

## OCENA WPLYWU ŚREDNICY DYSZY NA WYDAJNOŚĆ ODDYCHANIA APARATU DO NURKOWANIA

Mateusz Banach, Zbigniew Talaśka

Katedra Technologii Prac Podwodnych Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

### STRESZCZENIE

Artykuł został zainspirowany informacjami zawartymi w literaturze przedmiotu o uszkodzeniach nurkowych węży średniego ciśnienia, które w wyniku krystalizacji materiału na ich wewnętrznej powierzchni i odrywania się drobin, powodowały istotne zakłócenia w pracy regulatora zapotrzebowania. Występowało groźne w skutkach „przytkanie” przepływu powietrza w II stopniu automatu oddechowego i wzrost wysiłku w płucach nurka na pokonanie zwiększonych oporów oddechowych. Zbadanie tego problemu podjęto w artykule. Wykonano dysze o zmniejszonych średnicach, które symulowały pogorszenie warunków pracy automatu. Do badań wykorzystano odpowiednio wytypowany regulator zapotrzebowania krajowego producenta. Cykl pomiarów przeprowadzono w symulatorze oddychania dla ustalonych warunków eksperymentu określonych w normie PN-EN 250:2014. Po wykonaniu badania przeprowadzono analizę i interpretację uzyskanych wyników w oparciu o metody opisu statystycznego.

**Słowa kluczowe:** inżynieria mechaniczna, operacje technologii nurkowania, sprzęt do oddychania pod wodą.

---

### ARTICLE INFO

PolHypRes 2022 Vol. 80 Issue 3 pp. 39 – 60

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2022-0015

Strony: 16, rysunki: 18, tabele: 0

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

#### Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

**Typ artykułu:** przeglądowy

**Termin nadesłania:** 09.02.2022 r.

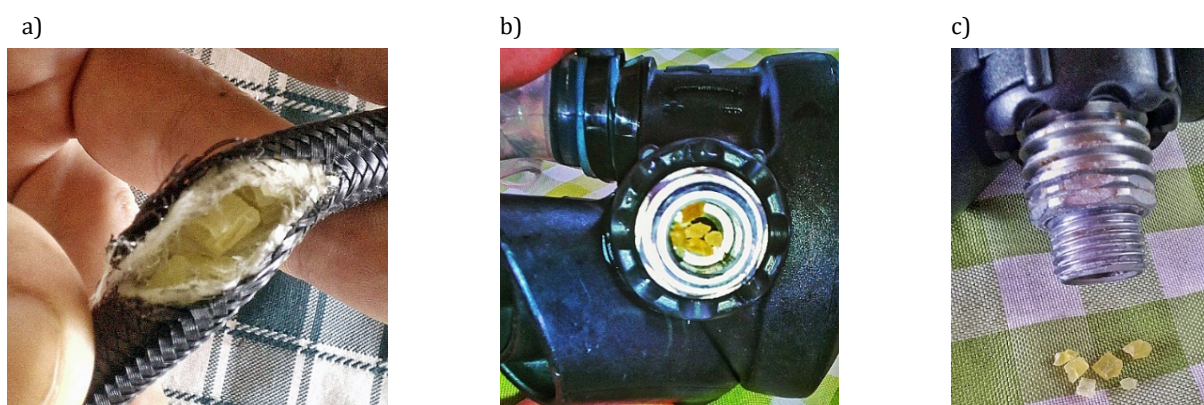
**Termin zatwierdzenia do druku:** 14.03.2022 r.



## WSTĘP

Eksploatacja sprzętu nurkowego nierozłącznie wiąże się z występowaniem szerokiego spektrum zdarzeń spowodowanych naturalnym zużyciem i starzeniem się obiektów technicznych, jak również z zachodzeniem nieprzewidzianych sytuacji awaryjnych. Uwagę autorów zwrócił artykuł opublikowany przez instytucję DAN (Divers Alert Network Europe) [1] pt. „Niewidoczne kryształki i awarie automatów”. Międzynarodowa społeczność nurkowa została poinformowana, że podłożem jednego z wypadków nurkowych była degradacja wnętrza nurkowego węża średniego ciśnienia. Polegała ona na wytrącaniu się drobnych kryształków z wewnętrznej otuliny węża. W trakcie nurkowania przemieszczały się one w kierunku II stopnia automatu oddechowego powodując „przytkania” zakłócające dopływ gazu oddechowego z butli nurkowej do ust nurka. W rezultacie doszło do istotnego zakłócenia przebiegu nurkowania, które dzięki dobremu wyszkoleniu nurka nie zakończyło się poważnym wypadkiem. Z treści artykułu wynikało, że nie był to odosobniony przypadek.

Na Rys. 1 pokazano rezultat krystalizacji materiału wewnętrznej otuliny nurkowego węża średniego ciśnienia, łączącego elementy składowe automatu oddechowego stosowanego w aparatach o obiegu otwartym.



Rys. 1 Przykład krystalizacji materiału konstrukcyjnego, elastycznego węża nurkowego i rezultat zatykania przepływu gazu oddechowego w drugim stopniu nurkowego automatu oddechowego o obiegu otwartym [1,2].

## PROBLEM BADAWCZY

Efektem wystąpienia polimorficznej krystalizacji materiału, wykorzystywanego w konstrukcji nurkowych, elastycznych węży do automatów oddechowych i jednokierunkowe przemieszczanie się powstałych drobin, jest zmniejszanie prześwitu dyszy zaworu dławiącego w drugim stopniu. W wyniku tego dochodzi do zwiększenia wartości pracy oddechowej przez płuca nurka, potrzebnej na pokonanie wzrastających oporów oddychania.

Informacje zawarte w analizowanej literaturze nasunęły pomysł, aby odtworzyć opisaną sytuację w warunkach laboratoryjnych. Uznano, że odwzorowanie „przytkania” przekroju średnicy dyszy we współbieżnym zaworze dławiącym (redukcyjnym) drugiego stopnia automatu oddechowego będzie można uzyskać za pomocą wykonania kilku dysz o zmniejszających się przekrojach.

Przyjęto, że problemem badawczym będzie ilościowe określenie zakresu zmian wartości pracy oddechowej jaką musiałyby wykonywać nurek podczas użytkowania automatu w przypadku wystąpienia zakłócenia przepływu powietrza przez dyszę.

W celu uzyskania odpowiedzi na tak postawione zadanie zdecydowano zrealizować eksperyment, w zakres którego weszły m.in. następujące etapy :

1. wybranie w sposób losowy elementów składowych określonego typu nurkowego automatu oddechowego z egzemplarzy będących w użytkowaniu w KTPP;
2. wykonanie dodatkowych dysz o zmniejszających się średnicach;
3. poddanie kontroli ich parametrów techniczno-użytkowych w oparciu o badania stanowiskowe;
4. wykonanie niezbędnych regulacji;
5. przygotowanie symulatora oddychania do badań i przeprowadzenie sprawdzenia jego układu pomiarowego zgodnie z zapisami normy PN-EN 250:2014;
6. skompletowanie automatu oddechowego z wcześniej wytypowanych elementów i na jego bazie stworzenie umownych grup pomiarowych, w których będą wymieniane dysze we współbieżnym zaworze dławiącym (redukcyjnym) drugiego stopnia regulatora;
7. określenie warunków przeprowadzenia eksperymentu i wykonanie serii pomiarów pracy oddechowej w symulatorze oddychania;
8. przeprowadzenie analizy i interpretacji uzyskanych wyników badań.

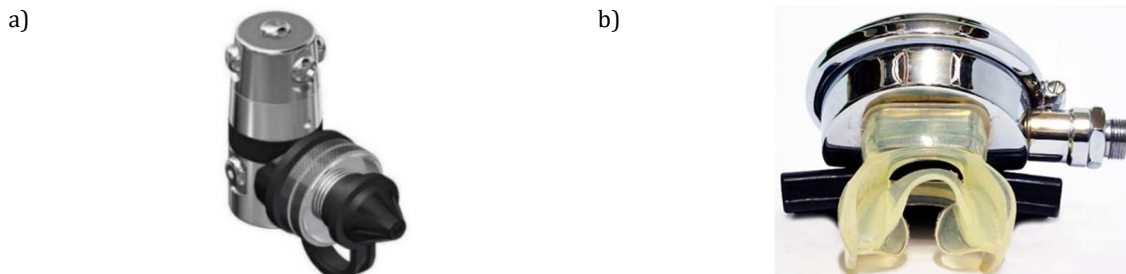
## PRZEDMIOT BADANIA

Przyjęto, że w eksperymencie zostanie wykorzystane urządzenie polskiego producenta. Konstrukcyjnie stanowiło ono nurkowy automat oddechowy o stopniach rozdzielonych, otwartym obiegu gazu oddechowego, zasilane powietrzem z butli nurkowej i umożliwiające nurkowanie do głębokości 50 mH<sub>2</sub>O. Na etapie przygotowania do badań stanowiskowych

wytypowano oraz dobrano elementy składowe automatu oddechowego o najlepszych parametrach techniczno-użytkowych. Automat oddechowy składał się z :

1. pierwszego stopnia redukcji ciśnienia z odciążonym grzybkim działającym na zasadzie tłoka przepływowego o zakresie redukcji ciśnienia z 20 MPa do wartości ok. 0,95 MPa (tzw. ciśnienie zredukowane);
2. drugiego stopnia o prostej, standardowej konstrukcji i współbieżnym układzie redukcji ciśnienia bez pokręteł umożliwiających dodatkowe regulacje parametrów oddychania;
3. elastycznego węży średniego ciśnienia.

Na Rys. 2 pokazano elementy składowe powietrznego automatu oddechowego wybranego do badań.



Rys. 2 Podstawowe elementy składowe automatu oddechowego użyte w eksperymencie : a) pierwszy stopień redukcji, b) drugi stopień redukcji.

### PIERWSZY STOPIEŃ REDUKCJI CIŚNIENIA AUTOMATU ODDECHOWEGO

W pierwszym etapie przygotowania do badań losowo wybrano sześć egzemplarzy pierwszych stopni redukcyjnych z bieżąco użytkowanych w KTHP.

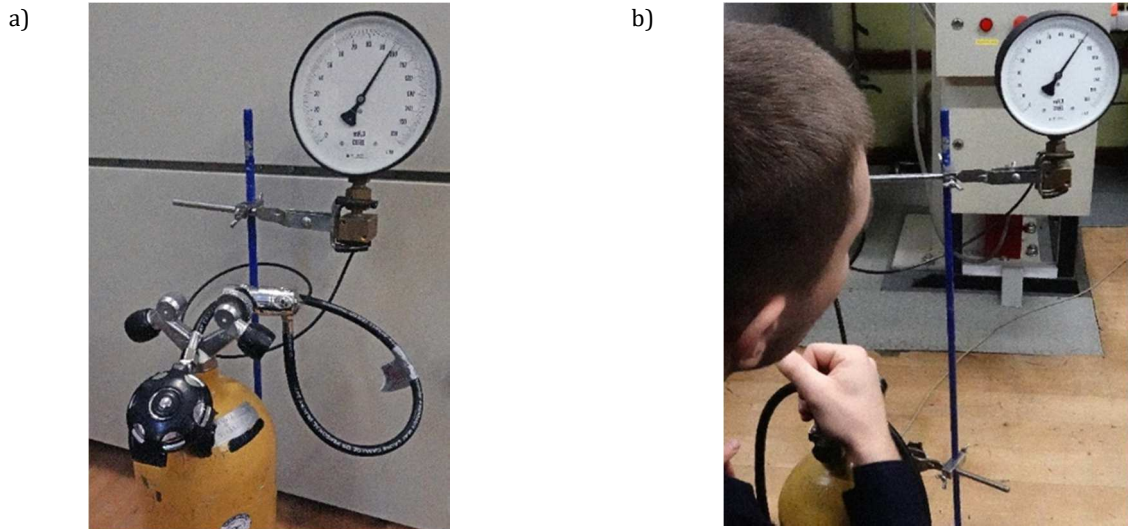
Na Rys. 3 pokazano losowo wybrane pierwsze stopnie redukcji ciśnienia automatów oddechowych wytypowanego producenta.



Rys. 3 Losowo wybrane egzemplarze pierwszego stopnia redukcji wytypowane do badań automatu oddechowego.

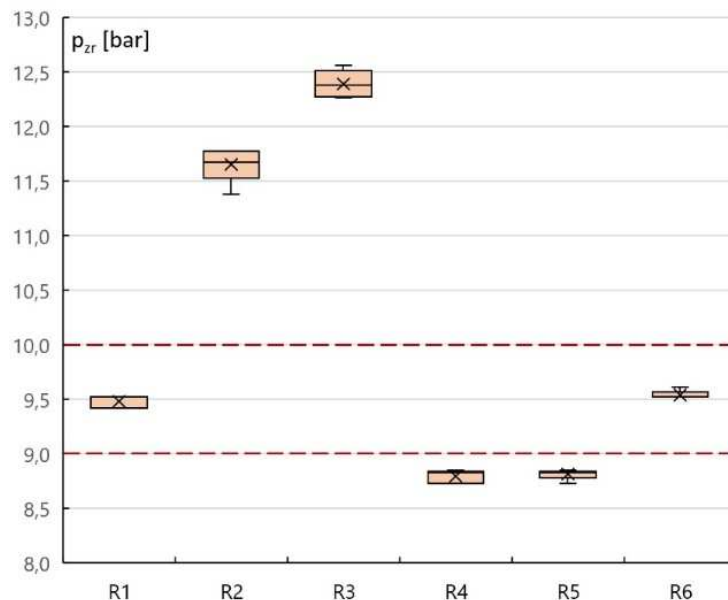
Przyjęto, że nieznanym jest ich stan techniczny i parametry użytkowe, co wynikało z faktu ich używania. Konstrukcyjnie reduktory te nie mają możliwości dokonywania regulacji przez użytkownika. Stąd postanowiono, że kryterium sprawdzenia poprawności ich działania stanowić będzie stanowiskowy pomiar ciśnienia zredukowanego, przeprowadzony w warunkach ciśnienia normobarycznego. Zgodnie z zaleceniami producenta jego wartość powinna wynosić ok. 0,95 MPa. Użytkowy zakres ciśnienia producent określił w granicach 0,9 – 1,0 MPa.

Wybranych losowo sześć sztuk pierwszych stopni redukcyjnych poddano badaniu sprawdzającemu wartość ciśnienia zredukowanego na stanowisku, które pokazano na Rys. 4.



Rys. 4 Stanowisko do pomiaru ciśnienia zredukowanego: a) butla nurkowa z zaworem i przykręconym pierwszym stopniem reduktora oraz manometr tablicowy połączony z portem wysokiego ciśnienia, b) wykonywanie pomiaru przez operatora.

Na Rys. 5 przedstawiono graficznie wyniki badań sprawdzających działanie reduktorów pierwszego stopnia automatu oddechowego przed regulacją.

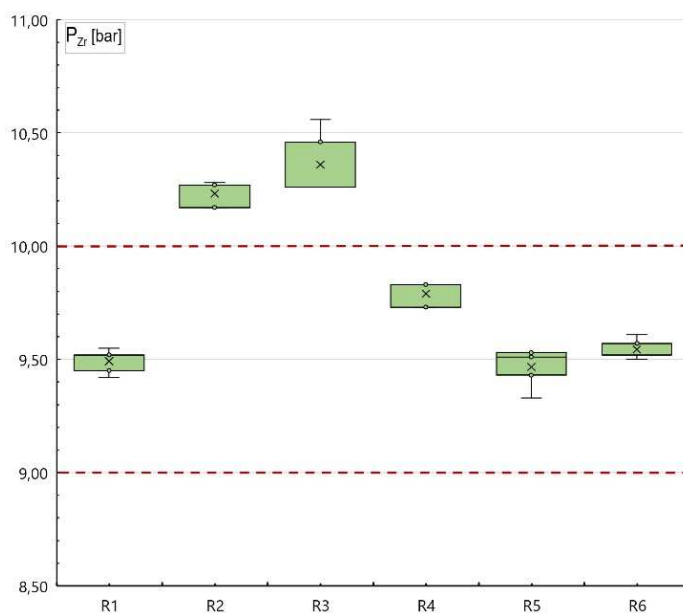


Rys. 5 Graficzne przedstawienie wyników badań sprawdzających działanie reduktorów pierwszego stopnia automatu oddechowego przed regulacją.

Badanie istotnego parametru techniczno-użytkowego – ciśnienia zredukowanego – wykazało, że na sześć losowo wybranych z użytkowania pierwszych stopni redukcji tylko dwa mieściły się w wymaganym przez producenta zakresie. Pozostałe nie spełniały tego warunku.

W kolejnym etapie przygotowania do badań przyjęto, że wybrane losowo reduktory pierwszego stopnia zostaną poddane regulacji. Czynności te powierzono doświadczonemu mechanikowi sprzętu nurkowego, posiadającemu odpowiednie uprawnienia. Parametrem regulowanym było ciśnienie zredukowane.

Otrzymane wyniki wartości ciśnienia zredukowanego po procedurze regulacji przedstawiono w postaci graficznej na Rys. 6.



Rys. 6 Graficzne przedstawienie wyników badań ciśnienia zredukowanego pierwszych stopni automatu oddechowego po wykonaniu regulacji.

Na podstawie ich analizy stwierdzono, że najlepszymi parametrami techniczno-użytkowymi charakteryzował się reduktor oznaczony symbolem R6. Ostatecznie uznano, że ten reduktor, jako element zestawu, zostanie wykorzystany do przeprowadzenia eksperymentu.

## DRUGI STOPIEŃ AUTOMATU ODDECHOWEGO

Drugie stopnie automatu oddechowego wytypowanego producenta, w liczbie trzech sztuk, losowo wybrano spośród egzemplarzy bieżąco użytkowanych w KTHP.

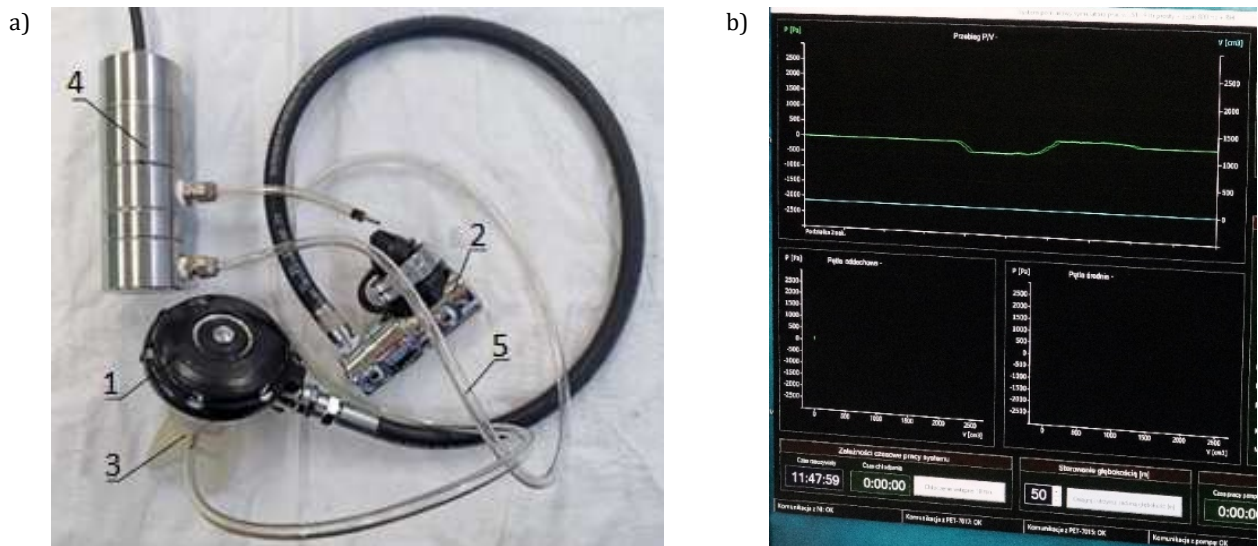
Na Rys. 7 pokazano wybrane losowo egzemplarze drugiego stopnia automatu oddechowego.



Rys. 7 Losowo wybrane egzemplarze drugiego stopnia wytypowanego automatu oddechowego.

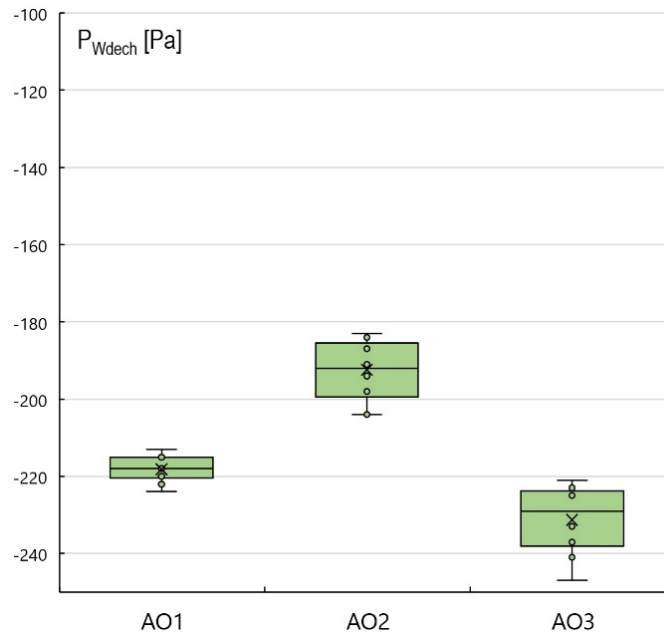
Uznano, że formą wyboru jednego egzemplarza drugiego stopnia będzie pomiar wartości podciśnienia wdechu. Sprawdzenie tego parametru techniczno-użytkowego wykonano za pomocą zestawu pomiarowego złożonego z elektronicznego czujnika różnicy ciśnień połączonego z jego ustnikiem. Preferowany przez producenta zakres wartości podciśnienia wdechu wynosił do 25 mmH<sub>2</sub>O. Wartości mierzone odczytywano w programie komputerowym obsługującym system pomiarowy symulatora oddychania.

Na Rys. 8 pokazano zestaw do wykonywania pomiaru podciśnienia wdechu w drugim stopniu automatu oddechowego.



Rys. 8 Stanowisko do pomiaru podciśnienia wdechu w drugim stopniu wytypowanego automatu oddechowego : a) elementy stanowiska: 1 – drugi stopień, 2 – pierwszy stopień, 3 – ustnik przystosowany do pomiaru podciśnienia wdechu, 4 – elektroniczny czujnik różnicy ciśnień, 5 – elastyczna rurka łącząca; b) przykładowy pomiar – przebieg podciśnienia wdechu.

Opracowane wyniki pomiarów przedstawiono w formie graficznej na Rys. 9.



Rys. 9 Graficzne przedstawienie wyników badań podciśnienia wdechu w drugich stopniach wytypowanego automatu oddechowego.

Na podstawie ich analizy stwierdzono, że najlepszymi parametrami techniczno-użytkowymi charakteryzował się drugi stopień oznaczony symbolem AO1. Ten egzemplarz postanowiono wykorzystać do przeprowadzenia eksperymentu.

## DYSZE ZAWORU REDUKCYJNEGO II STOPNIA AUTOMATU ODDECHOWEGO

Niezbędnym elementem do przeprowadzenia eksperymentu było wykonanie dodatkowych dysz do współbieżnego zaworu redukcyjnego drugiego stopnia automatu oddechowego. Producent montuje dyszę w korpusie zaworu, którego część wystaje na zewnątrz obudowy tzw. puszki. Wymiar oryginalnej średnicy dyszy wynosił : ( $\varnothing 4,5 \pm 0,01$ ) mm. Podczas wykonania badań porównawczych z innymi producentami stwierdzono, że w podobnych konstrukcjach drugiego stopnia automatów oddechowych wartości średnic dysz mieściły się w zakresie ( $\varnothing 4,0 - 4,6 \pm 0,01$ ) mm.

Na Rys. 10 pokazano dyszę zaworu redukcyjnego montowaną w drugim stopniu wytypowanego automatu oddechowego.



Rys. 10 Dysza współbieżnego zaworu redukcyjnego automatu oddechowego : a) umiejscowienie dyszy w zaworze dławiącym drugiego stopnia od strony obudowy; b) wygląd oryginalnej dyszy od strony styku ruchomego grzybka odcinającego przepływ gazu oddechowego.

Uznano, że do odtworzenia zbliżonych warunków „przytkania”, tzn. zmniejszenia prześwitu przepływu gazu oddechowego spowodowanego kryształkami, zostaną wykonane dwie dodatkowe dysze o średnicach : ( $\varnothing 4,0 \pm 0,01$ ) mm i ( $\varnothing 3,5 \pm 0,01$ ) mm. Dysze zaprojektowano w oparciu o wymiary dyszy oryginalnej.

Na Rys. 11 pokazano wykonane dodatkowe dysze do drugiego stopnia automatu oddechowego.



Rys. 11 Widok dodatkowo wykonanych dysz do współbieżnego zaworu redukcyjnego drugiego stopnia automatu oddechowego.

## STANOWISKO BADAWCZE

Realizacja badań eksperymentalnych, na wybranym typie automatu oddechowego, wymagała użycia stanowiska badawczego będącego symulatorem oddychania. Jego wyposażenie umożliwiała wykonywanie pomiarów pracy oddechowej w zakresie punktów określonych w normie PN-EN 250:2014.

W jego skład wchodziły następujące elementy składowe :

- komora ciśnieniowa wraz z pokrywą o dopuszczalnym ciśnieniu roboczym 2 MPa,
- układ podnoszenia górnej pokrywy zamykającej zbiornik ciśnieniowy,
- symulator akcji oddechowej – pompa oddychania – wraz z napędem,
- pulpit manewrowo-kontrolny, w skład którego wchodziły : gazowy układ zasilania komory, układy pomiarowe z czujnikami, komputer z oprogramowaniem do rejestracji mierzonych parametrów w czasie rzeczywistym.

Na Rys. 12 pokazano stanowisko badawcze stanowiące symulator oddychania.



Rys. 12 Stanowisko badawcze – symulator oddychania.

Komora ciśnieniowa umożliwia symulowanie warunków otoczenia panujących na określonej głębokości. Scala ona w jedną całość wszystkie części składowe, które z nią współpracują, umożliwiając tym samym wykonywanie pomiarów istotnych parametrów techniczno-użytkowych sprzętu nurkowego w zróżnicowanych warunkach środowiska wodnego.

Simulator akcji oddechowej (pompa oddechowa) stanowił drugi, najistotniejszy element stanowiska badawczego. Jego podstawowym zadaniem było imitowanie procesu oddechowego człowieka w sposób możliwie najbardziej zbliżony do warunków oddychania rzeczywistego. Pomiar objętości gazu oddechowego, przetłacza-nego przez symulator w połączeniu z pomiarem zmian ciśnienia oddychania, umożliwiało określenie pracy oddechowej jaką nurek wykonywałby podczas oddychania przez konkretny automat oddechowy.

Zrealizowanie badań, zgodnie z przyjętym celem, wymagało przeprowadzenia odpowiednich działań polegających na sprawdzeniu układu pomiarowego symulatora oddychania pod względem poprawności rejestrowania wyników badań pracy oddechowej, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 250:2014.

Użyte w toku badań przyrządy, mierzące wymagane parametry, tworzą dla stanowiska badawczego określony układ pomiarowy. Jego precyzja wskazań bezpośrednio wpływa na jakość otrzymanych wyników badań [3]. Oznacza to, że prawidłowo działający układ pomiarowy powinien zapewnić uzyskanie w miarę najlepszych wyników po określeniu i wyeliminowaniu błędów generowanych m.in w kategoriach takich jak dokładność, powtarzalność, odtwarzalność, stabilność, liniowość.

W celu potwierdzenia, że dane uzyskane podczas przeprowadzenia pomiarów są wiarygodne, wykonano sprawdzenie układu pomiarowego symulatora oddychania przede wszystkim pod kątem powtarzalności [3]. W tym wypadku sprawdzenie (kontrola) należało rozumieć jako stwierdzenie, czy używany układ pomiarowy spełniał wymagania jakościowe, a jego wskazania mieściły się w zakresie wartości granicznych. Praktycznie oznaczało to obserwację zmienności wyników serii pomiarów uzyskanych przy wielokrotnym mierzeniu przez konkretnego operatora jednego, tego samego parametru w tych samych warunkach pomiarowych [4]. Przygotowany do pracy symulator oddychania wraz z profesjonalną obsługą operatorską, spełniał wszystkie wymagania narzucone przez normę PN-EN 250:2014. Do badań przyjęto zapis normy pkt. 6.6.2., w którym określono ogólne warunki tolerancji dla wykonywanych pomiarów podając konkretną ich wartość [5, cytat] :

*„Jeżeli nie określono inaczej, wartości powinny być z uwzględnieniem granicy błędu (odchylenia)  $\pm 5\%$ . Jeżeli nie określono inaczej, to temperatura w pomieszczeniu, gdzie prowadzone są badania, powinna wynosić  $(24 \pm 8)^\circ\text{C}$ , a wilgotność względna co najmniej  $50\%$ . Odchyłki temperatur, dla których nie określono tolerancji, powinny wynosić  $\pm 3^\circ\text{C}$ ”.*

Ponadto zgodnie z pkt. 6.2.4 tej normy stanowisko badawcze powinno zapewnić następujące warunki [5, cytat] :

*„Charakterystyki jakości działania wyposażenia do symulacyjnego badania oddychania powinno być zweryfikowane poprzez użycie kalibrowanej kryzy badawczej (...). Kalibrowana kryza badawcza powinna być włożona w badane wyposażenie w miejsce systemu oddechowego (automatu oddechowego) i wyposażenie do symulacyjnego badania oddychania powinno być badane z użyciem powietrza przy  $62,5\text{ l/min}$  ( $25\text{ cykli/min}$ ,  $2,5\text{ l/(suw)}$ ) przy ciśnieniu absolutnym  $6\text{ bar}$ . Zarejestrowany WOB (praca oddechowa) powinien wynosić  $3,3\text{ J/l}$ , zarejestrowane ciśnienie wdechu powinno wynosić  $-25\text{ mbar}$ , a zarejestrowane ciśnienie wydechu powinno wynosić  $+25\text{ mbar}$ .”*

Zgodnie z powyższym zapisem, pomierzone wartości pracy oddechowej w warunkach zgodnych z normą, powinny znaleźć się między dwiema wartościami granicznymi : górną –  $3,465\text{ J/l}$  i dolną –  $3,135\text{ J/l}$ .

Na Rys. 13 pokazano dyszę kalibracyjną i sposób jej zamontowania w stanowisku badawczym.

W oparciu o stosowane w KTHP procedury sprawdzania układu pomiarowego symulatora oddychania, przyjęto profil jego przeprowadzenia, który zaprezentowano na Rys. 14.

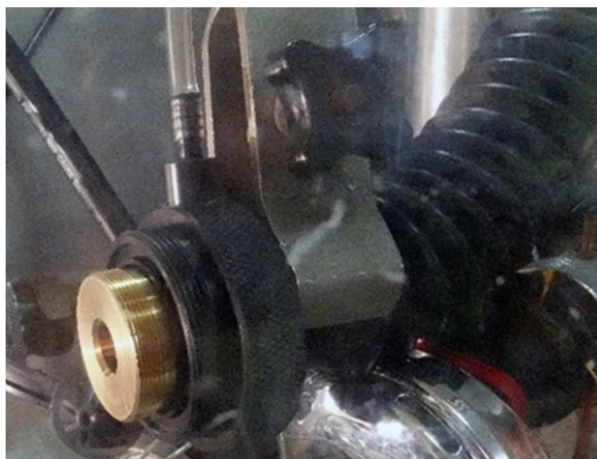
Opracowane wyniki serii pomiarów przedstawiono w formie graficznej na Rys. 15.

Na podstawie otrzymanych wyników uznano, że układ pomiarowy symulatora oddychania spełnił warunki określone w/w normą i mógł zostać wykorzystany do zrealizowania pomiarów w przedmiotowym eksperymencie.

a)

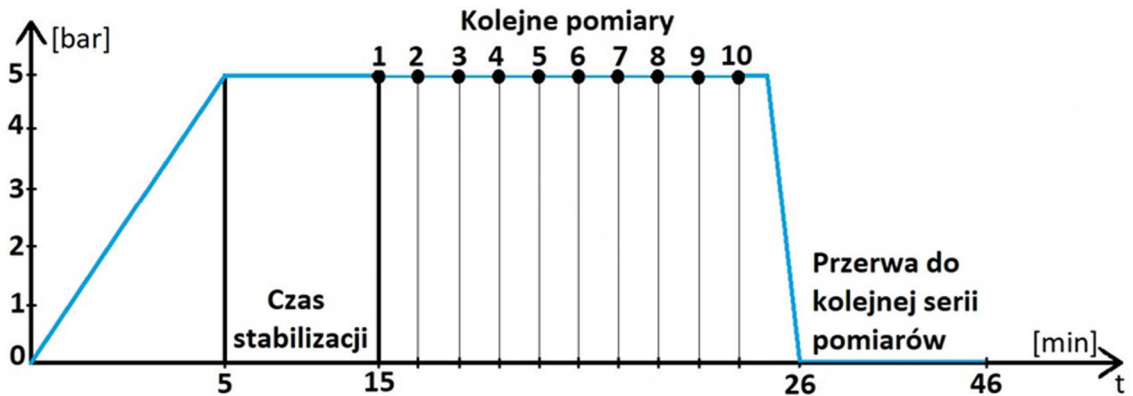


b)



Rys. 13 Dysza kalibracyjna zgodna z normą PN-EN 250:2014 : a) wygląd dyszy; b) sposób zamontowania dyszy w stanowisku badawczym.





Rys. 14 Graficzny przebieg jednego profilu sprawdzenia układu pomiarowego symulatora oddychania za pomocą dyszy kalibracyjnej.

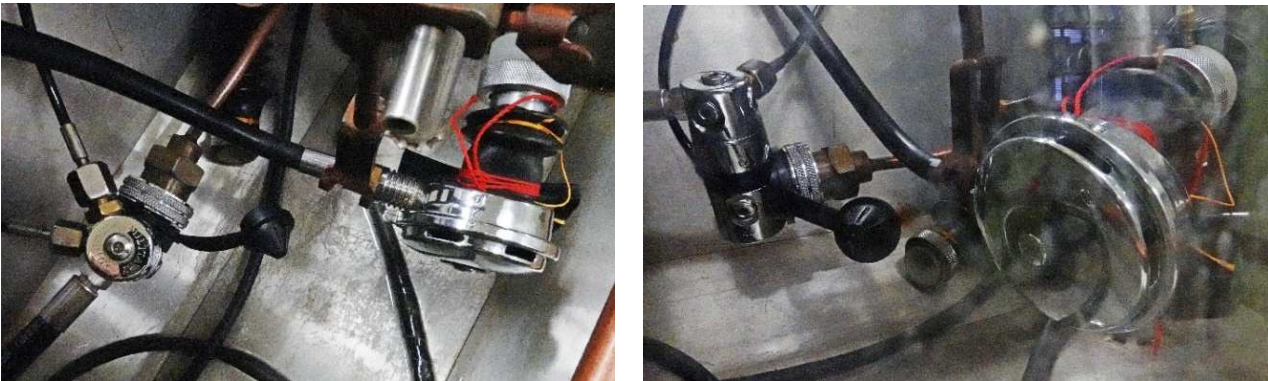


Rys. 15 Graficzne przedstawienie wyników sprawdzenia układu pomiarowego symulatora oddychania za pomocą dyszy kalibracyjnej.

## BADANIA

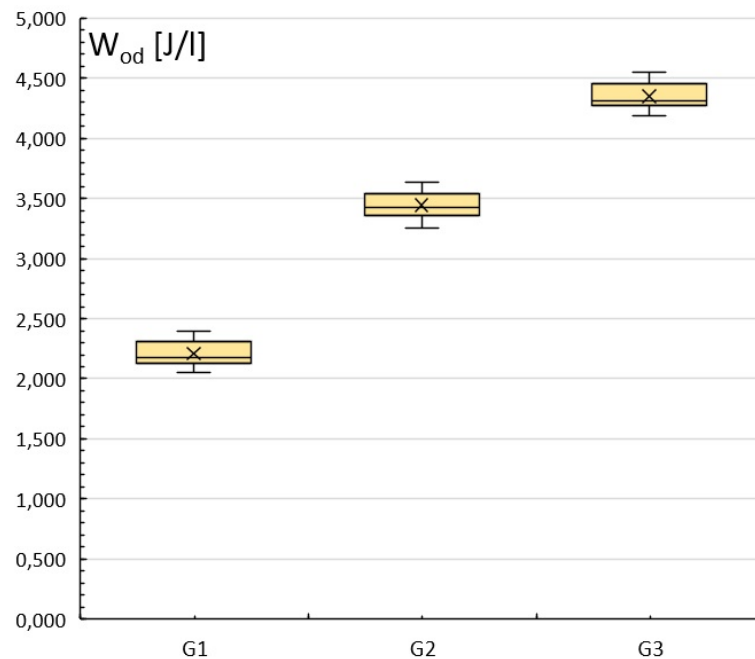
W wyniku wytypowania najlepszych elementów składowych, spośród losowo wybranych egzemplarzy, zmontowano jeden automat oddechowy. Zgodnie z założeniem przed każdą kolejno wykonywaną serią pomiarów, dokonywano wymiany dyszy w zaworze redukcyjnym drugiego stopnia.

Na Rys. 16 pokazano sposób umieszczenia automatu oddechowego w symulatorze oddychania.



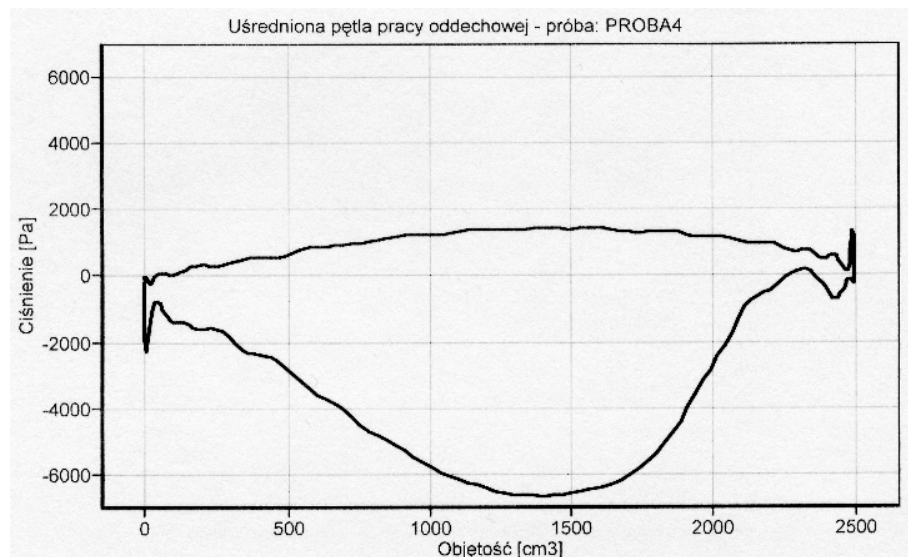
Rys. 16 Sposób umieszczenia automatu oddechowego w symulatorze oddychania.

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano trzy serie pomiarów, których wyniki przedstawiono w sposób graficzny na Rys. 17.



Rys. 17 Graficzne przedstawienie wyników badań pracy oddechowej w trzech grupach porównawczych.

Na Rys. 18 pokazano przykładową pętlę oddechową dla automatu oddechowego z zainstalowaną w drugim stopniu dyszą o wymiarze ( $\varnothing 3,5 \pm 0,01$ ) mm.



Rys. 18 Przykładowa pętla oddechowa wykreślona dla automatu oddechowego z zainstalowaną w drugim stopniu dyszą o wymiarze ( $\varnothing 3,5 \pm 0,01$ ) mm.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania i uzyskane w ich toku wyniki wskazały jednoznacznie, że zasymulowane zakłócenia w przepływie powietrza poprzez zmiany średnic dysz we współbieżnym zaworze redukcyjnym ciśnienia w drugim stopnia automatu oddechowego, miały istotny wpływ na wartość pracy oddechowej. Jak należało się spodziewać zmniejszenie prześwitu dysz wywoływało wzrost wartości pracy oddechowej. W grupach badawczych zastosowano fabrycznie montowaną dyszę o średnicy ( $\varnothing 4,5 \pm 0,01$ ) mm oraz dwie dodatkowe, imitujące „przytkanie”, o średnicach ( $\varnothing 4,0 \pm 0,01$ ) mm i ( $\varnothing 3,5 \pm 0,01$ ) mm. Za podstawowy punkt odniesienia, dla uzyskanych wartości pracy oddechowej, przyjęto wartość określoną w normie PN-EN 250:2014 na poziomie ( $3,3 \pm 0,16$ ) J/l. Jest to wielkość określana podczas dynamicznych badań stanowiskowych. Wyznacza ona istotną granicę wysiłku nurka podczas użytkowania powietrznego automatu oddechowego

o obiegu otwartym do głębokości 50 mH<sub>2</sub>O. Ogólnie uznaje się, że po przekroczeniu przedmiotowej wartości dana konstrukcja urządzenia nie powinna być dopuszczona do wykorzystywania w nurkowaniach.

Uzyskane w toku badań wyniki wskazały, że :

- a) dla średnicy dyszy ( $\phi$  4,5  $\pm$  0,01) mm, montowanej przez producenta automatu, średnia wartość pracy oddechowej wyniosła (2,21  $\pm$  0,08) J/l;
- b) dla średnicy dyszy ( $\phi$  4,0  $\pm$  0,01) mm (prześwit zmniejszony o 0,5 mm) średnia wartość pracy oddechowej wyniosła (3,44  $\pm$  0,08) J/l, co stanowiło ok. 4,2 % wzrostu oporów oddychania w stosunku do wartości określonej w normie;
- c) dla średnicy dyszy ( $\phi$  3,5  $\pm$  0,01) mm (prześwit zmniejszony o 1,0 mm) średnia wartość pracy oddechowej wzrosła do (4,35  $\pm$  0,08) J/l, co stanowiło ok. 32 % wzrostu oporów oddychania w stosunku do wartości określonej w normie.

W literaturze przedmiotu wskazuje się, że dobra konstrukcja i wysoka jakość wykonania automatu oddechowego, podczas badań stanowiskowych i przy zachowaniu warunków ich prowadzenia określonych w normie PN-EN 250:2014, powinna zapewnić uzyskanie wartości pracy oddechowej na poziomie 2,0-2,2 J/l [6]. Gdyby przyjąć ten zakres za punkt odniesienia, otrzymane w toku badań wyniki w sposób znaczny przekroczyłyby wartość wskazaną w normie. Z punktu widzenia cech użytkowych „przytkanie” (zakłócenie) przepływu powietrza przez dyszę w drugim stopniu automatu oddechowego należałoby uznać za stosunkowo duże oraz bardzo niebezpieczne dla zdrowia i życia nurka.

## REFERENCES

1. [https://alertdiver.eu/pl\\_PL/artykuly/niewidoczne-kryształki-i-awarie-automatow](https://alertdiver.eu/pl_PL/artykuly/niewidoczne-kryształki-i-awarie-automatow)
2. [http://scubatechphilippines.com/scuba\\_blog/regulator-hose-diving-emergency/#Polymorphic\\_Crystallization](http://scubatechphilippines.com/scuba_blog/regulator-hose-diving-emergency/#Polymorphic_Crystallization)
3. Greber Tomasz „Measurement system analysis (MSA)” Politechnika Wroclawska, Instytut Organizacji i Zarządzania StatSoft Polska Sp. z o.o. 2002 [www. StatSoft.pl](http://www.StatSoft.pl)
4. Humienny Zbigniew, Kiszka Krzysztof „Metrology and interchangeability” Politechnika Warszawska Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych Warszawa 2011 [www. ipbmvr.simr.pw.edu.pl/spin/](http://www.ipbmvr.simr.pw.edu.pl/spin/) ISBN: 83-89703-67-X
5. Polish standard PN-EN 250:2014 “Breathing apparatus. Open-circuit compressed air diving apparatus. Requirements, testing and marking” Polski Komitet Normalizacyjny Warszawa 2014 ISBN: 978-83-275-3214-5
6. <https://www.diverite.com/wpcontent/uploads/library/Regulators/Regulator%20Performance%20Article%20By%20Mike%20Ward.pdf>

### dr inż. Zbigniew Tałaśka

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