

Ryszard Kłos

dr hab. inż. Ryszard Kłos
Akademia Marynarki Wojennej
81-103 Gdynia, ul. Śmidowicza 69
Zakład Technologii Prac Podwodnych
tel. +48 58 6262746
adres e-mail: skrzyn@wp.pl

ELIMINACJA DITLENKU WĘGLA Z ATMOSFERY HIPERBARYCZNEJ

Na regenerację atmosfery hiperbarycznej składa się, przede wszystkim, wzbogacanie jej w tlen i usuwanie ditlenku węgla. Najczęściej, używa się w tym celu wapna sodowanego jako wypełnienia skrubarów będących częścią składową systemów wentylacyjnych służących do oczyszczania atmosfery hiperbarycznej w systemie zamkniętym.

Wapno sodowane składa się z wodorotlenku wapnia (II) $Ca(OH)_2$, z dodatkiem wodorotlenku sodu (I) $NaOH$ lub/i potasu (I) KOH jako katalizatora. Koncentracja $NaOH$ i/lub KOH zawiera się pomiędzy 2–5%_m w suchej masie.

W artykule przedstawiono eksperymentalną weryfikację założeń dla procesu regeneracji atmosfery habitatu podczas nurkowań saturowanych.

Słowa kluczowe: wapno sodowane, systemy utrzymania życia, nurkowanie saturowane

REMOVING CARBON DIOXIDE FROM HYPERBARIC COMPLEXES

Regeneration of hyperbaric atmosphere consists of oxygen reaching combined with carbon dioxide removal. In most situations, carbon dioxide elimination is provided by means of Sodalime. The main field of application is as a bed in scrubbers built into ventilation systems for cleaning ecologically closed breathing atmosphere. These systems are used in medicine and military applications.

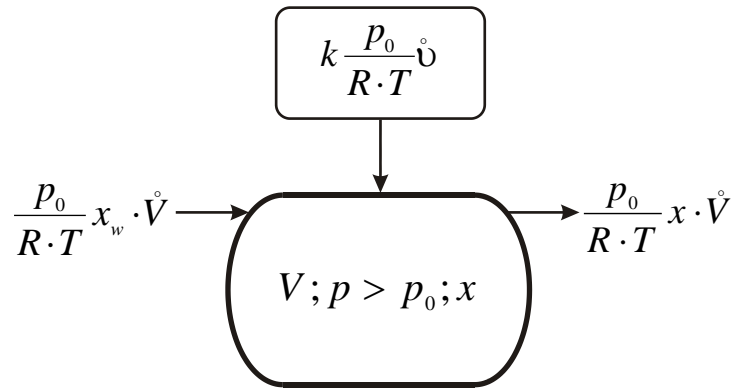
Sodalime consists of calcium hydroxide $Ca(OH)_2$, sodium hydroxide $NaOH$ and/or potassium hydroxide KOH as a catalyst. An approximate content of $NaOH$ and/or KOH is 2–5%_m in the solid phase.

This article is presented experimentally verification of assumptions for hyperbaric complex breathing atmosphere regeneration process, during saturation expositions.

Keywords: Sodalime, live support systems, saturation diving

WSTĘP

Model matematyczny dla procesu wentylacji przestrzeni komory hiperbarycznej można oprzeć o ogólny bilans masy – rys.1. Korzystając z niego można wyprowadzić ogólną formułę wentylacyjną [1–2]:



Rys.1. Bilans molowy CO₂ w habitacie

- R– uniwersalna stała gazowa [J·K⁻¹·mol⁻¹]
- T– temperatura [K]
- dt– podstawowy odcinek czasu [min]
- x– ułamek molowy CO₂ w obiekcie hiperbarycznym [mol·mol⁻¹]

$$x(t) = x_w + \frac{k \cdot \dot{u}}{\dot{V}_0} + \left(x_0 - x_w - \frac{k \cdot \dot{u}}{\dot{V}_0} \right) \cdot \exp \left(- \frac{p_0}{p} \cdot \frac{\dot{V}_0}{V_k} \cdot t \right) \quad (1)$$

- gdzie: x(t)– ułamek molowy CO₂ w chwili t [mol·mol⁻¹]
 k– liczba osób w komorze hiperbarycznej [1]
 p– ciśnienie odpowiadające głębokości [Pa]
 p₀– ciśnienie normalne [Pa]
 t– czas [min]
 V̇₀– strumień czynnika wentylacyjnego w odniesieniu do p=p₀ [dm³·min⁻¹]
 V_k– objętość efektywna komory hiperbarycznej [dm³]
 u̇– strumień emitowanego CO₂ przez jednego człowieka [dm³·min⁻¹]
 x₀– ułamek molowy CO₂ w chwili t=0 [mol·mol⁻¹]
 x_w– ułamek molowy CO₂ w świeżym czynniku oddechowym [mol·mol⁻¹]

