 21 t
- submersion 2.0 m.

Exploitation data:

- crew 2 - 8 people,
- air and oxygen for 4 people for 150 hrs.
- According to the plan, the drive was to consist of a pack of batteries ensuring continuous operation of the engine for 4 hours, but the plan was abandoned for obvious time-related reasons and the lack of money.

Geonur 2 was prepared for the installation of a mixture system for depths of less than 60 m, as it was to work on pipelaying in the southern seas [8]. Four trimming tanks were located in the base to further enhance stability when the habitat was anchored to the seabed. It had, like a submarine, two hulls. One strong pressure hull and one light hull, consisting of 4 ballasts, whose volume allowed it to take 28 tonnes of water. The strong (pressure) hull was divided into a living area, a room for divers and a decompression chamber, and the

umieszczone w podstawie dodatkowo zwiększające stabilność, gdy habitat jest zakotwiczony do dna morskiego. Posiadał, tak jak okręt podwodny, dwa kadłuby. Jeden mocny ciśnieniowy i jeden lekki, składający się z 4 balastów, których objętość pozwalała na przyjęcie 28 ton wody. Kadłub mocny (ciśnieniowy) był podzielony na część mieszkalną, pomieszczenie dla nurków i komorę dekompresyjną oraz maszynownię, która była przestrzenią roboczą. Posiadał on trzy przedziały, przedział wiertniczy z ruchomym szybem wiertniczym podnoszonym wewnętrznym ciśnieniem oraz wydzielony mały przedział napędu. Obudowany był czterema sekcjami balastu oraz dwoma pływakami stabilizującymi, zamontowanymi po próbach celem poprawienia stateczności. Kadłub posiadał trzy włazy, dolny dla wierceń, wyjście na pokład oraz w szybie. System podtrzymania życia oparty był o własny zapas powietrza oraz ruchome wyposażenie pomiarowe i pochłanicze dwutlenku węgla.

Na pokładzie znajdowały się zapasy wystarczające do utrzymania przy życiu czterech osób przez 7 dni. Po zrealizowaniu prób manewrowych i zanurzeniach pod nadzorem Polskiego Rejestru Statków do głębokości 60m batyskaf uzyskał kartę bezpieczeństwa z Urzędu Morskiego. Oznaczało to, że GEONUR II został dopuszczony do eksploatacji w połowie 1982 r. Próby batyskafu w morzu zabezpieczał okręt ratowniczy Marynarki Wojennej R-23.

W założeniach Batyskaf GEONUR II był przewidziany jako baza nurkowa do 150m głębokości, oraz jako urządzenie wiertnicze do 80m po osadzeniu na dnie. Zamianę batyskafu na wiertnicę można było otrzymywać po zdjęciu przykręconej dennicy kiosku i założeniu w to miejsce wysuwanego teleskopowo szybu wiertniczego. Braki finansowe wymusiły oszczędności. Na skutek zapaści gospodarczej kraju i embarga krajów Zachodnich bardzo proste wyposażenie instalacji GEONURA, niekiedy musiało być zdobywane drogą nieformalną. W rzeczywistości na skutek braków finansowych oraz wymagań PTPNoZ przygotowano zapas powietrza do prac na głębokościach 20- 24m przy zabezpieczeniu badań i geologicznej oceny zasobów żwirów na Ławicy Słupskiej. Zadania te polegały na wykonaniu wierceń i poborze próbek z dna, na podstawie których oceniono zasoby żwiru do wykorzystania przemysłowego w budownictwie w ramach rządowego programu aktywizacji polskiego Wybrzeża.

engine room, which was the working space. It had three compartments, a drilling compartment with a movable drilling shaft raised by internal pressure and a separate small compartment for the drive. It was clad with four sections of ballast and two stabilising floats, fitted after trial dives to improve stability. The hull had three hatches, a lower one for drilling, an exit to the deck and one in the shaft. The life support system relied on its own air supply and a mobile measurement and carbon dioxide absorption equipment.

There were enough supplies on board to keep four people alive for seven days. After completing manoeuvring tests and submersions under the supervision of the Polish Register of Shipping to a depth of 60 m, the bathyscaphe received a safety passport from the Maritime Office. This meant that Geonur 2 was authorised for operation in mid-1982. The sea trials of the bathyscaphe were secured by the Navy rescue ship R-23.

The Geonur 2 bathyscaphe was designed as a diving base up to 150 m depth, and as a drilling rig up to 80 m when seated on the bottom. Conversion of the bathyscaphe to a drilling rig could be achieved by removing the screwed-on bottom of the kiosk and fitting a telescopically extendable drilling shaft in its place. Financial shortages forced savings. As a result of the country's economic hardships and the embargo imposed by the Western countries, very simple equipment for the Geonur installations sometimes had to be acquired through unofficial distribution channels. In fact, as a result of financial shortages and the requirements of PTPNoZ, a supply of air was prepared for work at depths of 20 – 24 m to secure surveys and geological assessment of gravel resources on the Słupsk Shoal. The works consisted in drilling and bottom sampling carried out to assess gravel resources for industrial use in the construction sector as part of the government programme intended to mobilise the economy of the Polish coastal region.



Fig. 3 Geonur 2 at the shipyard.

Rys. 3 GEONURII na stoczni.

Z pokładu GEONURA głównie w roku 1983 wykonano kilkadziesiąt odwiertów na Bałtyku na głębokościach do 30 m oraz 10- 20 m. poniżej dna. Pracę zabezpieczał statek ratowniczy PRO Jantar. Przy obsłudze GEONURA II brało udział wielu nurków z klubów płetwonurków oraz nurków zawodowych, geologów, hydrogeologów, geofizyków i innych specjalistów. Pracę zabezpieczali lekarze z Centralnego Instytutu Ochrony Pracy. Pracą GEONURA zainteresowana była Służba Ratownicza Marynarki Wojennej w związku z potrzebą wykorzystania pojazdu podwodnego do celów ratowniczych, w tym do ratowania załóg okrętów podwodnych [4,5].

Na GEONURZE II, podobnie jak na GEONURZE I stosowano, jak ją w tym czasie nazywano, metodę nurkowania subsaturowanego z wykorzystaniem powietrza i tlenu. Pod względem prowadzenia dekompresji GEONUR II był wyposażony w pełny system tabel dekompresyjnych. Podstawowymi tabelami były tabele dekompresji nurkowań subsaturowanych, tabelami awaryjnymi zaś były tabele nurkowań saturowanych z użyciem powietrza i tlenu. Dla wycieczek z plateau saturacji 14, 16 i 18 m w dół i górę, oraz na wypadek wystąpienia incydentu dekompresyjnego załączone były tabele rekompresji leczniczej z użyciem tlenu. Tabele dekompresji sygnował Centralny Instytut Ochrony Pracy w Warszawie, wykorzystując w tym celu dostępną literaturę światową.

NURKOWANIE SUBSATUROWANE

Możliwości techniczne polskich habitatów i opór administracyjny nie umożliwiły prac podwodnych z użyciem nurkowań saturowanych. Dlatego też stosowano dekompresję, do jak to nazywano w tym czasie, nurkowań subsaturowanych. Termin nurkowania subsaturowane był używany w latach 60 i 70 tych dla teorii dekompresji nurkowań [13]. Ten typ dekompresji

Several dozen of boreholes were drilled in the Baltic Sea at depths of up to 30 m and 10 - 20 m below the bottom from the Geonur deck, mainly in 1983. The works were secured by the PRO Jantar rescue vessel. Many divers from scuba diving clubs and professional divers, geologists, hydrogeologists, geophysicists and other experts took part in the operation of Geonur 2. Their work was secured by medical doctors from the Central Institute for Labour Protection. The Geonur work was of interest to the Naval Rescue Service as an underwater vehicle was needed for rescue purposes, also for rescuing submarine crews [4,5].

On Geonur 2, like on Geonur 1, sub-saturation diving, as it was called at the time, using air and oxygen was used. When it comes to decompression, Geonur 2 was equipped with a full system of decompression tables. The primary tables were the decompression tables for sub-saturated dives, while the emergency tables were those for air-oxygen saturation dives. For trips from the saturation plateau of 14, 16 and 18 m down and up, and in the event of a decompression incident, therapeutic recompression tables with oxygen were included. Decompression tables were signed by the Central Institute for Labour Protection in Warsaw, using available international literature.

SUB-SATURATION DIVING

Technical capabilities of the Polish habitats and administrative resistance prevented the use of saturation diving in underwater works. Therefore, decompression was used for, as it was called at the time, sub-saturation dives. The term sub-saturation diving was used in the 1960s and 1970s for the decompression theory of diving [13]. This type of decompression was used in Meduza 2 and habitats designed in later periods for underwater drilling by the impact method, Geonur 1 and Geonur 2. In sub-saturation dives, divers worked underwater for

wykorzystywano w MEDUZIE II oraz późniejszych habitatach przeznaczonych do wierceń podwodnych metoda udarową, GEONUR I i GEONUR II. W nurkowaniach subsaturowanych nurkowie pracowali pod woda kilka godzin (od 4 do 6 godzin) wychodząc do pracy w wodzie i wracając na odpoczynek do przedziału mieszkalnego, lub pracując tylko w przedziale roboczym, by po pracy zrealizować dekompresję po wynurzeniu habitatu na powierzchnię (lub jak było w przypadku MEDUZY II, ustawiając przystanki dekompresyjne w toni wodnej). W nurkowaniach subsaturowanych stosowano własne dobrane tablice dekompresji, ograniczając głębokość pobytu do 18 m. Z tej głębokości nurkowie zanurzali się na głębokość pracy z przestrzeni MEDUZY II. Praca nurków w GEONURACH była podobna do prac pracowników kesonowych, z tą różnicą, że „keson” był holowany i zanurzany na miejscu zadań podwodnych, a praca odbywała się głównie w przedziale roboczym, i jeśli zaistniała potrzeba pracy w wodzie, zanurzali się wychodząc z dolnego włazu.

Jakim arsenałem źródłowym dysponowali pionierzy twórcy i realizatorzy polskich nurkowań subsaturowanych? W Polsce w tym czasie istniał jeden, jedyny dokument dotyczący dekompresji po długotrwałym przebywaniu człowieka pod ciśnieniem. Było to Rozporządzenie Ministrów Pracy i Opieki Społecznej oraz Zdrowia z dnia 2 czerwca 1952 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy w kesonach. Dokument ten przewidywał maksymalną pracę przy „nadcisnieniu do 3,5 atm (pisownia oryginalna) dla czasu wyluzowania 60min. Brakowało określenia czasu pracy pod ciśnieniem, które określono w Uchwale Nr 718 Rady Ministrów z dnia 26 października 1954 r. w sprawie skrócenia czasu pracy pracowników kesonowych. I tak pracownik nie może przekraczać na jedną dobę przy nadcisnieniu: do 1,75 at 7 godzin, powyżej 1,75 at do 2,5 6 godzin, od 2,5 at do 3,0 at 5 godzin, powyżej 3,0 at do 3,5 at 4 godzin, powyżej 3,5at do 4,0at 2 godziny. Ponadto dane o tym temacie uzupełniano danymi z krajów Zachodnich [1,14]. Uwzględniono także dane z polskich, dekompresyjnych, powietrznych tabel awaryjnych, obowiązujących w Marynarce Wojennej.

W pracach podwodnych wyróżniono dwa warianty pracy nurków. Pierwszy to praca nurków w toni wodnej, drugi to praca na pokładzie habitatu bez jego opuszczania. Praca na pokładzie habitatu dopuszcza pracę do 12 godzin, a przewidywana głębokość nie przekracza 36 metrów. W tym wariancie organizacja pracy jest prosta, gdyż wystarcza jedno zanurzenie i wyjście według tabel dla nurkowań subsaturowanych. Pobyt w toni wodnej lub obsługa urządzeń pobierania próbek były ściśle ograniczone do kilku godzin. Następnie odbywała się długa dekompresja. Podobnie było w wypadku, gdy nurek pracuje poza habitatem lecz na głębokościach dopuszczalnych tabelami, w strefach głębokości ujętych w tabelach nurkowań subsaturowanych. Np. habitat posadowiony na 14 metrach, a pracę nurek wykonuje na 20 m. Przy nurkowaniu subsaturowanym i saturowanym instrukcja mówiła, iż należy planować pracę nurka uwzględniając odpoczynek i czuwanie na plateau saturacji (subsaturacji) [15].

Instrukcja bezpieczeństwa przewidywała, że po każdym powrocie z pracy pod zwiększonym ciśnieniem do ciśnienia odpoczynkowego należy w ciągu pierwszych 5 minut przeprowadzić badanie przy pomocy ultradźwiękowego detektora pęcherzyków gazu we krwi żyłnej. W razie wystąpienia objawów obecności

several hours (from 4 to 6 hours) going out to work in the water and returning to the habitat living compartment for rest, or working only in the working compartment to complete decompression after the working day, once the habitat was brought to the surface (or, as was the case with Meduza 2, setting decompression stops in the water). There were special decompression tables dedicated to sub-saturation diving with the depth of stay limited to 18 m. From this depth, divers plunged to the working depths from Meduza 2. Divers' work in Geonurs was similar to that of the caisson workers, the difference being that the 'caisson' was towed and submerged at a specific site underwater with research work taking place mainly in the working compartment, and divers submerging underwater through the lower hatch only if necessary.

What sources of information did the pioneers of Polish sub-saturation diving have at their disposal? At that time in Poland there was one and only one piece of legislation concerning decompression after long time exposure to pressure. This was the Regulation of the Ministers of Labour and Social Welfare and Health of 2 June 1952 on safety and hygiene of work in caissons. It stipulated the maximum time of work at 'overpressure up' to 3.5 atm (original spelling) for a loosening time of 60 min. What was missing was the definition of working time under excess pressure, which was laid down in Resolution No. 718 of the Council of Ministers of 26 October 1954 on the reduction of working time for caisson workers. Thus, within one day of working at overpressure conditions, a worker may not work longer than 7 hours at up to 1.75 atm, 6 hours at the pressure between 1.75 atm and 2.5 atm, 5 hours at the pressure between 2.5 atm and 3.0 atm, 4 hours between 3.0 atm and 3.5 atm, and 2 hours at the pressure ranging from 3.5 atm to 4.0 atm. In addition, data concerning this subject was supplemented with data from Western countries [1,14]. Data from decompression air emergency tables from the Polish Navy tables were also taken into account.

Within a broader term of underwater work, two types of divers' work were distinguished. The first covered divers working in the water depths and the second those working on board of the habitat without leaving it. Working on board of the habitat was allowed for up to 12 hours at the depth not exceeding 36 metres. In this option, work organisation is simple, as according to the tables for sub-saturation dives, one dive is sufficient. Staying in the depths of water or handling of the sampling equipment was strictly limited to a few hours and was followed by a long decompression. The same was true when a diver worked outside the habitat but at depths permitted by the tables, in the depth zones included in the tables for sub-saturation diving, e.g., when a habitat was seated at 14 m and the diver worked at 20 m. Guidelines for sub-saturation and saturation diving stated that the diver's work should be planned taking into account the time for resting and vigil on the saturation plateau (sub-saturation) [15].

