

A. Majchrzycka

MIESZANINY NEONOWE W NURKOWANIU SATUROWANYM Cz. I MIESZANINY TLENOWO-NEONOWE NEOX

Przedstawiona praca jest fragmentem większego opracowania, dotyczącego neonowych mieszanin oddechowych NEOX, NEOX-75 oraz NEOQUAD zaliczanych do mieszanin eksperymentalnych, stosowanych w nurkowaniu saturowanym.

Pierwsza część pracy dotyczy mieszanin tlenowo-neonowych NEOX. W tej części pracy podane zostanie charakterystyka neonu wraz z równaniami regresji, opisującymi własności fizyczne neonu. Następnie zostaną obliczone własności fizyczne mieszaniny, a uzyskane wyniki zostaną wykorzystane do opracowania równań regresji, opisujących własności fizyczne mieszanin NEOX w zależności od ciśnienia, temperatury oraz molowego udziału neonu. Przedstawione zostanie również graficzne odwzorowanie równań regresji.

Równania regresji, opisujące własności fizyczne mieszanin NEOX wykorzystane zostaną do rozwiązania równania komfortu cieplnego za pomocą, którego określa się temperaturę komfortu cieplnego wewnątrz komory hiperbarycznej.

Rozwiązanie równania komfortu cieplnego dla środowiska hiperbarycznego, w którym wykorzystywane są mieszaniny NEOX przedstawione zostanie w formie graficznej.

W pracy przedstawione zostaną również wykresy $i-T$, sporządzone w układzie entalpia właściwa mieszaniny NEOX –temperatura bezwzględna oraz wykresy $i-X$, sporządzone w układzie entalpia właściwa mieszaniny NEOX – stopień zawilżenia mieszaniny NEOX. Przedstawiane wykresy mają istotne znaczenie przy analizie warunków mikroklimatu w środowisku hiperbarycznym.

WSTĘP

Neon został odkryty w 1898 roku, lecz dopiero w drugiej połowie XX wieku odkryto, że gaz ten może być nowym składnikiem obojętnym mieszanin oddechowych, stosowanych podczas nurkowania saturowanego. Badania wykazały, że neon rozpuszcza się w płynach ustrojowych w mniejszym stopniu niż hel i azot, co spowodowane jest większą gęstością neonu. Stwierdzono również, że neon nie powoduje narkozy u nurków przebywających na dużych głębokościach. Wydawałoby się, zatem, że nie ma żadnych przeciwwskazań do tego, by neon stanowił gaz obojętny w mieszaninie oddechowej, jednakże ze względu na dużą gęstość, praktyczne zastosowanie neonu ograniczone jest do stosunkowo niewielkiego zakresu głębokości 180 - 190m. O zastosowaniu neonu, jako składnika obojętnego mieszanin oddechowych decydują zalety i wady gazu, które przedstawiono poniżej [1],[2]:

- do głębokości około 370m neon nie powoduje narkozy i zniekształcenia głosu, jednak ze względu na dużą gęstość gazu, optymalny zakres stosowania neonu to głębokość od 45 do 180m,
- własności fizyczne neonu nie powodują zaburzeń mentalnych ani psychomotorycznych oraz nie zaburzają procesu dekompresji,
- zniekształcenie głosu jest mniejsze niż w atmosferze helowej lub wodorowej,

- współczynnik przewodzenia ciepła neonu w porównaniu ze współczynnikiem przewodzenia ciepła helu i wodoru ma mniejszą wartość, co powoduje mniejszą utratę ciepła z organizmu,
- stosunkowo duża gęstość neonu powoduje duży opór podczas oddychania,
- neon jest stosunkowo długo usuwany z organizmu, co powoduje konieczność stosowania długiego czasu dekompresji.

Pomimo zalet neon stosowany jest jedynie jako gaz obojętny, w eksperymentalnych mieszaninach oddechowych [1],[2]. Do niekonwencjonalnych, eksperymentalnych mieszanin oddechowych, zawierających neon zalicza się mieszaniny: NEOX ($O_2 + Ne$), NEOX-75 ($O_2 + Ne-75$) lub NEOQUAD ($O_2 + Ne + He + N_2$), [1],[2]. Zastosowanie w nurkowaniu saturowanym mieszanin oddechowych z neonem wymaga stosowania długiego czasu dekompresji, gdyż neon jest gazem stosunkowo długo usuwanym z organizmu. Długotrwałe przebywanie nurka w atmosferze mieszanin neonowych wymagać będzie, zatem stworzenia mikroklimatu o odpowiednich parametrach, kompensujących straty ciepła z organizmu. Zagadnienia, dotyczące klimatyzacji oraz wentylacji obiektów hiperbarycznych, w których stosowane są mieszaniny z neonem wymagają znajomości własności fizycznych mieszanin oraz metodyki określania optymalnej kombinacji parametrów mikroklimatu w obiekcie hiperbarycznym. Pomimo dużego postępu i osiągnięć w dziedzinie komercyjnego i militarnego nurkowania saturowanego, w literaturze niewiele jest informacji dotyczących neonowych mieszanin oddechowych oraz zagadnień dotyczących homeostazy termicznej w atmosferze tych mieszanin. Większość badaczy, cytowanych przez autorów pracy [1], koncentruje się na badaniach, dotyczących narkotycznego oddziaływania neonu na organizm oraz usuwaniu neonu z ustroju nurka podczas dekompresji.

Prace [1], [2] przedstawiają ogólną charakterystykę neonu, jako składnika obojętnego niekonwencjonalnych, eksperymentalnych mieszanin neonowych. We wspomnianych pracach podano również ogólną charakterystykę mieszanin neonowych oraz dopuszczalny zakres ich stosowania.