METODA

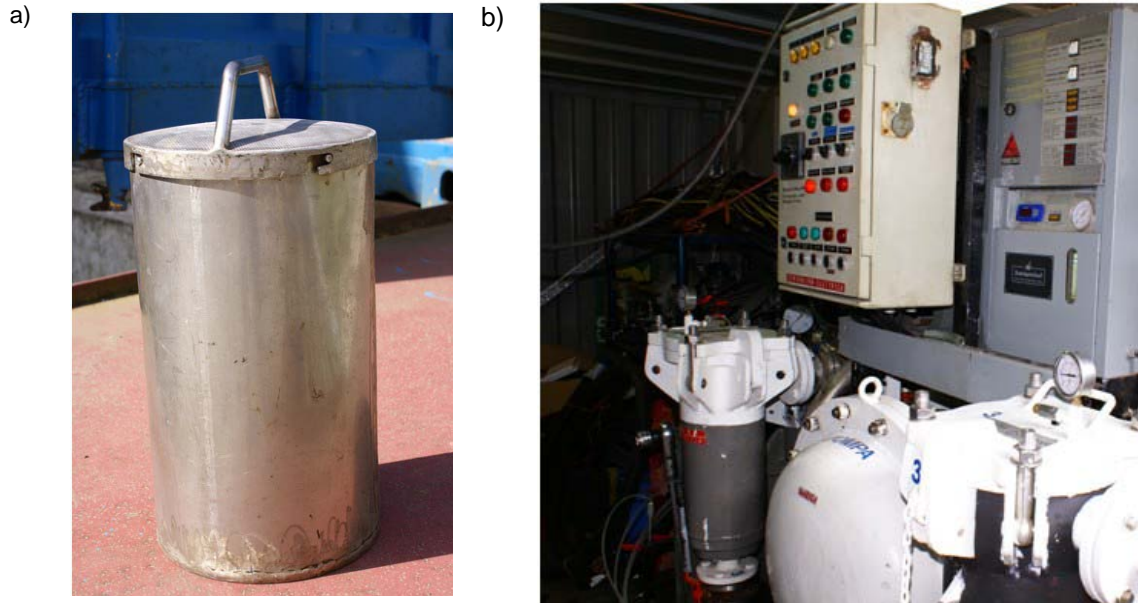
Strumień wentylacyjny

Strumień wentylacyjny zmierzono rotametrycznie dla układów regeneracji przedstawionych na rys.2b bez wypełnienia i po wypełnieniu skruberów wapnem sodowanym [5] – tab.1.

Objętość komory

Pomiary stężenia ditlenku węgla x po wyzwoleniu odważonej jego ilości do atmosfery kompleksu DGKN-120 wykorzystano do eksperymentalnego wyznaczenia objętości komory DZWONIEC – rys.3. W tym celu przygotowano naważki CO₂ w butlach ciśnieniowych m_{CO₂}=1,0 kg z dodatkiem azotu¹ m_{N₂}=0,25 kg.

¹dodatek N₂ pozwala na ilościowe wyzwolenie CO₂ z butli, gdyż w tych warunkach nie ulega on zestaleniu



Rys.2.a)wkład skrubera do pochłaniania CO₂ b)skonteneryzowany LSS² z widokiem na skruber do pochłaniania CO₂ oraz pompę

Tak przygotowaną naważkę należało wyzwolić do komory i jednocześnie podnieść w niej ciśnienie tak, aby wyzwalany CO₂ nie uleciał. Masę wydzielonego ditlenku węgla m_{CO_2} można przeliczyć na objętość V_{CO_2} wykorzystując jego gęstość ρ_{CO_2} :

$$V_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{\rho_{CO_2}} \quad \left| \quad T = \text{idem} \quad p = \text{idem} \right. \quad (2)$$

gdzie: V_{CO_2} - objętość wyemitowanego CO₂ [m³]
 m_{CO_2} - masa wyemitowanego CO₂ [kg]
 ρ_{CO_2} - gęstość CO₂ [kg · m⁻³]

zaś z drugiej strony³ objętość wydzielonego ditlenku węgla V_{CO_2} wyniesie:

$$V_{R=\text{const}} \quad V_{CO_2} = \frac{p}{p_0} \cdot V_k \cdot x \quad \left| \quad T = \text{idem} \right. \quad (3)$$

Łącząc zależności (2)-(3) można wyprowadzić zależność ciśnienia komorowego p w funkcji zawartości CO₂ wyrażonej ułamkiem molowym x :

$$p = \frac{m_{CO_2} \cdot p_0}{V_k \cdot \rho_{CO_2}} \cdot \frac{1}{x} \quad (4)$$

