

## UZDATNIANIE POWIETRZA ODDECHOWEGO DO CELÓW HIPERBARYCZNYCH, CZ. II

Arkadiusz Woźniak

Zakład Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej, Gdynia

### STRESZCZENIE

Określenie skuteczności oczyszczania powietrza oddechowego przeznaczonego do stosowania w celach hiperbarycznych poprzez zastosowanie systemów filtracji jest bardzo istotne. Powstanie sytuacji problemowej polegającej na odrzuceniu próbek jakości powietrza oddechowego ze względu na brak spełnienia stawianych wymagań wymusiło konieczność podjęcia działań zmierzających do eliminacji zidentyfikowanych zakłóceń procesu produkcji powietrza oddechowego w celu zapewnienia odpowiedniej jego jakości. W niniejszym materiale przedstawiono wyniki badań wstępnych źródeł zasilania eksploatowanych w Marynarce Wojennej RP zrealizowanych w celu dokonania wyboru odpowiedniego kierunku prowadzenia dalszych prac i działań korygujących mających na celu optymalizację procesu produkcyjnego. Otrzymane wyniki badań będą wykorzystane w kolejnej publikacji poświęconej ocenie stopnia skuteczności oczyszczania powietrza przy zastosowaniu wielowariantowego podejścia polegającego na wykorzystaniu różnego rodzaju źródeł zasilania i konfiguracji układów uzdatniania.

**Słowa kluczowe:** technologia prac podwodnych, inżynieria morska, nurkowe czynniki oddechowe.

### ARTICLE INFO

PolHypRes 2015 Vol. 50 Issue 1 pp. 31 - 46

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2015-0001

Strony: 18, rysunki: 11, tabele: 5

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

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 12.01.2015r.

Termin zatwierdzenia do druku: 09.02.2015r.

### Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

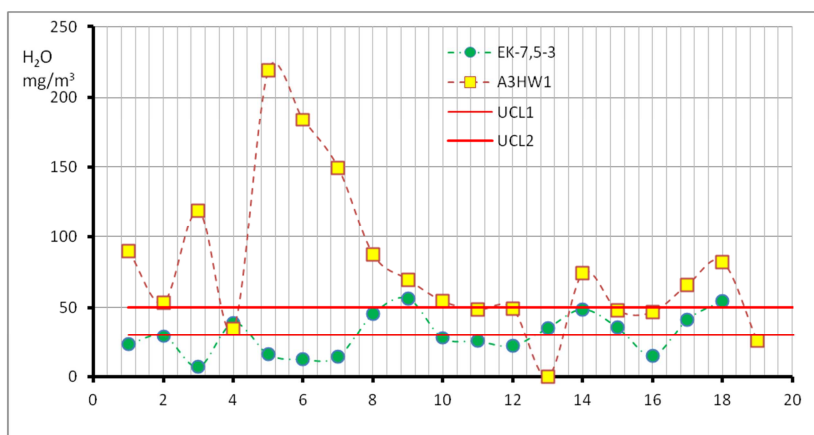
## WSTĘP

Powstanie sytuacji problemowej związanej z koniecznością zapewnienia odpowiedniej jakości czynników oddechowych wymusiło konieczność poszukiwania nowych rozwiązań technicznych których zastosowanie pozwoliłoby na rozwiązanie problemu jakości wytwarzanego powietrza oddechowego.

Przeprowadzenie przeglądu dostępnych rozwiązań technicznych miało na celu wybór rekomendowanego do badań rozwiązania technicznego układu filtrującego. W zależności od uzyskanych wyników mogło to pozwolić na wybór właściwego kierunku modernizacji technologicznej procesu produkcji powietrza oddechowego dla całej populacji źródeł zasilania.

Po dokonaniu porównania funkcjonujących rozwiązań na bazie zastosowanych jednostkowo konstrukcji stwierdzono, że okręt proj.570 wyposażony w sprężarkę typu EK 7,5-3 wraz z systemem filtracji P140 (BAUER) spełnia dużo częściej wymogi stawiane normą w odróżnieniu od pozostałej części sprężarek.

Poniżej na Rys.1 przedstawiono wykres rozrzutu punktów pomiarowych zawartości H<sub>2</sub>O w powietrzu oddechowym dla poszczególnych próbek (pobieranych kwartalnie) uzyskanych w latach 2002÷2005. Widać, że sprężarka EK 7,5-3 tylko w 2 przypadkach przekraczała dopuszczalną wartość graniczną dla zawartości H<sub>2</sub>O w powietrzu oddechowym kl.II. Jednocześnie porównując uzyskane wyniki dla sprężarki A3HW1 Gera wyposażonej w standardowy układ filtrujący stosowany dotychczas stwierdzono, że w 12 przypadkach przekroczono wymagania. Na Rys.1 jako UCL1<sup>1</sup> [7] oznaczono górną granicę tolerancji dla dopuszczalnej zawartości H<sub>2</sub>O dla kl.I (35mg/m<sup>3</sup>), natomiast jako UCL2 oznaczono górną granicę zawartości H<sub>2</sub>O dla kl.II (50mg/m<sup>3</sup>).



Rys 1. Wykres dla kolejnych obserwacji pomiarów zawartości H<sub>2</sub>O w powietrzu oddechowym dla różnych sprężarek w latach 2002÷2005.