Własności fizyczne różnych mieszanin neonowych nie są dobrze udokumentowane w literaturze. W pracy [3], która dotyczy termodynamiki mieszanin oddechowych i ich własności cieplnych przeanalizowano wpływ ciśnienia (zakres $p = 0,1 - 20$ MPa) i temperatury na rzeczywiste ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu mieszaniny, zawierającej neon. Na podstawie przeprowadzonej analizy, stwierdzono, że w przypadku mieszanin bogatych w neon wpływ ciśnienia jest niewielki i przy małych ciśnieniach może być pominięty. W pracy [3] podano metodykę obliczania niektórych własności fizycznych mieszanin, koncentrując się jednak na własnościach konwencjonalnych mieszanin oddechowych.

Zagadnienie komfortu cieplnego w środowisku neonowych mieszanin hiperbarycznych, poza pracami [1],[4], nie jest dobrze udokumentowane w literaturze.

W pracy [1] podano jedynie wzmiankę o tym, że nurkowie, którzy stosowali podczas pracy w toni wodnej mieszaninę neonową odczuwali zmniejszoną utratę ciepła z organizmu. Wobec braku badań, dotyczących bilansu cieplnego nurka, oddychającego mieszaninami neonowymi, autorzy pracy [1] sugerują konieczność podjęcia tego typu badań.

Ponieważ badania eksperymentalne są kosztowne i kłopotliwe, w pracy [4],[5] podjęto próbę analitycznego rozwiązania zagadnienia komfortu cieplnego w środowisku hiperbarycznych mieszanin tlenowo-helowo-neonowych.

W pracach [4],[5] podano równanie komfortu cieplnego, które ujmuje najważniejsze parametry wpływające na kształtowanie mikroklimatu wewnątrz obiektu hiperbarycznego. Rozwiązanie równania komfortu cieplnego powinno być poprzedzone

określeniem własności fizycznych mieszaniny oddechowej, co wymaga znajomości własności fizycznych poszczególnych składników mieszaniny oddechowej. Aby umożliwić określanie własności fizycznych składników mieszanin w zależności od ciśnienia i temperatury należy, wykorzystując dane danych doświadczalne, opracować równania regresji, charakteryzujące się współczynnikiem korelacji o jak najwyższej wartości. Poniżej, jako przykład przedstawione zostaną zależności opisujące własności fizyczne neonu.

1. WŁASNOŚCI FIZYCZNE NEONU

Na podstawie danych doświadczalnych z literatury [6] opracowano równania regresji, opisujące własności fizyczne dla neonu w zakresach ciśnienia i temperatury przedstawionych w Tabeli 1.

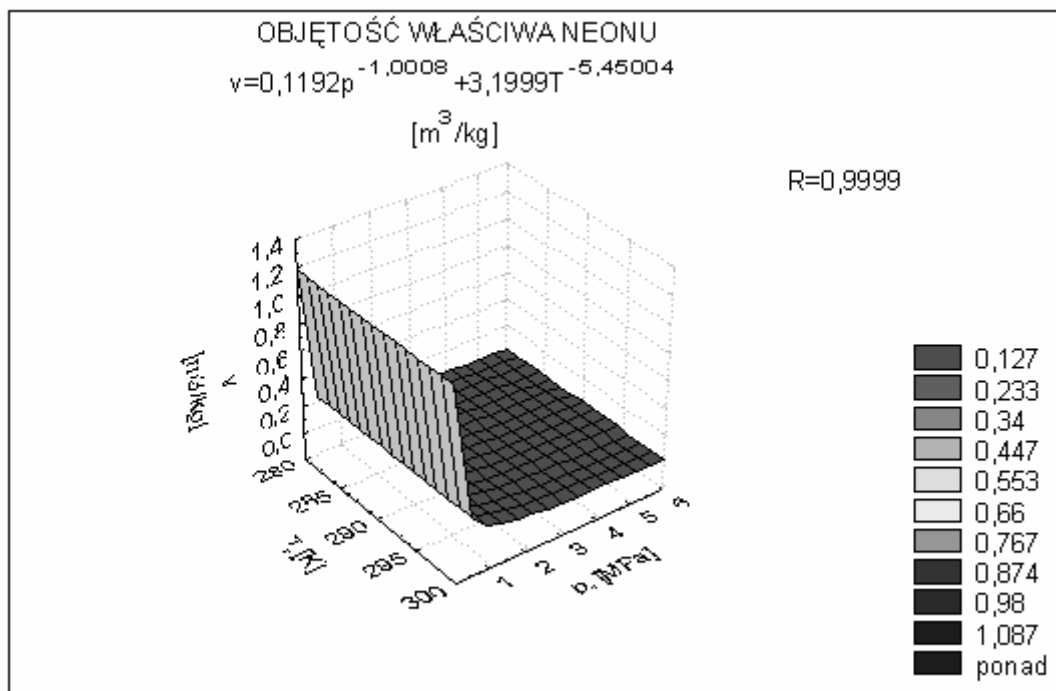
Tabela 1.

Równania regresji opisujące własności fizyczne neonu.