²Life Support System – (ang.) system zachowania życia

³korzystając z równania Clapeyrona

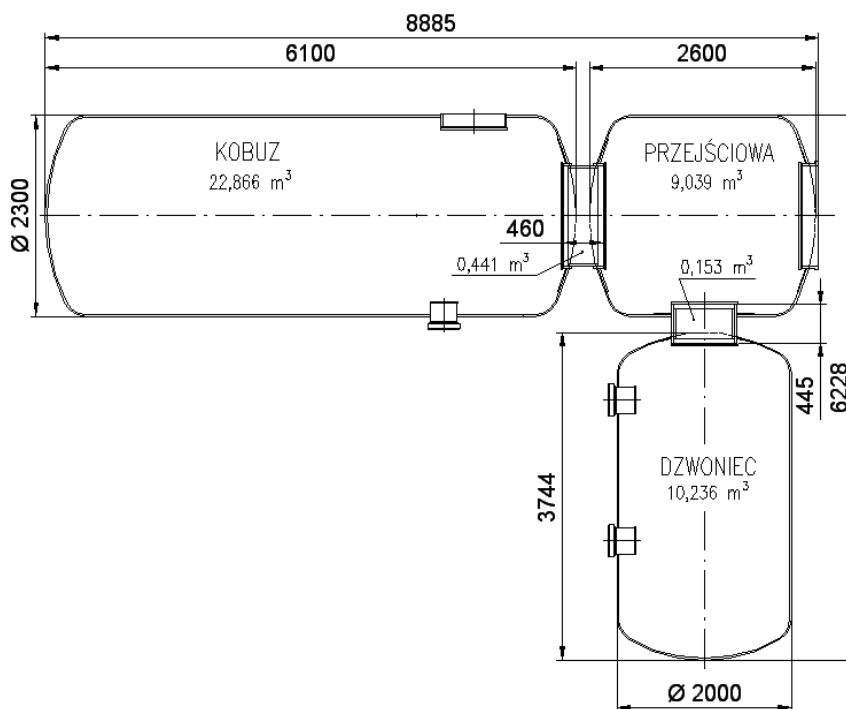
Tabela 1

Zmierzony strumień objętościowy \dot{V}_0 w funkcji ustawienia falownika i stopnia wypełnienia LSS

Ustawienie falownika [%]	Strumień \dot{V}_0 [$m^3 \cdot h^{-1}$]		
	bez filtrów	1 filtr	2 filtry
5	18	18	17,7
10	36,5	36	35
15	50	50	48
20	68	68	65
25	85	83	80
30	100	100	94
35	120	115	110
40	135	130	125
45	148	145	138
50	160	158	150
55	172	170	160
60	185	180	170

jeden kosz zawiera ok. $m \cong 7,20$ kg wapna sodowanego granulowanego ZN-2001/DWORY S.A.-70

Gęstość gazowego CO_2 pod ciśnieniem atmosferycznym p_0 wynosi: $\rho_{CO_2}(t=25^\circ C)=1,811 \text{ kg} \cdot m^{-3}$, $\rho_{CO_2}(t=0^\circ C)=1,98 \text{ kg} \cdot m^{-3}$. Objętości komór kompleksu nurkowego DGKN-120 ustalono z obliczeń geometrycznych – tab.2. Przykładowo, objętość komory DZWONIEC wynosi $V_k \cong 10,24 m^3$, stąd korzystając z równania (4) można obliczyć ciśnienie, dla którego po wyzwoleniu CO_2 o masie $m_{CO_2}=1,0 \text{ kg } CO_2$



Rys.3. Komplex hiperbaryczny DGKN-120

Tabela 2
Pojemności komór kompleksu DGKN-120 wyznaczone przez pomiary geometryczne

Komora	Pojemność [m ³]
Dzwoniec	10,236
Przejściowa	9,039
Kobuz	22,866

jego zawartość wyniesie $x \approx 0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$: $p = \frac{1 \text{ kg} \cdot 100 \text{ kPa}}{10,236 \text{ m}^3 \cdot 0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot 1,811 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}} \approx 539 \text{ kPa} \propto \propto 43,9 \text{ mH}_2\text{O}$. Przekształcając zależność funkcyjną (4) można otrzymać formułę na obliczenie objętości atmosfery komory:

$$V_k = \frac{m_{\text{CO}_2} \cdot p_0}{p \cdot x \cdot \rho_{\text{CO}_2}} \quad (5)$$

Na rys.4 pokazano wynik przeprowadzonej statycznej⁴ chemisorpcji wyzwolonego CO₂. Średnia zawartość stabilna CO₂, po wydzieleniu masy $m_{\text{CO}_2} = 1,0 \text{ kg CO}_2$ do objętości komory, wyniosła $x = 0,0115 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ dla symulowanej głębokości $H = 40,1 \text{ mH}_2\text{O} \propto p = 501 \text{ kPa}$. Wiedząc, że wprowadzono masę $m_{\text{CO}_2} = 1,0 \text{ kg CO}_2$ do komory oraz przyjmując gęstość ditlenku węgla na poziomie $\rho_{\text{CO}_2}(t=25^\circ\text{C}) = 1,811 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ można, zgodnie z równaniem (5), obliczyć przybliżoną objętość komory: $V_k \approx \frac{1 \text{ kg} \cdot 100 \text{ kPa}}{501 \text{ kPa} \cdot 0,01085 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot 1,811 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}} \approx 10,16 \text{ m}^3$.