The safety instructions stipulated that each time a diver returns from working at increased pressure to the relaxation pressure, an examination should be carried out within the first 5 minutes using an ultrasonic venous gas bubbles detector. If there are signs of bubbles, recompression to relief pressure should be carried out in line with rules described in further sections of the instructions, followed by a reduction in pressure to relaxation pressure at a rate of 0.5 m/min, if necessary with the use of appropriate decompression stops

pęcherzyków należy przeprowadzić rekompresję do ciśnienia ulgi, zgodnie z zasadami podanymi w dalszej części instrukcji, a następnie obniżyć ciśnienie do odpoczynkowego w tempie 0,5 m/min., jeśli to konieczne ze stosowaniem odpowiednich przystanków dekompresyjnych według tabeli. Nurek, u którego wystąpiły takie objawy zmęczenia powinien być zwolniony z dalszej pracy pod ciśnieniem większym od ciśnienia plateau saturacji. Tabele dekompresji dla nurków subsaturowanych z wykorzystaniem tlenu przewidywały rozprężanie do 5m/min a czas przejścia z przystanku na przystanek 1 min. Tabele przewidywały też dekompresję przedłużoną, w której prędkość rozprężania zmniejszona była do 0,5m/min, a czas przejścia z przystanku 6 min. W pewnych wypadkach mogła okazać się potrzebna praca pod ciśnieniem mniejszym niż plateau saturacji, zatem w zasadach odbywania wycieczek nurkowych, podanych poniżej, zostały uwzględnione obie takie sytuacje [15] (Tabela nr 1).

Tabele przewidywały wycieczki nurkowe na głębokości większej od plateau saturacji podane w tabeli. Nurkowanie dłuższe niż 12 godzin zaliczane jest do nurków saturowanych. Przy korzystaniu z tabel dla nurków subsaturowanych, jak już wspomniano powyżej, możliwa jest tylko praca bez przekraczania przedziału głębokości z tabel, oraz praca pod ciśnieniem mniejszym niż ciśnienie plateau przebywania pod ciśnieniem.

according to the table. A diver experiencing such fatigue symptoms should be relieved from further work at pressures greater than the saturation plateau pressure. Decompression tables for sub-saturation dives using oxygen predicted decompression up to 5m/min and a transition time from stop to stop of 1 min. The tables also provided for extended decompression, in which the expansion rate was reduced to 0.5m/min and the transition time from stop to stop lasted 6 min. In some cases, it may have been necessary to work at pressures lower than the saturation plateau, and such situations were covered by the diving trip rules outlined below [15] (Table 1).

The tables provided for diving trips at depths greater than the saturation plateau provided in the table. Dives longer than 12 hours are classified as saturation diving. As already mentioned, when using the tables for sub-saturation diving one may work only without exceeding the depth range included in the tables, and at a pressure below the saturation plateau.

Tab. 1

Selected decompression methods using air and oxygen for sub-saturation diving at operating depths applicable for Meduza 2 and Geonurs [15].

Wybrane sposoby dekompresji nurków subsaturowanych dla głębokości operacyjnych stosowanych w MEDUZIE II i GEONURACH z zastosowaniem powietrza i tlenu [15].

Operating depth	Time under water	Time to the first stop (extended decompression)	Decompression time at stops				Total decompression time	Total time of extended decompression
			12m	9m	6m	3m		
Depth of stops							Depth of stops	
[m]	[hour]	[min]	[min]	[min]	[min]	[m]	[hour]	[min]
9	6	2 (x)				8	11	X
	8	2 (12)				14	17	28
	12	2 (12)				23	26	41
12	6	2 (x)				16	19	x
	8	2 (18)				28	31	52
	12	2 (18)				46	49	70
18	4	3			2	53	60	x
	6	3			14	680	99	130
	8	3			31	99	134	165
	12	2		-	51	60+p30+50	198	229
24	3	4			26	63	95	X
	4	3		4	36	82	128	170
	6	3		20	60	30+p20+30	210	253
	8	3		40	30+p20+30	80+p30+30	265	307
	12	3	12	45+p15+20	60+p20+25	80+p30+30	343	385

Uwarunkowania tabel wymagały, by czas pracy nurka poza habitatem mógł wynosić maksymalnie 2 godziny, czas pracy w przedziale roboczym 4 godziny (w przypadku pracy na 2 zmiany). Przy lekkiej pracy czas ten można przedłużyć do 6 godzin. Praca poza habitatem powinna odbywać się pod stałym ciśnieniem z zastrzeżeniem, że należy unikać zmian głębokości pracy przekraczających 33% różnicy pomiędzy ciśnieniem na plateau, a ciśnieniem w miejscu pracy.

The tables required that the working time of a diver outside the habitat could be a maximum of 2 hours, the working time in the working compartment 4 hours (if working in 2 shifts). For light work the time could be extended to 6 hours. Work outside the habitat should take place under constant pressure providing that changes in working depth exceeding 33% of the difference between the pressure at the plateau and the pressure at the work site should be avoided.

Tab. 2

Air decompression table for sub-saturation diving used in exceptional cases. Decompression rate up to 5 μ /min [15].

Tabela dekompresji powietrznej dla nurkowań subsaturowanych, stosowana w przypadkach wyjątkowych. Prędkość rozprężania do 5 μ /min [15].

Operating depth [m]	Time underwater [godz]	Time to the first stop [min]	Decompression times at stops				Total decompression time [min]
			12m [min]	9m [min]	6m [min]	3m [min]	
9	6	2				12	15
	8	2				21	24
	12	2				35	38
12	6	2				23	26
	8	2				41	44
	12	2				69	72
18	4	3			2	79	86
	6	3			29	119	144
	8	3			44	148	197
	12	2			76	185	270
	3	4			38	94	138
24	4	3		6	53	122	187
	6	3		29	107	160	285
	8	3		59	107	187	359
	12	3	17	108	142	187	461

Takie tabele dekompresji desygnowane dla stosowania w nurkowaniach subsaturowanych oparte były o tabele NOAA-OPS opisane w rozdziale 8 [1,14]. W tabelach tych wyróżniano cztery głębokości plateau saturacji: 9,1 m, 18,3 m, 27,4 m i 36,6 m. Z tych poziomów saturacji przewidziano wycieczki na większe głębokości zarówno bezdekompresyjne jak i z dekompresją na powrót do plateau saturacji. Przykładem tu niech będą wybrane sposoby, które były stosowane w GEONURACH, które przedstawiono w tabeli nr. 2.

Such decompression tables designated for use in sub-saturation diving were based on the NOAA-OPS tables described in Chapter 8 [1,14]. These tables distinguished between four saturation plateau depths: 9.1 m, 18.3 m, 27.4 m, and 36.6 m. From these saturation levels, trips to greater depths were conducted both without decompression and with decompression to return to the saturation plateau. As examples we can use selected methods that were used in Geonurs presented in Table 2.

Tab. 3

Working depths permitted at pressures greater than the saturation pressure depending on saturation plateau level and maximum time outside of Geonur. Use only if time spent at Geonur exceeds 12 hours. Resting time for divers before starting decompression 12 h [15].

Dopuszczalne głębokości pracy pod ciśnieniem większym od ciśnienia nasycenia w zależności od poziomu plateau saturacji i maksymalnego czasu pracy poza GEONUREM. Stosować tylko w przypadkach, czasu pobytu w GEONURZE ponad 12 godzin. Czas odpoczynku nurków przed rozpoczęciem dekompresji 12 godz. [15].

Saturation depth	Maximum working time under pressure [min]	30	60	90	120	180	240*	360*
		[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]
14		59 m	55	50 m	29 m	27 m	27 m	27 m
16		45 m	57	34 m	32 m	31 ж	31 ж	31 ж
18		47 m	40	37 m	35 m	54 m	54 m	54 m

Emergency table. Decompression for saturation plateau 18 m using air and oxygen.

Tabela awaryjna. Dekompresja dla plateau saturacji 18 m z użyciem powietrza i tlenu.

Stop depth [m]	Transition time [min]	Time spent at the stop and type of mixture [min]	Total decompression time [min]
16.0	15	Air	15
9.0		Air 160 oxygen 30	205
	5		210
7.5		Air 165 oxygen 30	405
	5		410
6.0		Air 165 oxygen 30	605
	5		610
4.5		Air 20 oxygen 30 Air 20 oxygen 30 Air 20 oxygen 30 Air 20 oxygen 40	810
	5		815
3.0		Air 60 oxygen 30 Air 20 oxygen 30 Air 20 oxygen 30	1015
	5		1020
1.5		Air 200	1220
	5		1225

Total decompression time 20h 25min including the total time of breathing oxygen 335 min.

System nurkowań subsaturowanych był systemem pełnym i odpowiadał aktualnym standardom dla systemu dekompresji w nurkowaniach komercyjnych, zawierał tabele podstawową (roboczą), z uwzględnieniem tabeli dla dekompresji wydłużonej. Instrukcja bezpieczeństwa była uzupełniona tabelami dla ekspozycji wyjątkowych, z uwzględnieniem wycieczek na głębokości większe od głębokości pobytu na plateau (tabele nr 2 i 3). Tabelami awaryjnymi były tabele saturacji dla trzech głębokości, które stosować należało po przekroczeniu 12 godz. pobytu na plateau. Tabele te przewidziane były dla trzech głębokości w których można było stosować powietrze dla plateau saturacji 14 m, 16 m i 18 m (przykładowa tabela nr 4). Ponadto system zawierał tabele rekompresji leczniczej opartej o tabele US Navy 5 i 6, oraz francuskie C_x30 z użyciem nitroksu 60% O₂ 40%N₂ powietrza i tlenu.

UWAGI KOŃCOWE AUTORA

Cytując A. Dębskiego podczas jego dyskusji panelowej 25 lutego 1975 r. organizowanej przez PTPNoZ „Słuchając tego, co się powiedziało tutaj przed chwilą, nasuwa się pewna myśl, która dręczyła mnie przedtem. Mówienie o tym, co można zrobić, jakie mamy siły, oczywiście, jest słuszne i powinno się nad tym zastanawiać. Ale jak to się w Polsce odbywało, jeśli chodzi w ogóle o batynautykę wodną? To jest Meduza 2 jest najtańszym urządzeniem w porównaniu do konwencjonalnych sposobów prac nurka.” Pod tymi słowami podpisał się świat prac podwodnych w następnych dekadach wprowadzając nurkowania saturowane do działalności komercyjnej i na rzecz obronności. Prekursorzy i pionierzy nurkowań saturowanych działali w trudnych warunkach społeczno-ekonomicznych i przeszli do światowej historii nurkowania. W czasach, w których działali spotykała ich dychotomia oceny ich wyników od euforii sukcesu do negacji drogi jaką obrali. Pokazali, że

The sub-saturation diving system was a complete one and conformed to current standards for decompression for commercial diving. It included a basic (working) table and a table for extended decompression. The safety manual was supplemented by tables for exceptional exposures, including trips to depths greater than the plateau (Tables 2 and 3). Emergency tables were saturation tables for three depths, to be used after a 12-hour stay on the plateau had been exceeded. These tables were provided for the three depths at which air could be used for plateau saturation of 14 m, 16 m and 18 m (e.g., Table 4). In addition, the system included therapeutic recompression tables based on the US Navy tables 5 and 6, and French C_x30 using nitrox 60% O₂ 40%N₂ air and oxygen.

CONCLUDING REMARKS

Quoting after A. Dębski from a panel discussion held on 25 February 1975 and organised by the PTPNoZ "When listening to what has been said here just now, a thought occurred to me that has been haunting me for a while. It is of course right to discuss what we can do, what resources we have and we should consider that. But how did we do it in Poland in the field of batynautics in general? This is Medusa 2, it is the cheapest piece of equipment compared to any type of conventional diver's work." The world of underwater work signed up to these words in the decades that followed, introducing saturation diving into commercial and defence activities. The forerunners and pioneers of saturation diving operated in difficult socio-economic conditions but have successfully made their ways to the world history of diving. In the times of their activity the outcomes of their work were received with mixed feelings ranging from euphoria to the negation of the path they had taken. They showed that they had passion and character which was not accepted by renowned research centres. Contrary to the common



mieli pasję i charakter co nie było akceptowane przez ustabilizowane ośrodki naukowe. Wbrew przyjętej logice i mimo tak prostych rozwiązań technicznych pozbawionych nadbudowy badawczej oraz nie do końca poznanych procesów fizjologicznych i dekompresyjnych, wprowadzili oni do podwodnych prac nowe podejście i jego komercyjne wykorzystanie. Do dnia dzisiejszego nie stwierdzono odległych, ujemnych skutków zdrowotnych u nurków, uczestników opisywanej działalności, a bohaterowie tych przełomowych wydarzeń, obdarzeni byli i są długim życiem.

Moja przygoda z tymi entuzjastami rozpoczęła się w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku i byłem zaszokowany obciążeniem stworzonym przez sformalizowanie nurkowania w Marynarce Wojennej. Podziwiałem pasjonatów i ludzi wspierających tych pasjonatów za zdolność przekonywania do swej wizji i umiejętność twórczego, kreatywnego rozwiązywania problemów. Tym artykułem składam im hołd i najwyższe wyrazy uznania. Pragnę im także podziękować, gdyż na mojej drodze pracy w sferze działań podwodnych wiele dzięki nim skorzystałem.

logic and despite relying on simple technical solutions put in place without any research backup, or physiological and decompression processes that were not fully understood at that time, they succeeded in introducing a new approach to underwater work and managed to commercialise it. To this day, no distant negative health effects have been found in the divers involved in the described activities and the protagonists of these breakthrough events were and are blessed with long lives.

My adventure with these enthusiasts began in the 1970s and I was shocked by the burden of formalities involved in the diving activities performed by the Navy. I admired the enthusiasts and the people supporting them for their ability to convince other people to support their idea and their ability to solve problems in a creative, imaginative way. With this article, I would like to praise their efforts and pay tribute to them. I would also like to thank them, as I have benefited a lot from what they have accomplished in my professional career when working on the underwater environment.

REFERENCES

1. Miller J NOAA Diving Manual Diving of Science and Technology. 2-nd edition US Government Printing Office Washington DC 1979;
2. Zespół autorów p.k.S.A.Guljar „Organizm człowieka i podwodna среда” Zdrowie Kijew 1977;
3. Dębski A. „Niektóre problemy batynautyczne w służbie potrzeb gospodarczych” Biuletyn Informacyjny 1-2 1975 Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi;
4. Interviews with participants and creators of Meduza II, Geonur I and Geonur II programmes;
5. Own experience of cooperation and conversations with A. Dębski in the years 1978-2004;
6. Kowalska Karina „Meduza. The first Polish Batynautical Experiment” Muzeum Nurkowania Warszawa 2018;
7. Dębski A. „At the bottom and in the depths” wyd Tomik 2000;
8. Dębski A. „From Medusa to Geonur”, “Problems of medicine and diving technique”: Okrętownictwo i Żegluga Gdańsk 1997;
9. Dębski A. „Some bathinautic problems in the service of economic needs” Biuletyn Informacyjny 1-2 1975 Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi;
10. R.D Vann “Comprehensive strategy for saturation decompression with nitrogen-oxygen” Workshop on Decompression from NITRIX Saturation Diving January 8-9 1985 Institute for Environmental Medicine University of Pennsylvania;
11. „GEONUR” Batyskaf do prowadzenia badań i prac podwodnych i prac geologicznych. Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi. Warszawa -Sejm ul. Jadów 10/4;
12. Biuletyn Informacyjny NATURA 1-2.75 Polskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk o Ziemi 1975;
13. Vann R D „Comprehensive Strategy For Saturation Decompression with Nitrogen-Oxygen Duke Univ Medical Center Durham 1984 Feb;
14. Miller J.W ,Koblick I.G Living and Working in the sea VanNostrand Reinhold Company ISBN 0-442-26084-9 1984;
15. Ruszczewski P. Occupational safety instructions for subsaturation and saturation dives using GEONURA -2 Breathing mixture - Air. Centralny Instytut Ochrony Pracy. Warszawa 1983.