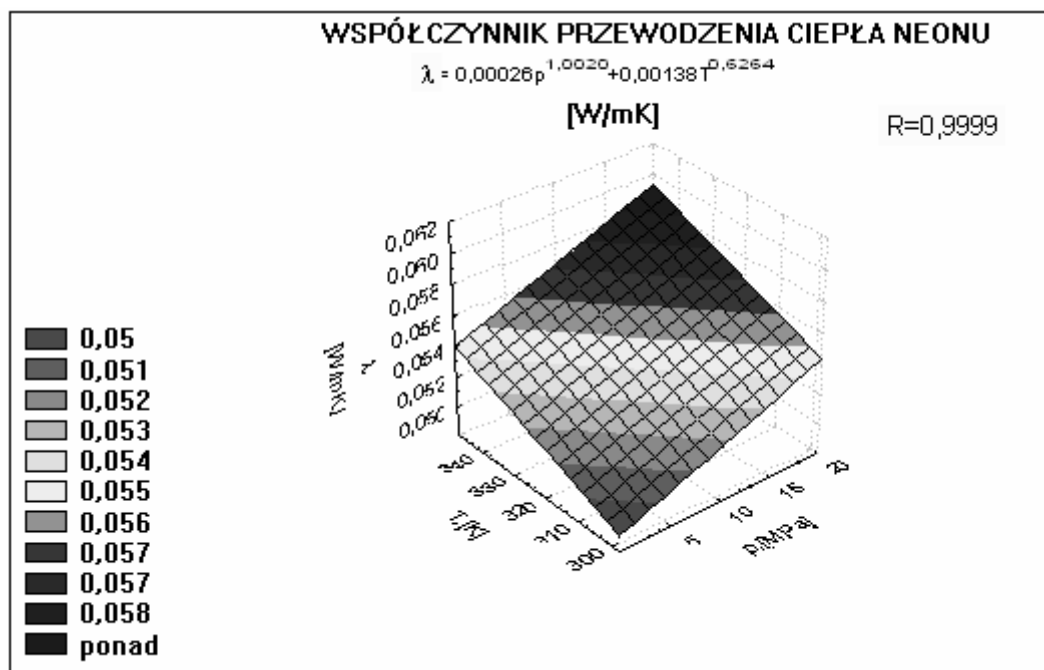
NEON	ZAKRES STOSOWANIA		R
	p	T	
	[MPa]	[K]	
$c_p = 1,0302 + 0,0273 \times p$	0,1-2	273,15	0,9930
$i = 64,3747 + 1,0302 \times T - 0,6321 \times p + 2,9516 \times 10^{-3} T \times p$	0,1 -6	280-330	1,0000
$v = 0,1192 \times p^{-1,0008} + 3,1999 \times T^{-5,4500}$	0,1 -5	280 -300	0,9999
$\eta = 0,1940 - 0,1941 \times p^{9,14211 \times 10^{-7}} + 0,0000187 \times T^{0,2593}$	0,1 -20	298-348	0,9860
$\lambda = 0,00026 \times p^{1,0020} + 0,00138 \times T^{0,6264}$	0,1 -20	298-348	0,9999

Poniżej, na rys. 1 przedstawiono przykładowe wykresy, ilustrujące zmianę objętości właściwej oraz współczynnika przewodzenia ciepła wraz z temperaturą i ciśnieniem. Wykresy zostały sporządzone na podstawie równań regresji z Tabeli 1, które charakteryzują się dużymi wartościami współczynnika korelacji. Na rys.1 przedstawiono zależność objętości właściwej neonu od ciśnienia i temperatury, z której wynika, że wzrost ciśnienia powoduje zmniejszenie objętości właściwej neonu, natomiast wzrost temperatury nie powoduje istotnej zmiany objętości właściwej gazu.

Natomiast na rys.2 przedstawiono zależność współczynnika przewodzenia ciepła neonu od ciśnienia i temperatury. Z rys. 2 wynika, że wzrost temperatury powoduje dosyć duży wzrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła, natomiast wpływ ciśnienia jest mniejszy.



rys. 1. Zależność objętości właściwej neonu od ciśnienia i temperatury.



rys. 2. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła neonu od ciśnienia i temperatury.

3. WŁASNOŚCI FIZYCZNE MIESZANIN NEOX

W obliczeniach, dotyczących wszystkich analizowanych mieszanin, zawierających neon, udziały molowe składników mieszanin zostały określone w zgodzie z zasadami fizjologii nurkowania [1]. Własności fizyczne mieszanin neonowych określono w zakresie ciśnień od $p=0,1-1,9$ MPa oraz temperatur bezwzględnych gazu $T=273,15K-333K$. Obliczenia wykonano dla mieszanin wilgotnych, w zalecanym przez fizjologów zakresie wilgotności względnej mieszanin, który wynosi $\varphi=0,4-0,7$.

Na podstawie danych doświadczalnych z literatury [6], dotyczących własności fizycznych składników mieszanin oraz metodyki określania własności fizycznych mieszanin gazowych [3],[7],[8] opracowano równania regresji dla niekonwencjonalnych mieszanin tlenowo-neonowych NEOX ($O_2 + Ne$), wykorzystując metodę estymacji nieliniowej w programie Statistica. Kryterium doboru równania stanowiła najwyższa wartość współczynnika korelacji R, który jest miarą stopnia dopasowania regresji do danych doświadczalnych.

Mieszaniny NEOX są mieszaninami dwuskładnikowymi, składającymi się z tlenu oraz neonu. W przypadku mieszanin wilgotnych, w ich składzie należy uwzględnić jeszcze pewien udział wodnej. Udziały molowe neonu w analizowanych mieszaninach zmieniają się w zakresie $x_{Ne} = 0,65 \div 0,98$.

W Tabeli 2 zestawiono równania regresji opisujące: ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu, entalpię właściwą, objętość właściwą, dynamiczny współczynnik lepkości oraz współczynnik przewodzenia ciepła wilgotnej mieszaniny NEOX.

Na rys. 3 przedstawiono zależność ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu wilgotnej ($\varphi=0,4-0,7$) mieszaniny NEOX od ciśnienia i molowego udziału neonu, przy temperaturze bezwzględnej $T=303,15$ K. Z wykresu wynika, że ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu wzrasta wraz z ciśnieniem oraz molowym udziałem neonu w mieszaninie.

Na rys. 4 zestawiono zależność gęstości wilgotnej mieszaniny NEOX od ciśnienia i molowego udziału neonu, przy temperaturze $T=303,15$ K. Z wykresu wynika, że wzrastające ciśnienie powoduje stosunkowo duży wzrost gęstości mieszaniny natomiast wpływ udziału molowego neonu jest niewielki.

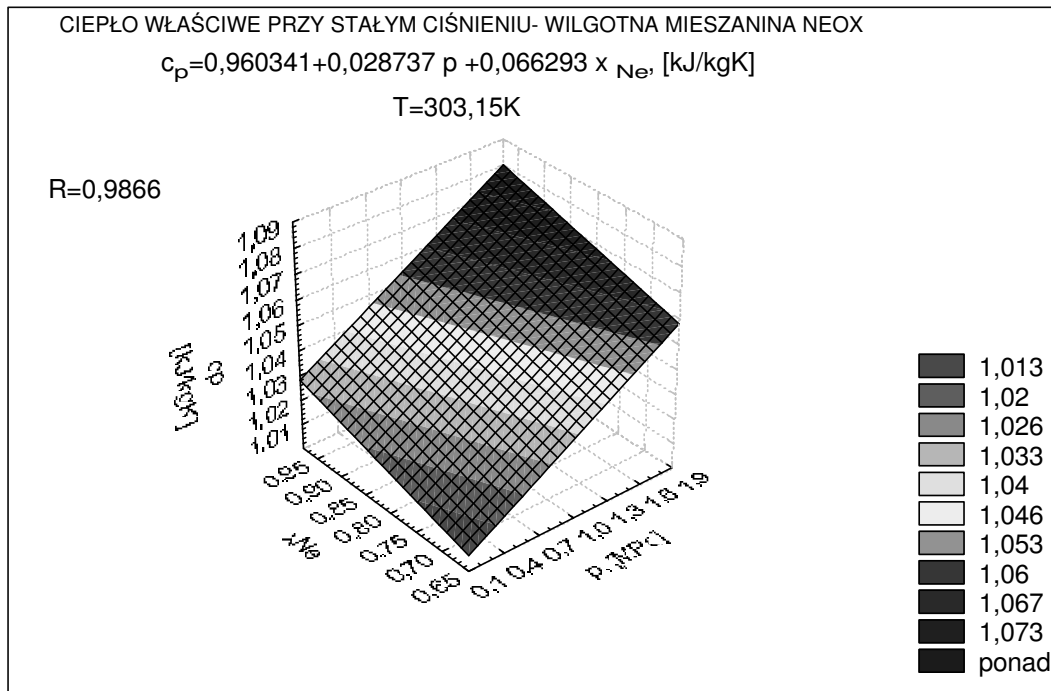
Na rys.5 przedstawiono zależność współczynnika przewodzenia ciepła wilgotnej mieszaniny NEOX od ciśnienia i molowego udziału neonu przy temperaturze $T=303,15$ K, z którego wynika, że zarówno wzrost ciśnienia, jak i udziału molowego neonu powoduje wzrost współczynnika przewodzenia ciepła czynnika oddechowego, aczkolwiek wpływ ciśnienia jest znacznie mniejszy.

Spośród wszystkich, przedstawionych w Tabeli 2 równań regresji, opisujących zmienność własności wilgotnych mieszanin NEOX, w formie graficznej przedstawiono jedynie te, które wpływają na straty ciepła oraz opór podczas oddychania. Pozostałe wielkości, aczkolwiek ważne w algorytmie obliczania temperatury komfortu cieplnego oraz wentylacji obiektów hiperbarycznych, podane są w postaci równań regresji w Tabeli 2

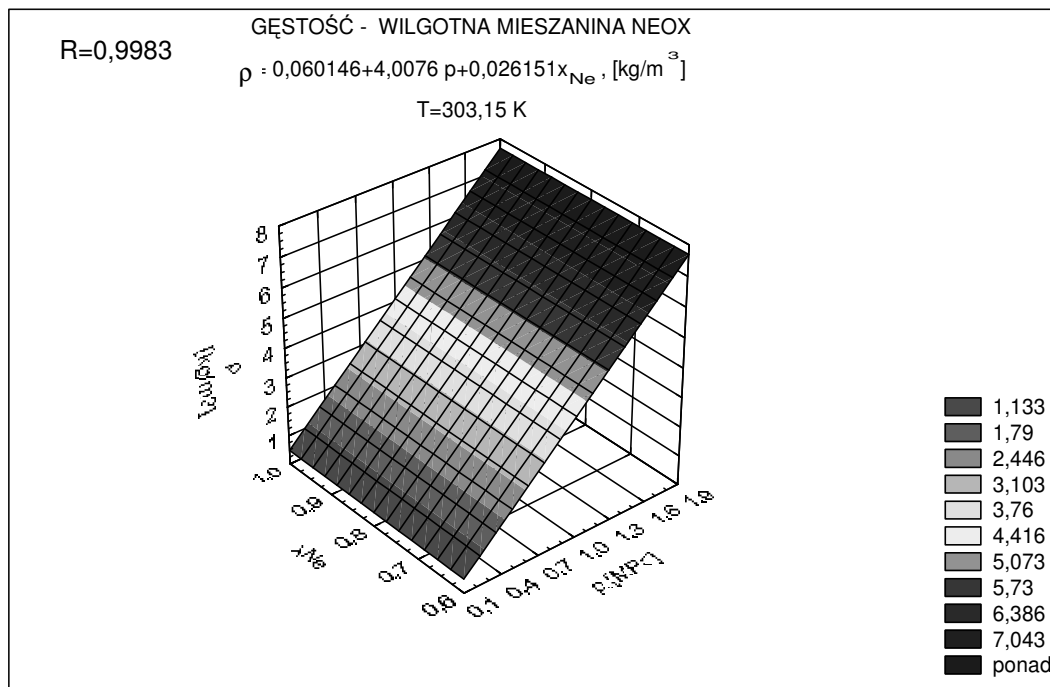
Tablica 2

Własności fizyczne mieszaniny wilgotnej mieszaniny NEOX

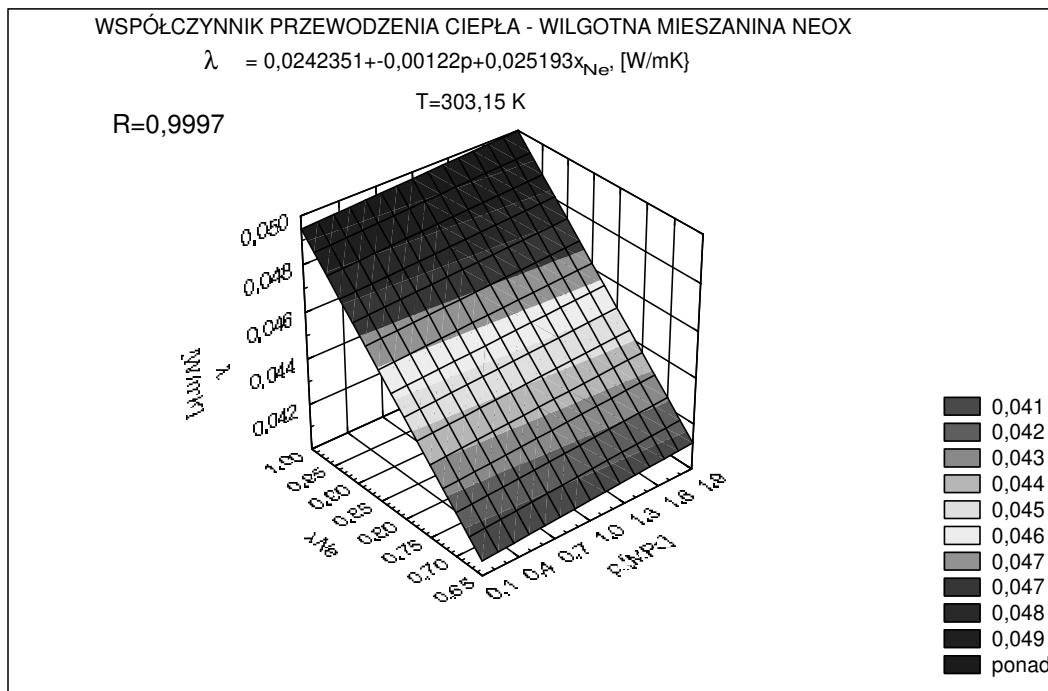
WILGOTNA MIESZANINA NEOX			
Właściwość	Równanie	Zakres	R
Ciepło właściwe $\left[\frac{kJ}{kg \times K} \right]$	$c_p = 0,832475 + 0,105396 \times p + 0,000422 \times T - 0,000253 \times p \times T + 0,066293 \times x_{Ne}$	$T=273,15 \div 333,15 [K]$ $p=0,1 \div 1,9 [MPa]$ $x_{Ne}=0,65 \div 0,98$	0,9866
Entalpia właściwa $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$	$i_g = -235,047 - 429,679 \times p + 2,040238 \times T + 4686,647 \times p \times T^{-0,417785} - 8,90691 \times x_{Ne}$	$T=273,15 \div 333,15 [K]$ $p=0,1 \div 1,9 [MPa]$ $x_{Ne}=0,65 \div 0,98$	0,9681
Gęstość $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$	$\rho = 0,09137 + 8,490287 \times p - 0,000103 \times T - 0,014787 \times p \times T + 0,026151 \times x_{Ne}$	$T=273,15 \div 333,15 [K]$ $p=0,1 \div 1,9 [MPa]$ $x_{Ne}=0,65 \div 0,98$	0,9983
Dynamiczny współczynnik lepkości $\left[\frac{kg}{m \times s} \right]$	$\eta = -5,36 \times 10^{-6} - 2,9 \times 10^{-6} \times p + 5 \times 10^{-8} \times T + 10^{-9} \times p \times T + 2,174 \times 10^{-5} \times x_{Ne}$	$T=273,15 \div 333,15 [K]$ $p=0,1 \div 1,9 [MPa]$ $x_{Ne}=0,65 \div 0,98$	0,9966
Współczynnik przewodzenia ciepła $\left[\frac{W}{m \times K} \right]$	$\lambda = -0,004261 - 0,00122 \times p + 0,000094 \times T + 0,000005 \times p \times T + 0,025193 \times x_{Ne}$	$T=273,15 \div 333,15 [K]$ $p=0,1 \div 1,9 [MPa]$ $x_{Ne}=0,65 \div 0,98$	0,9997
Współczynnik ściśliwości $[-]$	$z = 1,861937 + 58,50018 \times p - 0,006831 \times T + 0,00032 \times p \times T - 58,5992 \times p \times x_{Ne}$	$T=273,15 \div 333,15 [K]$ $p=0,1 \div 1,9 [MPa]$ $x_{Ne}=0,65 \div 0,98$	0,8823



rys. 3. Zależność ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu wilgotnej mieszanki NEOX od ciśnienia i molowego udziału neonu, przy temperaturze T=303,15 K



rys. 4. Zależność gęstości wilgotnej mieszanki NEOX od ciśnienia i molowego udziału neonu przy temperaturze T=303,15 K



rys. 5. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła wilgotnej mieszaniny NEOX od molowego udziału neonu przy temperaturze T=303,15 K

3. KOMFORT CIEPLNY

W pracach [4],[5] przedstawiono równanie komfortu cieplnego (1), sformułowane na podstawie bilansu cieplnego organizmu nurka. Równanie komfortu cieplnego ujmuje wpływ najważniejszych parametrów środowiska, kształtujących mikroklimat obiektu hiperbarycznego:

$$F(p, x_i, \dot{q}_m, I_{cl}, t, t_r, \varphi, v) = 0 \quad (1)$$

gdzie: p – ciśnienie [MPa], x_i – udziały molowe poszczególnych składników mieszaniny, \dot{q}_m – wydatek energetyczny nurka [W/m^2], I_{cl} – opór cieplny odzieży [clo], t – temperatura komfortu cieplnego [$^{\circ}C$], t_r – średnia temperatura promieniowania [$^{\circ}C$], φ – wilgotność mieszaniny oddechowej, v – prędkość względna mieszaniny oddechowej [m/s].