Z pomiarów geometrycznych objętość komory DZWONIEC wyniosła $V_k \approx 10,24 \text{ m}^3$ – tab.2. Wynika stąd, że wyniki pomiarów geometrycznych i opisaną powyżej metodą są spójne. Obliczona z pomiarów geometrycznych objętość posiada większą wartość, gdyż nie uwzględniano w tej metodzie objętości wyposażenia komory.

Objętość układu regeneracji

Po opisanych wyżej pomiarach objętości komór otworzono zawór do układu regeneracji powodując spadek ciśnienia z $H_1 = 40,1 \text{ mH}_2\text{O} \propto p_1 = 401 \text{ kPa}$ do $H_2 = 38,2 \text{ mH}_2\text{O} \propto p_2 = 482 \text{ kPa}$. Korzystając z równania stanu dla gazów doskonałych $R = \text{const}$, w warunkach izotermicznych $T = \text{idem}$ oraz tego, że masa układu nie uległa zmianie $\Delta n \equiv 0$, można zapisać, że $p_1 \cdot V_k = p_2 \cdot (V_k + V_R)$. Stąd oszacowana objętość układu regeneracji wynosi około: $V_R \approx \frac{p_1 - p_2}{p_2} \cdot V_k = \frac{401 \text{ kPa} - 382 \text{ kPa}}{382 \text{ kPa}} \cdot 10,158 \text{ m}^3 \approx 0,50 \text{ m}^3$.

Chemisorpcja statyczna

Po przeprowadzeniu pomiarów objętości komory DZWONIEC wykonano chemisorpcję wyzwolonego CO₂ w warunkach stałego ciśnienia bez dozowania dodatkowych jego porcji. Do chemisorpcji użyto wapna sodowanego⁵ o masie $m \approx 7,78 \text{ kg}$ ułożonego w jednym złożu w kształcie walca o średnicy $D \approx 190 \text{ mm}$ i wysokości $l \approx 340 \text{ mm}$ – rys.2a. Przebieg procesu pokazano na rys.4. Chemisorpcję

⁴bez dodatkowej emisji CO₂

⁵ZN-2001/Dwory S.A.-70

rozpoczęto o godz. 11:26, przy zawartości CO_2 na poziomie $x \approx 0,0114 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ a zakończono o godz. 12:57 przy zawartości $x \approx 0,0000 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. Po tym czasie rozpoczęto chemisorpcję przy dozowaniu $\dot{u} = 3,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{CO}_2$, lecz po upływie ok. 5 min wapno sodowane przestało chłonać CO_2 .

Przewidywana emisja ditlenku węgla

Średni strumień zużywanego tlenu podczas przebywania nurków w saturacji w kompleksie hiperbarycznym można przyjąć na poziomie $\dot{u} = 0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ – tab.3. Współczynnik oddechowy przyjmuje się zazwyczaj na poziomie $\kappa = 0,8 \text{ m}^3 \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \text{O}_2$ [4]. Stąd przy założeniu przebywania $k=3$ ludzi w habitacie, średnia emisja CO_2 wyniesie $\dot{u}_{\text{CO}_2} = k \cdot \kappa \cdot \dot{u} = 3 \cdot 0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot 0,5 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} = 1,2 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Maksymalny strumień emitowanego ditlenku węgla \dot{u}_{CO_2} można określić przyjmując konsumpcję tlenu dla wysiłku lekkiego na poziomie $\dot{u} = 1,25 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Stąd maksymalny strumień emitowanego CO_2 wyniesie $\dot{u}_{\text{CO}_2} = k \cdot \kappa \cdot \dot{u} = 3 \cdot 0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot 1,25 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} = 3,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Symulator emisji ditlenku węgla

W oparciu o zależności wyprowadzone i opisane wcześniej, zbudowano symulator emisji CO_2 przedstawiony na rys.5 a wyznaczone wartości strumienia dozowanego CO_2 w tab.4 [2]. Na podstawie danych z tab.4 przyjęto, że strumień dozowanego przez symulator CO_2 można uznać za stały i równy $\dot{u} \approx 3,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ do głębokości $H=50 \text{ mH}_2\text{O}$.