Stanisław Skrzyński

Akademia Marynarki Wojennej
im. Bohaterów Westerplatte 81 – 103 Gdynia 3
ul. Śmidowicza 69
tel.: +58 626 27 46,
e-mail: s.skrzynski@amw.gdynia.pl

BIOLOGICAL THREATS IN DIVING LOCATIONS

ZAGROŻENIA BIOLOGICZNE W REJONACH NURKOWAŃ

Lewicka M.¹⁾, Zawadzka M.¹⁾, Siermontowski P.²⁾, Giermaziak W.³⁾, Henrykowska G.¹⁾

¹⁾ Epidemiology and Public Health Department, Medical University of Lodz, Poland

¹⁾ Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego Uniwersytet Medyczny w Łodzi

²⁾ Health Department WSB University in Gdańsk, Poland

²⁾ Wydział Zdrowia Wyższa Szkoła Bankowa Gdańsk

³⁾ Main Medical Library Stanisław Konopka in Warsaw, Poland

³⁾ Główna Biblioteka Lekarska im. Stanisława Konopki w Warszawie

STRESZCZENIA / ABSTRACTS

Diving locations can pose various risks to divers. Health problems can be caused by, among other things, pathogenic microorganisms as well as flora and fauna endemic to the region. This paper discusses the consequences of exposure to biological pathogens endemic to the Red Sea region and possible preventive measures that can be taken before and during a diving expedition.

Keywords: diving, Red Sea, biological threats.

Akweny nurkowe mogą stwarzać różnego typu zagrożenia dla osób nurkujących. Problemy zdrowotne mogą być spowodowane m. in. drobnoustrojami chorobotwórczymi oraz florą i fauną występującymi endemicznie w danym regionie. W pracy omówiono konsekwencje narażenia na biologiczne czynniki chorobotwórcze, endemicznie występujące w rejonie Morza Czerwonego oraz możliwości działań profilaktycznych przed i podczas wyprawy nurkowej.

Słowa kluczowe: nurkowanie, Morze Czerwone, zagrożenia biologiczne.

Зоны погружения могут представлять различные виды риска для водолазов. Проблемы со здоровьем могут быть вызваны, в частности, патогенными микроорганизмами, а также эндемичной для данного региона флорой и фауной. В статье обсуждаются последствия воздействия биологических патогенов, эндемичных для региона Красного моря, и возможности профилактических мер до и во время дайвинг-экспедиции.

Ключевые слова: погружение, Красное Море, биологические опасности.

Tauchgebiete können für Taucher unterschiedliche Risiken bergen. Gesundheitliche Probleme können u. a. durch pathogene Mikroorganismen und die in der Region endemische Flora und Fauna verursacht werden. In diesem Beitrag werden die Folgen einer Exposition gegenüber biologischen Krankheitserregern, die in der Region des Roten Meeres endemisch sind, sowie Möglichkeiten für Präventivmaßnahmen vor und während einer Tauchexpedition erörtert.

Schlüsselwörter: Tauchen, Rotes Meer, biologische Gefahren.

Las aguas de buceo pueden suponer diferentes tipos de peligros para los buceadores. Los problemas de salud pueden estar provocados, por ejemplo, por microorganismos patógenos y la flora y fauna presentes de forma endémica en una determinada región. En el trabajo se han tratado las consecuencias de la exposición a agentes patógenos biológicos, presentes de forma endémica en la región del mar Rojo, y las posibilidades de acciones preventivas antes y durante una expedición de buceo.

Palabras clave: buceo, mar Rojo, riesgos biológicos.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2022 Vol. 78 Issue 1 pp. 87 – 100

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2022-0006

Pages: 14, figures: 0, tables: 0

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

Typ artykułu: przeglądowy
Review article

Termin nadesłania: 13.10.2021 r.

Termin zatwierdzenia do druku: 04.12.2021 r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Z roku na rok wzrasta zainteresowanie nurkowaniem jako formą aktywności fizycznej. Szacuje się, że na całym świecie jest aktywnych ponad 6 milionów nurków, uprawiających ten sport rekreacyjnie lub zawodowo. Rejon Morza Czerwonego, a zwłaszcza Egipt znalazł się na 2 miejscu wśród najczęściej odwiedzanych krajów w 2021 roku [1,2]. Oprócz pięknych plaż i licznych miejsc historycznych jest jednym z najpopularniejszych miejsc na świecie do nurkowania (zwłaszcza dla Europejczyków).

Przebywanie w środowisku hiperbarycznym stwarza szereg zagrożeń dla nurka. Do fizjologicznych można zaliczyć stan zdrowia, ciśnienie wody, toksyczne działanie gazów hiperbarycznych czy wpływ temperatury na organizm człowieka [3,4].

Wśród zagrożeń natury psychicznej związanych z przebywaniem w innym środowisku można wyróżnić emocje takie jak strach, panika czy euforia. Kolejny problem może dotyczyć sprzętu – jego niezawodności, dużej ilości, ciężaru, a zwłaszcza umiejętności posługiwania się nim w sytuacjach awaryjnych [3,5].

Środowisko (zarówno region geograficzny jak i akwen nurkowy) może również stwarzać zagrożenia dla osób nurkujących. Wśród niebezpieczeństw wymieniana jest możliwość zabłądzenia (np. w jaskiniach podwodnych), działanie silnych prądów, możliwość zaplątania się w sieci lub zaczepienia o inne przeszkody podwodne, niebezpieczne wraki, a także niebezpieczne zwierzęta morskie i drobnoustroje chorobotwórcze występujące endemicznie w danym miejscu/regionie [6].

Podróże międzynarodowe, według wielu autorów, są jedną z głównych przyczyn szerzenia się chorób zakaźnych, w tym tzw. nowo pojawiających się chorób zakaźnych (emerging infectious diseases; EID). Oszacowano, że aż 43–79% podróżnych z krajów Europy lub Ameryki Północnej może doświadczyć problemów zdrowotnych związanych z podróżą, podczas lub po podróży do kraju rozwijającego się [7].

Szczególnie o swoje bezpieczeństwo zdrowotne powinny zadbać osoby wyjeżdżające do krajów tropikalnych i subtropikalnych. Niezmiernie ważna jest znajomość potencjalnych zagrożeń biologicznych, zwłaszcza unikatowych dla danego rejonu nurkowego. Organizator turystyki zobligowany został legislacyjnie do poinformowania klienta o szczególnych zagrożeniach zdrowia i życia na odwiedzanych obszarach oraz możliwości zabezpieczenia z tym związanego [8]. Jednak nie zależnie od tego czy wyprawa jest zorganizowana przez touroperatora czy indywidualnie, podróżujący powinni znać sposoby profilaktyki zarówno przed podróżą, jak i w miejscu nurkowań.

ZAGROŻENIA DROBNOUSTROJAMI CHOROBOTWÓRCZYMI PRZENOSZONYMI DROGĄ WODNO- POKARMOWĄ

Choroby przenoszone drogą wodno-pokarmową, a wśród nich głównie choroby biegunkowe, stanowią największe zagrożenie dla podróżnych. Wywoływane są przez bakterie (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*), rzadziej wirusy (*HAV*, *Norwalk*, *adenoviruses* and *rotaviruses*) [9].

INTRODUCTION

Interest in scuba diving as a form of physical activity is growing every year. It is estimated that there are more than 6 million active divers worldwide, who practise the sport as recreational or professional activity. The Red Sea region, and Egypt in particular, ranked second place on the list of most visited countries in 2021 [1,2]. In addition to beautiful beaches and numerous historical sites, it is one of the most popular diving destinations in the world (especially for Europeans).

Being exposed to a hyperbaric environment poses a number of risks to the diver. Physiological ones may include the state of health, water pressure, toxic effects of hyperbaric gases or the effects of temperature on the human body [3,4].

Among the psychological risks associated with being in a different environment are emotions such as fear, panic or euphoria. Other aspects relate to the equipment - its reliability, quantity, weight - and especially the ability to handle it in emergency situations [3,5].

The environment (both the geographical region and the dive site) can also pose diving hazards. The dangers include the possibility of getting lost (e.g. in underwater caves), the effects of strong currents, the possibility of getting entangled in nets or caught in other underwater obstacles, dangerous wrecks, as well as dangerous marine animals and pathogenic microorganisms endemic to the site/region [6].

Many authors believe that international travel is one of the main causes of the spread of infectious diseases, including so-called emerging infectious diseases (EIDs). It has been estimated that as many as 43-79% of travellers from European or North American countries may experience travel-related health problems during or after travel to a developing country [7].

People travelling to tropical and subtropical countries should take particular care of their health safety. It is extremely important to be aware of potential biological hazards, especially those typical of a particular diving site. The tour operator is obliged by law to inform the customer of the specific health and life risks in visited destinations and of the possibility of taking precautions against them (Act on Hotel Services and Tourist Guides of 29 August 1997, Article 13) [8]. However, regardless of whether the expedition is organised by a tour operator or individually, travellers should be aware of preventive measures both before the trip and at the dive site.

THREATS FROM FOODBORNE AND WATERBORNE PATHOGENS

Foodborne and waterborne diseases, mainly diarrhoeal ones, pose the greatest risk to travellers. They are caused by bacteria (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*) and less commonly by viruses (*HAV*, *Norwalk*, *adenoviruses* and *rotaviruses*) [9].

TRAVELLERS' DIARRHOEA (TD)

Travellers' diarrhoea includes signs and symptoms caused by a digestive track disorder. It is the most common health problem experienced during travels to poor hygiene countries. Estimates suggest that TD may affect between 40% and 60% of travellers [10].

BIEGUNKA PODRÓŻNYCH (TD)

Jest to zespół objawów spowodowanych zakażeniem przewodu pokarmowego. Jest najczęstszą chorobą osób podróżujących do krajów o niskim ogólnym poziomie higieny. Szacuje się, że może występować u 40-60% podróżnych [10].

Najczęstszym patogenem biegunek podróżnych jest enterotoksyczna *Escherichia coli*. Do innych czynników infekcyjnych należą bakterie (*Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*), wirusy (Norwalk, adeno- i rotawirusy) oraz pierwotniaki (*Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium parvum*). Objawy to najczęściej ostre zakażenia przewodu pokarmowego, takie jak biegunka (o charakterze krwistym lub wodnistym), odwodnienie, ból brzucha, nudności, wymioty, gorączka. Pierwsze objawy pojawiają się zwykle w ciągu 2-3 dni po przyjeździe do celu podróży. Biegunka utrzymuje się przez 3-4 dni, sporadycznie może trwać ponad tydzień. Epizody TD są zwykle łagodne i samoograniczające się, ale odwodnienie może prowadzić do gorączki, zmęczenia, złego samopoczucia, apetytu na słodycze i bólu głowy, a także może być przyczyną śmierci [11].

Nie zaleca się tu chemoprewencji przed podróżą. Wyjątkiem są osoby obciążone wysokim ryzykiem zachorowania na ciężką biegunkę (np. chorzy z bezkwaśnością żołądka, cukrzycą, niepełnosprawni ruchowo, chorzy na nieswoiste zapalenie jelit) [12]. Tylko subsalicylan bizmutu (BSS) może być brany pod uwagę dla każdego podróżnika, aby zapobiec biegunce podróżnych [13].

W okresie ostrej biegunki zaleca się krótkotrwałą (zwykle jednodniową) głodówkę i przyjmowanie płynów nawadniających. W tym okresie zaleca się unikanie warzyw i owoców (wyeliminowanie błonnika), używek, mleka, płynów zawierających kofeinę [14].

WIRUS ZAPALENIA WĄTROBY TYPU A (HAV)

Jest przenoszony głównie drogą fekalno-oralną, poprzez kontakt międzyludzkie, a także przez spożycie skażonej żywności lub wody. W rzadkich przypadkach istnieje możliwość zakażenia przez krew. HAV jest odpowiadający za około 1,5 miliona zgłoszonych przypadków i dziesiątki milionów infekcji rocznie. Wskaźnik infekcji HAV jest wysoki w krajach rozwijających się z powodu braku warunków sanitarnych i praktyk higienicznych [15,16].

Okres inkubacji wirusowego zapalenia wątroby typu A wynosi zwykle 14-28 dni. Typowe objawy kliniczne zakażenia wirusem zapalenia wątroby typu A obejmują żółtaczkę, gorączkę, złe samopoczucie, nudności i dyskomfort w jamie brzusznej [17].

HAV związane z podróżami było przyczyną prawie 30% zgłoszonych przypadków zapalenia wątroby typu A w Europie w latach 2009-2015. Miejscami najbardziej zagrożonymi dla podróżnych z Europy były Turcja, Egipt i Maroko; stanowiły ponad 30% wszystkich zakażeń wirusem zapalenia wątroby typu A nabytych za granicą. Egipt jest uważany za kraj endemiczny HAV. 50% lub więcej egipskiej populacji jest już narażonych na zakażenie HAV w wieku 15 lat [18,19].

Infekcjom wirusowego zapalenia wątroby typu A można zapobiegać poprzez szczepienie; bezpieczne i skuteczne szczepionki są dostępne od dziesięcioleci.

Enterotoksigenic *Escherichia coli* is the most common pathogen of travellers' diarrhoea. Other infectious agents include bacteria (*Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*), viruses (Norwalk, adeno- and rotaviruses), and protozoa (*Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium parvum*). Symptoms are usually acute gastrointestinal infections such as diarrhoea (bloody or watery), dehydration, abdominal pain, nausea, vomiting and fever. The first symptoms usually appear within 2-3 days after arrival at the destination. Diarrhoea persists for 3-4 days, occasionally it can last for more than a week. Episodes of TD are usually mild and self-limiting, but dehydration can lead to fever, fatigue, malaise, cravings for sweets, and headaches and can be fatal [11].

Pre-travel chemoprophylaxis is not recommended. Exceptions are those at high risk of developing severe diarrhoea (e.g. patients with hypochlorhydria, diabetes, mobility impairment, or patients with inflammatory bowel disease) [12]. Only bismuth subsalicylate (BSS) can be considered for any traveller to prevent travellers' diarrhoea [13].

In acute diarrhoea, short-term (usually one day) fasting is recommended and drinking rehydration fluids. During this period, it is advisable to avoid vegetables and fruit (elimination of fibre), stimulants, milk, and fluids containing caffeine [14].

HEPATITIS A VIRUS (HAV)

It is transmitted mainly by the faecal-oral route, from person to person and by eating contaminated food or drinking contaminated water. In rare cases infection can be transmitted through blood. HAV is responsible for approximately 1.5 million reported cases and tens of millions of infections per year. HAV infection rates are high in developing countries due to lack of sanitation and hygiene practices [15,16].

The incubation period for hepatitis A is usually 14-28 days. Typical clinical signs of hepatitis A infection include jaundice, fever, malaise, nausea and abdominal discomfort [17].

Travel-related HAV accounted for almost 30% of reported hepatitis A cases in Europe between 2009 and 2015. The destinations most at risk for European travellers were Turkey, Egypt and Morocco; they accounted for more than 30% of all hepatitis A infections acquired abroad. Egypt is considered an HAV endemic country. 50% or more of the Egyptian population is already exposed to HAV infection by the age of 15 [18,19].

Hepatitis A infections can be prevented by vaccination as safe and effective vaccines have been available for decades.

TYPHOID

Typhoid is an acute infectious disease caused by *Salmonella typhi* bacteria. The only reservoir of the bacteria is humans who can carry it in their intestines for a very long time (chronic carriers) and transmit the bacteria to others (directly or through contamination of food or water). Other established risk factors include eating ice cream, flavoured frozen drinks or food from street vendors, and raw fruit and vegetables grown in fields fertilised with sewage [20].