## OBIEKT I METODA BADAŃ

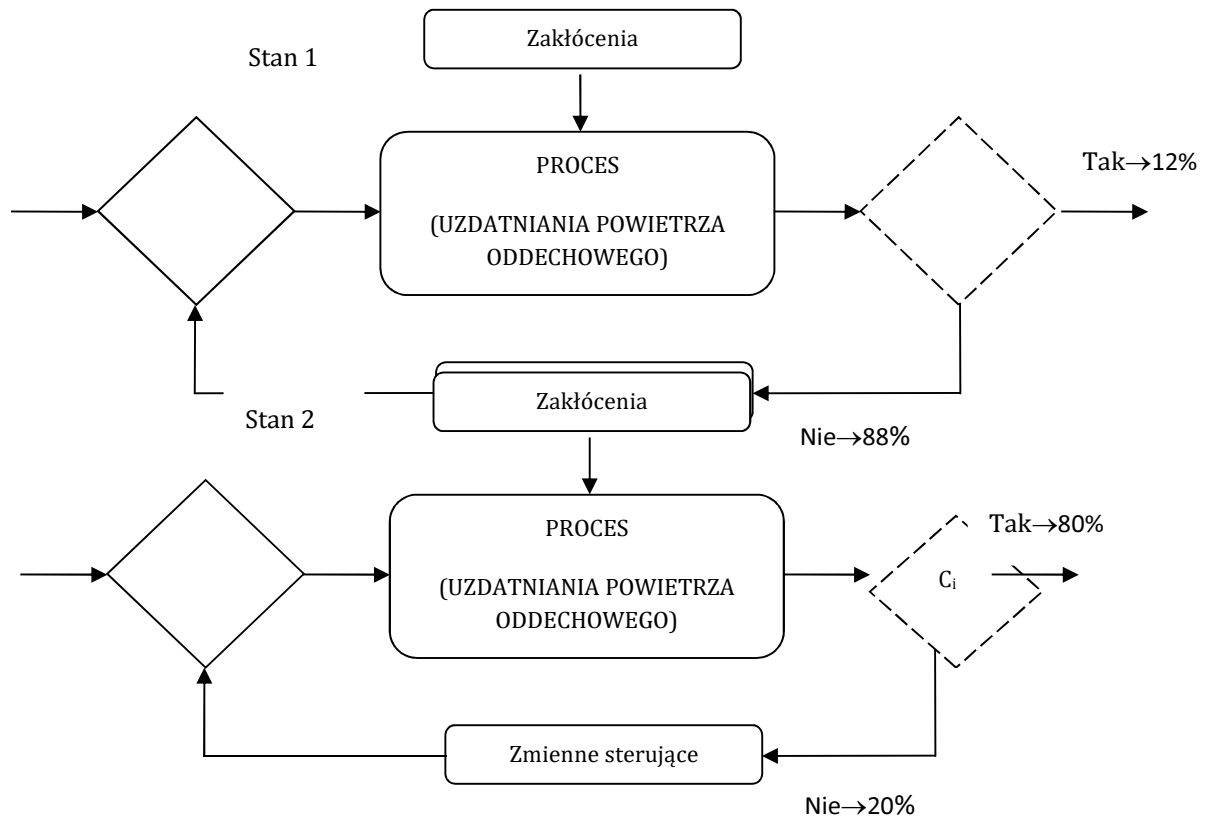
Mając na uwadze wyżej przedstawione wyniki pomiarów zawartości H<sub>2</sub>O oraz wyniki badań fizykochemicznych dla całej badanej populacji (669 próbek powietrza oddechowego) w latach 2002-2005 stwierdzono, że infrastruktura produkcyjna (źródła zasilania wraz z systemami oczyszczania) jest punktem krytycznym procesu uzdatniania powietrza oddechowego. Należy nadmienić że, na każdym z etapów wytwarzania czynnika oddechowego występują potencjalne możliwości jego zanieczyszczenia. Jedynym istotnym elementem je eliminującym w procesie produkcyjnym jest układ filtrujący, który wyodrębniono jako obiekt badań[10]zapewniający jakość.

W rozpatrywanym procesie, zgodnie z przedstawionymi zależnościami (1) i (2), stan 2 procesu przedstawionego na Rys. 2 zależny jest od zestawu podjętych wymuszeń niezależnych zmiennych wejściowych (sterujących) oznaczonych jako (X<sub>1</sub>...X<sub>n</sub>) przedstawionych w Tab.1. Zastosowanie zmiennych powinno zmierzać do minimalizacji określonych parametrów funkcji celu dla i-tego składnika zanieczyszczającego oznaczonego jako (C<sub>i</sub><sup>2</sup>).

$$\exists_{x_1 \dots x_n} : f(x_1 \dots x_n) \xrightarrow{\min} \{C_{H_2O}, C_{CO}, C_{CO_2}, C_{CH_4}, C_{NO_X}\} \quad (1.5)$$

$$\text{gdzie: } \forall_{i \in \{H_2O, CO, CO_2, CH_4, NO_X\}} C_i = f(x_1 \dots x_n) \quad (1.6)$$

W konsekwencji należy stwierdzić, że istnieje taka możliwość wymuszenia zmian wartości wejściowych (X<sub>1</sub>...X<sub>n</sub>) oraz ich modyfikacji dokonywanych w sposób celowy, która doprowadzi do minimalizacji parametru wyjściowego (C<sub>i</sub>). Istotą było stwierdzenie, które z wymuszeń (wprowadzonych zmian wartości wejściowych) mają największy wpływ na odpowiedź systemu oraz jaka jest wrażliwość systemu na wpływ parametrów będących poza kontrolą. W dalszych pracach należało dążyć do poszukiwania sposobów osiągnięcia określonych minimów funkcji celu z uwzględnieniem problematyki optymalizacji<sup>3</sup> procesowej<sup>4</sup>, która określi jakie czynniki (zmiany) są najbardziej istotne. Na tej podstawie



Rys. 2. Deterministyczny model cybernetyczny obiektu badań.

Jako wielkość wyjściową przyjęto uzyskaną jakość powietrza oddechowego zmierzoną za pomocą metod chemicznej analizy instrumentalnej (analiza chemiczna<sup>5</sup>) w odniesieniu do oznaczenia poszczególnych domieszek szkodliwych (H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub> i NO.) powietrza oddechowego(C<sub>i</sub>).