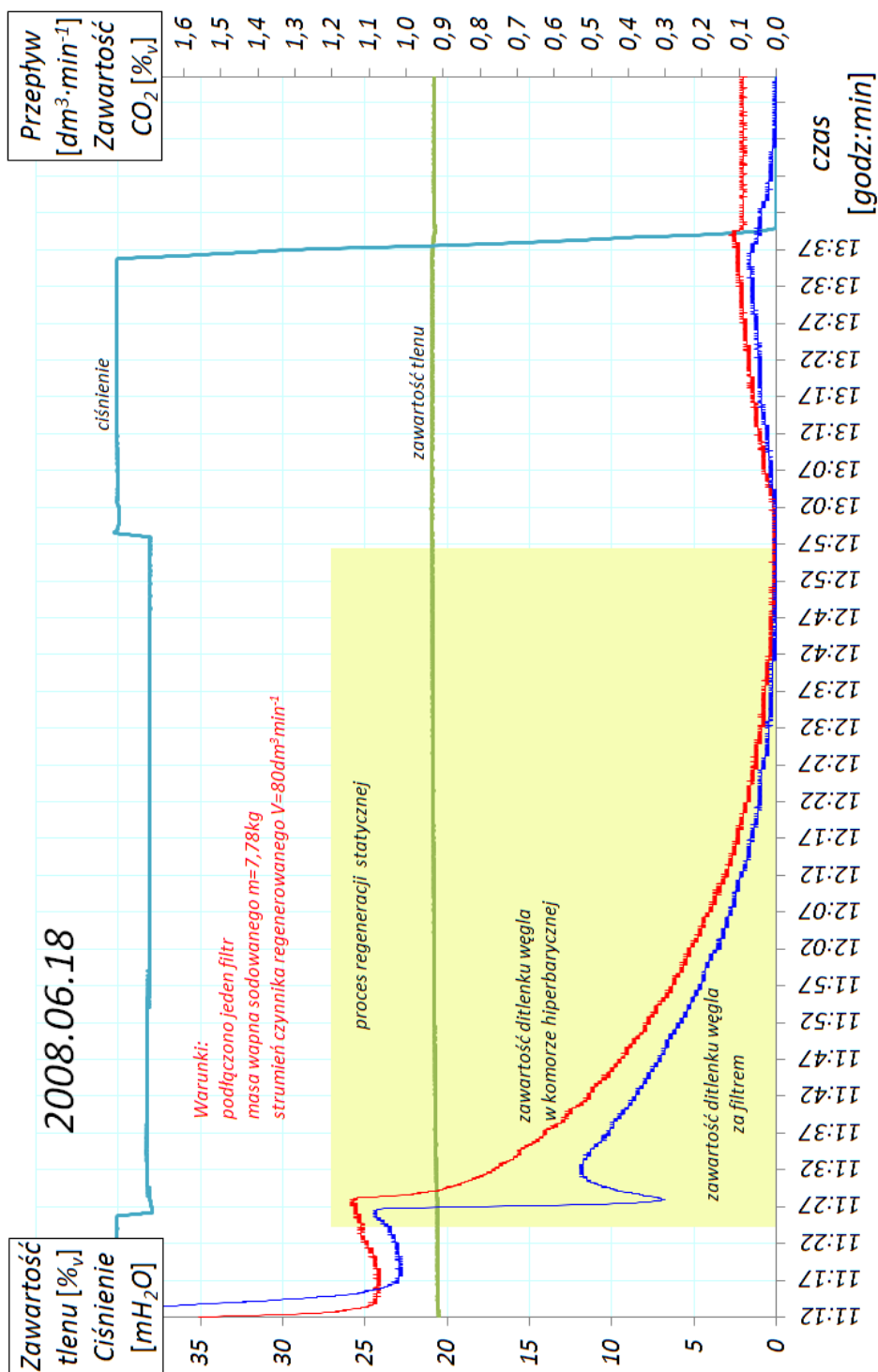
Chemisorpcja dynamiczna

Dla $t \rightarrow \infty$ i $x \approx 0$ zależność (1) można przekształcić w formułę do obliczania stabilnej zawartości ditlenku węgla x :

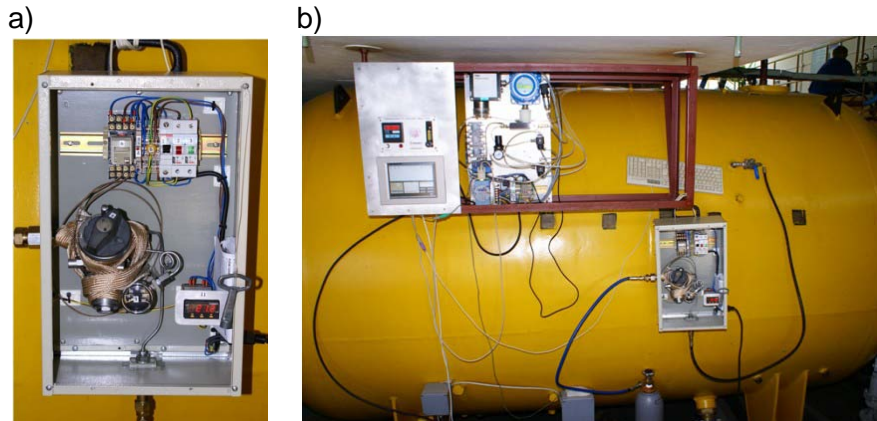
Tabela 3

Strumienie zużywanego tlenu i wentylacja płuc w zależności od wysiłku fizycznego [3]