After a 1-2 week incubation period, the disease is characterised by gradually progressive fever, fatigue, loss of appetite, abdominal pain, diarrhoea or

DUR BRZUSZNY

Ostra choroba zakaźna wywołana przez bakterie *Salmonella typhi*. Jedynym rezerwuarem jest człowiek. Ludzie mogą przenosić bakterie w jelitach przez bardzo długi czas (nosciciele przewlekli) i przenosić bakterie na inne osoby (bezpośrednio lub poprzez zanieczyszczenie żywności lub wody). Inne ustalone czynniki ryzyka to jedzenie lodów, aromatyzowanych napojów mrożonych lub żywności od ulicznych sprzedawców oraz surowe owoce i warzywa uprawiane na polach nawożonych ściekami [20].

Po 1-2 tygodniach okresu inkubacji choroba charakteryzuje się stopniowo postępującą gorączką, zmęczeniem, utratą apetytu, bólami brzucha, biegunką lub zaparciami, wysypką i powiększeniem śledziony. Może dojść do poważnych powikłań, takich jak perforacja jelit, zapalenie otrzewnej, posocznica, zapalenie mózgu czy zaburzenia neuropsychiatryczne [21,22].

Szacuje się, że każdego roku na całym świecie występuje około 26 milionów przypadków duru brzuszego, które powodują 215 000 zgonów [22]. Największe ryzyko dotyczy podróży do części krajów Azji, głównych krajów południowych i sąsiednich, Afryki oraz niektórych państw Ameryki Południowej. Zgłoszone w 2006 roku badanie przeprowadzone w prowincji Fayoum oszacowało częstość występowania duru brzuszego na 59/100 000 osób rocznie, a najwyższa zapadalność wystąpiła wśród dzieci w wieku szkolnym. Spośród 128 dzieci i dorosłych pacjentów w szpitalu Benha Fever Abd El-Ghany-Hospital 34 było zakażonych dorem brzuszny [23,24].

Wysoka zachorowalność na salmonellozę w Egipcie może być związana z niedostatecznymi informacjami na temat znaczenia i rozprzestrzenienia choroby, czynników behawioralnych, środowiskowych i społeczno-ekonomicznych, a także brakiem informacji na temat możliwych dróg przenoszenia i odpowiednich środków zwalczania. Antybiotykoterapia radykalnie zmieniła rokowania w przypadku duru brzuszego, który nieleczone ma 10% śmiertelność [25].

Środki zapobiegawcze obejmują dobrą higienę osobistą i żywności. Dostępna jest również skuteczna szczepionka.

GORĄCZKI NIEWIADOMEGO POCHODZENIA (FUO, FEVERS OF UNKNOWN ORIGIN)

Charakteryzują się temperaturą $\geq 38,3^{\circ}\text{C}$ utrzymująca się przez co najmniej trzy tygodnie, której przyczyny nie udaje się ustalić mimo przeprowadzenia diagnostyki w warunkach szpitalnych przez okres minimum jednego tygodnia. Jest również określana jako gorączka, która nie ustępuje samoistnie w terminie przewidzianym dla chorób samoograniczających się, a której przyczyny nie daje się ustalić pomimo prowadzenia szerokiej diagnostyki [26].

Obok zaburzeń żołądkowo-jelitowych, infekcji dróg oddechowych oraz chorób skóry — stanowią jeden z najczęstszych problemów zdrowotnych diagnozowanych wśród podróżnych powracających z krajów tropikalnych i subtropikalnych. Mogą być one objawem różnych chorób, najczęściej o etiologii infekcyjnej lub inwazyjnej [27].

Najczęstszą przyczyną FUO u osób powracających z klimatu tropikalnego i subtropikalnego jest malaria. Na terenach Egiptu, jedynie w prowincji El Faiyûm od czerwca do października istnieje niewielkie

constipation, rash and enlargement of the spleen. Serious complications such as intestinal perforation, peritonitis, septicaemia, encephalitis or neuropsychiatric disorders may develop [21,22].

There are an estimated 26 million cases of typhoid fever worldwide each year, causing 215, 000 deaths [22]. The highest risk is involved in travelling to parts of Asia, its major southern countries and their neighbours, Africa, and some South American countries. A study conducted in Fayoum province and reported in 2006 estimated the incidence of typhoid fever at 59/100 000 people per year, with the highest incidence among school-aged children. Of 128 children and adult patients at Benha Fever Abd El-Ghany-Hospital, 34 were infected with typhoid fever [23,24].

The high incidence of salmonellosis in Egypt may be related to insufficient information on the significance and spread of the disease, behavioural, environmental and socio-economic factors, as well as a lack of information on possible routes of transmission and appropriate control measures. Antibiotic therapy has radically changed the prognosis of typhoid fever, which, untreated, has a 10% mortality rate [25].

Preventive measures include good personal and food hygiene. An effective vaccine is also available.

FEVERS OF UNKNOWN ORIGIN (FUO)

Fevers of unknown origin are characterised by a temperature $\geq 38,3^{\circ}\text{C}$ persisting for at least three weeks, the cause of which cannot be established despite inpatient diagnostic work-up for a minimum of one week. It is also defined as a fever that does not resolve spontaneously within the timeframe provided for self-limiting illnesses, the cause of which cannot be established despite extensive diagnostic investigations [26].

Along with gastrointestinal disorders, respiratory infections and skin diseases, FUO are one of the most common health problems diagnosed in travellers returning from tropical and subtropical countries. They can be a symptom of various diseases, most often of infectious or invasive aetiology [27].

The most common cause of FUO in people returning from tropical and subtropical climates is malaria. In Egypt, only in the province of El Faiyûm the risk of malaria caused by *Plasmodium falciparum* and *Plasmodium vivax* is low from June to October. But no indigenous cases have been reported since 1998 [28].

Other conditions with persistent fever include dengue fever, typhoid fever, hepatitis A, bacterial diarrhoea and rickettsioses. Fever can also be a symptom of cosmopolitan diseases common in temperate climates, such as respiratory or urinary tract infections. It may also accompany other conditions or injuries (skin rashes, burns) [21].

A study by Gautret et al. showed that dengue was the second most common cause of fever among travellers after malaria [29].

DENGUE

A disease caused by a virus that is spread by mosquito bites (mainly *Aedes aegypti*). In most cases, the disease is asymptomatic (80%) or mild (10-15%). A severe form of dengue (with haemorrhagic symptoms) is rare and usually occurs with repeated infection (usually 3rd or 4th time). After an incubation period of 8-10 days, mild flu-like symptoms initially appear. The disease can

ryzyko malarii spowodowane przez *Plasmodium falciparum* i *Plasmodium vivax*. Ale od 1998 r. nie zgłoszono żadnych rodzimych przypadków [28].

Do innych schorzeń z utrzymującą się gorączką należą denga, dur brzuszny, wirusowe zapalenie wątroby typu A, biegunki bakteryjne i rikietsjozy. Gorączka może być również objawem chorób kosmopolitycznych, występujących powszechnie w strefie klimatu umiarkowanego, na przykład infekcji układu oddechowego lub moczowego. Może także towarzyszyć innym schorzeniom lub obrażeniom ciała (wysypki skórne, oparzenia) [21].

Badania Gautreta i wsp. wykazały, że denga była drugą po malarii najczęstszą przyczyną gorączki wśród podróżnych [29].

DENGA

Choroba wywoływana przez wirus, który rozprzestrzenia się przez ukąszenia komarów (głównie *Aedes aegypti*). W większości przypadków choroba przebiega bezobjawowo (80%) lub łagodnie (10-15%). Ciężka postać dengi (z objawami krwotoczności) występuje rzadko i najczęściej przy powtórnym zakażeniu innym (zwykle 3 lub 4). Po okresie inkubacji trwającym 8-10 dni, pojawiają się początkowo łagodne objawy grypopodobne. Choroba może również przebiegać w postaci ostrej, która rozpoczyna się gorączką powyżej 38°C. Pojawia się również ból głowy, pozagałkowy ból 38°C. Pojawia się również ból głowy, pozagałkowy ból 38°C. Pojawia się również ból głowy, pozagałkowy ból 38°C. Denga nie występuje na obszarach powyżej 1500 m n.p.m.

Obecnie denga występuje endemicznie w 128 krajach, głównie w krajach rozwijających się (Afryka, Azja Południowo-Wschodnia, Ameryka Południowa i Północna), stanowiąc zagrożenie dla około 3,97 miliarda ludzi rocznie [30]. W ciągu ostatnich 50 lat zaobserwowano trzydziestokrotny wzrost zapadalności na tę chorobę [31]. Według danych egipskich, w 2015 roku w dystrykcie Dayrout w prowincji Assiut doszło do wybuchu epidemii Dengi (253 przypadki)[32]. W 2017 r. potwierdzono, że łącznie 110 osób miało gorączkę Denga (DF) w mieście Quseir nad Morzem Czerwonym i w prowincji Qena w Górnym Egipcie [33]. W rezultacie Egipt został uznany za kraj o pośrednim prawdopodobieństwie zarażenia się dengą na globalnej mapie dengi. Wyniki badania przeprowadzonego przez Mostafa pokazały, że w Gubernatorstwie Morza Czerwonego (Red Sea Governorate) występuje wysokie rozpowszechnienie *Ae. aegypti* i w konsekwencji potencjalne zwiększenie zapadalności na gorączkę denga [34].

Obecnie nie ma szczepionki i leku zapobiegającego. Przeciwdziałanie tej chorobie polega na ochronie przed ukąszeniami komarów, a więc m.in. na stosowaniu repelentów, używaniu moskitier, noszeniu, niezależnie od pory dnia luźnej odzieży osłaniającej części ciała narażone na ukąszenie oraz sprawdzaniu pomieszczenia, w którym śpimy, pod kątem obecności owadów, zwłaszcza bezpośrednio przed snem.

GORĄCZKA ZACHODNIEGO NILU

To wirusowa choroba przenoszona przez komary, które obok dzikich ptaków są rezerwuarem wirusa. Do zakażenia człowieka dochodzi w wyniku ukąszenia komara. Potwierdzono również przeniesienie wirusa podczas transplantacji organów i transfuzji krwi,

also progress to an acute form, which begins with a fever above 38°C. There is also a headache, extraocular eye pain, muscle pain, bone pain, joint pain, weakness, rash. Dengue does not occur in areas above 1,500m above sea level.

Currently, dengue is endemic in 128 countries, mainly in developing ones (Africa, South-East Asia, South and North America), threatening an estimated 3.97 billion people annually [30]. A 30-fold increase in the incidence of the disease has been observed over the past 50 years [31]. According to data from Egypt, there was a dengue outbreak (253 cases) in the Dayrout district of Assiut province in 2015 [32]. In 2017, a total of 110 people were confirmed to have dengue fever (DF) in the city of Quseir on the Red Sea coast and in the province of Qena in Upper Egypt [33]. As a result, Egypt has been identified as a country with an intermediate probability of dengue infection on the global dengue map. The outcome results of Mostafa's study showed that the Red Sea Governorate has a high prevalence of *Ae. aegypti* and consequently a potentially increasing incidence of dengue fever [34].

Currently, there is no vaccine and no preventative medicine. Prevention of the disease consists in protecting against mosquito bites by using repellents and mosquito nets, wearing loose clothing to cover parts of the body exposed to bites at all times of the day and checking the room in which we sleep for the presence of insects, especially immediately before going to bed.

WEST NILE FEVER

West Nile fever is a viral disease transmitted by mosquitoes, which, along with wild birds, are the reservoir of the virus. Human infection occurs through mosquito bites. Transmission of the virus during organ transplants and blood transfusions, from mother to child during pregnancy and through breast milk has also been confirmed. It is estimated that about 80 % of infections are asymptomatic. Symptoms, such as fever, fatigue, headaches, muscle weakness and difficulty concentrating may appear 1-6 days after the mosquito bite. Between 5 and 12 days after the onset of symptoms, maculopapular rash may appear.

The severity of symptoms depends on the age of the infected person. In children it is often mild fever and malaise, in adolescents there is high fever, redness of the conjunctivae, headache and muscle pain, while the elderly may develop encephalitis and meningitis and general emaciation as a result of the infection.

Incidence is observed in many regions of the world, including East and West Africa, North America, South and South-East Asia, and Europe [35]. The prevalence of WNV-IgG antibodies in the Egyptian population is 24% [36]. The low incidence and hospitalisation rates, together with the high WNV seroconversion rate suggest that the disease is widespread in Egypt, but probably for the country's population its course is mild [37]. However, there are no widely available data on cases imported by travellers.

No specific therapy is available for the treatment of West Nile fever nor there is vaccine against the disease. Non-specific prophylaxis is necessary. The main method of preventing the disease consists in reducing exposure to mosquito bites.

z matki na dziecko podczas ciąży a także przez mleko matki. Szacuje się, że około 80 % zakażeń przebiega bezobjawowo. Objawy mogą pojawić się po 1-6 dniach od ukąszenia komara. Są to: gorączka, uczucie zmęczenia, bóle głowy, osłabienie mięśniowe, kłopoty z koncentracją. Pomędzy 5 a 12 dniem od wystąpienia pierwszych objawów może pojawić się wysypka grudkowa.

Nasilenie objawów zależy od wieku osoby zakażonej. U dzieci często jest to łagodna gorączka i złe samopoczucie, u młodzieży występują wysoka gorączka, zaczerwienienie spojówek, ból głowy i ból mięśni, natomiast u osób starszych na skutek zakażenia może dochodzić do zapalenia mózgu i opon mózgowych oraz ogólnego wycieńczenia.

Zachorowania obserwuje się w wielu regionach świata, w tym w Afryce Wschodniej i Zachodniej, Ameryce Północnej, Azji Południowej i Południowo-Wschodniej, a także w Europie [35]. Rozpowszechnienie występowania przeciwciał WNV-IgG w populacji Egiptu wynosi 24% [36]. Niska zachorowalność i hospitalizacja, wraz z wysoką serokonwersją WNV wskazują, że ta choroba w Egipcie jest szeroko rozpowszechniona, ale prawdopodobnie dla mieszkańców kraju o łagodnym przebiegu [37]. Brak jednak szeroko dostępnych danych o przypadkach importowanych przez podróżnych.

W leczeniu gorączki zachodniego Nilu nie ma specyficznej terapii ani dostępnej szczepionki przeciwko tej chorobie. Konieczne jest stosowanie profilaktyki nieswoistej. Główną metodą zapobiegania chorobie jest zmniejszenie narażenia na ukąszenia komarów.

LEPTOSPIROZA

Występuje na całym globie, ale najczęściej występuje w klimacie umiarkowanym lub tropikalnym. Szacuje się, że każdego roku dotyka ponad 1 milion ludzi na całym świecie, a śmiertelność wynosi od 5 do 10%.

Do zakażenia dochodzi w środowisku, w którym bytują zwierzęta wydalające krętki z moczem lub innymi wydalinami (oprócz śliny). Bakterie mogą przechodzić przez skórę (głównie uszkodzoną) lub oczy, nos i usta [38].

Okres inkubacji leptospirozy trwa 5-14 dni. U 90% chorych leptospiroza przebiega łagodnie z nagłymi grypopodobnymi objawami, takimi jak: bóle głowy, mięśni, gardła, gorączka, dreszcze, kaszel, którym towarzyszyć mogą nudności, wymioty, utrata apetytu, biegunka oraz zmiany skórne w postaci wysypki. Objawy zazwyczaj utrzymują się 5-7 dni, a następnie samoistnie ustępują. U około 50% chorych przez 1-2 tygodnie mogą się utrzymywać cechy zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych z bólami głowy i sztywnością karku, które również samoistnie ustępują. Po kilku dniach poprawy może dojść do progresji choroby w postaci ciężkiej niewydolności wątroby i nerek, czasem z niewydolnością wielonarządową. Postać tę określa się jako chorobę Weila.

Ryzyko zarażenia się leptospirozą można znacznie zmniejszyć, nie pływając ani nie brodząc w wodzie, która może być zanieczyszczona moczem zwierząt, lub eliminując kontakt z potencjalnie zakażonymi zwierzętami [39].