Równanie (1) jest ogólnym równaniem komfortu cieplnego dla środowiska hiperbarycznego, jego rozwiązaniem jest temperatura komfortu cieplnego określona jako funkcja:

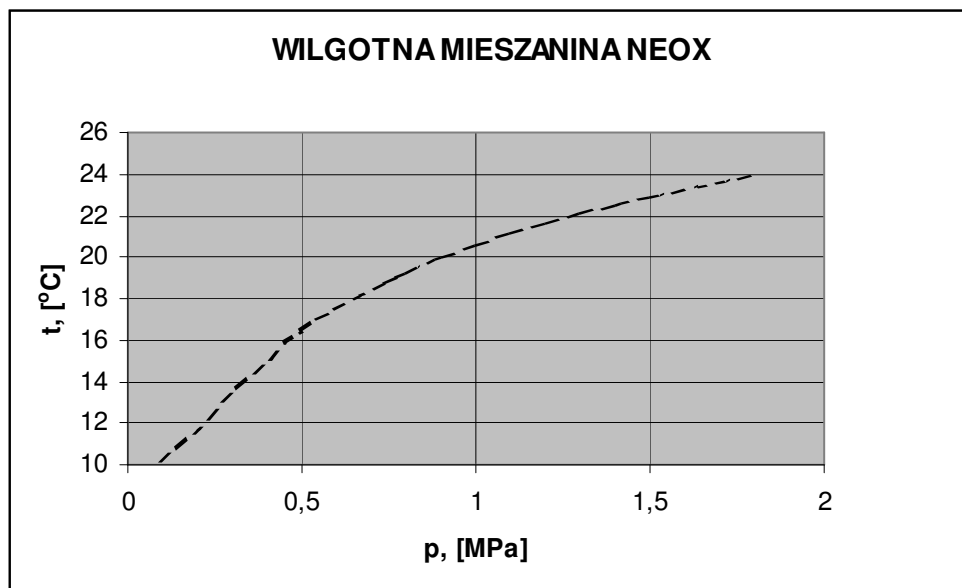
$$t = f(\dot{q}_m, p, x_i, v, \varphi, t_r, I_{cl}) \quad (2)$$

Korzystając z wyprowadzonego w pracach [4], [5] równania bilansu cieplnego dla środowiska hiperbarycznego, określono temperaturę komfortu cieplnego w funkcji najważniejszych parametrów, wpływających na komfort cieplny.

Obliczenia wykonano dla mieszaniny NEOX przyjmując następujący zakres parametrów:

- ciśnienie mieszanki $p=0,1-1,9$ MPa,
- ciśnienie cząstkowe tlenu $p_{O_2}=35$ kPa
- wilgotność względna $\varphi=0,4-0,7$,
- wydatek energetyczny nurka w spoczynku $\dot{q}_m=58$ W/m²,
- opór cieplny odzieży $I_{cl}=0,25$ clo,
- prędkość mieszanki $v = 0$ m/s, konwekcja swobodna
- średnia temperatura promieniowania otoczenia $t_r=0,10,20,30, 40, 50$ °C

Rys.6 ilustruje rozwiązanie równania komfortu cieplnego [2] dla mieszanki NEOX, o wilgotności względnej $\varphi=0,5$, przy średniej temperaturze promieniowania otoczenia $t_r=30$ °C wydatku energetycznym nurka, będącego w spoczynku $\dot{q}_m=58$ W/m², ubranego w odzież o oporze cieplnym $I_{cl}=0,25$ clo = 0,039 m² W/K, prędkości mieszanki $v = 0$ m/s.



rys. 6. Zależność temperatury komfortu cieplnego od ciśnienia wilgotnej mieszanki NEOX, średnia temperatura promieniowania $t_r=30$ °C, wilgotność względna $\varphi=0,5$, wydatek energetyczny nurka będącego w spoczynku $\dot{q}_m=58$ W/m², opór cieplny odzieży $I_{cl}=0,25$ clo, prędkość mieszanki $v=0$ m/s, konwekcja swobodna

Z rys. 6 wynika, że w przypadku konwekcji swobodnej, temperatura komfortu cieplnego w mieszance NEOX wzrasta wraz ze wzrostem ciśnienia przy pozostałych założonych parametrach obliczeniowych.

4. WYKRESY PSYCHROMETRYCZNE

Wykresy $i - X$ oraz $X-t$, są wykresami psychrometrycznymi, sporządzanymi odpowiednio w układach: entalpia właściwa i - stopień zawilżenia mieszanki oddechowej X oraz stopień zawilżenia mieszanki X - temperatura mieszanki oddechowej- t .

Wykresy umożliwiające zilustrowanie przemian stanu wilgotnych mieszanin oddechowych sporządza się dla mieszanki oddechowej o określonym składzie, ciśnieniu w zakresie temperatur profilu nurkowania (kompresja, plateau saturacji, dekompresja).

Stan gazu wilgotnego określa stopień zawilżenia, zdefiniowany zależnością:

$$X = \frac{M_w}{M_g} \times \frac{\varphi \times p_{sw}}{p_g} \quad (3)$$

gdzie: X – stopień zawilżenia [kgH₂O/kggazu suchego], M_w – masa molowa wody, M_g – masa molowa mieszaniny gazowej, p_{sw} – ciśnienie nasycenia pary wodnej [Pa], p_g – ciśnienie mieszaniny [Pa].

Entalpia właściwa i_{1+X} wilgotnej mieszaniny oddechowej, określona jest zależnością:

$$i_{1+X} = i_g + X \times i_w \quad (4)$$

gdzie: i_{1+X} – entalpia właściwa wilgotnej mieszaniny gazowej [kJ/kg], i_g – entalpia właściwa suchej mieszaniny gazowej [kJ/kg], X – stopień zawilżenia [kgH₂O/kggazu suchego], i_w – entalpia pary wodnej [kJ/kg].

Entalpię właściwą suchej mieszaniny oddechowej i_g należy obliczać z równania:

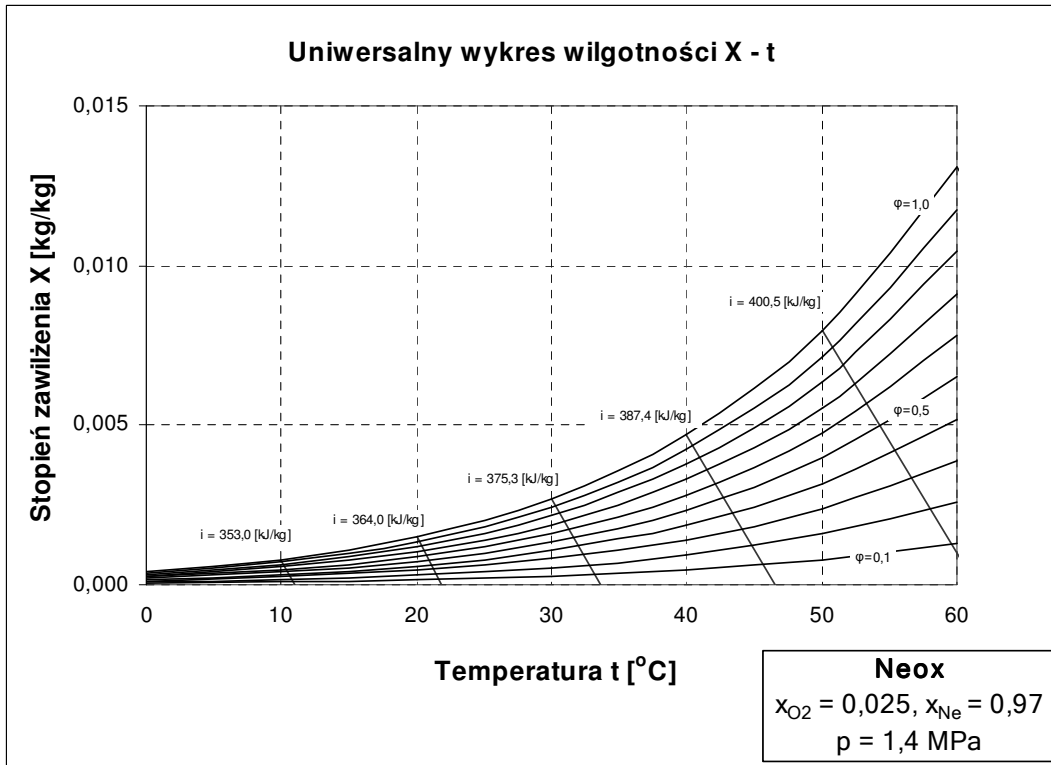
$$i_g = \sum_i^n (g_i \times i_i) \quad (5)$$

gdzie: i_g – entalpia właściwa suchej mieszaniny gazowej [kJ/kg], g_i – udział wagowy i -tego składnika mieszaniny, i_i – entalpia właściwa składnika mieszaniny gazowej [kJ/kg].

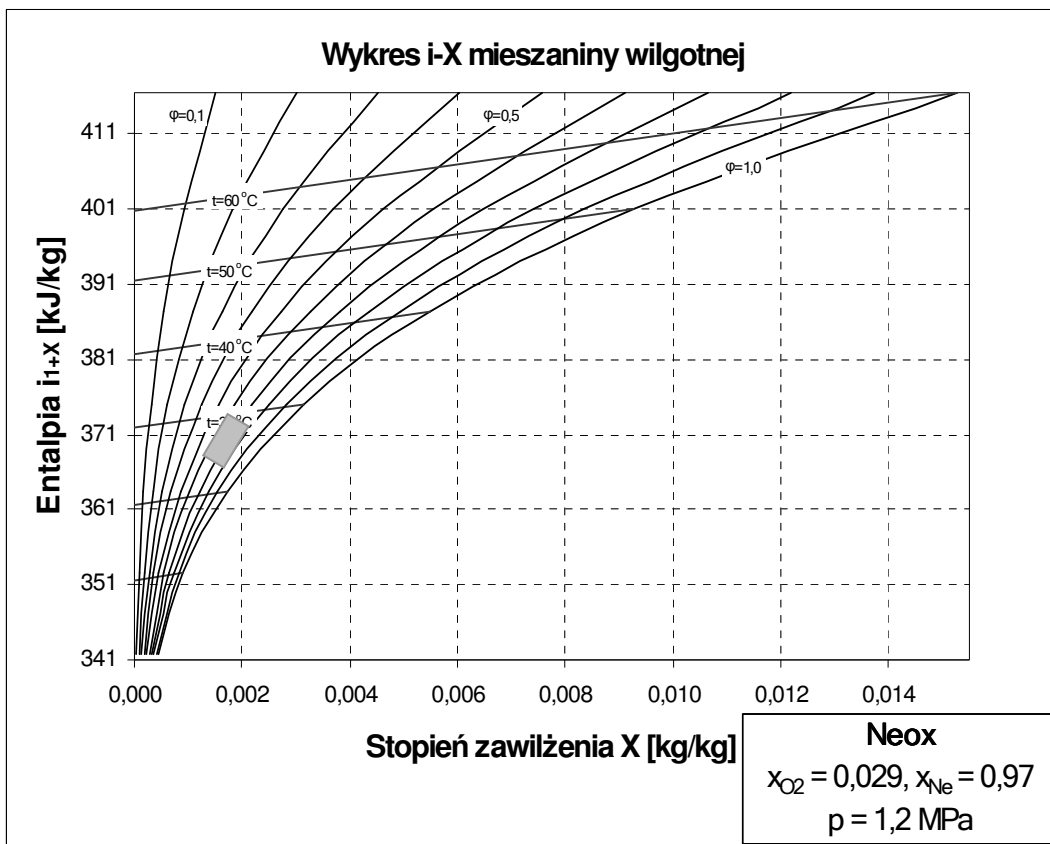
wykorzystując w tym celu równania regresji, opisujące entalpię właściwą składników mieszaniny oddechowej oraz udziały wagowe poszczególnych składników mieszaniny oddechowej. Entalpię pary wodnej (ze względu na niskie ciśnienie cząstkowe pary wodnej), należy określić według (3) :

$$i_w = 2501 + 1,88 \times t \quad (6)$$

Oś rzędnych wykresu psychrometrycznego $X - t$ odpowiada wartościom stopnia zawilżenia mieszaniny oddechowej, obliczanego z zależności (3), natomiast oś odciętych odpowiada wartościom temperatury mieszaniny oddechowej t . Na wykresie naniesione są również linie odpowiadające stałym wartościom entalpii właściwej wilgotnej mieszaniny oddechowej i_{1+X} oraz pęk krzywych, którego parametrem jest wilgotność względna mieszaniny. Poniżej, na rys.7 oraz rys.8 przedstawiono wykresy psychrometryczne $X-T$ oraz $i-X$ dla mieszanin NEOX o ciśnieniu $p=1,4$ MPa oraz $p=1,2$ MPa. Na rys. 8 zaznaczono dodatkowo obszar komfortu cieplnego w mieszaninie NEOX o ciśnieniu $p=1,2$ MPa, który określono na podstawie równania komfortu cieplnego (1).



rys. 7. Wykres X-t dla mieszaniny NEOX przy ciśnieniu 1,4 MPa



rys. 8. Wykres i-X dla mieszaniny Neox przy ciśnieniu 1,2 MPa

5. WNIOSKI :

- na podstawie danych doświadczalnych opracowano równania regresji , uwzględniające wpływ ciśnienia i temperatury na własności fizyczne neonu,
- opracowano równania regresji , uwzględniające wpływ ciśnienia, temperatury oraz molowego udziału neonu na własności fizyczne mieszanin NEOX,
- zmienność własności fizycznych neonu oraz mieszanin NEOX wraz z ciśnieniem , temperaturą oraz molowym udziałem neonu przedstawiono w postaci graficznej,
- rozwiązano równanie komfortu cieplnego dla mieszaniny NEOX, a wyniki przedstawiono w formie graficznej,
- stwierdzono istotny wpływ ciśnienia i temperatury na własności fizyczne mieszanin neonowych,
- stwierdzono wpływ ciśnienia i składu mieszaniny gazowej na temperaturę komfortu cieplnego; ze wzrostem ciśnienia mieszaniny NEOX temperatura komfortu cieplnego wzrasta, natomiast wpływ wilgotności względnej na temperaturę komfortu cieplnego jest niewielki, aczkolwiek wilgotność względna mieszaniny ma duży wpływ na subiektywne odczucie komfortu cieplnego,
- opracowano wykresy psychrometryczne i-X oraz X-t, które umożliwiają analizę przemian stanu wilgotnych mieszanin tlenowo-neonowych,
- przedstawiona metodyka analitycznego określania komfortu cieplnego jest przydatna, gdyż pozwala na ograniczenie do minimum kosztownych eksperymentów.

WYKAZ LITERATURY

1. Shilling,C.W.,Werts M.F., Schandelmeier N.R. The Underwater Handbook. A Guide to Physiology and Performance for the Engineer. Plenum Press, New York , London, 1976.
2. Hamilton R.W. Jr. –Breathing mixtures, Technical Memorandum CRL-T-750, December, 1973, Ocean Systems and Development Laboratory, Tarrytown, New York.
3. Sobański R. Własności mieszanin oddechowych. *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej*, No 213, 1982.
4. Majchrzycka A. Conditions for thermal comfort in helium- neon- oxygen saturation diving. Marine technology III, ed. WIT Press, Southampton, Boston, pp.623-631,2000.
5. Kozak T.,A.Majchrzycka: The influence of the total pressure and the kind of the breathing mixture on microclimat of the hyperbaric chambers. *Ergonomia*, 18,1,pp.29-39, 1995.
6. Varhaftik N.B.-Spravočnik po teplofizičeskim svojstvam gazov i židkostej.ed Izd.Nauka, Moskwa 1972.
7. Bretsznajder S. Własności cieczy i gazów. Warszawa PWN,1962.
8. Nuckols M.L., Tucker W.C, Sarich A.J. –Diving and hyperbaric applications, ed. Simon & Schuster.1996.

Recenzent: prof. dr hab. Inż. Adam Charchalis

Autor: dr inż. Anna Majchrzycka – Politechnika Szczecińska