Wysiłek fizyczny		Strumień zużywanego tlenu	Liczba oddechów na minutę	Wentylacja płuc	Graniczny strumień zużywanego tlenu
Intensywność	Przykład	$[\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$	$[\text{min}^{-1}]$	$[\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$	$[\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$
bardzo lekki	leżenie w łóżku	0,25	do 20	8–10	do 0,5
	spokojne siedzenie	0,30			
	stanie bez ruchu	0,40			
lekki	spacer $3,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	0,7	20–25	10–20	0,5–1,0
umiarkowany	marsz $6,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	1,2	25–30	20–30	1,0–1,5
ciężki	pływanie z prędkością $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	1,8	30–35	30–50	1,5–2,0
bardzo ciężki	bieg z prędkością $13 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	2,0	35–40	50–65	2,0–2,5
krańcowo ciężki	bieg pod górę	4,0	>40	>65	>2,5



Rys.4. Wyznaczenie objętości komory DZWONIEC oraz wyniki pomiarów podczas regeneracji statycznej



Rys.5.a)Symulator emisji CO₂ b)na stanowisku badawczym na komorze DZWONIEC kompleksu nurkowego DGKN-120

$$\forall_{t \rightarrow \infty} \quad x = \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{\dot{V}} \quad \left| \quad \dot{V}_{\text{CO}_2} = \text{idem} \wedge \dot{V} = \text{idem} \right. \quad (6)$$

Pomimo tego, że równanie (6) jest słuszne jedynie dla $t \rightarrow \infty$, to równowaga powinna ustalić się stosunkowo szybko, przy założeniu stałości dozowania CO₂ oraz strumienia wentylacyjnego \dot{V} . Przy strumieniu dozowanego CO₂ na poziomie⁶ $\dot{V}_{\text{CO}_2} \cong 3,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, strumieniu wentylacyjnym $\dot{V} \cong 800 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, ciśnieniu $p \cong 500 \text{ kPa}$, zawartość ta powinna wynieść: $x = \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{\dot{V}} \cong \frac{3,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}}{800 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}} \cong 0,0039 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. Celem wyznaczenia dynamicznych możliwości układu regeneracji przeprowadzono chemisorpcję CO₂ na głębokości $H \cong 40,4 \text{ mH}_2\text{O}$ przy stałym jego dozowaniu $\dot{V}_{\text{CO}_2} \cong 3,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ poprzez symulator – rys.5a.

Zastosowano, jak poprzednio, jeden pojemnik wypełniony wapnem sodowanym o masie $m \cong 7,78 \text{ kg}$. Pojemnik miał kształt walca o średnicy $D \cong 190 \text{ mm}$ i wysokości $l \cong 340 \text{ m}$. Wyniki przeprowadzonych badań były zgodne z modelem (1) – rys.6.

DYSKUSJA

Odnosząc strumień wentylacyjny \dot{V} do ciśnienia normalnego⁷ i korzystając z równania gazu doskonałego można przyjąć z zależności (6), że minimalny strumień CO₂ przepływający przez filtr \dot{V}_{min} zależy od dopuszczalnego, maksymalnego stężenia ditlenku węgla x_{max} i strumienia emitowanego ditlenku węgla \dot{V}_{CO_2} , stąd:

$$\forall_{R=\text{const}} \quad \dot{V}_{\text{min}} = \frac{p_0}{p} \cdot \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{x_{\text{max}}} \quad \left| \quad T = \text{idem} \right. \quad (7)$$

gdzie: \dot{V}_{min} – minimalny strumień wentylacyjny [$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]
 p – ciśnienie [kPa]
 p_0 – ciśnienie atmosferyczne [kPa]
 \dot{V}_{CO_2} – maksymalny strumień emitowanego CO₂ [$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]
 x_{max} – maksymalna, dopuszczalna zawartość CO₂ [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$]
 T – temperatura [K]