Nie ma dostępnej szczepionki. Podróźni, którzy mogą być narażeni na zwiększone ryzyko infekcji, powinni rozważyć stosowanie chemioprofilaktyki. Zaleca się noszenie odzieży ochronnej, zwłaszcza obuwia oraz zakrywanie skaleczeń i otarć opatrunkami okluzyjnymi. Ograniczone badania wykazały, że chemioprofilaktyka doksycykliną (200 mg doustnie, co tydzień), rozpoczęta 1-

LEPTOSPIROSIS

The disease occurs all over the globe, but is most common in temperate or tropical climates. It is estimated to affect more than 1 million people worldwide every year, with mortality rate ranging between 5 and 10%.

Infection occurs in contact with animals that excrete spirochetes with urine or other excretions (except saliva). The bacteria can pass through the skin (mainly damaged skin) or through the eyes, nose and mouth [38].

The incubation period of leptospirosis lasts 5-14 days. In 90% of patients, its course is mild with sudden flu-like symptoms such as headache, muscle aches, sore throat, fever, chills, cough, which may be accompanied by nausea, vomiting, loss of appetite, diarrhoea and skin lesions in the form of a rash. Symptoms usually last 5-7 days and then resolve spontaneously. In about 50% of patients, features of meningitis with headache and neck stiffness may persist for 1-2 weeks, but they also resolve spontaneously. After a few days of improvement, the disease may progress to severe hepatic and renal failure, sometimes with multiple organ failure. This form is referred to as Weil's disease.

The risk of contracting leptospirosis can be significantly reduced by not swimming or wading in water that may be contaminated with animal urine, or by eliminating contact with potentially infected animals [39].

There is no vaccine available. Travellers who may be at increased risk of infection should consider chemoprophylaxis. Wearing protective clothing, especially footwear, and covering cuts and abrasions with occlusive dressings are recommended. Limited studies have shown that chemoprophylaxis with doxycycline (200 mg administered orally once a week), started 1-2 days before and continued throughout the exposure period, can be effective in preventing clinical disease in adults and may be considered in high-risk individuals and those with short-term exposure [40].

THREATS FROM PARASITIC DISEASES

Parasitic diseases are a common health problem for travellers to countries in the hot climate zone. Some carry the risk of dangerous complications, e.g. strongyloidiasis, schistosomiasis, invasive amoebiasis, and filariasis [41]. Parasitic infections can persist for many months with no or only mild symptoms. In some parasitoses, however, the infected person can infect others (in intestinal parasitoses, e.g. amoebiasis, giardiasis).

SCHISTOSOMIASIS

Schistosomiasis has plagued the Egyptian population since ancient times. Although its incidence exhibits a downward trend, the disease continues to be a public health issue in Egypt. Before the HCV epidemic, schistosomiasis was one of the major public health problems in Egypt [22,42].

It is a systemic parasitic disease caused by trematode worms of the genus *Schistosoma*, which live in certain types of freshwater snails. Human infection occurs by active penetration of cercariae through the skin while bathing in contaminated water. The incubation period lasts from three to seven weeks. Maculopapular rash, erythema, pruritus may develop minutes after exposure and disappear within 24-72 hours of infection. Fever, chills, cough and muscle aches may begin within one to

2 dni przed i kontynuowana przez cały okres ekspozycji, może być skuteczna w zapobieganiu klinicznym chorobom u dorosłych i może być rozważona u osób z grupy wysokiego ryzyka i z krótkotrwałą ekspozycją [40].

ZAGROŻENIA CHOROBIAMI WYWOŁYWANYMI PRZEZ PASOŻYTY

Choroby pasożytnicze stanowią częsty problem zdrowotny osób podróżujących do krajów gorącej strefy klimatycznej. Niektóre z nich niosą ze sobą ryzyko groźnych powikłań, np. strongyloidoza, schistosomatoza, inwazyjna postać pełzakowicy oraz filariozy [41]. Zarażenia pasożytami mogą utrzymywać się przez wiele miesięcy, nie dając żadnych lub jedynie skąpe objawy. W przypadku niektórych pasożytów osoba zarażona może jednak zarażać innych (w pasożytach jelitowych, np. w pełzakowicy, giardiozie).

SCHISTOSOMOZA

Schistosomoza nęka ludność egipską od starożytności. Choroba nadal stanowi problem zdrowia publicznego w Egipcie, pomimo tendencji spadkowej. Przed epidemią HCV schistosomatoza była jednym z najważniejszych problemów zdrowia publicznego w Egipcie [22,42].

Jest to ogólnoustrojowa choroba pasożytnicza wywołana przez przywry z rodzaju *Schistosoma*, które żyją w niektórych rodzajach ślimaków słodkowodnych. Zarażenie człowieka następuje przez czynne wniknięcie cercarii przez skórę podczas kąpieli w zanieczyszczonej wodzie. Okres inkubacji trwa od 3 do 7 tygodni. W kilka minut po ekspozycji może rozwinąć się grudkowa wysypka, rumień, świąd, które znikają w ciągu 24-72 godzin od zarażenia. Gorączka, dreszcze, kaszel i bóle mięśni mogą rozpocząć się w ciągu jednego do dwóch miesięcy od zakażenia. Większość ludzi na początku nie ma żadnych objawów, ale nieleczona schistosomoza może powodować poważniejsze problemy zdrowotne, takie jak objawy ze strony nerek i pęcherza moczowego, np. krwimocz [21].

Choć w słone wody Morza Czerwonego są wolne od tego pasożyta, należy pamiętać, że przebywanie w wodach słodkich może narażać na zakażenie.

W badaniach Hammam i wsp. obserwowano powszechne występowanie infekcji *S. haematobium* wśród rybaków pracujących na Jeziorze Nesera. Spadek częstości występowania zakażenia *S. haematobium* z 67% w latach 1974 i 1975 do 18% w 1980 do 20% w 1981 przypisano to powszechnemu stosowaniu metrifonatu w Górnym Egipcie począwszy od 1975 roku [43].

Nie istnieje szczepionka przeciwko tej chorobie a leczenie schistosomozy polega na przyjmowaniu leków przeciw pasożytniczych.

W celu uniknięcia inwazji przywr z rodzaju *Schistosoma* należy unikać kąpieli i brodenia w naturalnych zbiornikach wodnych, takich jak rzeki, jeziora, stawy i różne tereny podmokłe oraz picia nieprzegotowanej wody z tych źródeł. Woda staje się zdatną do picia po zastosowaniu filtrów o porach 30 mikrometrów lub mniejszych, podgrzewaniu wody w temperaturze 50 stopni C przez 5 minut albo pozostawieniu zebranej w baniaku wody na co najmniej 24 h – w tym czasie, w stojącej wodzie, pasożyty

two months of infection. Most people have no symptoms at first, but untreated schistosomiasis can cause more serious health problems, e.g., kidney and bladder symptoms such as haematuria [21].

Although the salty waters of the Red Sea are free of this parasite, one needs to bear in mind that being in freshwater can expose one to infection.

In a study by Hammam et al, the prevalence of *S. haematobium* infection was observed among fishermen working on Lake Nasser. The decrease in the prevalence of *S. haematobium* infection from 67% reported in 1974 and 1975 to 18% in 1980 and 20% in 1981 was attributed to the widespread use of metrifonate in Upper Egypt from 1975 onwards [43].

There is no vaccine against the disease and treatment of schistosomiasis consists in taking antiparasitic drugs.

To avoid an infestation of flukes of the genus *Schistosomiasis*, swimming and wading in natural bodies of water such as rivers, lakes, ponds and various wetlands should be avoided, as well as drinking unboiled water from these sources. Water becomes drinkable after using filters with a pore size of 30 micrometres or less, heating the water at 50 degrees Celsius for 5 minutes, or leaving the water collected in a container for at least 24 h (during this time, in standing water, the parasites die) [44].

DANGEROUS MARINE ANIMALS OF THE RED SEA BASIN

Being in an aquatic environment in the Red Sea region exposes humans to many dangers from the flora and fauna that live there.

Stinging invertebrates (cnidarians) are the most common dangerous marine animals. Less common than stinging invertebrates and easier to recognise are venomous marine vertebrates which, however, can be much more deadly. Although sharks pose the greatest threat to divers, bites from other marine animals can be painful, infectious and require extensive treatment.

Many fish (e.g. stonefish, rockfish), coelenterates (including jellyfish), sea anemones, corals, snails, worms, sea urchins or sponges are armed with venom spikes or nematocysts. Toxic substances produced by venomous animals belong to one of three groups: neurotoxins, cytotoxins or enzymes. The amount of venom to which a person is exposed is not always life-threatening, however, contact with toxins almost always causes pain.

COELENTERATES – JELLYFISH, SEA ANEMONES, CORALS

Jellyfish species are found in all warm seas. Many of them may inflict burning pain on the victim when human body comes into contact with their tentacles. Experienced symptoms can be local and sometimes, under the influence of the venom of some species, general. Locally, erythema, burning sensation, pain of varying degrees of severity, rash, itching, blisters filled with serous fluid or subcutaneous petechiae are noticeable. There is swelling and redness around the site of contact with the tentacles, which may persist for up to several days. Rarely, skin ulceration and necrosis occur. General symptoms include dyspnoea, abdominal pain, muscle twitching, and rarely loss of consciousness or respiratory distress. In individual cases, especially in the elderly, those with circulatory failure or those with

obumierają) [44].

NIEBEZPIECZNE ZWIERZĘTA MORSKIE AKWENU MORZA CZERWONEGO

Przebywanie w środowisku wodnym naraża człowieka na wiele niebezpieczeństw ze strony fauny i flory tam bytującej.

Bezkręgowce żądłące to najczęściej spotykane niebezpieczne zwierzęta morskie. Jadowite kręgowce morskie są mniej powszechne niż kłujące bezkręgowce i są łatwiejsze do rozpoznania. Mogą być jednak znacznie bardziej śmiertelne. Mimo, że rekiny stanowią największe zagrożenie dla nurków, to ukąszenia innych zwierząt morskich mogą być bolesne, ulegać zakażeniu i wymagać intensywnego leczenia.

W kolce jadowe lub parzydełka uzbrojonych jest wiele ryb (m.in. szkaradnice, skorpeny), jamochłony (w tym meduzy), ukwiały, koralowce, ślimaki, robaki, jeżowce czy gąbki. Produkowane przez zwierzęta jadowite substancje toksyczne należą do jednej z trzech grup: neurotoksyn, cytotoxyn lub enzymów. Nie zawsze ilość jadu, na jaką narażony jest człowiek stanowi zagrożenie dla życia, jednakże prawie zawsze kontakt z toksynami powoduje dolegliwości bólowe.

JAMOCHŁONY – MEDUZY, UKWIAŁY, KORALOWCE

Meduzy występują we wszystkich morzach ciepłych. Wiele gatunków meduz posiada właściwości parzące. Po zetknięciu ciała z czułkami występują objawy miejscowe, a niekiedy pod wpływem jadu niektórych gatunków – objawy ogólne. Miejscowo zauważalny jest rumień, uczucie palenia, ból o różnym stopniu nasilenia, wysypka, swędzenie, pęcherze wypełnione płynem surowicznym lub wybroczyny podskórne. Wokół miejsca kontaktu z czułkami występuje obrzęk i zaczerwienienie, które mogą utrzymywać się do kilku dni. Rzadko dochodzi do owrzodzeń i martwicy skóry. Do objawów ogólnych należą: duszność, ból brzucha, drgawki mięśniowe, rzadko dochodzi do utraty przytomności czy zaburzenia oddychania. W pojedynczych przypadkach, szczególnie u osób starszych, z niewydolnością krążenia czy uczulonych może dojść do ostrej niewydolności krążenia, obrzęku płuc i zgonu [45].

Szczególnie niebezpieczne jest oparzenie jadem żeglarza portugalskiego. Posiada on charakterystyczny pęcherz unoszący go na powierzchni wody, który dodatkowo pełni rolę żagla. Żeglarz ma bardzo silne parzydełka, które mogą być groźne dla człowieka. W skład jadu wchodzi białkowe neurotoksyny, histamina oraz enzymy. W zależności od ilości wstrzykniętego jadu i powierzchni poparzenia, dochodzi do zaczerwienienia i wysypki grudkowej, którym to towarzyszy silny ból i pieczenie, następnie pojawiają się pęcherze. Działania ośrodkowe jadu prowadzą do nudności, wymiotów, skurczów mięśni, ostrej niewydolności nerek, śpiączki i zgonu. W przypadku masywnego kontaktu tylko podanie swoistej surowicy jest w stanie uratować życie nurka [46].

Ukwiały posiadają podobne właściwości parzące jak meduzy. W ich komórkach parzydełkowych stwierdzono mieszaninę kilku toksyn (telasina, kongestyna, tetramina). Kontakt z takim ukwiałem wywołuje swędzenie, uczucie palenia, powstają pęcherze, następnie może dojść do martwicy skóry. Zmianom skórny towarzyszą objawy ogólne, do których należą

allergies, acute circulatory failure, pulmonary oedema and death can occur [45].

The Portuguese man o'war (*Physalia physalis*) venom burn is particularly dangerous. It has a distinctive bladder that floats it on the surface of the water, which also acts as a sail. The Portuguese man o'war has got very potent nematocysts, which can be dangerous to humans. Its venom includes protein neurotoxins, histamine and enzymes. Depending on the amount of venom injected and the area of the burn, redness and a maculopapular rash occur, accompanied by severe pain and burning, followed by blistering. The central effects of the venom lead to nausea, vomiting, muscle spasms, acute renal failure, coma and death. In cases of massive contact, only the administration of a specific serum can save the diver's life [46].

Sea anemones have similar skin irritating properties to jellyfish. A mixture of several toxins (thalassine, congestin, tetramine) has been found in their nematocysts. Contact with such an anemone causes itching, a burning sensation, blisters followed by skin necrosis may occur. The skin lesions are accompanied by general symptoms, which include weakness, high fever, muscle tremors and severe headaches.

Some types of coral, from the family *Milleporidae*, can cause skin irritation making them dangerous for divers. In the Red Sea a particularly well-known coral is the so-called 'fire coral' [47,48].

ECHINODERMS – SEA URCHINS

The most common representatives of this group are sea urchins. They inhabit the bottom zone of saline waters with salinities above 20‰ of all geographical zones. They are found in the coastal zone, from a few centimetres to several metres.

Thorn-like spikes provide an apparatus for movement and defence against intruders. They penetrate the skin very easily, break off, and the residues remaining in the wound are difficult to remove, causing inflammatory reactions. In the zone between the normal spikes, there are shorter ones supplied with venom glands. In some sea urchin species, venom is found in all types of spikes. If the venom enters human body, it causes immediate burning, redness, swelling and then blisters. Stinging by many sea urchins can result in limited muscle paralysis or general inflammation. The handling of sea urchin stings is analogous to that of other venomous animals, however, surgical removal of spike fragments is necessary [49].

SEA SNAILS

Some sea snails can be dangerous to humans. Venomous marine gastropods include cone snails and terebrids. They have a venom gland, connected by an excretory duct to a sharp spike located at the end of a flexible funnel that serves as a sensory organ; when they feel threatened, the sharp spike, extends from the funnel and the venom enters the body of the prey. The action of the venom blocks nerve conduction. The local injury is often a small, unnoticeable wound, around which cyanosis, sensory and muscular mobility abnormalities occur in rapid succession, accompanied by acute radiating pain. Severe cases can result in paralysis, visual and auditory dysfunction, cardiac arrhythmias, drop in blood pressure, respiratory muscle paralysis, unconsciousness and death. In view of the absence of specific serums, the

m.in. osłabienie, wysoka gorączka, drżenie mięśni i silne bóle głowy.

Niektóre typy koralu, z rodziny Milleporidae, mogą spowodować podrażnienia skóry co czyni je niebezpiecznymi dla pętlonurków. W rejonach Morza Czerwonego szczególnie znanym korałem jest tzw. „ognisty koral” [47,48].

SZKARŁUPNIE – JEŻOWCE

Najczęściej spotykanymi przedstawicielami tej grupy są jeżowce. Zamieszkują one strefę denną wód słonych o zasoleniu powyżej 20% wszystkich stref geograficznych. Występują w strefie przybrzeżnej, od kilku centymetrów do kilku metrów.

Kolce stanowią aparat ruchu oraz obrony przed intruzami. Kolce bardzo łatwo wnikają w skórę, łamią się, a pozostałe w ranie resztki są trudne do usunięcia, powodując odczyny zapalne. W strefie pomiędzy zwykłymi kolcami, znajdują się krótsze zaopatrzone w gruczoły jadowe. U niektórych gatunków jeżowców jad znajduje się we wszystkich typach kolców. Przedostanie się jadu do organizmu człowieka powoduje natychmiastowe pieczenie, zaczerwienienie, obrzęk a następnie pęcherze. Pokłucie przez liczne jeżowce może skutkować ograniczonym porażeniem mięśniowym ograniczonym czy też ogólnym stanem zapalnym. Postępowanie po pokłuciu jeżowcami jest analogiczne jak w przypadku pozostałych zwierząt jadowitych, jednakże konieczne jest chirurgiczne usunięcie odłamków kolców [49].

ŚLIMAKI MORSKIE

Niektóre ślimaki morskie potrafią być niebezpieczne dla człowieka. Do jadowitych ślimaków morskich należą stożki i terebry. Posiadają gruczoł jadowy, połączony kanalikiem wydalniczym z ostrym kolcem, który znajduje się na końcu elastycznego lejka stanowiącego organ czuciowy, w chwili zagrożenia ostry kolec, wysuwa się z lejka i jad trafia do ciała ofiary. Działanie jadu blokuje przewodnictwo nerwowe. Obrażenia miejscowe to często drobna, niezauważalna rana, wokół której w krótkim odstępie czasu pojawia się sinica, zaburzenia czucia i ruchomości mięśniowej, którym towarzyszy ostry, promieniujący ból. W ciężkich przypadkach może dojść do porażenia, dysfunkcji narządu wzroku i słuchu, zaburzeń rytmu serca, spadku ciśnienia, porażenia mięśni oddechowych, utraty przytomności i zgonu. Wobec barku swoistych surowic, prawidłowe postępowanie ratownicze polega na założeniu opaski uciskowej oraz leczeniu zachowawczym [50].

MAŁŻE

W akwenie Morza Czerwonego licznie występuje Trydakna (przydacznia). Te szczególnie wielkie małże, osiągające wagę do 300 kg i średnicę ponad 1 metra, reagują nawet na najmniejsze falowanie wody, a ich zatraskujące się pokrywy mogą uwięzić kończynę człowieka [51].

ROGATNICE

Rogatnice uważane są za najbardziej agresywne ryby zamieszkujące rafy koralowe, żyjące na głębokości 0-50 metrów. Atakują człowieka, gdy czują się zagrożone.

correct emergency management consists of tourniquet application and conservative treatment [50].

BIVALVE MOLLUSCS

Tridacna (maxima clam) is a genus abundant in the Red Sea. These particularly large bivalves, reaching weights of up to 300 kg and diameters of more than 1 m, react to even the slightest ripple in the water, and their snapping lids can trap a human limb [51].

TRIGGERFISH

Triggerfish are considered to be the most aggressive fish inhabiting coral reefs, living at depths of 0-50 metres. They attack humans when they feel threatened. Interaction with this fish can result in injury from blows with the spiny dorsal fin and biting with large teeth embedded in a strong jaw [52].

SCORPAENIDAE

The best-known species among them are the scorpionfish, reef stonefish and red lionfish (Pterois volitans). Scorpaenidae have a demersal lifestyle, while lionfish swim in shallow, well-lit waters. Common features are a body covered with papillary protuberances, large spiny fins and the ability to change colouration. Red lionfish is often referred to as the 'flower of the Red Sea'. Reef stonefish, on the other hand, is considered the most venomous fish in the world. Venom spines are found not only in the dorsal fin, but also in the ventral and anal fins. There are longitudinal grooves on the surface of the spines, which facilitate penetration of the venom into the body of the prey. The venom is a peptide substance. The local symptoms of paralysis are similar to those of other toxins. However, inflammation of the lymph nodes and general symptoms such as muscular paralysis, pulmonary oedema and cardiopulmonary failure may occur simultaneously and may result in death. The correct rescue procedure is the administration of anatoxin made from horse serum [53,54].

MURAENIDAE

The Red Sea region is home to the giant moray eel. It is a predatory fish that leads a nocturnal lifestyle. They rarely attack humans, only in self-defence, biting with their strong teeth. The moray eel's very strong jaws result in deep bites. In addition, it has glands on its palate that produce a weak venom. Getting the blood of a moray eel into a human wound can also be a danger, due to its toxic properties. Symptoms associated with the effects of the poison include limited inflammation. If more venom enters the bloodstream, circulatory and respiratory distress may occur, accompanied by severe radiating pain [55,56].

ACANTHURIDAE

In defence of their territory, they may attack a diver. In the Red Sea, the most common is the sohal surgeonfish (Acanthurus sohal or sohal tang), which has a spike at the base of its tail equipped with a venom gland. A blow with the tail or accidental rubbing against a fish can cause a cut to the skin, rarely a puncture wound. The venom has a localised effect accompanied by erythema,

W wyniku obcowania z tą rybą może dojść do zranienia w wyniku uderzenia kolczystą płetwą grzbietową oraz pogryzienia dużymi zębami osadzonymi w silnej szczęcie [52].

ZŁAKWY

Najbardziej znane gatunki spośród nich to skorpena, szkaradnica i skrzydlica. Skorpeny prowadzą przydenny tryb życia, z kolei skrzydlice pływają w płytkich, dobrze prześwietlonych wodach. Wspólną cechą jest ciało pokryte brodawkowymi wypustkami, wielkie kolczyste płetwy oraz zdolność do zmiany ubarwienia. Skrzydlica często jest nazywana „kwiatem Morza Czerwonego”. Z kolei szkaradnica uważana jest za najbardziej jadowitą rybę na świecie. Kolce jadowe znajdują się nie tylko w płetwie grzbietowej, ale również w brzusznej i odbytovej. Na powierzchni kolców znajdują się podłużne bruzdy, które ułatwiają penetrację jadu do ciała ofiary. Jad stanowi substancja peptydowa. Objawy miejscowe porażenia są podobne, jak w przypadku innych toksyn. Jednakże równocześnie może dojść do zapalenia węzłów chłonnych oraz objawów ogólnych takich jak: porażenie mięśniowe, obrzęk płuc, niewydolność krążeniowo-oddechowa w następstwie których może dojść do zgonu. Prawidłowe postępowanie ratownicze polega na podaniu antotoksyny wytworzonej na bazie surowicy końskiej [53,54].

WĘGORNICE

W rejonie Morza Czerwonego występuje murena olbrzymia. Jest to drapieżna ryba, która prowadzi nocny tryb życia. Rzadko atakuje człowieka, tylko w obronie własnej, gryząc mocnymi zębami. Bardzo silne szczęki mureny powodują, że ugryzienia są głębokie. Dodatkowo na podniebieniu posiada gruczoły produkujące słaby jad. Zagrożenie może również stanowić dostanie się krwi mureny do rany człowieka, ze względu na jej właściwości toksyczne. Do objawów związanych z działaniem trucizny należy ograniczony stan zapalny. W przypadku dostania do krwiobiegu większej ilości jadu może dojść do zaburzeń krążenia i oddychania z towarzyszącym silnym, promieniującym bólem [55,56].

POKOLCOWATE

W obronie własnego terytorium mogą zaatakować nurka. W akwenie Morza Czerwonego najczęściej występującym jest pokolec arabski (szary), który posiada w nasadzie ogona kolec zaopatrzony w gruczoł jadowy. Uderzenie ogonem lub przypadkowe otarcie się o rybę może spowodować przecięcie skóry, rzadko ranę kłutą. Jad ma działanie miejscowe, któremu towarzyszy rumień, obrzęk i ból [57].

OGOŃCZOWATE

Jest to rodzina ryb chrząstnoszkieletowych, występujących powszechnie w ciepłych morzach całego świata, obejmująca ponad 70 gatunków, w tym jadowite. Posiada kształt płaski, szerokie płetwy piersiowe podobne do skrzydeł, brak płetwy grzbietowej i ogonowej, zaś na długim ogonie znajduje się kolec, bardzo często jadowy. W Morzu Czerwonym potencjalnie niebezpieczną jest Ogończa niebieska, która podobnie jak rekin jest chrząstnoszkieletowa. W zagrożeniu potrafi zadać bolesne rany. Jad wywołuje obrzęk

swelling and pain [57].

WHIPTAIL STINGRAY (DASYATIDAE)

It is a family of cartilaginous fish common in warm seas around the world, comprising more than 70 species, including venomous ones. It has a flat shape, broad pectoral fins similar to wings, lacks a dorsal and caudal fin and has a spike, very often venomous, on its long tail. A potentially dangerous one in the Red Sea is the bluespotted ribbontail ray, which, like the shark, is cartilaginous. When it feels threatened, it can inflict painful wounds. The venom causes swelling and redness in the sting area accompanied by several hours of severe pain. Treatment is symptomatic, the wounding does not usually cause further complications [58].

PREVENTIVE HEALTHCARE TIPS BEFORE AND DURING DIVE TRIPS TO THE RED SEA REGION

PRE-TRAVEL PROPHYLAXIS

Between 4 and 8 weeks before departure, you should see a tropical disease or travel medicine doctor. He or she will advise on recommended vaccinations and other preventive measures to protect against contracting dangerous infectious diseases.

According to the International Health Regulations adopted under the auspices of the World Health Organisation (WHO), the only vaccination required when travelling to some North African countries is the yellow fever vaccine [59].

In situations of exceptional health emergency, the World Health Organisation may make it compulsory for travellers to be vaccinated against other infectious diseases as well. On top of that, irrespective of international regulations, individual countries may require immunisation against major infectious diseases in a particular region of the world on the basis of their own visa laws and regulations. This is currently the case in Saudi Arabia where a meningococcal vaccination is a condition of entry into the country.

According to the latest WHO recommendations, a yellow fever vaccination certificate is required when travelling to Egypt for anyone over nine months of age arriving from countries at risk of spreading the disease, this includes those in transit (at least 12 hours in transit) in countries of North Africa: Libya; Central Africa: Chad, Equatorial Guinea, Cameroon, Sudan, Zambia; East Africa: Djibouti, Eritrea, Ethiopia, Kenya, Madagascar, Malawi, Mauritius, Mozambique, Reunion, Rwanda, Seychelles, Somalia, Tanzania, Zanzibar; West Africa: Benin, Burkina Faso, Gambia, Guinea, Mauritania, Nigeria, Senegal, and islandic countries Sao Tome and Principe, and Cape Verde; South Africa: Botswana, Eswatini, Lesotho, Namibia, South Africa, Zimbabwe; South America: Bolivia, Brazil, Guyana, Colombia; Europe: Albania and Malta [60].

In the absence of a vaccination certificate, a person is detained in quarantine for up to 6 days upon arrival from an area at risk of yellow fever [60].

In addition, an international polio vaccination certificate issued within the last 12 months and at least 4 weeks prior to departure is required in Egypt for travellers from the following countries: Afghanistan, Indonesia, Myanmar, Nigeria, Pakistan, Papua New Guinea and Somalia Angola, Benin, Cameroon, Central

i zaczerwienienie w okolicy ułknięcia z towarzyszącym kilkanaście godzin silnym bólem. Leczenie jest objawowe, poranienie nie powoduje zwykle dalszych powikłań [58].

DZIAŁANIA PROFILAKTYCZNE PRZED I PODCZAS WYPRAWY NURKOWEJ W REJON MORZA CZERWONEGO.

PROFILAKTYKA PRZED PODRÓŻĄ

Na 4-8 tygodni przed wyjazdem, należy zgłosić się do lekarza chorób tropikalnych lub medycyny podróży. Udzieli on porady dotyczącej zalecanych szczepień i innych sposobów profilaktyki chroniących przed zachorowaniem na groźne choroby zakaźne.

Według Międzynarodowych Przepisów Zdrowotnych Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) jedynym wymaganym szczepieniem jest podczas podróży do części krajów Afryki Północnej jest szczepionka przeciwko żółtej gorączce.

W sytuacjach wyjątkowego zagrożenia zdrowotnego Światowa Organizacja Zdrowia może wprowadzić wśród podróżnych obowiązek szczepień także przeciwko innym chorobom zakaźnym. Poza tym, niezależnie od regulacji międzynarodowych, poszczególne kraje mogą wymagać uodpornienia przeciwko ważnym w danym regionie świata schorzeniom infekcyjnym na podstawie własnego prawa wizowego. Obecnie taka sytuacja ma miejsce w Arabii Saudyjskiej, a warunkiem pozwolenia na wjazd do tego kraju jest szczepienie przeciwko meningokokom [59].

Według najnowszych rekomendacji WHO podczas podróży do Egiptu wymagane jest świadectwo szczepień przeciwko żółtej gorączce dla wszystkich powyżej 9 miesięcy życia przybywających z krajów zagrożonych rozprzestrzenieniem się tej choroby, dotyczy to również osób przebywających przejazdem (w co najmniej 12-godzinnym transzycie) w krajach: Afryki Północnej: Libia; Afryka Środkowa: Czad, Gwinea Równikowa, Kamerun, Sudan, Zambia; Afryki Wschodniej: Dżibuti, Erytrea, Etiopia, Kenia, Madagaskar, Malawi, Mauritius, Mozambik, Reunion, Rwanda, Seszele, Somalia, Tanzania, Zanzibar; Afryki Zachodniej: Benin, Burkina Faso, Gambia, Gwinea, Mauretania, Nigeria, Senegal, Wyspy Świętego Tomasza i Książęca, Wyspy Zielonego Przylądka; Afryki Południowej: Botswana, Eswatini, Lesotho, Namibia, Republika Południowej Afryki, Zimbabwe; Ameryki Południowej: Boliwia, Brazylia, Gujana, Kolumbia; Europy: Albania, Malta [60].

W przypadku braku zaświadczenia o szczepieniu, osoba zostaje zatrzymana na kwarantannie na okres do 6 dni po przybyciu z obszaru zagrożonego żółtą gorączką [60].

Ponadto w Egipcie wymagane jest międzynarodowe świadectwo szczepienia przeciwko polio, wydane w ciągu ostatnich 12 miesięcy i co najmniej 4 tygodnie przed wyjazdem dla podróżnych z następujących krajów: Afghanistan, Indonesia, Myanmar, Nigeria, Pakistan, Papua New Guinea and Somalia Angola, Benin, Cameroon, Central African Republic, China, Democratic Republic of the Congo, Ethiopia, Ghana, Kenya, Mozambique, Niger and Philippines [61].

Zatem dla osób wyjeżdżających bezpośrednio z Polski nie ma obowiązkowych szczepień, warto jednak uodpornić się na niektóre choroby w ramach szczepień

African Republic, China, Democratic Republic of the Congo, Ethiopia, Ghana, Kenya, Mozambique, Niger and Philippines [61].

Thus, there are no compulsory vaccinations for those travelling directly from Poland, but it is worth immunizing against certain diseases as part of recommended vaccinations. Among the routine vaccinations are vaccination against: chickenpox, diphtheria-tetanus-pertussis, measles-mumps-rubella, polio, and hemiplegia. For these vaccinations, make sure that you are up to date with the recommended doses to guarantee immunity.

Vaccinations recommended before travelling to Egypt include:

1. hepatitis A - for everyone over 1 year of age, even if they plan to stay in good sanitary conditions,
2. hepatitis B - in accordance with the Polish Immunisation Programme, vaccination is recommended for adults not previously immunised against this disease,
3. typhoid fever - vaccination is recommended especially for persons who may be exposed to eating contaminated food during travel, travelling for a long time and going to rural areas of this part of the world, and
4. rabies - vaccination recommended mainly because dogs with rabies are common in Egypt and options for post-exposure prophylaxis are very limited.

PREVENTION WHILE STAYING ABROAD

In addition to immunization-based prevention, non-specific prevention is very important to reduce the risk of contracting various diseases.

Prevention of foodborne diseases, regardless of the disease, is similar unless there is specific immunisation against it in the form of a vaccine.

These diseases are prevented by following basic hygiene rules, such as washing hands before meals and disinfecting with liquids containing no less than 60% of alcohol, and avoiding the consumption of food and water from unknown sources. It is recommended to avoid eating food served at room temperature, fresh vegetables, still water, ice cubes, unpeeled fruit, meals from street vendors, raw or lightly cooked food (meat, fish, salads, eggs, unwashed fruit and vegetables), unpasteurised dairy products. It is considered relatively safe to eat hot foods (cooked in at least 60 degrees, except for jams, syrups and honey), bread and other dry foods, and to drink warm liquids or carbonated drinks. Drinking and touching well water can also be dangerous. It is also recommended to avoid touching the eyes, nose and mouth unless you are sure your hands are clean. It is necessary to cover the mouth and nose with a handkerchief or sleeve (not the hands) when coughing or sneezing, and to avoid close contact such as kissing, hugging, or sharing food.

CONCLUSION

When planning a diving trip to the Red Sea, it is important to be aware of the biohazards present in this geographical region.

During your stay, it is advisable to: observe food hygiene, choose safe drinks and food to prevent



zalecanych. Wśród rutynowych szczepień są to szczepienia przeciwko: ospie wietrznej, błonica-tężec-krztusiec, odra-świnka-różyczka, polio, półpasiec. W przypadku tych szczepień należy upewnić się, czy jest się na bieżąco z zaleconymi dawkami gwarantującymi odporność.

Do szczepień zalecanych przed wyjazdem do Egiptu zalicza się szczepienia przeciwko [21]:

1. wirusowemu zapaleniu wątroby typu A – dla wszystkich powyżej 1 roku życia, nawet jeśli planują pobyt w dobrych warunkach sanitarnych,
2. wirusowemu zapaleniu wątroby typu B - zgodnie z polskim Programem Szczepień Ochronnych szczepienie zalecane jest u osób dorosłych wcześniej nieuodpornionych przeciwko tej chorobie,
3. durowi brzuszemu - szczepienie zalecane zwłaszcza u osób, które mogą w podróży żywić się w złych warunkach sanitarnych, wyjeżdżających na długi czas i udających się w rejony wiejskie tej części świata,
4. wścieklicznie - szczepienie zalecane przede wszystkim dlatego, iż psy chore na wścieklicznę są powszechnie spotykane w Egipcie a możliwości profilaktyki poekspozycyjnej są bardzo ograniczone.

PROFILAKTYKA PODCZAS POBYTU

Oprócz profilaktyki opartej o uodpornienie, bardzo ważna jest profilaktyka nieswoista, która zmniejszy ryzyko zachorowania na różne choroby.

Prewencja zachorowań na choroby przenoszone drogą pokarmową, niezależnie od jednostki chorobowej jest podobna, chyba że istnieje przeciwko nim uodpornienie swoiste w postaci szczepionki.

Chorobom tym zapobiega się, stosując podstawowe zasady higieny, takie jak mycie rąk przed posiłkami i dezynfekcja płynami o zawartości alkoholu nie mniejszej niż 60% oraz unikanie spożywania pokarmów i wody z nieznanego źródła. Zaleca się unikania jedzenia potraw podawanych w temperaturze pokojowej, świeżych warzyw, niegazowanej wody, lodu w kostkach, owoców nieobranych ze skórki, posiłków od ulicznych sprzedawców, surowych lub lekko gotowanych potraw (mięsa, ryb, sałatek, jaj, nieumytych owoców i warzyw), niepasteryzowanych produktów mlecznych. Za stosunkowo bezpieczne uważa się spożywanie potraw gorących (gotowanych w co najmniej 60 stopniach, za wyjątkiem dżemów, syropów i miodu), pieczywa i innych suchych pokarmów oraz picie ciepłych płynów lub napojów gazowanych. Niebezpieczne może być także picie i dotykanie wody ze studni. Zaleca się także unikanie dotykania oczu, nosa i ust, jeśli nie jesteśmy pewni, że mamy czyste dłonie. Konieczne jest zasłanianie ust i nosa chusteczką lub rękawem (nie zaś dłońmi) podczas kaszlu lub kichania, a także unikanie bliskiego kontaktu, np. całowania, przytulania, lub dzielenia się jedzeniem.

PODSUMOWANIE

Planując wyprawę nurkową w rejon Morza Czerwonego należy mieć świadomość zagrożeń biologicznych występujących w tym regionie geograficznym.

Podczas pobytu warto: przestrzegać higieny spożywania posiłków, wybierać bezpieczne dla zdrowia

traveller's diarrhoea and other gastrointestinal diseases; take protective measures against insects that may transmit e.g. leishmaniasis; avoid contact with animals that may transmit e.g. rabies; avoid casual sexual contacts, and bathing in unsafe bodies of water.

One needs to bear in mind that the main danger to people diving in warm waters are venomous animals with the ability to produce toxic substances.

The basic treatment and rescue procedure for contact with a venomous marine organism is the use of a suitable serum or antitoxin. Unfortunately, an antidote is not known for every venom. Conservative treatment should then be applied, depending on the condition of the victim.

napoje i pokarmy w celu zapobiegania biegunkom podróżnych i innych chorobom przewodu pokarmowego; stosować środki ochrony przed owadami, które mogą przenosić np. leiszmaniozę; unikać kontaktu ze zwierzętami, mogącymi przenosić np. wściekliznę; unikać przygodnych kontaktów seksualnych; unikać kąpieli w niepewnych zbiornikach wodnych.

Należy pamiętać, że głównym niebezpieczeństwem dla osób nurkujących w wodach ciepłych są zwierzęta jadowite, posiadające zdolność produkcji substancji toksycznych.

Podstawowym sposobem postępowania leczniczo-ratowniczego w przypadku kontaktu z jadowitym organizmem morskim jest zastosowanie odpowiedniej surowicy lub antytoksyny. Niestety, nie dla każdego jadu znane jest antidotum. Wówczas należy stosować leczenie zachowawcze, uzależnione od stanu poszkodowanego.

REFERENCES

1. <https://diveeepscuba.com/scuba-diving-tourism-statistics-2022/>
2. <https://divemagazine.com/scuba-diving-travel/best-scuba-diving-destinations-2022>
3. Bosco, G.; Rizzato, A.; Moon, R.E.; Camporesi, E.M. Environmental Physiology and Diving Medicine. *Front. Psychol.* 2018, 9, 72. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00072
4. Niewiedział D., Miłkowska M., Siermontowski P., Dąbrowiecki Z, Kaczerska D., Juszcak D., Olszański R.: The problem of experiencing anxiety among divers. Experiment in hyperbaric exposure conditions. *PHR* 2019, 1(66); 47-59 DOI:10.2478/phr-2019-0004
5. Konarski M., Siermontowski P. Morawiec B.: Zagrożenia zdrowia i życia związane z wykorzystaniem aparatów nurkowych z recykulacją czynnika oddechowego. w „Wybrane problemy medycyny morskiej i nurkowej” R. Olszański (red.) wyd. PTMiTH Gdynia 2013; 211-224
6. Patkiewicz J. The specificity of diving of the disabled. *Physiotherapy* 2015, 23(3), 34–39. doi: 0.1515/physio-2015-0017
7. Lieshout-Krikke RW, Zaaijer HL, Prinsze FJ. The yield of temporary exclusion of blood donors, exposed to emerging infections abroad. *Vox Sang.* 2013 Jan;104(1):12-8. doi: 10.1111/j.1423-0410.2012.01631.x.
8. Ustawa o usługach hotelarskich oraz usługach pilotów wycieczek i przewodników turystycznych z dnia 29 sierpnia 1997 r., art. 13
9. Kacprzak E., Mrówka K., Cofta M., Stefaniak J.: Biegunka podróżnych. W „Problemy zdrowia w tropiku” R. Olszański (red) wyd. PTMiTH Gdynia 2009:181-188
10. Mamdouh M., M. El-Bahnasawy, Tossou A. Morsy. Beyond the immunization: Travelers' infectious diseases 1 – diarrhea. *J. Egypt. Soc. Parasitol.* 45(1), 2015:29-42
11. Zhang N, Du SM, Zhang JF, Ma GS. Effects of Dehydration and Rehydration on Cognitive Performance and Mood among Male College Students in Cangzhou, China: A Self-Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2019 May 29;16(11):1891. doi: 10.3390/ijerph16111891
12. Mach T. Traveler's diarrhea. *Gastroenterologia Kliniczna* 2011, tom 3, nr 3, 121–126
13. Riddle MS, Connor BA, Beeching NJ, DuPont HL, Hamer DH, Kozarsky P et al. Guidelines for the prevention and treatment of travelers' diarrhea: a graded expert panel report, *Journal of Travel Medicine*, Volume 24, Issue suppl_1, April 2017, Pages S63–S80, doi.org/10.1093/jtm/tax026
14. Gianella R.A. Infectious enteritis and proctocolitis and bacterial food poisoning. W: Feldman M, Friedman L.S., Sleisenger M.H. (red.). Sleisenger & Fordtran's Gastrointestinal and Liver Disease. Saunders, Philadelphia, 2010: 1873–18754, DuPont H.L., Ericsson C.D., Farthing M.J.G. i wsp. Expert review of the evidence base for prevention of travelers' diarrhea. *J. Travel Medicine* 2009; 16: 149–160
15. Miguères M, Lhomme S, Izopet J. Hepatitis A: Epidemiology, High-Risk Groups, Prevention and Research on Antiviral Treatment. *Viruses.* 2021 Sep 22;13(10):1900. doi: 10.3390/v13101900
16. Cuthbert JA (2001) Hepatitis A: old and new. *Clin Microbiol Rev* 14:38–58; Nainan OV, Xia G, Vaughan G, Margolis HS (2006) Diagnosis of hepatitis a virus infection: a molecular approach. *Clin Microbiol Rev* 19:63–79
17. Aggarwal R, Goel A. Hepatitis A: epidemiology in resource-poor countries. *Curr Opin Infect Dis.* 2015;28(5):488–96
18. Beauté J., Westrell T., Schmid D., Müller L., Epstein J., Kontio M., Couturier E., Faber M., Mellou K., Borg M.-L., et al. Travel-Associated Hepatitis A in Europe, 2009 to 2015. *Euro Surveill.* 2018;23:1700583. doi: 10.2807/1560-7917.ES.2018.23.22.1700583
19. Elbahrawy A, Ibrahim MK, Eliwa A, Alboraei M, Madian A, Aly HH. Current situation of viral hepatitis in Egypt. *Microbiol Immunol.* 2021 Sep;65(9):352-372. doi: 10.1111/1348-0421.12916
20. Atteiaa DI, Basel Ebeida BA-M, Hasseba AF, Aziz AM. Use of Diazo reagent as a diagnostic test for typhoid fever in adult Egyptian patients. *Egyptian Journal of Medical Research (EJMR)*, Volume 1, Issue1, 2020
21. Korzeniewski K. *Medycyna podróży*. PZWL. Warszawa 2016;
22. www.cdc.gov
23. Srikantiah P, Girgis FY, Luby SP, Jennings G, Wasfy MO, Crump JA, Hoekstra RM, Anwer M, Mahoney FJ (2006) Population-based surveillance of typhoid fever in Egypt. *Am J Trop Med Hyg* 74: 114-119. doi: 10.4269/ajtmh.2006.74.11412
24. Eissa EA., EL-Sayed TI, Attia AA, Rashed ME, Refaat HM (2018) Proinflammatory cytokines in plasma of patients with typhoid fever and resistance to therapy. *Egypt J Microbiol* 53: 141-149
25. Abd El-Ghany WA. Salmonellosis: A food borne zoonotic and public health disease in Egypt. *J Infect Dev Ctries.* 2020 Jul 31;14(7):674-678. doi: 10.3855/jidc.12739
26. Arnow PM, Flaherty JP. Fever of unknown origin. *Lancet.* 1997; 350(9077): 575–580, doi: 10.1016/S0140- 6736(97)07061-X
27. Freedman DO, Weld LH, Kozarsky PE, et al. GeoSentinel Surveillance Network. Spectrum of disease and relation to place of exposure among ill returned travelers. *N Engl J Med.* 2006; 354(2): 119–130, doi: 10.1056/NEJMoa051331
28. International Travel and Health -12 may 2021. Vaccination requirements and recommendation for international travellers and malaria prophylaxis per country
29. Gautret P, Schlagenhauf P, Gaudart J, et al. GeoSentinel Surveillance Network. Multicenter EuroTravNet/ GeoSentinel study of travel-related infectious diseases in Europe. *Emerg Infect Dis.* 2009; 15(11): 1783–1790, doi: 10.3201/eid1511.091147
30. Bhatt S., Gething PW, Brady OJ et al. The global distribution and burden of dengue. *Nature*, vol. 496, no. 7446, pp. 504–507, 2013
31. Jelinek T. Dengue Fever in International Travelers. *Clin Infect Dis.* 2000; 31(1): 144–147, doi: 10.1086/313889
32. World Health Organization Dengue fever – Egypt: disease outbreak news. Available from: <https://www.who.int/csr/don/12-november-2015-dengue/en/>
33. N.A. Abdelkader. Dengue fever. *Egypt J Intern Med*, 30 (2018), pp. 47-48

34. Mostafa, A., Rashed, M., Aly, N. E., Hasan, A., Mikhail, M. Entomological Surveillance Of Aedes Aegypti And Arboviruses Outbreak Of Dengue Fever In The Red Sea Governorate, Egypt. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology*, 2019; 49(3): 713-718. doi:10.21608/jesp.2019.68080
35. Rossi SL, Ross TM, Evans JD. West Nile virus. *Clin Lab Med*. 2010 Mar;30(1):47-65. doi: 10.1016/j.cll.2009.10.006
36. Soliman A, Mohareb E, Salman D, Saad M. et. al. Studies on West Nile virus infection in Egypt *Journal of Infection and Public Health*, 2010-01-01, Volume 3, Issue 2, Pages 54-59
37. Fang Y, Khater EIM, Xue JB, Ghallab EHS, Li YY, Jiang TG, Li SZ. Epidemiology of Mosquito-Borne Viruses in Egypt: A Systematic Review. *Viruses*. 2022 Jul 20;14(7):1577. doi: 10.3390/v14071577
38. Yassin K. Al Hariri, Syed A.S. Sulaiman, Amer H. Khan, Azreen S. Adnan, Sundos Q. Al Ebrahim, Mortality of leptospirosis associated acute kidney injury (LAKI) & predictors for its development in adults: A systematic review, *Journal of Infection and Public Health*, Volume 12, Issue 6, 2019, Pages 751-759, doi.org/10.1016/j.jiph.2019.06.014.1
39. Zajkowska J., Drodzowski W. Leptospiroza a ośrodkowy układ nerwowy. *Neurologia po dyplomie*; nr 4, 2015
40. Brett-Major DM, Lipnick RJ Antibiotic prophylaxis for leptospirosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009 Jul 8;(3):CD007342. doi: 10.1002/14651858.CD007342.pub2.; Haake DA, Levett PN. Leptospirosis in humans. *Curr Top Microbiol Immunol*. 2015;387:65-97. doi: 10.1007/978-3-662-45059-8_5
41. Libman MD, MacLean D, Gyorkos TW. Screening for schistosomiasis, filariasis, and strongyloidiasis among expatriates returning from the tropics. *Clin Infect Dis* 1993; 17: 353-359.
42. Strickland G. Liver disease in Egypt: hepatitis C superseded schistosomiasis as a result of iatrogenic and biological factors. *Hepatology*, 43 (5) (2006), pp. 915-922
43. Hammam M., Zarzour A., Mofteh F., Abdel-Aty M., Hany A., El Kady A. The Epidemiology of schistosomiasis in Egypt: Qena Governorate. *Am J Trop Med Hyg*. 2000;62(2S):80-87
44. www.gov.pl/web/gis/schistosomatoza
45. D'Ambra I, Lauritano C. A review of toxins from cnidaria. *Mar Drugs*. 2020; 18(10), doi: 10.3390/md18100507
46. Silva Cavalcante MM, Ribeiro Rodrigues ZM, Hauser-Davis RA, et al. Health-risk assessment of Portuguese man-of-war (*Physalia physalis*) envenomations on urban beaches in Sao Luis city, in the state of Maranhao, Brazil. *Rev Soc Bras Med Trop*. 2020; 53: e20200216, doi: 10.1590/0037-8682-0216-2020
47. Frazão B, Vasconcelos V, Antunes A. Sea anemone (Cnidaria, Anthozoa, Actiniaria) toxins: an overview. *Mar Drugs*. 2012; 10(8): 1812-1851, doi: 10.3390/md10081812
48. Jouiaei M, Yanagihara AA, Madio B, et al. Ancient venom systems: a review on cnidaria toxins. *Toxins (Basel)*. 2015; 7(6): 2251-2271, doi: 10.3390/toxins7062251
49. Bedry R, de Haro L, Bentur Y, et al. Toxicological risks on the human health of populations living around the Mediterranean Sea linked to the invasion of non-indigenous marine species from the Red Sea: A review. *Toxicon*. 2021; 191: 69-82, doi: 10.1016/j.toxicon. 2020.12.012
50. Prator CA, Murayama KM, Schulz JR. Venom variation during prey capture by the cone snail, *Conus textile*. *PLoS One*. 2014; 9(6): e98991, doi: 10.1371/journal.pone.0098991
51. Krzyżak J, Korzeniewski K. Marine creatures dangerous for divers in tropical waters. *Int Marit Health* 2021; 72, 4: 283-292, doi: 10.5603/IMH.2021.0052
52. Krzyżak J, Korzeniewski K. *Medycyna dla nurkujących*. Wydawnictwo 4Font, Poznań 2020
53. Diaz JH. Marine scorpenidae envenomation in travelers: epidemiology, management, and prevention. *J Travel Med*. 2015; 22(4): 251-258, doi: 10.1111/jtm.12206
54. Prentice O, Fernandez WG, Luyber TJ, et al. Stonefish envenomation. *Am J Emerg Med*. 2008; 26(8): 972.e1-972.e2, doi: 10.1016/j.ajem.2008.01.055
55. Smith DG, Bogorodsky SV, Mal AO, et al. Review of the moray eels (Anguilliformes: Muraenidae) of the Red Sea, with description of a new species. *Zootaxa*. 2019; 4704(1): zootaxa.4704.1.1, doi:10.11646/zootaxa.4704.1.1, indexed in Pubmed: 32229893.
56. Riordan C, Hussain M, McCann J. Moray eel attack in the tropics: a case report and review of the literature. *Wilderness Environ Med*. 2004; 15(3): 194-197, doi: 10.1580/1080-6032(2004)15[194:meaitt]2.0.co;2
57. Sorenson L, Santini F, Carnevale G, et al. A multi-locus timetree of surgeonfishes (Acanthuridae, Percomorpha), with revised family taxonomy. *Mol Phylogenet Evol*. 2013; 68(1): 150-160, doi:10.1016/j.ympev.2013.03.014
58. Ciołkowiak E. Niebezpieczne zwierzęta morskie. BEL Studio Sp. Z o.o. Warszawa 2005
59. Wroczyńska A. Szczepienia przed wyjazdem do Afryki Północnej. *Medycyna Praktyczna*. Available from: <https://www.mp.pl/pacjent/zdrowiewpodrozy/regiony-swiata/88999,szczepienia-przed-wyjazdem-do-afryki-polnocnej>
60. <https://wwwnc.cdc.gov/travel/yellowbook/2020/travel-related-infectious-diseases/yellow-fever#9972>
61. <https://wwwnc.cdc.gov/travel/destinations/traveler/none/egypt>

dr n. med. Gabriela Henrykowska
Zakład Epidemiologii i Zdrowia Publicznego,
Uniwersytet Medyczny w Łodzi
gabriela.henrykowska@umed.lodz.pl

XXII PTMiTH SCIENTIFIC CONFERENCES

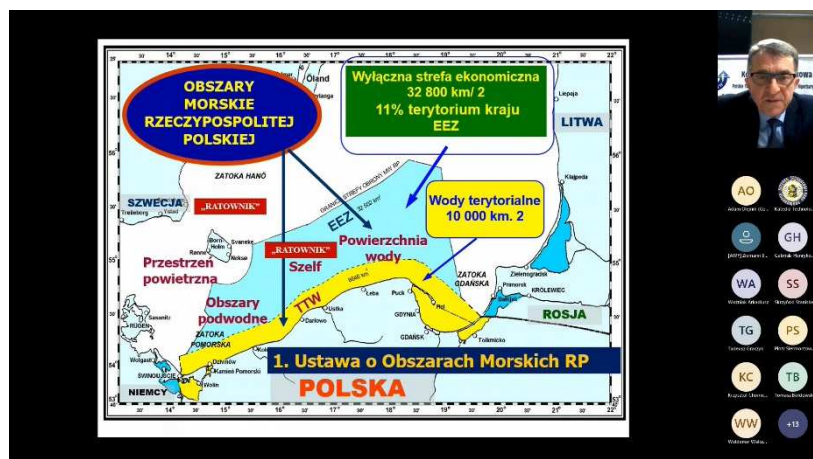
XXII KONFERENCJA NAUKOWA PTMiTH

XXII Konferencja Naukowa Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej odbyła się w dniu 27 listopada 2021 roku w trybie zdalnym za pomocą łącza internetowych. Pierwszy raz w historii PTMiTH zrealizowano konferencję w taki sposób ze względu na pandemię SARS-CoV-19. Także po raz pierwszy konferencja odbyła się pod egidą Komitetu Badań Morza Polskiej Akademii Nauk, a dokładnie Sekcji Fizyki Morza i Zespołu ds. Oceanotechniki tego komitetu. Obrady Konferencji otworzył prof. Waldemar Surosz Przewodniczący Prezydium KBM PAN.

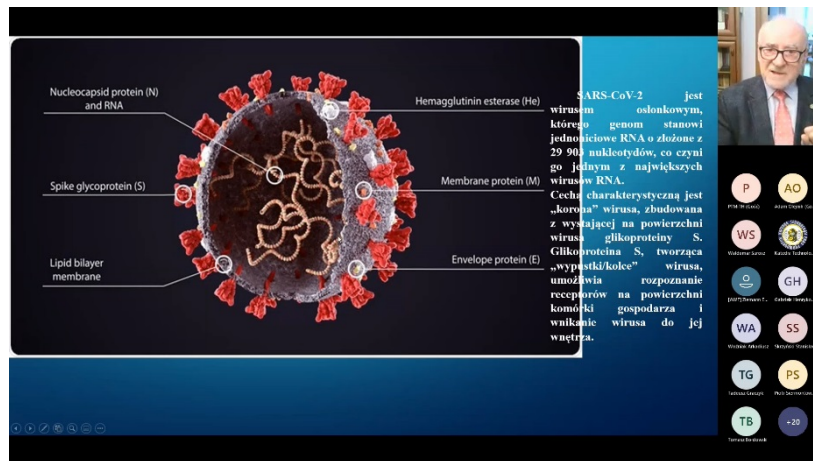


Prof. Waldemar Surosz otwiera obrady XII Konferencji PTMiTH.

Wykład inauguracyjny wygłosił wiceadmirał dr Ryszard Demczuk jego tematem były „Współczesne zagrożenia na morzu w świetle ratownictwa morskiego”. Po wykładzie inauguracyjnym rozpoczęła się pierwsza sesja referatowa moderowana przez dr hab. n. med. Piotra Siermontowskiego prof. AMW, podczas której swoje referaty wygłosili prof. Krzysztof Chomiczewski, prof. Ewa Ziemann, prof. Agnieszka Żebrowska oraz prof. Andrzej Buczyński z dr Gabriłą Henrykowską i dr Wojciech Giermaziak. W referatach poruszano zagadnienia związane z aktualną sytuacją pandemiczną, tematykę wykorzystania krioterapii w treningu nurków, zagadnienia dotyczące wpływu nurkowania na wstrzymanym oddechu na mechanizmy adaptacyjne oraz fizjologiczne problemy osób nurkujących z niesprawnościami i omawiano także zasoby biblioteczne Głównej Biblioteki Lekarskiej w aspekcie medycyny podwodnej.



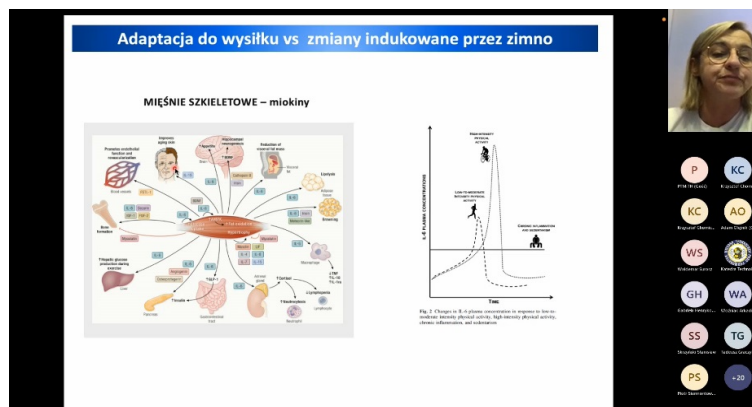
Wiceadmirał (rez.) dr inż. Ryszard Sz. Demczuk wygłasza wykład inauguracyjny.



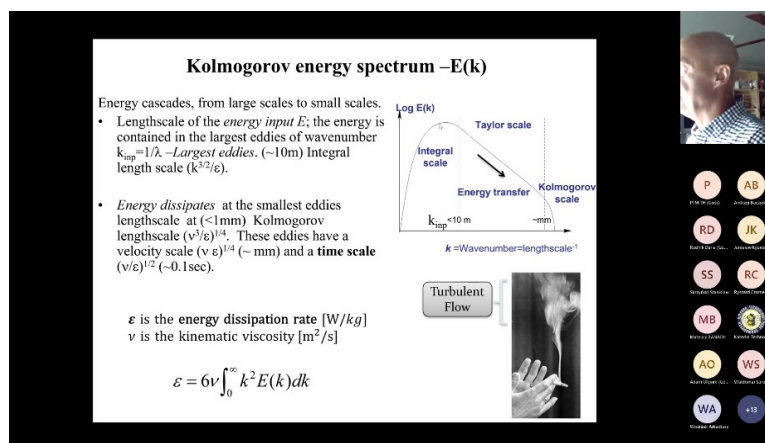
Prof. Krzysztof Chomiczewski przedstawia referat na temat SARS-CoV-19 czego doświadczamy i co nas jeszcze czeka.

Drugą sesję referatową poprowadzili dr hab. inż. Grzegorz Grzeczka i dr hab. inż. Adam Olejnik. Podczas tej sesji swoje referaty zaprezentowali absolwenci Akademii Marynarki Wojennej na studiach I stopnia na kierunku mechatronika w specjalności prace podwodne, referując wyniki swoich prac inżynierskich. Referaty wygłosili: inż. Wacław Kryszak, inż. Mateusz Banach, inż. Patryk Zajac oraz inż. Piotr Budyń i inż. Łukasz Sokół. Tematyka referatów była różnorodna, od analizy możliwości systemów pomiarowych, poprzez zapotrzebowanie materiałów do realizacji nurkowań saturowanych, stateczność pojazdów głębinowych oraz metod produkcji mieszanin oddechowych, do problematyki fotogrametrii podwodnej.

Moderatorem trzeciej sesji referatowej był prof. dr hab. n. med. Andrzej Buczyński. Podczas sesji swoje referaty przedstawili: dr Gabriela Henrykowska i dr Joanna Soin, dr inż. Stanisław Skrzyński i mgr Marek Rewers, lek. med. Jarosław Kijweski i dr Jarosław Sova oraz zespół autorski w składzie: dr Daria Rudnik, dr Petro Fonesca, dr João Paulo Vilas Boas, dr hab. Marek Rejmann. Ostatni referat w sesji wygłosiła dr Ewa Zielinski. Tematyka wystąpienia dotyczyła możliwości rehabilitacji osób niepełnosprawnych za pomocą nurkowania, prac podwodnych realizowanych przez Katedrę Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w kooperacji z Grupą Lotos, problemów laryngologicznych nurków oraz kinematyki skoków pływackich i problematyki oksybaroterapii.



Prof. Ewa Ziemann przedstawia referat na temat: Wykorzystanie terapii kriogenicznej w treningu żołnierza/nurka w celu utrzymania optymalnej gotowości bojowej.



Prof. Dariusz Bogucki przedstawia referat na temat: Is oceanic turbulence a lubricant for propagating nonbreaking waves?

Moderatorem, ostatniej, czwartej sesji referatowej był dr hab. inż. Adam Olejnik. Podczas tej sesji swoje referaty wygłosili prof. Dariusz Bogucki, dr hab. inż. Grzegorz Grzeczka, dr hab. inż. Tadeusz Graczyk, prof. Krzysztof Kubiak oraz prof. Waldemar Walczowski. Tematyka wystąpień odnosiła się do zagadnień oceanologii, badań rozwojowych nad konstrukcjami bezzałogowych pojazdów głębinowych oraz dywersji podwodnej.

Teleobradę XII Konferencji Naukowej Polskiego Towarzystwa Medycyny i Techniki Hiperbarycznej trwały od godziny 10.00 do 19.45 w dniu 27 listopada 2021 roku. Podczas konferencji odbyły się cztery sesje referatowe, swoje wystąpienia wygłosiło łącznie 27 autorów, reprezentujących krajowe i zagraniczne ośrodki naukowe: Akademię Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Główną Bibliotekę Lekarską im. Stanisława Konopki w Warszawie, Akademię Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach, Akademię Marynarki Wojennej w Gdyni, Wojskowe Centrum Krwiodawstwa i Krwiolecznictwa w Gdańsku, Faculty of Sports University of Porto, Porto Biomechanics Laboratory University of Porto, Faculty of Engineering University of Porto, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, Collegium Medicum UMK w Bydgoszczy, Texas A&M University w Corpus Christy, Akademii Morskiej w Szczecinie, Uniwersytetu im. Jana Kazimierza w Kielcach oraz Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie. Jeden z prezentowanych referatów był przygotowany w kooperacji z ośrodkiem przemysłowym tj. Grupą Lotos S.A.