Na potrzeby dalszych prac przyjęto założenie, że osiągnięcie poprawy w zakresie spełnienia wymagań jakościowych dla całej populacji będzie mogło być uznane za satysfakcjonujące jeżeli udział procentowy wyników niespełniających wymagań dla H<sub>2</sub>O w Stanie 1 wynoszący około 88% zostanie zmniejszony do wartości poniżej 20% w Stanie 2. Taki stan oprócz osiągnięcia większej niezawodności procesu pozwoli na osiągnięcie wymiernych korzyści ekonomicznych wynikających ze zmniejszenia ilości koniecznych do wykonania powtórnych pomiarów (weryfikujących) dla źródeł zasilania które nie spełniają wymagań. W przypadku pomiaru przekraczającego wymagania normatywne częstym zjawiskiem na etapie identyfikacji i usuwania przyczyn(y) jest potrzeba wykonania 2-4 krotnych analiz weryfikujących jakość uzyskanego powietrza. Punktami krytycznymi omawianego procesu są zidentyfikowane zmienne oznaczone jako (X<sub>1</sub>...X<sub>8</sub>) przedstawione w tabeli poniżej (Tab.1).

Tab. 1.

Zidentyfikowane wartości wejściowe.

LP	Symbol	Wartość wejściowa(zmienna)
1	X <sub>1</sub>	zawartość resztkowa oleju na wylocie ze źródła zasilania
2	X <sub>2</sub>	właściwości fizykochemiczne i skład złoża wkładu(ów) układu filtracyjnego
3	X <sub>3</sub>	typ separatora wodno-olejowego
4	X <sub>4</sub>	dokładność wykonania pomiarów składu chemicznego powietrza oddechowego
5	X <sub>5</sub>	zawartość zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym
6	X <sub>6</sub>	metodyka pobierania próbek do badań
7	X <sub>7</sub>	technologia przygotowania butli probierczych
8	X <sub>8</sub>	czystość elementów systemu hiperbarycznego

Mają one bezpośredni wpływ na jakość parametrów funkcji celu oznaczonych jako C<sub>i</sub> i są jego zmiennymi sterującymi. Kierując się ogólną zasadą PARETO [7] mówiącą, że około 20% czynników może spowodować 80% skutków na etapie wstępnym przyjęto założenie, że niewielka grupa przyczyn (X<sub>1</sub>...X<sub>5</sub>) może spowodować większość oczekiwanych zmian powodujących zmianę parametrów wyjściowych.

## BADANIA

Kierując się podejściem intuicyjnym na etapie przygotowania eksperymentu przyjęto strategię polegającą na wytypowaniu odpowiedniego układu do badań modelowych w oparciu o zastosowanie odpowiednio dobranego złoża wypełniającego wkład filtrujący materiałami sorpcyjnymi właściwymi dla usuwania różnego rodzaju zanieczyszczeń.

Przy planowaniu doświadczenia istotą było przyjęcie założenia aby możliwie przy jak najmniejszych kosztach uzyskać jak najwięcej informacji. Przedmiot badań określono i przedstawiono powyżej na Rys.2. Celem badań było określenie przybliżonej zależności, która odzwierciedlałaby reakcję naszego obiektu na zmianę wartości wejściowych. Celem jest znalezienie związku pomiędzy wartościami wejściowymi a wyjściowymi procesu które pozwolą na zidentyfikowanie zmian mających największy wpływ na jego przebieg. Omawiany związek może być tylko przybliżeniem rzeczywistych występujących powiązań. Nie mniej jednak uzyskanie go może być całkowicie wystarczające na wstępnym etapie realizacji prac. Zakres prowadzonych w tym przypadku badań był zdeterminowany jak wspomniano wcześniej występującymi ograniczeniami finansowymi. Ponadto ze względu na dużą skalę występowania negatywnych wyników badań powodujących w 88% wyłączenie z eksploatacji źródeł zasilania, sytuacja ta wymagała pilnej identyfikacji działań umożliwiających chociażby częściowe rozwiązanie zaistniałej sytuacji problemowej.

Jak wspomniano wcześniej podejście to koncentrowało się na dążeniu do określenia kilku istotnych zmiennych mających największy wpływ na przebieg procesu. Nie mając na etapie planowania eksperymentu wpływu zawartość resztkową oleju na wylocie ze źródła zasilania ( $X_1$ ), przy zapewnieniu odpowiedniej dokładności wykonania pomiarów składu chemicznego powietrza oddechowego( $X_4$ ) założono, że najbardziej istotny wpływ na badany obiekt powinny wywierać odpowiednie właściwości fizykochemiczne i skład złoża wkładu(ów) układu filtracyjnego ( $X_2$ ) oraz typ(rodzaj) separatora wodno-olejowego ( $X_3$ ).

W konsekwencji pozwoliło to na etapie badań wstępnych przyjąć twierdzenie, że czynniki ( $X_5... X_8$ ) są mniej istotne i nie mają tak dużego wpływu na badany obiekt jak ( $X_1...X_3$ ). Powyższe założenie wymaga jednak potwierdzenia na etapie realizacji eksperymentu(ów) i dalszych badań. Zbędne uwzględnienie ( $X_5... X_8$ ) na etapie planowania eksperymentu mogłoby doprowadzić do sytuacji w której niepotrzebnie wygenerowano by dodatkowe koszty związane z opracowywaniem i wdrożeniem nowych technologii co w konsekwencji przedłużyłoby znacznie czas niezbędny na przeprowadzenie wyczerpujących badań.

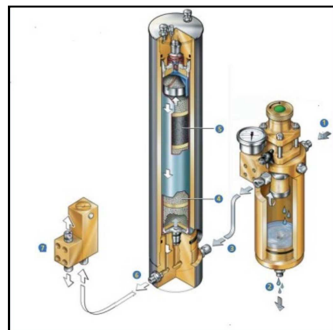
Zaplanowany eksperyment ma odpowiedzieć na pytanie czy wytypowane ww. wartości wejściowe ( $X_2, X_3$  - zestaw wartości wejściowych do planu eksperymentu) mają istotny wpływ na parametr ( $C_i$ ). Badania porównawcze powinny dać odpowiedź jaki będzie wpływ wymuszonych zmian parametru wejściowego (zastosowanie nowego rodzaju wkładu filtrującego i separatora) na odpowiedź systemu (zawartość zanieczyszczeń za układem filtrującym).

W konsekwencji dokonano oceny możliwości zastosowania innego rodzaju układu uzdatniania powietrza, który mógłby spełnić stawiane przed nimi wymagania. Biorąc pod uwagę skalę procesu produkcji powietrza oddechowego (około 200 sprężarek o różnej konstrukcji i parametrach pracy), zapewnienie wymaganej jakości przy zastosowaniu nowego rodzaju (typoszeregu) układów filtrujących było kluczowym problemem.

W celu oceny skuteczności eliminacji zanieczyszczeń pochodzących od źródeł zasilania (środków technicznych) do badań wstępnych mających na celu zaobserwowanie reakcji procesu (poprzez pomiar parametrów wyjściowych) wytypowano system filtrujący firmy BAUER typu P61.

Wytypowany układ filtracyjny (Rys. 3a) składał się z:

1. mikro filtra [ $5\mu\text{m}$ ]
2. separatora wodno-olejowego (automatycznego zrzutu kondensatu);
3. systemu kontroli stanu nasycenia wkładu filtrującego SECURUS;
4. zaworu bezpieczeństwa;
5. zaworu zwrotnego;
6. korpusu filtra (wraz z wkładem filtrującym);
7. zaworu regulacji ciśnienia pracy filtra.



Rys. 3. Filtr uzdatniania powietrza oddechowego firmy BAUER typu P61(a); ogólny widok filtra po zamontowaniu w zestawie zasilania bazy zabezpieczenia prac podwodnych "ORTOLAN"(b). (a i b), źródło: (a)materiały informacyjne producenta, (b)badania własne.

Poniżej w tabeli (tab. 2) przedstawiono główne parametry techniczne wytypowanego zestawu filtrującego P61.

Dane techniczne filtra typu P61 BAUER (Źródło. mat. informacyjne producenta).

P	Parametr	Wartość	JM
	Ciśnienie pracy	225/330	[at]
	Ciśnienie pracy maksymalne	350	[at]
	Wydajność	600	[dm <sup>3</sup> / min]
	Zregenerowana objętość powietrza w odniesieniu do ciśnienia absolutnego 1bar, przy 20°C przy przepływie 200dm <sup>3</sup> /min i ciśnieniu 200bar	1612	[m <sup>3</sup> ]
	Zakres temperatury pracy	+5 do 50	[°C]
	Resztkowa zawartość wody	30	[mg/m <sup>3</sup> ]
	Resztkowa zawartość par oleju	0,130	[mg/m <sup>3</sup> ]
	Resztkowa zawartość CO	5 (przy maksymalnej koncentracji na dolocie do sprężarki 25ppmv)	ppm
	Resztkowa zawartość CO <sub>2</sub>	400÷500	[ppmv]
0	Waga	56	[kg]
1	Wymiary	780 x 260 x1000	[mm]

Rodzaje standardowych wypełnień dla filtra typu P61 przedstawiono w tabeli poniżej.

Rodzaje dostępnych konfiguracji wkładów filtrujących (Źródło. mat. informacyjne producenta).

P	L filtra	Typ	Wypełnienie wkładu filtrującego	Czujnik SECURUS
	1	P61	MS/ MS/ MS/ MS/	-
	2	P61	MS/ MS/ AC/ MS/	-
	3	P61	MS/ MS/ AC / MS/	+
	4	P61	MS/ MS/ AC / MS/HP/	+
	5	P61	AC/AC/AC/MS/	-
	6	P61	AC /MS/	+

MS- sito molekularne  
AC- węgiel aktywowany  
HP- hopkalit

Dla badań porównawczych w ramach prowadzonego eksperymentu wytypowano wypełnienie składające się z wkładu (MS/MS/AC/MS/HP). Zaproponowane rozwiązanie mogło zapewnić najbardziej efektywne usuwanie niepożądanych składników powietrza oddechowego. Ze względu na napęd spalinowy poddanych badaniom sprężarek zawartość hopkalitu<sup>6</sup> jako katalizatora procesu była konieczną w celu ograniczenia niepożądanego zawartości CO. Do eliminacji CO oprócz najbardziej rozpowszechnionego hopkalitu wykorzystywany jest również skutecznie inny dostępny wysoko aktywny katalizator utleniający na bazie palladu, platyny i tlenku cyny.

Układ separatora wodno-olejowego wyposażono dodatkowo w samoczynny zrzut kondensatu usuwający w sposób automatyczny powstający w procesie filtracji kondensat wodno-olejowy z przestrzeni filtra separatora wodno-olejowego. Układ opróżnia podłączone do niego urządzenia samoczynnie przez okres 6÷10[s] w odstępach 15 [min]. Kolejnym elementem z założenia zapewniającym optymalne wykorzystanie zaproponowanego wkładu filtra poprzez bieżące monitorowanie stopnia jego zużycia jest system kontroli SECURUS. Omawiany system poprzez wyświetlenie odpowiedniego sygnału wizualnego informuje obsługę o stopniu nasycenia wkładów filtrujących. Element wykonawczy posiada cztery stany pracy przedstawione w tabeli poniżej:

Stany pracy systemu monitorowania jakości nasycenia wkładu filtrującego SECURUS. (Źródło: mat. informacyjne producenta).

Właściwość i stan systemu	Lampki kontrolne
Normalny tryb pracy	Ciągłe zielone
Ostrzeżenie o zbliżającym się pełnym nasyceniu wkładów	Ciągłe zielone+ przerywane żółte
Wyłączenie systemu filtrującego nasycenie wkładów filtrujących	Przerywane czerwone
Wyłączenie systemu filtrującego brak wkładów w korpusie filtra	Ciągłe czerwone

Powyższy układ można skonfigurować w ten sposób, że w przypadku przekroczenia dopuszczalnego stopnia nasycenia wkładu filtrującego następuje automatyczne unieruchomienie sprężarki zasilającej. Wszystkie wymienione urządzenia współpracujące z filtrem miały na celu optymalne wykorzystanie jego możliwości filtracyjnych, maksymalne wydłużenie czasu jego ochronnego działania, zapewnienie wysokiej jakości uzyskiwanego powietrza oddechowego, obniżenie kosztów eksploatacji a w konsekwencji zwiększenie niezawodności procesu.

Wytypowany do badań układ modelowy zastosowano w sprężarkach EK2-150 zasilanych silnikiem spalinowym bazy zabezpieczenia prac podwodnych „ORTOLAN” którą przedstawiono na Rys. 5÷7.

Bazy „ORTOLAN” wyprodukowano i wdrożono do użytkowania w SZRP w latach 1977 ÷ 1984 w ilości 68 egzemplarzy. Z punktu widzenia potrzeb Sił Zbrojnych związanych z zabezpieczeniem technicznym wykonywania prac podwodnych zapewnienie możliwości dalszego użytkowania ww. urządzeń było kluczowe. Uzyskanie wyników badań wykonanych z zastosowaniem wytypowanego układu modelowego uzdatniania powietrza oddechowego, które mogłyby prognozować potencjalną możliwość zniwelowania udziału wyników niespełniających wymagań w analizowanej populacji było bardzo istotne. Taki rozwój wypadków umożliwiłby tymczasową dalszą eksploatację baz „ORTOLAN” do czasu ich planowego wycofania.



Rys. 5. Baza zabezpieczenia prac podwodnych "ORTOLAN".



Rys. 6. Zestaw zasilania bazy zabezpieczenia prac podwodnych "ORTOLAN" - panel kontrolny.



Rys. 7. Zestaw zasilania bazy zabezpieczenia prac podwodnych "ORTOLAN" wraz ze sprężarkami powietrza nurkowego EK 2-150 produkcji ZSRR.

## WYNIKI BADAŃ

Po dokonaniu badań porównawczych układu modelowego w oparciu o wytypowany model fizyczny oraz po zastosowaniu wymuszeń od  $X_2$ - $X_4$  (Tab.1), uzyskano następujące wyniki badań dla źródeł zasilania które przedstawiono poniżej w tabeli.

Tab. 5.

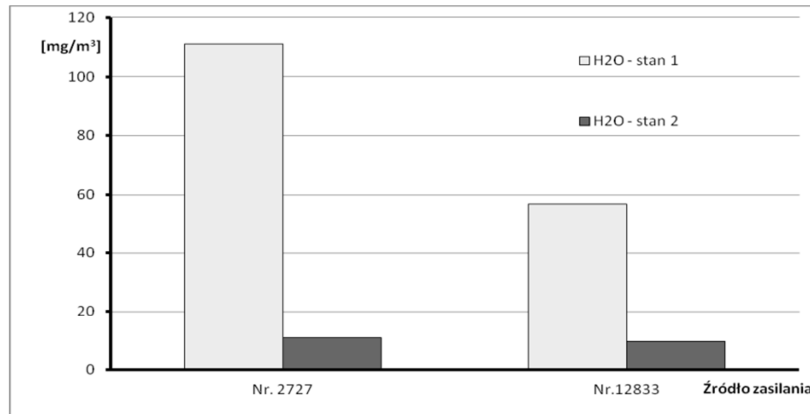
Porównanie analiz źródeł zasilania powietrzem oddechowym przed (Stan 1) i po (Stan2) zastosowaniu wymuszeń ( $X_2$ - $X_4$ ). Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań fizykochemicznych wykonanych w laboratorium CZSRMW.

Lp.	Mierzony czynnik	Stan 1		Stan 2		JM
		Nr. 2727 (Nr.1)	Nr. 12833 (Nr.2)	Nr. 2727 (Nr.1)	Nr. 12833 (Nr.2)	
1	Tlen	20,77	20,92	20,93	21	[%]
2	Ditlenek węgla	(0,0468)	(0,0317)	0,0	0,0101	[%]
3	Tlenek węgla,	0,69	0,62	0,41	0,32	[ppm]
4	Tlenki azotu,	0,111	0,255	0,196	0,082	[mg/m <sup>3</sup> ]
5	Pary węglowodorów w przeliczeniu na CH <sub>4</sub>	(3,93)	1	0,5	0,4	[mg/m <sup>3</sup> ]
6	Para wodna	(111)	(56,98)	10,95	9,55	[mg/m <sup>3</sup> ]
7	Zapach	-	-	-	-	[-]
8	Zapylenie	-	-	-	-	[-]

Uwaga. W nawiasach oznaczono wyniki pomiarów próbki powietrza oddechowego nieodpowiadające wymaganiom.

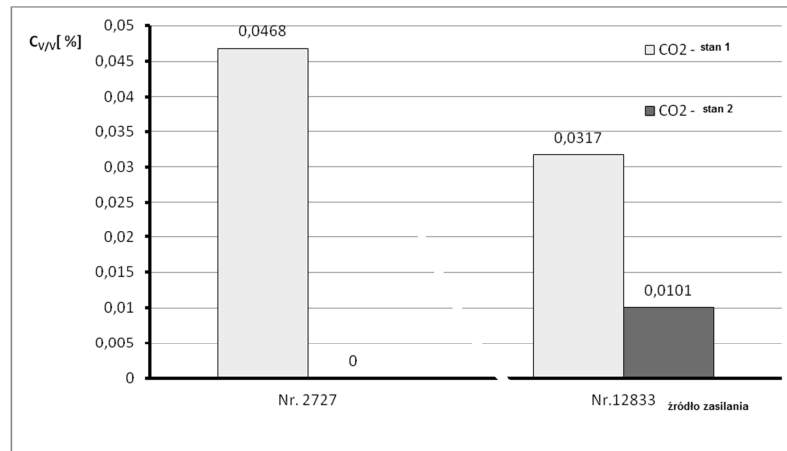
Wyniki wykonanych pomiarów laboratoryjnych potwierdziły skuteczność oczyszczania powietrza oddechowego przez wytypowany układ modelowy. Zastosowanie nowego wypełnienia filtra spowodowało wielokrotne obniżenie zawartości poszczególnych składników (domieszek szkodliwych) w uzyskanym powietrzu w stosunku do wartości pierwotnych (zmierzonych wraz z pierwotnym układem filtrującym w Stanie 1).

Koncentrując się na wynikach pomiarów, które nie spełniają wymagań w badanej populacji zanieczyszczeń (patrz Rys.1), poniżej na (Rys.8÷11) przedstawiono w sposób graficzny uzyskane wyniki badań porównawczych odpowiednio dla zawartości: H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO. Na Rys.8 przedstawiono wyniki pomiarów zawartości H<sub>2</sub>O dla 2 wytypowanych sprężarek przed i po zastosowaniu zmian. W obu źródłach zasilania uzyskano wielokrotne zmniejszenie zawartości H<sub>2</sub>O w badanej próbce. Wyniki pomiarów odniesiono do spełnienia wymagań w zakresie zawartości domieszek szkodliwych w granicach odpowiadających wymaganiom dla kl.II (C<sub>H<sub>2</sub>O</sub><50mg/m<sup>3</sup>) i kl.I (C<sub>H<sub>2</sub>O</sub><35mg/m<sup>3</sup>) powietrza oddechowego (NO-07-A010), w obu przypadkach są one poniżej wymaganej normy wartości.



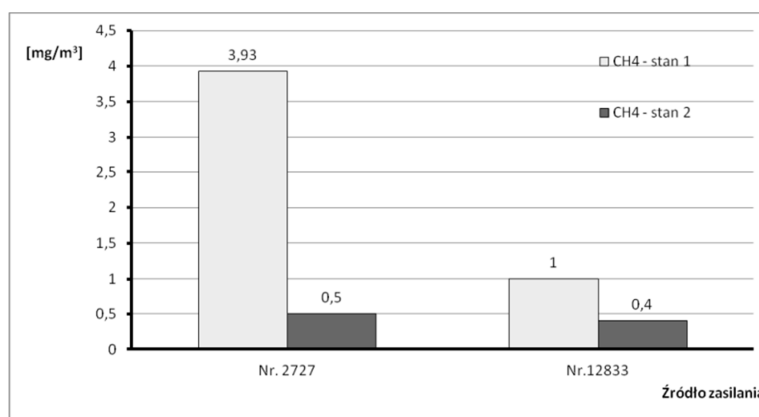
Rys. 8. Wyniki badań porównawczych w zakresie zawartości H<sub>2</sub>O. Źródło: badania własne.

Dla porównania poniżej (Rys.9) przedstawiono również wyniki pomiarów dla zawartości CO<sub>2</sub> dla których uzyskano podobne rezultaty. W obu przypadkach wyniki spełniają wymagania dla kl.II (C<sub>CO<sub>2</sub></sub>≤0,05%) i kl.I (C<sub>CO<sub>2</sub></sub>≤0,01%) powietrza oddechowego (NO-07-A010), w jednym przypadku znajduje się on na górnej granicy wymaganej normy.



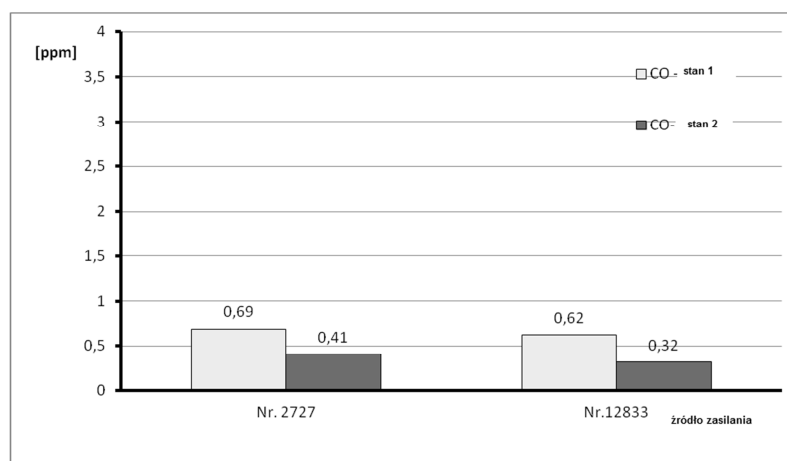
Rys. 9. Wyniki badań porównawczych w zakresie zawartości CO<sub>2</sub>. Źródło: badania własne.

Kolejne wyniki pomiarów dla zawartości CH<sub>4</sub> potwierdzają jak wcześniej w obu przypadkach skuteczności zastosowanego rozwiązania i w obiecujący sposób mogą prognozować zastosowanie wytypowanego rozwiązania w większej skali. Wyniki pomiarów zawartości CH<sub>4</sub> (Rys.10) spełniają wymagania dla kl.II (C<sub>H<sub>2</sub>O</sub><5ppm) i kl.I (C<sub>H<sub>2</sub>O</sub><1ppm) powietrza oddechowego wg.(NO-07-A010), w obu przypadkach są one znacznie poniżej określonej normy wartości.



Rys .10. Wyniki badań porównawczych w zakresie zawartości węglowodorów aromatycznych w przeliczeniu na CH<sub>4</sub>. Źródło: badania własne.

Poniżej (Rys.11) przedstawiono wyniki pomiarów dla zawartości CO dla których uzyskano zbliżone rezultaty. W obu przypadkach zawartość CO spełnia wymagania dla kl.II ( $C_{CO_2} \leq 10 \text{ ppm}$ ) i kl.I ( $C_{CO_2} \leq 3 \text{ ppm}$ ) powietrza oddechowego (NO-07-A010) Pomimo faktu, że pierwotnie wyniki (Stan 1) również spełniały stawiane wymagania należy zauważyć, że uzyskano istotne zmniejszenie zawartości w obu przypadkach.



Rys. 11. Wyniki badań porównawczych w zakresie zawartości CO. Źródło. badania własne.

## WNIOSKI

Obiecujące wyniki badań uzyskane po celowym wprowadzeniu zmian sterujących dały podstawę do przyjęcia koncepcji ich uogólnienia i zastosowania w większej skali. W pierwszej kolejności przystąpiono w latach 2003÷2004 do wymiany układów zasilania i filtracji baz zabezpieczenia prac podwodnych ORTOLAN oraz zapoczątkowanie procesu sukcesywnego usprawniania pozostałych układów uzdatniania powietrza w źródłach zasilania.

Z oczywistych względów przyjęto zasadę stałego monitorowania procesu poprzez gromadzenie wyników pomiarowych w bazie danych pomiarów w celu ich dalszego przetwarzania na etapie analizy. Do roku 2014 zgromadzono w niej wyniki około 12 000 wykonanych pomiarów poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń. Stanowi to reprezentatywną grupę badanych jednostek zbiorowości statystycznej dającej podstawę do przeprowadzenia dalszej eksploracji jej wyników za pomocą wybranych metod naukowych<sup>7</sup>[11,12]. Zrealizowane prace jak wspomniano wcześniej przyczyniły się do zaobserwowania nowych zjawisk na etapie selekcjonowania, eliminowania i klasyfikowania wyników, które przyczyniły się do określenia innych czynników mających wpływ na przebieg procesu takich jak: metodyka pobierania próbek do badań ( $X_6$ ), technologia przygotowania butli probierczych ( $X_7$ ) oraz czystość systemu hiperbarycznego ( $X_8$ ) jak również pozwoliły na wielokryterialne zweryfikowanie zastosowanych rozwiązań.

Zmienne ( $X_6$ ,  $X_8$ ) określone w Tab. 1 pierwotnie nie wynikały z prezentowanego podejścia intuicyjnego i nie udało się ich zidentyfikować przed rozpoczęciem ww. badań. Są one konsekwencją przeprowadzonych obserwacji i wnioskowania w okresie eksploatacyjnym źródeł zasilania uzyskanych na podstawie pomiarów badanej populacji (baza danych). Na podstawie obserwacji można było stwierdzić, że proces okazał się być podatnym na wpływ występujących błędów grubych wynikających z nieprawidłowej metodyki pobierania próbek do badań przez użytkownika. Obserwacja ta pozwoliła na zapoczątkowanie działań korygujących w roku 2006 polegających na opracowaniu i wdrożeniu:

- właściwej metodyki pobierania próbek do analizy;
- technologii przygotowania butli probierczych;
- technologii przygotowania elementów pracujących w warunkach tlenowych.<sup>8</sup>

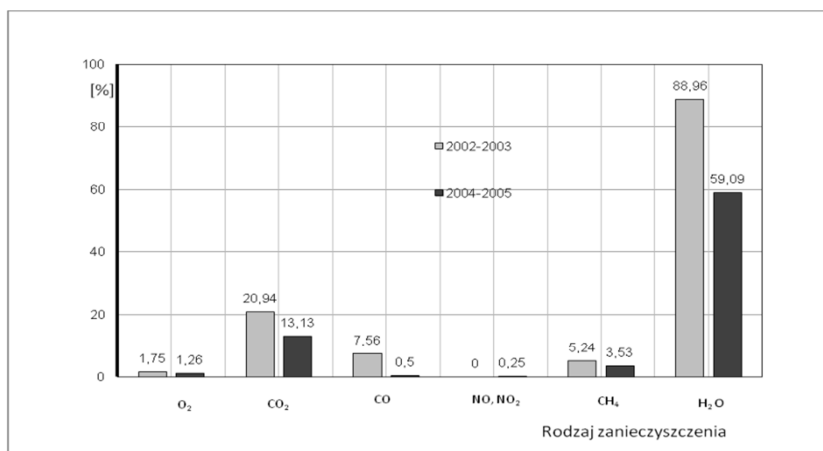


Omawiane zmienne, ze względu na ich istotny wpływ na analizowany proces jak również interesujące wnioski pozyskane na etapie rozwiązania sytuacji problemowej będą szerzej omówione w kolejnym artykule opisującym zachodzące zmiany w badanej populacji po zastosowaniu działań naprawczych w etapie eksploatacyjnym.

Uzyskane wyniki badań układu modelowego oraz dokonane na jej podstawie wyboru kierunku modernizacji technicznej spowodowały stopniowe rozwiązanie sytuacji problemowej. Dalsza analiza danych i ocena skuteczności filtracji w aspekcie:

- różnych źródeł zasilania z zastosowaniem tego samego typoszeregu układów filtracyjnych;
- tych samych źródeł zasilania z różnymi układami filtrującymi;
- tych samych źródeł zasilania z różnymi silnikami napędzającymi;
- nowego typu źródeł zasilania;
- sezonowości wykonywania pomiarów;
- czystości systemów hiperbarycznych;
- metodyki pobierania próbek;
- identyfikacji błędów obsługi;
- możliwości sterowania procesem technicznym;

umożliwiła miarodajną ocenę podjętych działań i ich skutków oraz sformułowanie szeregu zaleceń eksploatacyjnych i sukcesywna poprawę jakości powietrza oddechowego. Poniżej na Rys.12 przedstawiono uzyskane efekty w rozpatrywanej badanej populacji źródeł zasilania w latach 2002÷2005.



Rys. 12. Udział procentowy wyników badań powietrza oddechowego niespełniających wymagań jakościowych w latach 2002÷2005.

Wymierne efekty polegające na uzyskaniu znacznego zmniejszenia udziału wyników negatywnych pomiarów poszczególnych zanieczyszczeń w latach 2004-2005, w porównaniu do ich bazy wyjściowej określonej w przedziale lat (2002-2003) dały podstawę do kontynuacji prac w ramach przyjętej koncepcji. Podjęcie działań celowych związanych z korygowaniem niestabilnego (rozregulowanego) początkowo procesu, z którym miano do czynienia wraz z podejmowaniem działań zapobiegających przyczynom ich rozregulowania za pomocą wykorzystana różnego rodzaju metod, technik i narzędzi związanych ze sterowaniem i zapewnieniem, jakości będzie istotnym elementem naszych dalszych rozważań. Dalsze pomiary należało prowadzić również w kierunku znalezienia odpowiedzi określającej stopień skuteczności wytypowanych układów filtrujących przy zastosowaniu wielowariantowego podejścia polegającego na wykorzystaniu różnego rodzaju źródeł zasilania i konfiguracji układów uzdatniania.

Wymieniony obszar ze szczególnym uwzględnieniem oceny skuteczności zastosowanych rozwiązań technicznych będzie przedmiotem kolejnej części artykułu z cyklu tematycznego poświęconego jakości czynników oddechowych.

## BIBLIOGRAFIA

1. Olszański R, Siermontowski P, Supel M: Zatrucia płetwonurków zanieczyszczonym sprężonym powietrzem, Gdynia 1997;
2. Olejnik A: Wentylacja Komory dekompresyjnej podczas powietrznych ekspozycji hiperbarycznych Gdynia 2007;
3. Kłos R: Aparaty Nurkowe z regeneracją czynnika oddechowego Poznań 2002;
4. Ościak J: Adsorpcja: Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1973;
5. Jankowska H, Świątkowski A, Choma J: Węgiel aktywny Wydawnictwo naukowo-Techniczne Warszawa 1985;
6. Kłos R: Wapno sodowane w zastosowaniach wojskowych Gdynia 2009;
7. Gerber T: Statystyczne sterowanie procesami-doskonalenie jakości z pakietem Statistica-Stat Soft Kraków 2000;
8. Kłos R: Pozyskiwanie danych i projektowanie eksperymentów w technice nurkowej PHR Nr4(13) Gdynia 2005;
9. Kłos R: Następstwo Modeli PHR;
10. Pietraszek J. Planowanie doświadczeń-możliwość czy konieczność -Stat Soft Kraków 2004;
11. Szczęśniak B, Zasadzień M, Wapienik Ł. Zastosowanie analizy PARETO oraz diagramu ISHIKAWY do analizy przyczyn odrzutów w procesie produkcji silników elektrycznych Zeszyty naukowe politechniki Śląskiej 2012;
12. Pyzdatek T. Six Sigma Handbook The McGraw Hill Companies 2003.
- 13.

mgr inż. Artur Woźniak  
Zakład Technologii Prac Podwodnych  
Akademii Marynarki Wojennej  
ul. Śmidowicza 69 81-103 Gdynia  
tel. 262746  
ar.wozniak@amw.gdynia.pl

<sup>1</sup> UCL- ang. upper control level - górna granica kontrolna,

<sup>2</sup>  $C_i$ -parametr wyjściowy (pomiar zawartości danego zanieczyszczenia powietrza oddechowego  $C_{H_2O}$ ,  $C_{CO}$ ,  $C_{CO_2}$ ,  $C_{CH_4}$ ,  $C_{NO_x}$  w badanej próbce, za układem filtrującym),

<sup>3</sup> Optymalizacja-metoda wyznaczania najlepszego (optymalnego)rozwiązania(poszukiwania ekstremum funkcji z punktu widzenia określonego kryterium (wskaźnika),

<sup>4</sup> Optymalizacja procesowa- działania polegające na modelowaniu, analizie i usprawnianiu procesów (w tym produkcyjnych),

<sup>5</sup> Analiza chemiczna- badanie jakościowe (analiza jakościowa) i ilościowe (analiza ilościowa) składu chemicznego powietrza oddechowego,

<sup>6</sup> Hopkalit - nazwa handlowa mieszaniny tlenku miedzi(II), tlenku kobaltu(III), tlenku manganu(IV) oraz tlenku srebra. Substancja o właściwościach porowatej masy przypomina wyglądem węgiel aktywny,

<sup>7</sup> Np. Data Mining, wnioskowanie statystyczne, statystyczne sterowanie procesami, analiza PARETO, FMEA, QFD, metody optymalizacji jakości itp.,

<sup>8</sup> Warunki tlenowe- warunki, w których system lub jego element jest eksploatowany w bezpośredniej styczności z czystym tlenem lub innymi mieszaninami wzbogaconymi w tlen ( o zawartości >22%).