⁶patrz tab.4

⁷wtedy strumień \dot{V} przestaje być funkcją ciśnienia p : $\dot{V} \neq f(p)$

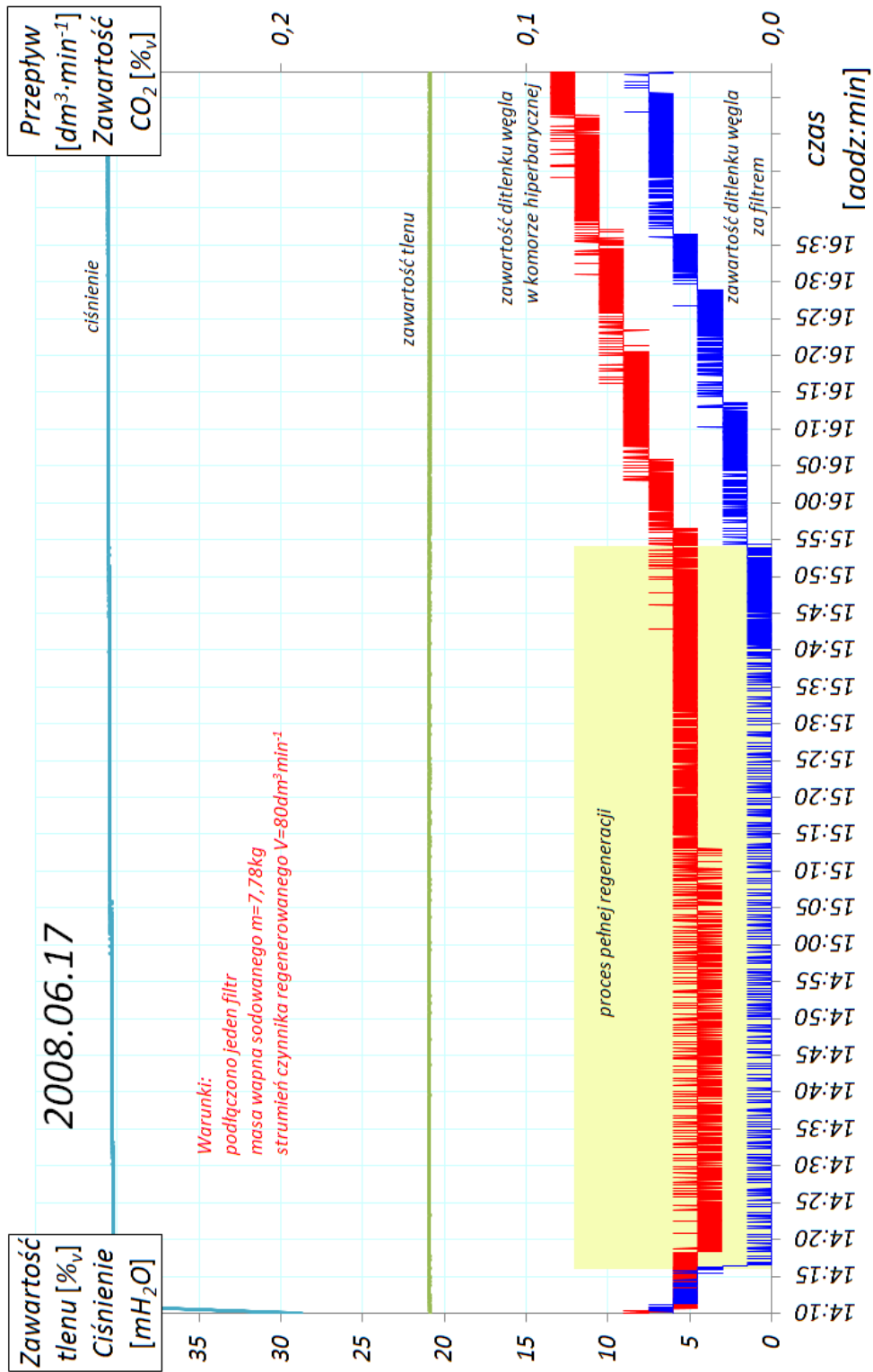
Tabela 4

Wyznaczenie wartości dozowania \dot{V} przez symulator emisji CO₂

Data: 2008-05-28		Aparat/dozownik typu: FGGIII		nr aparatu/dozownika:					
		Dysza nr: I							
Warunki pomiarów									
Temperatura	t=	22	°C	Ciśnienie atmosferyczne	p= 102,4 kPa				
Czynnik oddechowy	%(CO ₂)=	100		%(O ₂)=	0				
				%(N ₂)=	0				
Dane statystyczne									
ilość pomiarów (rotametrycznych)	n=	7	poziom istotności	P=	0,05				
				współ. t-Studenta=	2,447				
ilość pomiarów (dzwonowych)	n=	7	poziom istotności	P=	0,05				
				współ. t-Studenta=	2,447				
Głębokość	Ciśnienie zasilania	Ciśnienie zredukow.	Wskazanie rotametu	Dozowanie	Objętość geometryczna dzwonu	Czas napełniania	Czas napełniania	Czas napełniania	Dozowanie
[mH ₂ O]	[MPa]	[MPa]	[m ³ /min]	[dm ³ /min]	[dm ³]	[min]	[s]	[części s]	[dm ³ /min]
0	5,5	1,08	0,0040	3,13	15,0	4	25		3,18
10	5,5	1,08	0,0040	3,13	15,0	4	24		3,19
20	5,5	1,08	0,0040	3,13	15,0	4	24		3,19
30	5,5	1,08	0,0040	3,13	15,0	4	25		3,18
40	5,5	1,08	0,0039	3,05	15,0	4	26		3,16
50	5,5	1,08	0,0039	3,05	15,0	4	28		3,14
0	5,5	1,08	0,0040	3,13	15,0	4	26		3,16
odchylenie standardowe				0,038134	odchylenie standardowe				0,0166345
wartość średnia dozowania				3,10	wartość średnia dozowania				3,17
błąd wartości średniej dozowania				0,04	błąd wartości średniej dozowania				0,02

