

## **SYSTEM CHŁODZENIA WODY W BĄSNIENIE KOMORY SYMULATORA HIPERBARYCZNEGO DGKN-120**

Zbigniew Talaśka

Akademia Marynarki Wojennej, Zakład Technologii Prac Podwodnych w Gdyni

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono opis systemu chłodzenia wody w basenie treningowym komory dekompresyjnej „Kobuz”, wchodzącej w skład symulatora hiperbarycznego DGKN-120, wykorzystywanego w Zakładzie Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.

**Słowa kluczowe:** komory hiperbaryczne, symulatory nurkowe, wyposażenie komór hiperbarycznych.

---

### ARTICLE INFO

---

PolHypRes 2018 Vol. 63 Issue 2 pp. 7 - 20

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2018-0008

Strony: 14, rysunki: 8, tabele: 3

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

**Typ artykułu: oryginalny**

**Termin nadesłania: 19.04.2018 r.**

**Termin zatwierdzenia do druku: 15.05.2018 r.**

**Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



## WSTĘP

System chłodzenia wody w basenie treningowym komory dekompresyjnej „Kobuz”, wchodzącej w skład symulatora hiperbarycznego DGKN-120, umożliwia symulowanie zmian temperatury toni wodnej w zależności od potrzeb ekspozycji nurkowej. Szczególnie istotne w badaniach eksperymentalnych i testach są niskie temperatury wody. Podczas ich wykonywania można określić jaki wpływ mają na wydolność organizm nurka i sprawność jego działania w zimnej wodzie. Badaniom poddawane jest również wyposażenie osobiste nurka i sprzęt oddechowy, w tym podatność na efekt zamrażania jego elementów składowych, mających bezpośredni wpływ na zdrowie i życie człowieka. Wyposażenie symulatora w nowy system chłodzenia poszerza możliwości badawcze symulatora hiperbarycznego, zwiększa zakres prowadzenia treningów ciśnieniowych w zróżnicowanych warunkach otoczenia wodnego i szereg innych przedsięwzięć, w których niezbędnym jest zasymulowanie środowiska wodnego o niskich temperaturach.

## NISKA TEMPERATURA W ZAGADNIENIACH NURKOWYCH

Temperatura jest jednym z podstawowych i ważnych parametrów występujących w zagadnieniach nurkowych. Oddziaływanie środowiska wodnego na organizm człowieka, w tym szczególnie jego zmiany, mają bezpośredni wpływ na przebieg każdej ekspozycji nurkowej. Wynika to m.in. z budowy organizmu człowieka, jego fizjologii, utrzymania warunków homeostazy i szeregu innych mechanizmów życiowych.

Ogólnie problemy towarzyszące wpływowi temperatury na pobyt nurka pod wodą można podzielić na dwa obszary:

- a) medyczny,
- b) techniczny.

## WPLYW NISKIEJ TEMPERATURY NA ORGANIZM NURKA

W warunkach normobarycznych organizm człowieka jest stałocieplny. Ważnym elementem jego funkcjonowania, mającym na celu utrzymanie m. in. temperatury ciała, są procesy metaboliczne tzn. przemiany materii. W wyniku spalania spożywanych pokarmów wyzwolana jest energia. Jednym z istotnych produktów tego procesu jest ciepło. Sama przemiana materii wymaga działania określonych enzymów, których aktywność jest funkcją temperatury powstających w tkankach [1]. W przypadku zakłócenia ich pracy, następuje zakłócenie metabolizmu, a w wyniku tego zmienia się stabilność temperatury ciała.

Wartość temperatury wewnątrz rdzenia ciała, przy której w sposób niezakłócony przebiegają procesy życiowe wynosi ok. 37°C i jest praktycznie stała [2] przy założeniu stabilnych warunków zewnętrznych. Na ten stan wpływają przede wszystkim termoregulacyjne zdolności organizmu. Natomiast temperatura wierzchniej, zewnętrznej warstwy, jaką jest skóra człowieka, podlega ciągłym zmianom i jest silnie uzależniona od wpływu warunków środowiskowych. Oznacza to, że samopoczucie człowieka pod względem cieplnym zależy przede wszystkim od temperatury wnętrza ciała.

W stosunku do otaczającego środowiska istotnym jest stan komfortu cieplnego rozumiany jako zrównoważony bilans cieplny z otoczeniem, tzn. równowagę pomiędzy ilością ciepła wytwarzanego przez organizm, a ilością ciepła traconego do otoczenia. Strefa komfortu cieplnego, w której człowiek czuje się dobrze w warunkach normobarycznych, zawiera się w granicach 29-31 °C [1]. Dlatego też każde zakłócenie stabilności temperatury ciała i odchylenie jej w górę lub dół powoduje zachwianie homeostazy, a więc zdolności organizmu do utrzymywania oraz zachowania parametrów stałego środowiska wewnętrznego, pomimo występujących sytuacji zakłócających. Dochodzi jednocześnie do uruchomienia mechanizmów obronnych. Można powiedzieć, że organizm człowieka, w wyniku znacznego zróżnicowania temperatur, zostaje poddawany bardzo silnemu stresowi.

Nurek poruszający się w toni wodnej odczuwa przede wszystkim wpływ zimnej wody na swój organizm, co jest dla niego silnym i nie bez znaczenia bodźcem stresującym. Długotrwałe pobyty pod wodą mogą doprowadzać do przechłodzenia organizmu. Konsekwencją tego stanu jest hipotermia tzn. obniżenie przede wszystkim temperatury rdzenia ciała. Należy to rozumieć jako powstanie sytuacji, w której ilość ciepła wytwarzana przez ciało nurka jest niewystarczająca na pokrycie jego strat poniesionych w wodzie. Przechłodzenie podczas nurkowania sprzyja powstawaniu choroby dekompresyjnej i innych chorób nurkowych. Obniżenie temperatury rdzenia ciała poniżej 30°C powoduje utratę przytomności w wyniku niedotlenienia, co w określonych przypadkach może doprowadzić do utonięcia [3].

Mechanizmami powodującymi wychładzanie organizmu nurka głównie są: przewodzenie (kondukcja) i przenoszenie (konwekcja). Utrata ciepła do otaczającego środowiska odbywa się w większości przez skórę, której powierzchnia u dorosłego człowieka wynosi ok. 1,8 m<sup>2</sup>. W warunkach hiperbarii z powodu zwiększonej gęstości gazów oddechowych oraz własności fizyko-chemicznych mieszanin oddechowych sprawia, że szczególnie konwekcja potęguje efekt obniżania temperatury ciała nurka [3]. Istotny wpływ ma na to turbulencja wody wokół nurka, powstająca w wyniku jego aktywności ruchowej, a także wysokie przewodnictwo cieplne wody. W mniejszym stopniu utrata ciepła następuje poprzez drogi oddechowe, a promieniowanie jest praktycznie bez znaczenia.

Stan termiczny nurka wpływa na szybkość wchłaniania i eliminacji gazu obojętnego. W określonych warunkach może sprzyjać wystąpieniu choroby dekompresyjnej tzw. DCS (*ang. decompression sickness*). Zaobserwowano, że nurkowie przebywający na określonej głębokości (na dnie) i utrzymujący ciepło w organizmie, pochłaniają więcej gazu obojętnego, niż nurkowie odczuwający zimno. Wynika to m.in. z faktu obkurczania naczyń krwionośnych pod wpływem zimna, co obniża absorpcję gazu obojętnego. Natomiast ci sami nurkowie podczas wynurzania i przystanków dekompresyjnych uwalniają go szybciej, niż nurkowie wyzbiegni [4]. Rozpuszczalność gazów w organizmie jest odwrotnie proporcjonalna do temperatury [5].

## WPLYW NISKIEJ TEMPERATURY NA TECHNIKĘ NURKOWĄ

Niskie temperatury wody wpływają na własności techniczno-użytkowe wykorzystywanej techniki nurkowej. Z punktu widzenia jej użytkowania szczególnie narażone na działanie zimnej wody są m. in.:

- a) ubiory nurkowe,
- b) aparaty oddechowe.

Ubiory nurkowe stanowią grupę osobistego wyposażenia każdego nurka, na które składają się :

- a) skafandry mokre,
- b) skafandry suche o zmiennej objętości z ochroną bierną, którą stanowi bielizna osobista i/lub ocieplacz, a także opcjonalnie kamizelki i ocieplacze grzewcze zasilane prądem elektrycznym,
- c) skafandry z ochroną czynną w postaci systemu grzewczego zasilanego przewodowo gorącą wodą,
- d) bielizna osobista.

Każda z tych grup ma swoje wady oraz zalety i powinna być precyzyjnie dobierana do określonych warunków nurkowania. Właściwie zastosowany ubiór będzie miał istotny wpływ na bilans cieplny nurka. Wymiana ciepła pomiędzy wodą a nurkiem odbywa się przede wszystkim na drodze przenoszenia i przewodzenia. Wytworzona izolacja pomiędzy ciałem nurka, a zimnym otoczeniem wodnym lub powietrznym, zapewnić będzie prawidłowe ukrwienie organizmu. Ważną jest dobra ochrona ciepłota kończyn, zarówno nóg jak i rąk, które narażone są na szybsze obniżenie temperatury, niż korpus nurka.

Stan ten doprowadza do radykalnego spadku ukrwienia w tych częściach ciała i następuje wzmożone odczuwanie zimna. Szczególnie istotną grupą ubiorów są te, które zabezpieczają nurków podczas ekspozycji nurkowych na średnich i dużych głębokościach oraz nurkowań saturowanych przy stosunkowo długich czasach pobytu w zimnej wodzie. Temu zjawisku mają zapobiegać skafandry nurkowe o różnych konstrukcjach. Ocena ich własności użytkowych dokonywana jest m.in. w oparciu o normy PN-EN 14225-1, PN-EN 14225-2 i PN-EN 14225-3. Jednym z wymaganych badań jest test na przechowywanie skafandrów w niskiej temperaturze i wykonanie badań w warunkach odwzorowujących rzeczywisty pobyt w zimnej toni wodnej z ich oceną skuteczności termicznej.

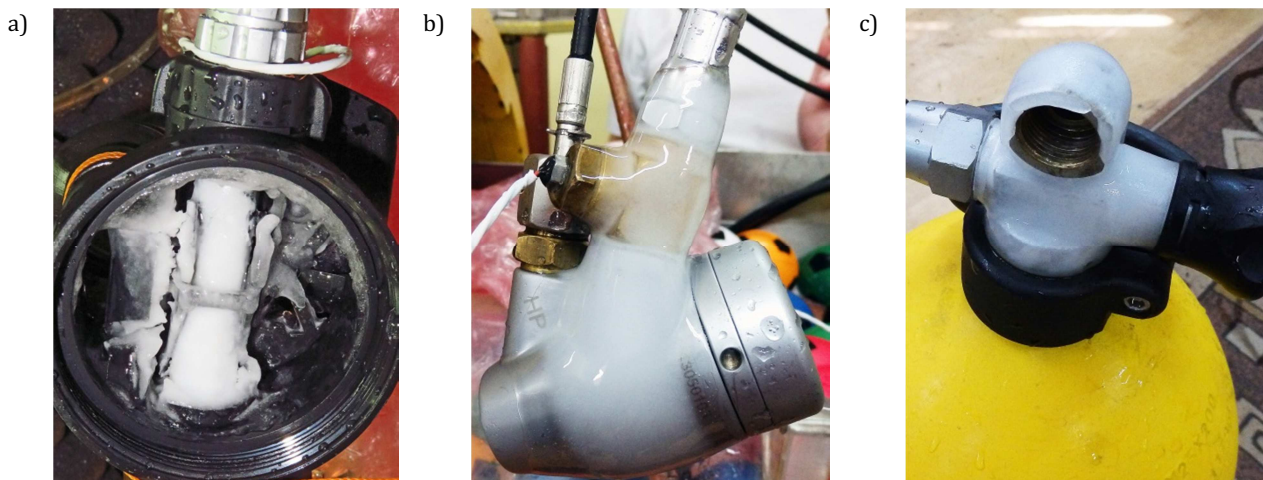
Wrażliwym na działanie niskich temperatur wody i powietrza jest nurkowy sprzęt oddechowy. Szczególnie podatne na działanie zimnej wody są aparaty zasilane sprężonym powietrzem o otwartym obiegu gazu oddechowego. Wynika to z ich stosunkowo prostej konstrukcji i sposobu działania. W przeciwieństwie do aparatów o półzamkniętym i zamkniętym obiegu gazu oddechowego, w których głównie wykorzystywane są mieszaniny oddechowe z zawartością helu.

Ich stosowanie w wodach o niskiej temperaturze stwarza warunki do zamarzania. Szczególnie podatne na ten efekt są regulatory zapotrzebowania złożone z reduktora ciśnienia (I stopień) połączonego jednym węzłem z automatem oddechowym (II stopień). Mogą one ulegać zamrożeniu w wyniku wystąpienia zjawiska rozprężania i dławienia izentalpowego, zwanego efektem Joule'a-Thompsona lub temperaturowym efektem dławienia. Jest on charakterystyczny w przepływach gazów rzeczywistych.

W wydychanym przez nurka powietrzu znajduje się m.in. wilgoć, której temperatura szybko obniża się do wartości ujemnych i przekształca w kryształki lodu osadzające się na powierzchniach wewnętrznych szczególnie II stopnia. Sprzyja temu stosunkowo duża prędkość ruchu gazu w układzie przepływowym i cyklicznie powstająca różnica ciśnień. Nie bez znaczenia jest również fakt, że tlen jest gazem zwiększającym efekt spadku temperatury. Stąd ekspozycje z wykorzystaniem nitroksowych mieszanin oddechowych stwarzają większe ryzyko wystąpienia zamarznięcia regulatora zapotrzebowania, niż przy napełnieniu butli nurkowych powietrzem.

Powietrzne aparaty oddechowe o otwartym obiegu gazu oddechowego poddawane są badaniom na zgodność z normą PN-EN 250. Testuje się w nich odporność m.in. na niskie temperatury i na zamarzanie. W zależności od podatności na to zjawisko, regulatory zapotrzebowania kwalifikuje się do stosowania w zimnej wodzie, tzn. poniżej 10°C lub tylko do użytkowania powyżej tej temperatury.

Na rys. 1 pokazano efekt zamarzania elementów w powietrznym, nurkowym aparacie oddechowym o obiegu otwartym.



Rys. 1 Efekt zamrożenia elementów nurkowego, powietrznego aparatu oddechowego o obiegu otwartym: a) wnętrze puszkii II-go stopnia redukcji ciśnienia, b) reduktor ciśnienia - I stopień, c) butlowy zawór odcinający.

Badania wpływu niskich temperatur na wymienione obszary można prowadzić w symulatorach zarówno z udziałem ludzi jak i bez. Niezależnie od założeń i wymagań programów eksperymentów lub procedur testowania muszą one zapewnić stabilne parametry użytkowe, w tym systemów chłodzenia wody. Ma to na celu dobre odwzorowanie środowiska wodnego, co powinno umożliwić poznanie wpływu niekorzystnych warunków temperaturowych na organizm nurka i opracować sposoby ich skutecznego zapobiegania. Taki cel postawiono i zrealizowano w symulatorze nurkowym DGKN-120 w Zakładzie Technologii Prac Podwodnych.

### ANALIZA TECHNICZNO-UŻYTKOWA STAREGO SYSTEMU CHŁODZENIA

Analiza techniczno-użytkowa starego systemu chłodzenia wody w basenie komory „Kobuz”, zastosowanego w latach 90-tych ubiegłego wieku, została przeprowadzona w celu wyciągnięcia wniosków pod kątem jego budowy, rozwiązań konstrukcyjnych, oceny własności techniczno-użytkowych, sprawności działania i ekonomiki jego eksploatacji. Działania te miały zapobiec popełnieniu błędów i wskazać kierunki prac projektowych, aby zbudować system w oparciu o stosunkowo nowe rozwiązania techniczne i materiałowe. Na podstawie zaistniałych doświadczeń w eksploatacji starego systemu zauważono, że:

- zdemontowany system był nieefektywną technicznie konstrukcją, zbudowaną w oparciu o materiały typu miedz oraz stopy mosiądzu (rurociągi, złącza), których w obecnym czasie już się nie stosuje;
- układy przepływu wody w wymienniku ciepła były „przesztywnione” w wyniku zastosowania rurociągów i złązek o większych średnicach i grubszych ściankach oraz połączeń wykonanych w technologii lutowania i spawania;
- wymiennik ciepła zainstalowany w basenie komory charakteryzował się stosunkowo dużym ciężarem i małą sprawnością chłodzenia, co skutkowało bardzo długim czasem obniżania temperatury ok. 5 ton masy wody zgromadzonej w basenie do wymaganej wartości; zbyt mała i słabo rozwinięta powierzchnia wymiany ciepła utrudniała proces schładzania wody – można było mówić o pasywnym charakterze działania systemu;
- wewnątrz basenu nie było wymuszonej cyrkulacji mającej na celu mieszanie zróżnicowanych temperaturowo mas wody, a jej ruch był wywoływany jedynie zjawiskiem konwekcji;
- mała skuteczność utrzymywania stabilnej temperatury schładzanej wody w basenie, wynikała m.in. z braku izolacji termicznej zarówno części basenowej, jak i rurociągów cyrkulacyjnych; powodowało to wymianę ciepła z otoczeniem i wykraplanie się pary wodnej na zewnętrznej powierzchni komory dekompresyjnej w obrębie basenu wodnego;
- eksploatowany system charakteryzował się dużą energochłonnością w stosunku do źródła zasilania, które miało za małą mocą chłodniczą i niskie parametry techniczno-użytkowe, aby skutecznie obniżyć i utrzymać wymaganą temperaturę wody;
- brak układu filtrującego wodę w basenie, którego celem byłoby filtrowanie i zapobieganie rozmnażaniu się szkodliwych dla zdrowia bakterii, zagrażał bezpośrednio przebywającym w wodzie nurkom.

Na rys. 2 pokazano stary system chłodzenia wody w basenie komory dekompresyjnej „Kobuz”.

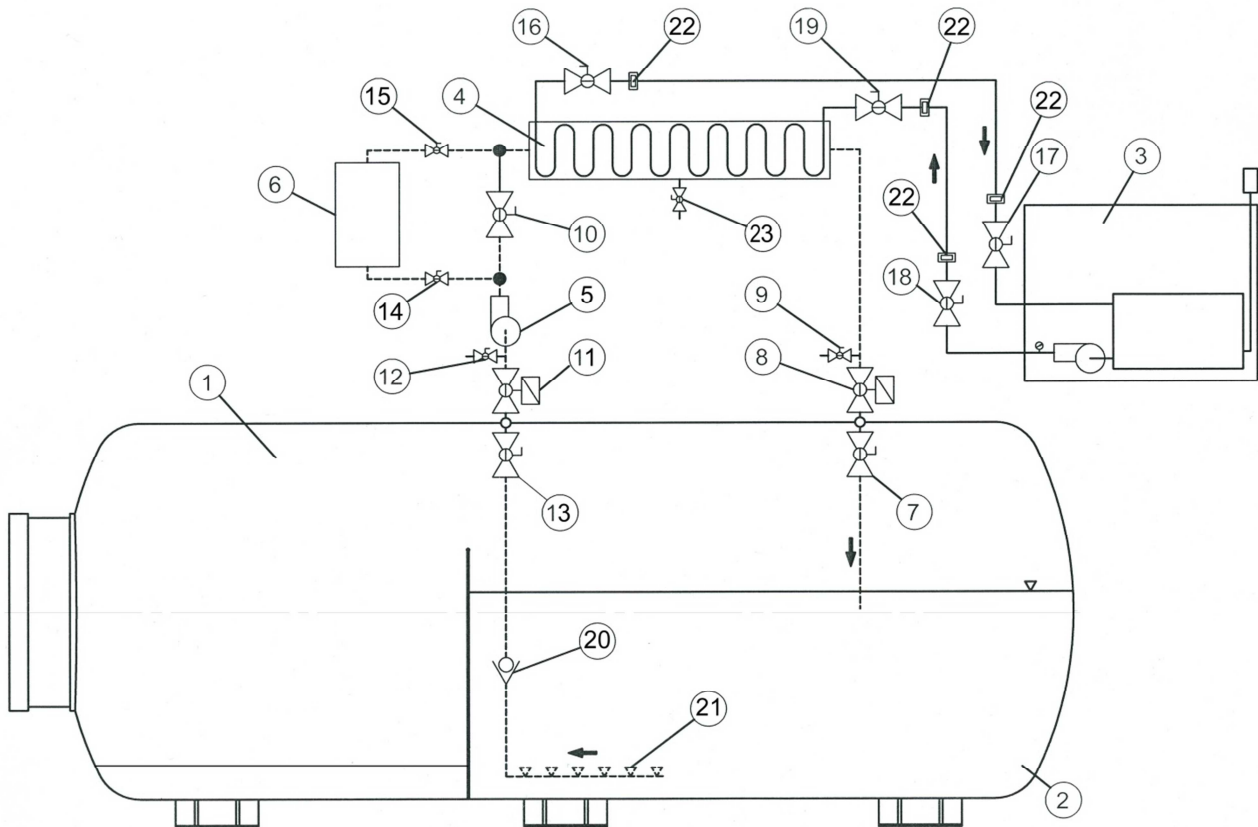


Rys. 2 Basen komory dekompresyjnej „Kobuz” przed zainstalowaniem nowego systemu chłodzenia: a) napełniony wodą podczas eksperymentu, b) bez wody.

### NOWY SYSTEM CHŁODZENIA WODY W BASENIE KOMORY DEKOMPRESYJNEJ „KOBUZ”

W ramach realizowanego projektu, a w nim prac mających na celu przygotowanie symulatora hiperbarycznego DGKN-120 do eksperymentów, zaprojektowano oraz wykonano m.in. system chłodzenia wody w basenie komory dekompresyjnej „Kobuz”. W projekcie opracowano koncepcję pracy systemu, sprecyzowano wzajemne położenie elementów składowych poszczególnych instalacji, rozlokowanie i posadowienie ich w obiektach ZTPP. Dobrano również urządzenia wykonawcze, aby zapewnić odpowiednią sprawność i stabilność utrzymania temperatury w basenie na wymaganym poziomie. Na rys. 3 przedstawiono schemat funkcjonalny systemu chłodzenia wody w basenie komory „Kobuz”.

Za podstawę projektu systemu chłodzenia wody w basenie komory dekompresyjnej „Kobuz” przyjęto parametry wyjściowe, które zestawiono w tabeli nr 1.



Rys. 3 Schemat ideowy systemu chłodzenia wody w basenie komory dekompresyjnej „Kobuz” (rys. M.Palczewski-Haska)  
 1 – komora dekompresyjna „Kobuz”; 2 – basen wodny; 3 – agregat chłodniczy typu TAE evo Tech 081/P3; 4 – wymiennik ciepła typu JAD XK 5.38; 5 – wodna pompa cyrkulacyjna typu GPD; 6 – filtr do oczyszczania wody w basenie typu FSE; 7, 13 – zawór kulowy odcinający; 8, 11 – zawór kulowy odcinający sterowany pneumatycznie; 9, 12, 23 – zawór odpowietrzający instalację; 10 – zawór odcinający kulowy; 14, 15 – zawór odcinający kulowy filtra wodnego; 16, 17, 18, 19 – zawór odcinający kulowy instalacji chłodniczej; 20 – zawór zwrotny instalacji ssącej; 21 – rura z otworami do zasysania wody z basenu; 22 – złącza rurowej instalacji chłodniczej.

Tab. 1

Założone parametry pracy dla systemu chłodzenia wody w basenie komory dekompresyjnej „Kobuz”.

| L.p. | Wyszczególnienie  | Wartość     |
|------|---|-------------|
| 1.   | Masa wody do schłodzenia w basenie komory hiperbarycznej „Kobuz”  | ~ 5,0 ton   |
| 2.   | Wyjściowa temperatura wody w basenie (ustalona doświadczalnie)    | ~ + 13,0 °C |
| 3.   | Wymagana minimalna temperatura wody w basenie                     | + 2,0 °C    |
| 4.   | Obliczony, wymagany strumień ciepła do odprowadzenia + 20 % strat | ~ 74,0 kW   |

Nowy system chłodzenia wody w basenie komory dekompresyjnej „Kobuz” podzielono na dwie części:

**Część wewnętrzną**, w skład której weszły niżej wymienione elementy:

- Kolektor dolotowy wody schłodzonej z wymiennika ciepła do basenu;
- Kolektor ssący wody z basenu do wymiennika ciepła;
- Zawory kulowe odcinające;
- Pokrywa z przejściami przez korpus komory dekompresyjnej, łączącej obie części układu.

**Część zewnętrzną**, w skład której weszły następujące elementy i urządzenia :

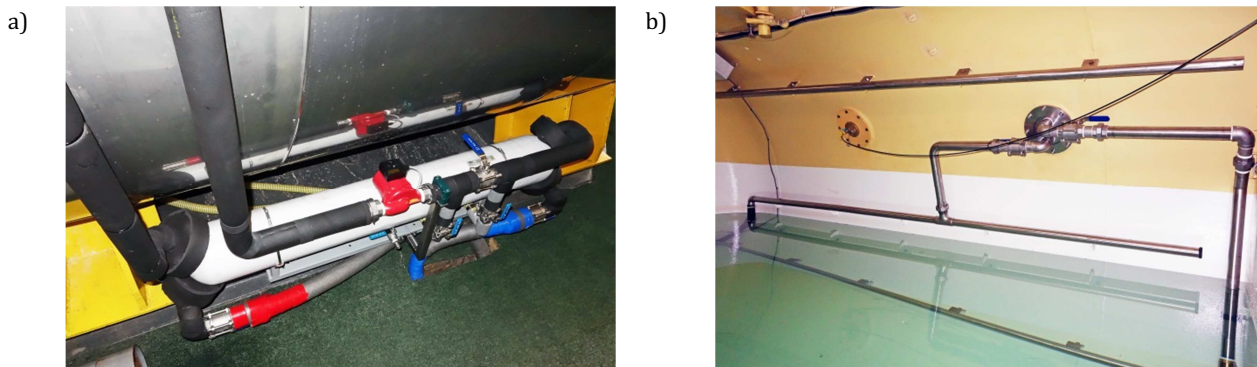
- Zawory kulowe odcinające połączone z przejściami w pokrywie zainstalowanej w korpusie komory dekompresyjnej;
- Pompa cyrkulacyjna, wirowa, jednostopniowa przetłaczająca wodę zasysaną z basenu przez wymiennik ciepła z trzystopniową regulacją wydajności;
- Wymiennik ciepła;
- Filtr oczyszczania wody z basenu;
- Elastyczne rurociągi połączone złączkami i zaworami kulowymi odcinającymi;
- Agregat chłodniczy przetłaczający czynnik chłodniczy do wymiennika ciepła posadowiony w przenośnym kontenerze poza głównym pomieszczeniem symulatora hiperbarycznego.

## BUDOWA INSTALACJI WODNEJ WEWNĄTRZ KOMORY DEKOMPRESYJNEJ „KOBUZ”

Zadaniem wewnętrznej instalacji układu chłodzenia jest doprowadzanie i odprowadzanie wody z basenu do wymiennika ciepła umieszczonego na zewnątrz komory dekompresyjnej. Cyrkulacja wody jest wymuszana jednostopniową pompą wirową do wody pitnej o trzystopniowej, zmiennej wydajności nie przekraczającej 10,5 m<sup>3</sup>/h. Wodna instalacja wewnętrzna, jak i jej część zlokalizowana na zewnątrz komory, pracuje pod ciśnieniem o maksymalnej wartości nie przekraczającej 1,2 MPa (12 bar), co wynika z parametrów pracy symulatora hiperbarycznego DGKN-120.

Całą instalację przepływową wykonano z zaworów, rur i łączek ze stali nierdzewnej o średnicy nominalnej 2". Fragmenty rur dopasowano do wewnętrznego obła komory dekompresyjnej, a ich zakończenia umieszczono w pobliżu dna zbiornika po przeciwnych końcach basenu wodnego. To rozwiązanie ma charakter aktywny, ponieważ zapewniło wymuszony ruch wody w basenie. Poprzez ciągłe mieszanie osiągnięto praktycznie jednorodny rozkład temperatury w całej masie wody. Możliwość zmian natężenia przepływu wody dzięki jednej z trzech nastaw pompy przetłaczającej, zapewnia stosunkowo szybkie obniżanie temperatury wody w instalacji schładzania i utrzymanie jej na wymaganym poziomie.

Na rys. 4 pokazano zewnętrzną część instalacji przetłaczającej wodę z basenu do wymiennika ciepła oraz jej część wewnętrzną.



Rys. 4 Instalacja przetłaczająca wodę z basenu do wymiennika ciepła: a) część zewnętrzna, b) część wewnętrzna.

## BUDOWA INSTALACJI WODNEJ ZEWNĘTRZNEJ KOMORY DEKOMPRESYJNEJ „KORBUZ”

Schłodzenie wody pobieranej z basenu odbywa się w ciśnieniowym wymienniku ciepła, zamontowanym na zewnątrz komory dekompresyjnej. Jest on umieszczony blisko jej płaszcza w taki sposób, aby rurociągi wytwarzające cyrkulację były jak najkrótsze. Zapewnia to zmniejszenie strat ciepła pomiędzy otoczeniem a instalacją. Układ rur wewnątrz komory i część zewnętrzna instalacji przepływowej, przystosowana jest do pracy pod ciśnieniem sprężonego w komorze gazu. Rurociągi pokryto typową, piankową izolacją termiczną.

W oparciu o przeprowadzone obliczenia i rozpoznanie rynku wybrano wymiennik ciepła charakteryzujący się zwartą i kompaktową konstrukcją. Zapewnia on burzliwość przepływu, co gwarantuje dobre parametry pracy układu, w tym szybkość schładzania wody do wymaganych wartości temperatury.

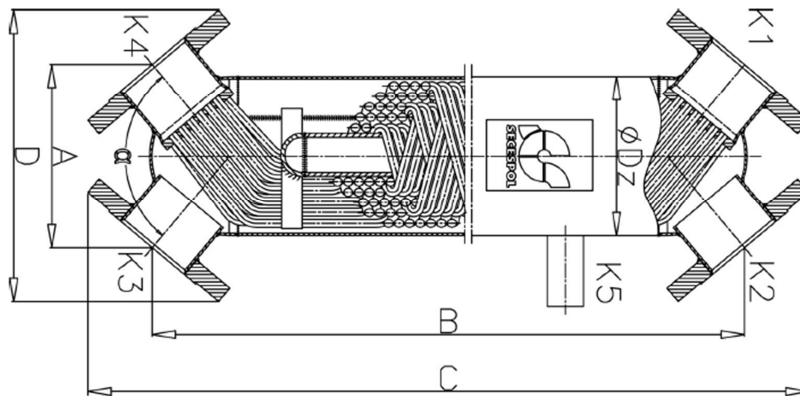
W tabeli nr 2 zestawiono podstawowe parametry techniczno-użytkowe wymiennika ciepła zastosowanego w systemie chłodzenia komory dekompresyjnej „Kobuz”. Na rys. 5 pokazano podstawowe wymiary zastosowanego wymiennika ciepła.

Do współpracy z wytypowanym wymiennikiem ciepła dobrano agregat chłodniczy, którego podstawowe parametry pracy zestawiono w tabeli nr 3. Posadowiono go na zewnątrz budynku symulatora hiperbarycznego DGKN-120 w przenośnym kontenerze transportowym. Wykonano w nim instalację zasysania powietrza do układu wentylacji agregatu oraz podłączono do niego elastyczne rurociągi, które zapewniają cyrkulację czynnika chłodniczego do wymiennika ciepła i jego powrót. Obieg ten jest układem pośrednim i nie ma bezpośredniej styczności z obiegiem wody wypełniającej basen. Przed utratą ciepła rurociągi zabezpieczono poprzez nałożenie na nie piankowej izolacji termicznej.

W tabeli nr 3 zestawiono podstawowe parametry pracy zastosowanego agregatu chłodniczego.

Podstawowe parametry techniczno-użytkowe wymiennika ciepła.

| L.p. | Wyszczególnienie                      | Charakterystyka                |
|------|---------------------------------------|--------------------------------|
| 1.   | Producent                             | SECESPOL                       |
| 2.   | Rodzaj wymiennika                     | płaszczowo-rurowy              |
| 3.   | Typ pracy / sposób wymiany ciepła     | przepływowy / przeciwprądowy   |
| 4.   | Model                                 | JAD XK 5.38 (JAD XK FF.STA.SS) |
| 5.   | Materiał: płaszcz / rurki             | stal 304L / stal 321           |
| 6.   | Ciśnienie pracy                       | 16 bar                         |
| 7.   | Powierzchnia wymiany ciepła           | 4 m <sup>2</sup>               |
| 8.   | Pojemność : płaszcz / rury            | 11,2 / 6,6 dm <sup>3</sup>     |
| 9.   | Przepływ max dla wody: płaszcz / rury | 19,0 / 7,0 m <sup>3</sup> /h   |
| 10.  | Max temperatura pracy                 | 203 °C                         |
| 13.  | Średnica płaszcza - Ø Dz              | Ø 139,7                        |
| 14.  | Izolacja termiczna zewnętrzna         | pianka poliuretanowa           |



Rys. 5 Podstawowe wymiary wymiennika ciepła JAD XK 5.38 zastosowanego w systemie chłodzenia komory dekompresyjnej „Kobuz” (materiał reklamowy).

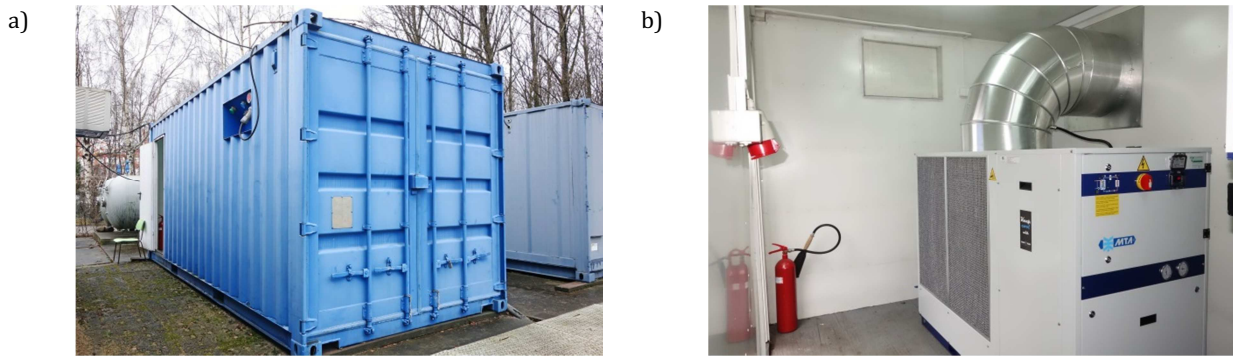
Podstawowe parametry techniczno-użytkowe agregatu chłodniczego.

| L.p. | Wyszczególnienie                         | Charakterystyka                   |
|------|--|-----------------------------------|
| 1.   | Producent                                | M.T.A. S.p.A. Włochy              |
| 2.   | Model / Wersja                           | TAEvo TECH 081 / STD              |
| 3.   | Wymiennik ciepła                         | wężownica zanurzeniowa ożebrowana |
| 4.   | Czynnik chłodniczy                       | R410A                             |
| 5.   | Typ glikolu                              | EthyleneGlycol                    |
| 6.   | Zawartość procentowa glikolu             | ≥ 19 %                            |
| 7.   | Wydajność chłodzenia                     | 18 kW                             |
| 8.   | Ilość wody przepływającej przez parownik | 3,26 m <sup>3</sup> /h            |
| 9.   | Moc elektryczna                          | 8,03 kW                           |
| 10.  | Dostępne ciśnienie dyspozycyjne          | 2,78 bar                          |

Na rys. 6 przedstawiono posadowienie agregatu chłodniczego w kontenerze transportowym.

### IZOLACJA TERMICZNA CZĘŚCI BASENOWEJ KOMORY DEKOMPRESYJNEJ „KOBUZ”

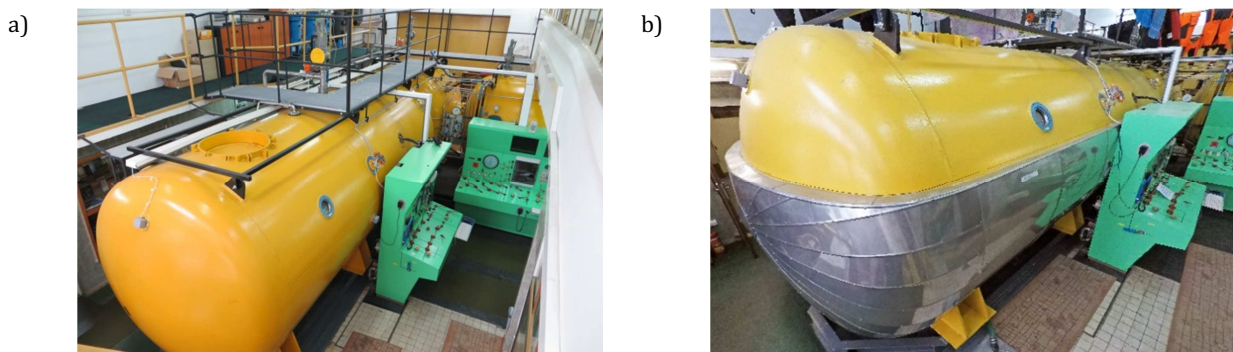
W celu zapewnienia i utrzymania podczas eksploatacji jak najlepszych parametrów technicznych systemu chłodzenia wody w basenie, wykonano izolację termiczną na części zewnętrznej komory dekompresyjnej „Kobuz” oraz wewnętrznej ścianki pionowej. Odpowiednio dobrana grubość pianki poliuretanowej wraz z zabezpieczeniem w postaci blachy nierdzewnej ma zapobiegać istotnym w trakcie użytkowania ubytkom ciepła.



Rys. 6 Posadowienie agregatu chłodniczego w kontenerze transportowym: a) kontener transportowy, b) agregat chłodniczy.

Tym samym znacznie wzrosła stabilność utrzymania wymaganej temperatury chłodzonej wody w basenie i zmniejszyła się energochłonność całego systemu chłodniczego.

Na rys. 7 pokazano komorę hiperbaryczną „Kobuz” przed i po montażu izolacji termicznej części basenowej.



Rys. 7 Efekt prac montażowych izolacji termicznej w części basenowej komory dekompresyjnej „Kobuz”, a) komora przed montażem izolacji, b) komora po montażu izolacji.

### INSTALACJA FILTRUJĄCA WODĘ Z BASENU KOMORY DEKOMPRESYJNEJ „KOBUZ”

W systemie chłodzenia wody w basenie komory dekompresyjnej „Kobuz” zainstalowano filtr umożliwiający oczyszczanie jej z zanieczyszczeń mechanicznych oraz biologicznych.

Prowadzony okresowo proces oczyszczania umożliwia utrzymanie wody w czystości przez dłuższy okres czasu. Stanowi to istotny element oszczędności zużycia wody, wynikający z faktu zmniejszenia częstości jej zmian. Brak tego urządzenia w starej instalacji wymuszał częste wymiany wody w celu utrzymania wymagań sanitarno-epidemiologicznych. Najbardziej narażeni na oddziaływanie zanieczyszczeń, szczególnie biologicznych, byli nurkowie biorący bezpośredni udział w eksperymentach oraz treningach wymagających pobytu w symulowanym środowisku wodnym.

Podstawowym medium oczyszczającym jest określona warstwa piasku o odpowiedniej ziarnistości wsypana do zbiornika urządzenia. Filtr zainstalowano równolegle do zewnętrznej instalacji zapewniającej schładzanie i cyrkulację wody w basenie. Urządzenie nie jest przystosowane do pracy pod ciśnieniem, dlatego też może być użytkowane po zakończeniu ekspozycji nurkowych. Przepływ wody przez wkład filtrujący umieszczony w zbiorniku wymusza zainstalowana w układzie pompa cyrkulacyjna. Połączenie z wewnętrznym układem przepływowym wykonane jest za pomocą typowych, karbowanych węży elastycznych.

### PODSUMOWANIE

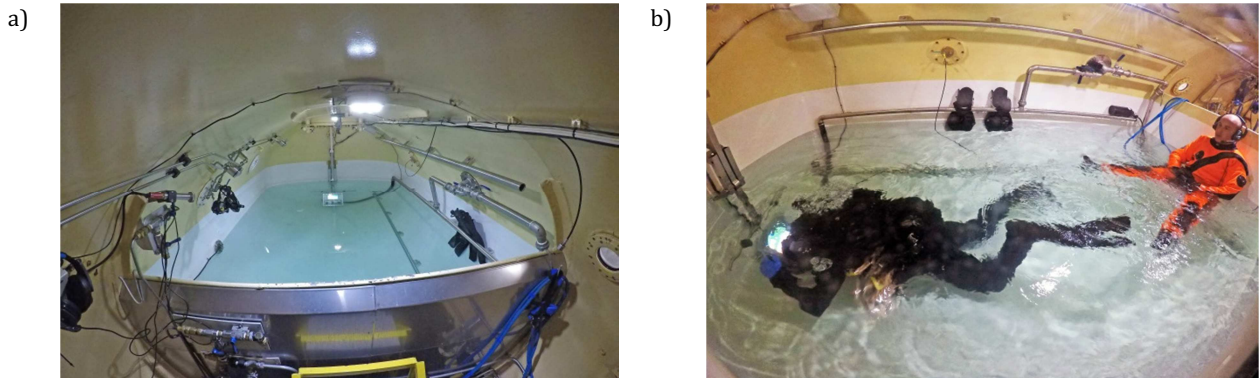
W wyniku przeprowadzonych prac wykonano nowy system chłodzenia charakteryzujący się m.in. :

- Stosunkowo dobrą sprawnością schładzania ok. 5 ton wody w basenie komory dekompresyjnej, zapewniającą osiągnięcie temperatur w zakresie 2 – 4 °C w czasie 4 – 5 godzin;
- Zastosowaniem wymuszonej, aktywnej cyrkulacji wody, za pomocą odpowiednio dobranej pompy, przez co istotnie skrócono czas osiągnięcia wymaganej temperatury w wyniku ciągłego jej mieszania;
- Zmniejszonymi gabarytami systemu chłodzenia w wyniku wykorzystania kompaktowego i wydajnego chłodniczo wymiennika ciepła;
- Zastosowaniu nowoczesnej konstrukcji agregatu chłodniczego, który zapewnia określony zakres regulacji jego pracy, a dzięki temu dobór odpowiednich parametrów do konkretnych potrzeb. Dopasowanie mocy chłodniczej agregatu i wymiennika ciepła umożliwiło w pełni wykorzystanie ich właściwości techniczno-użytkowych;
- Powiększeniem objętości użytecznej basenu w wyniku usunięcia starej konstrukcji wymiennika ciepła, a zainstalowaniu nowej w większości na zewnątrz komory dekompresyjnej;
- Utrzymaniem stabilnej temperatury w basenie na wymaganych poziomie dzięki wykonaniu zewnętrznej, częściowej izolacji termicznej, która w znaczący sposób ograniczyła straty ciepła do otoczenia, jak również zaizolowaniu wszystkich rurociągów systemu chłodzenia;



- Zwiększonym bezpieczeństwem sanitarno-epidemiologicznym podczas ekspozycji nurkowych w wyniku zastosowania filtra oczyszczania wody w basenie z zanieczyszczeń mechanicznych oraz biologicznych;
- Znacznie większą oszczędnością energii elektrycznej w porównaniu ze starym układem chłodzenia, a także obniżeniem krotności wymian wody w basenie.

Na rys. 8 pokazano basen wodny komory dekompresyjnej „Kobuz” po zakończeniu prac oraz podczas nurkowej ekspozycji eksperymentalnej.



Rys. 8 Basen wodny komory dekompresyjnej „Kobuz” po zakończeniu prac: a) napełniony wodą, b) podczas nurkowej ekspozycji eksperymentalnej.

## BIBLIOGRAFIA

1. [23.05.2018] "Wymiana ciepła u człowieka" [www.idawpolsce.pl/uploads/do\\_pobrania/Prezentacja-fizjologia%20nurkowania\\_maj.2012.pdf](http://www.idawpolsce.pl/uploads/do_pobrania/Prezentacja-fizjologia%20nurkowania_maj.2012.pdf);
2. [23.05.2018] "Termoregulacja organizmu człowieka i obciążenie termiczne" Prof. M. Krause, Ph.D., M.D. <http://ergonomia.ioz.pwr.wroc.pl/download/termoregulacja-teoria.pdf>;
3. J. Krzyżak – „Medycyna dla nurków. Fizjopatologia nurkowania” Wyd. „KOOPgraf” s.c. Poznań 1998;
4. US Navy Diving Manual rev. 7 2016;
5. [23.05.2018] "Wpływ bilansu cieplnego nurka na ryzyko choroby dekompresyjnej" <http://www.atlantis.vizz.pl/Wplyw%20bilansu%20cieplnego%20nurka.html>.

**dr inż. Zbigniew Tałaska**

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