Pomiary strumienia dozowanego czynnika oddechowego

Data: 2008-05-28		Aparat/dozownik typu: FGGIII		nr aparatu/dozownika:	
Porównanie wartości dwóch średnich					
Test F-Snedecora					
F (P = 0,01 ;f1= 7 ;f2= 7)=		6,99			
F (P = 0,05 ;f1= 7 ;f2= 7)=		3,79			
F = 5,26		wynik testu			
		pozytywny		negatywny	
				niepewny	
				X	
Test T-Studenta					
t (P = 0,01 f = n1 + n2 = 14)=		2,98			
t (P = 0,05 f = n1 + n2 = 14)=		2,14			
t = 1,63		wynik testu			
		pozytywny		negatywny	
		X		niepewny	
Ogólny wynik testu zgodności średnich					
wynik testu		pozytywny		negatywny	
				niepewny	
				X	



Rys.6. Wyniki pomiarów regeneracji dynamicznej atmosfery komory hiperbarycznej

Korzystając z tego, że iloczyn ciśnienia całkowitego p i zawartości ditlenku węgla x jest z definicji równy ciśnieniu cząstkowemu p_{CO_2} :

$$p_{\text{CO}_2} = p \cdot x \quad (8)$$

gdzie: p_{CO_2} – ciśnienie cząstkowe CO_2 [kPa]

zależność (7) można zapisać jako:

$$\dot{V}_{\text{min}} = \frac{p_0 \cdot \dot{u}_{\text{CO}_2}}{p_{\text{CO}_2}} \quad \left| \quad T = \text{idem} \quad (9)$$

Podczas saturacji ciśnienie cząstkowe CO_2 powinno być utrzymywane poniżej wartości $p_{\text{CO}_2} \leq 0,8 \text{ kPa}$. Stąd oszacowany minimalny strumień wentylacyjny \dot{V}_{min} wynosi $\dot{V}_{\text{min}} \cong \frac{p_0}{p_{\text{CO}_2}} \cdot \dot{u}_{\text{CO}_2} = \frac{100 \text{ kPa}}{0,8 \text{ kPa}} \cdot 3,0 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cong 375 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cong 22,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

WNIOSKI

Zaproponowany sposób modelowania wentylacji regeneracyjnej kompleksu hiperbarycznego okazał się zgodny z wynikami doświadczeń i wystarczająco dokładny do projektowania systemów zachowania życia dla warunków hiperbarycznych.

WIADOMOŚCI UZUPEŁNIAJĄCE

Przedstawione w artykule wyniki pochodzą z przeprowadzonych w Akademii Marynarki Wojennej badań w ramach projektów badawczych pt. Chemisorpcja ditlenku węgla w zastosowaniach wojskowych⁸ oraz Systemy podtrzymania życia na okręcie podwodnym⁹. W oparciu o te badania zaprojektowano i wdrożono takie systemy w Akademii Marynarki Wojennej dla kompleksu nurkowego DGKN-120, w ramach projektu rozwojowego p.t.: Metodyka nurkowań saturovani¹⁰.

PIŚMIENNICTWO

1. Kłos I. i Kłos R., Polish Soda Lime in military applications, ISBN 83-920272-0-5, Chemical Company DWORY SA, Oświęcim 2004
2. Kłos R., Aparaty Nurkowe z regeneracją czynnika oddechowego, KOOPgraf Poznań 2000
3. Przyłipiak M., Torbus J., Sprzęt i prace nurkowe-poradnik, ISBN 83-11-06590-X, WMON Warszawa 1981
4. Rules for certification of diving systems, Det Norske Veritas 1982
5. ZN-2001/Dwory S.A.-70, Wapno sodowane granulowane

⁸projekt celowy MNiSzW nr 215/BO/C

⁹projekt zamawiany przez Departament Polityki Zbrojeniowej MON umowa nr 20/DPZ/3/OTM/SWR/MON/2002/706

¹⁰nr R00-O0014/3

Autor:

Kmdr dr hab. inż. Ryszard Kłos zajmuje się projektowaniem, budową i eksploatacją hiperbarycznych systemów zachowania życia oraz załogowymi technologiami prac podwodnych. Od 1988r. jest pracownikiem Zakładu Technologii Prac Podwodnych. Obecnie pełni funkcję prodziekana do spraw rozwoju na Wydziale Mechaniczno-Elektrycznym Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni.