

Anna Majchrzycka

dr inż. Anna Majchrzycka
Politechnika Szczecińska,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Katedra Techniki Ciepłej
70-310 Szczecin, Piastów 19
tel.+48 91449-43-76
e-mail: Anna.Majchrzycka@ps.pl

WŁASNOŚCI CIEPLNO – FIZYCZNE MIESZANIN HELOWO - TLENOWYCH

W pracy przedstawiono równania regresji opisujące właściwości cieplno-fizyczne mieszanin helowo-tlenowych w zakresie ciśnienia $p=0,1-1,8$ MPa, temperatury $T=273,15-333,15$ K oraz udziału molowego helu $x_{He}=0,65-0,98$. Opracowane równania regresji umożliwiają obliczanie rzeczywistego ciepła właściwego, gęstości, dynamicznego współczynnika lepkości, współczynnika przewodzenia ciepła oraz współczynnika ściśliwości mieszanin HELIOX w zależności od ciśnienia, temperatury oraz udziału molowego helu w mieszaninie.

Słowa kluczowe: *własności cieplno-fizyczne mieszanin helowo-tlenowych*

THE HELIUM – OXYGEN MIXTURES THERMAL PROPERTIES

The paper reports the regression functions describing the helium- oxygen mixtures thermal properties in the following range of the pressure $p=0,1-1,8$ MPa, temperature $T=273,15-333$ K and helium molar fraction $x_{He}=0,65-0,98$. Regression equations that have been derived enable to determine the heat capacity, density, coefficient of the dynamic viscosity, thermal conductivity and coefficient of compressibility as the pressure, temperature and helium molar fraction function in the HELIOX mixture.

Keywords: *helium-oxygen mixtures thermo-physical properties*

WSTĘP

Sztuczne czynniki oddechowe, obok biologicznie niezbędnej ilości tlenu, mogą zawierać różne gazy obojętne: azot, hel, wodór, neon lub argon oraz niewielkie ilości dodatków poprawiających własności użytkowe mieszanin oddechowych np. sześćiofluorek siarki, freony. Mieszaniny helowo- tlenowe, HELIOX, należą do tzw. sztucznych czynników oddechowych, które stosuje się podczas prac nurkowych na głębokości do 200m.[3,5]. Zastosowanie helu, jako składnika mieszanin oddechowych, pozwala na wyeliminowanie narkozy azotowej przy nurkowaniu na głębokość poniżej 50m oraz zmniejszenie wysiłku nurka podczas oddychania. Czas dekompresji niezbędny do usunięcia helu z tkanek nurka jest podobny lub nieco dłuższy niż dla azotu [5]. Wadą helu jest bardzo dobra przewodność cieplna, co

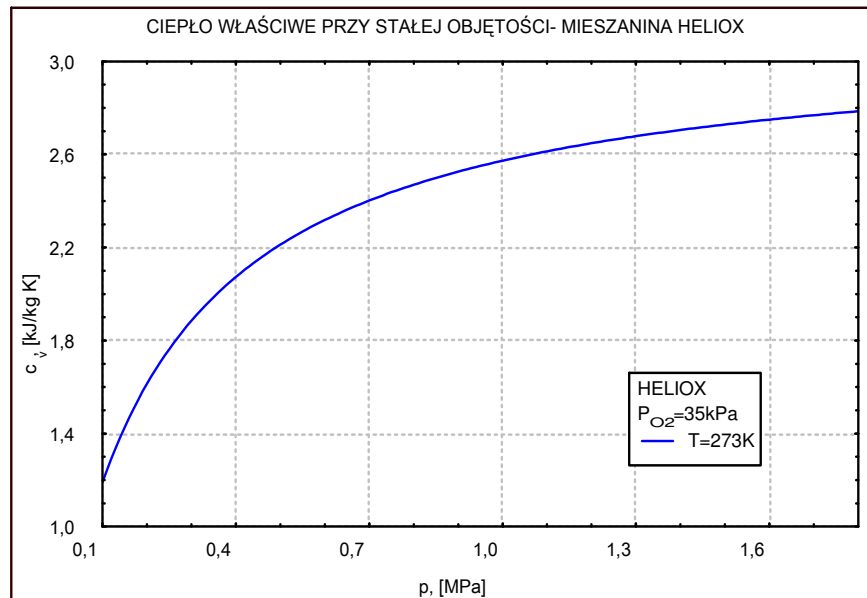
powoduje duże straty ciepła z organizmu nurka. Ciśnienie i skład mieszaniny helowo-tlenowej zależy od głębokości i czasu ekspozycji nurka. Do własności cieplno-fizycznych mieszaniny oddechowej, które zależą od składu, ciśnienia i temperatury zalicza się: gęstość, dynamiczny współczynnik lepkości, współczynnik przewodzenia ciepła, rzeczywiste ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu oraz przy stałej objętości, entalpię właściwą i współczynnik ściśliwości. Własności mieszanin oddechowych wpływają na funkcjonowanie organizmu nurka oraz systemów podtrzymywania życia w obiektach hiperbarycznych. W miarę wzrostu głębokości nurkowania wzrasta ciśnienie mieszaniny oddechowej, a tym samym jej gęstość, co z kolei powoduje zwiększenie oporu podczas oddychania. Zwiększony wysiłek fizyczny nurka podczas oddychania może spowodować niewłaściwą wentylację płuc, niedotlenienie, ucisk klatki piersiowej itp.[5]. Lepkość mieszaniny oddechowej również wpływa na opór oddechowy oraz na wymianę ciepła w środowisku hiperbarycznym. Współczynnik przewodzenia ciepła i ciepło właściwe helu są znacznie wyższe niż powietrza, wobec czego zapewnienie homeostazy termicznej nurka wymaga wytworzenia w obiekcie hiperbarycznym mikroklimatu o parametrach, kompensujących nadmierne straty ciepła z organizmu. Parametry mikroklimatu powinny zapewniać komfort cieplny nurkom, przebywającym w obiekcie hiperbarycznym. Stworzenie mikroklimatu środowiska hiperbarycznego o parametrach komfortu cieplnego jest zagadnieniem złożonym o dużym znaczeniu ergonomicznym. Przy projektowaniu systemów hiperbarycznych niezbędna jest znajomość określania własności cieplno-fizycznych mieszanin oddechowych w zależności od ciśnienia, składu i temperatury mieszaniny. Metody obliczania właściwości cieplno-fizycznych mieszanin gazowych podawane w literaturze [1,2,4,6] są czasochłonne, gdyż wymagają obliczenia wielu wielkości pomocniczych.

W celu zmniejszenia pracochłonności wykonywania obliczeń, przy zachowaniu dostatecznej dla celów inżynierskich dokładności obliczeń, w dalszej części pracy przedstawione zostaną równania regresji, służące obliczaniu właściwości cieplno-fizycznych mieszanin helowo-tlenowych w funkcji ciśnienia, temperatury oraz molowego udziału helu w mieszaninie.

WŁASNOŚCI CIEPLNO-FIZYCZNE MIESZANIN TLENOWO-HELOWYCH

Równania regresji opracowano w oparciu o eksperyment numeryczny, w którym dane stanowiły wyniki obliczeń własności cieplno-fizycznych mieszanin helowo-tlenowych. W obliczeniach, wykonanych na podstawie zależności analitycznych z prac [1,2,4,6] wykorzystano dane doświadczalne uzyskane dla czystych składników mieszaniny, czyli helu i tlenu [1,6]. Dla założonego zakresu zmienności ciśnienia mieszaniny tlenowo-helowej $p=0,1\div 1,8$ MPa, temperatury $T=273,15\div 333,15$ K obliczono rzeczywiste ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu, rzeczywiste ciepło właściwe przy stałej objętości, gęstość, dynamiczny współczynnik lepkości, współczynnik przewodzenia ciepła, entalpię właściwą oraz współczynnik ściśliwości. W obliczeniach założono, że ciśnienie cząstkowe tlenu w całym analizowanym zakresie ciśnienia mieszaniny oddechowej jest stałe i wynosi $p_{O_2}=35$ kPa, co odpowiada udziałowi molowemu helu w mieszaninie $x_{He}=0,65-0,98$. Równania regresji, opisujące własności cieplno-fizyczne mieszanin tlenowo-helowych opracowano przy pomocy programu Statistica, korzystając z estymacji nieliniowej oraz regresji wielokrotnej. O wyborze funkcji estymacji nieliniowej decydowały prostota postaci funkcji regresji oraz duża wartość współczynnika korelacji R. Uzyskane funkcje regresji, są prostsze w praktycznym stosowaniu niż zależności

analityczne podane w literaturze [1,2,4,6] gdyż zostały wyeliminowano pewne etapy obliczeń pośrednich, dzięki czemu możliwe jest obliczanie własności cieplno-fizycznych w funkcji ciśnienia, temperatury oraz molowego udziału helu. W Tabelicy 1 przedstawiono równania regresji do obliczania własności cieplno-fizycznych mieszanin helowo- tlenowych. Na podstawie równania regresji (2) z Tabelicy 1 sporządzono Rys.1, który ilustruje zależność rzeczywistego ciepła właściwego przy stałej objętości od ciśnienia mieszaniny HELIOX w temperaturze $T=273,15\text{K}$. Z Rys. 1 wynika, że wzrost ciśnienia, któremu towarzyszy również wzrost udziału helu w mieszaninie przyczynia się do wzrostu wartości rzeczywistego ciepła właściwego przy stałej objętości. Na Rys.2 sporządzonym na podstawie równania regresji (3) z Tabelicy 1. przedstawiono zależność entalpii właściwej mieszaniny HELIOX od ciśnienia i temperatury. Z Rys.2 wynika, że zarówno wzrost ciśnienia, jak i temperatury przyczyniają się do wzrostu entalpii właściwej mieszaniny HELIOX. Na Rys. 3 sporządzonym na podstawie równania regresji (4) z Tabelicy 1 przedstawiono zależność gęstości mieszaniny HELIOX od jej ciśnienia i temperatury, z którego wynika, że gęstość mieszaniny rośnie wraz ze wzrostem ciśnienia natomiast maleje przy wzroście temperatury. W obszarze niższego ciśnienia wpływ ciśnienia i temperatury na gęstość jest mniejszy. Z teorii kinetycznej gazów wynika [1,2,4,6,] , że w zakresie umiarkowanych ciśnień (do 2 MPa) dynamiczny współczynnik lepkości w stałej temperaturze w niewielkim stopniu zależy od ciśnienia. Na Rys.4 przedstawiono wykres ilustrujący zmienność dynamicznego współczynnika lepkości w zależności od udziału molowego helu i temperatury mieszaniny HELIOX. Rys.4 sporządzono na podstawie równania regresji (5) z Tabelicy 1.

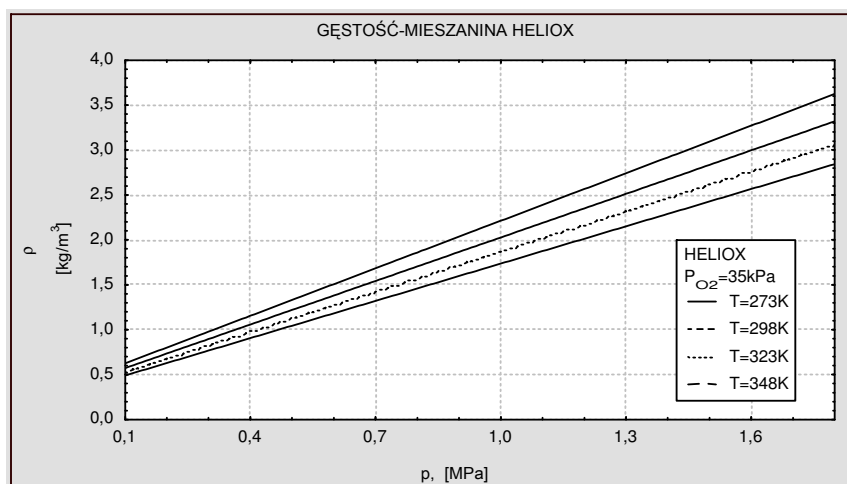


Rys.1. Zależność rzeczywistego ciepła właściwego przy stałej objętości od ciśnienia.

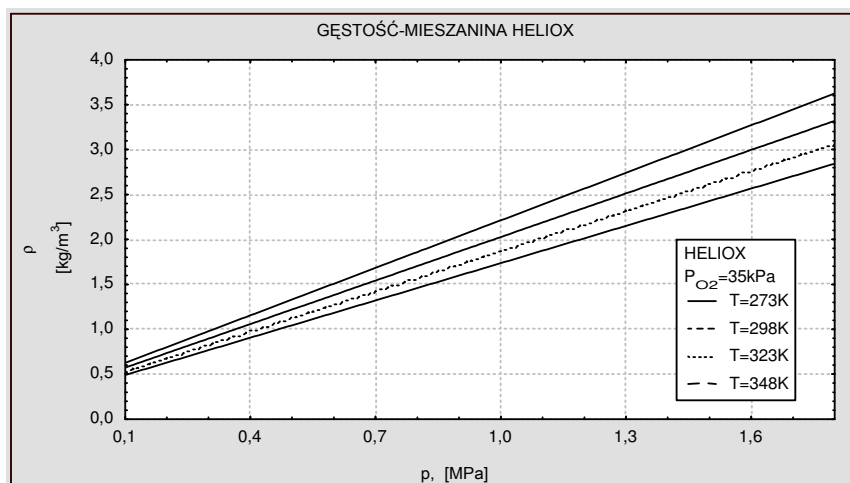
Tablica 1.

Równania regresji opisujące własności ciepło-fizyczne mieszanin HELIOX w zakresie $p=0,1\div 1,8$ MP, $273,15\div 333,15$ K, $x_{He}=0,65\div 0,98$.

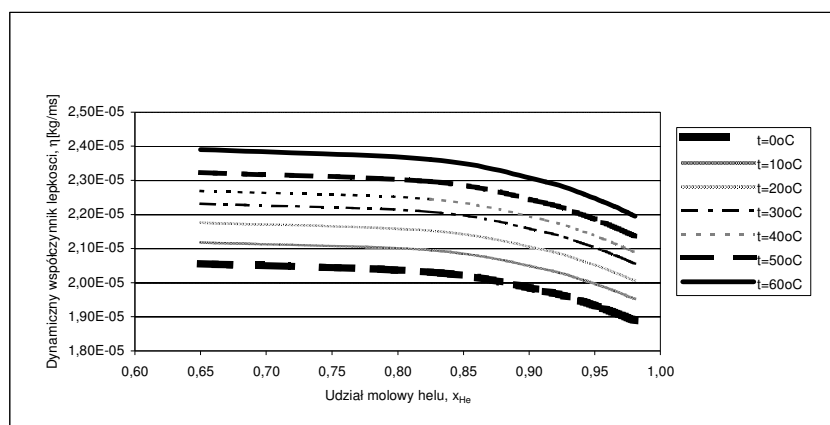
Równanie regresji	R
Rzeczywiste ciepło właściwe przy $p=\text{const}$ $c_p = [1648,3867 + \exp(0,0025 \cdot 10^{-3} \cdot p - 1,2602 \cdot 10^{-4} \cdot T + 8,2017 \cdot x_{He})] \cdot 10^{-3}$, $\left[\frac{kJ}{kgK} \right]$,	0,9999
Rzeczywiste ciepło właściwe przy $v=\text{const}$ $c_v = [1010,1150 + \exp(-7,1296 \cdot 10^{-4} \cdot p - 1,568 \cdot 10^{-4} \cdot T + 7,6898 \cdot x_{He})] \cdot 10^{-3}$, $\left[\frac{kJ}{kgK} \right]$, (2)	0,9999
Entalpia właściwa $i = -161,1602 + \exp(0,01235 \cdot p + 0,0115289 \cdot T + 2,2312 \cdot x_{He})$, $\left[\frac{kJ}{kg} \right]$ (3)	0,9780
Gęstość $\rho = 2543,7189 + 28,1176 \cdot p + 1,5787T - 2878,7407 \cdot x_{He}$, $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$ (4)	0,9500
Dynamiczny współczynnik lepkości $\eta = 9,8048 \cdot 10^{-6} - 4,5019 \cdot 10^{-7} \cdot p + 5,1973 \cdot 10^{-8}T - 4,46 \cdot 10^{-6} \cdot x_{He}$, $\left[\frac{kg}{ms} \right]$ (5)	0,9947
Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda = -0,1300 + 2,1188 \cdot 10^{-3} \cdot p + 3,1898 \cdot 10^{-4}T + 0,18490 \cdot x_{He}$, $\left[\frac{W}{mK} \right]$ (6)	0,9930
Współczynnik ściśliwości $z = 1,0072 + 5,5503 \cdot 10^{-3} \cdot p - 1,29796 \cdot 10^{-5} \cdot T - 3,4346 \cdot 10^{-3} \cdot x_{He}$ (7)	0,9963



Rys. 2. Zależność entalpii właściwej mieszaniny HELIOX od ciśnienia i temperatury.

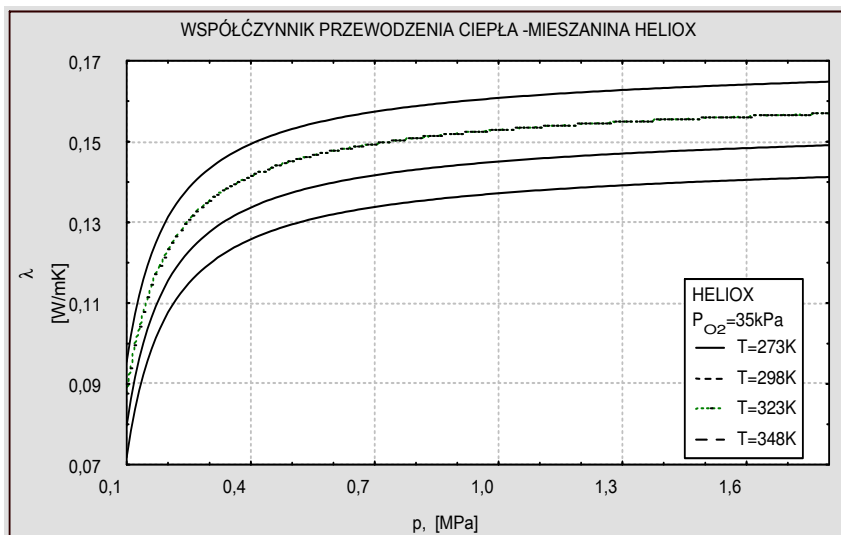


Rys. 3 Zależność gęstości mieszanki HELIOX od ciśnienia i temperatury.

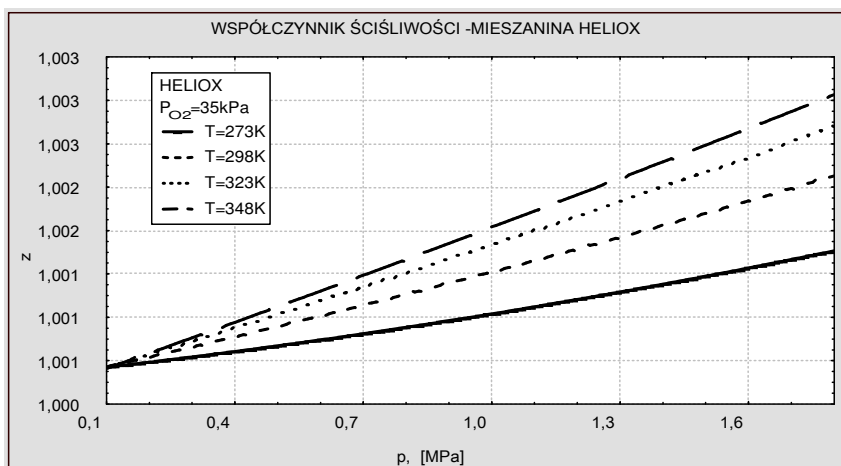


Rys.4 Zależność dynamicznego współczynnika lepkości mieszanki HELIOX od ciśnienia i temperatury.

Z Rys.4 wynika, że przy stałej temperaturze wzrost udziału molowego helu w mieszaninie powoduje zmniejszanie się dynamicznego współczynnika lepkości mieszanki. Na Rys.5 przedstawiono zależność współczynnika przewodzenia ciepła mieszanki HELIOX od ciśnienia i temperatury. Rys. 5 jest ilustracją graficzną równania regresji (6) z Tabelicy 1. Z Rys.5 wynika, że wzrost ciśnienia oraz temperatury mieszanki HELIOX powodują wzrost współczynnika przewodzenia ciepła mieszanki.



Rys.5 Zależność współczynnika przewodzenia ciepła mieszaniny HELIOX od ciśnienia i temperatury



Rys.6 Zależność współczynnika ściśliwości ciepła mieszaniny HELIOX od ciśnienia i temperatury

Na podstawie równania regresji (7) z Tablicy 1 sporządzono Rys. 6 przedstawiający zależność współczynnika ściśliwości od ciśnienia mieszaniny i temperatury mieszaniny HELIOX. Z Rys. 8 widać, że wraz ze wzrostem ciśnienia i temperatury wartość współczynnika ściśliwości wzrasta, gdyż mieszanina helowo tlenowo wykazuje coraz większe odstępstwa od gazu doskonałego.

WNIOSKI

- Opracowano równania regresji, umożliwiające obliczanie rzeczywistego ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu, rzeczywistego ciepła właściwego przy stałej objętości, gęstości, dynamicznego współczynnika lepkości, współczynnika przewodzenia ciepła, entalpii właściwej oraz współczynnika ściśliwości mieszanin helowo-tlenowych .w zakresie ciśnienia $p=0,1\div 1,8$ MPa, temperatury $T=273,15\div 333,15$ oraz udziału molowego helu $x_{He}=0,65-0,98$.
- Uzyskane równania regresji charakteryzują się dużymi współczynnikami korelacji , co świadczy o dobrym dopasowaniu funkcji.
- Opracowane równania regresji są znacznie prostsze w praktycznym stosowaniu, gdyż eliminują pewne pośrednie, czasochłonne etapy obliczeń, które trzeba wykonać stosując zależności analityczne, pozwalając na szybkie obliczanie właściwości ciepłno-fizycznych mieszanin z zadowalającą dla celów inżynierskich dokładnością.

Ważniejsze oznaczenia:

c_p, c_v - rzeczywiste ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu, objętości $\frac{kJ}{kg \cdot K}$

i - entalpia właściwa mieszaniny gazowej, $\frac{kJ}{kg}$

p - ciśnienie mieszaniny gazowej, MPa

T - temperatura bezwzględna , K,

x_i - udział molowy i-tego składnika mieszaniny,

z - współczynnik ściśliwości

η - dynamiczny współczynnik lepkości, $\frac{kg}{m \cdot s}$,

λ - współczynnik przewodzenia ciepła, $\frac{W}{m \cdot K}$,

ρ - gęstość, $\frac{kg}{m^3}$,

LITERATURA

1. Bretszneider S. -Własności cieczy i gazów. 516-522, 574-575 PWN, Warszawa, 1962.
2. Golubiev I.F.- Viazkost' gazov I gazovych smiesiej. Wyd.Fiziko-Matematičeskoj Literatury, Moskwa 1959.
3. Kłos R. - Aparaty nurkowe z regeneracją czynnika oddechowego, 112-143,,Wyd.KOOPgraf S.C., Poznań 2000.
4. Sobański R. Własności mieszanin oddechowych. *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej*,12-35, , Politechnika Szczecińska, Szczecin, 1982.
5. Praca zbiorowa: Problemy medycyny i techniki nurkowej. Gdańsk,20-27, 1997, Wyd. Okrętownictwo i Żegluga.

6. Varhaftik N.B.- Spravočnik po tieploffizičeskim svojstvam gazov i i židkostej, Wyd. Nauka , Moskva, 1972

Autor:

dr inż. Anna Majchrzycka: jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Katedry Techniki Ciepłej na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Politechniki Szczecińskiej. Działalność naukowo-badawcza autorki związana jest z zagadnieniami wymiany ciepła i masy oraz komfortu cieplnego w środowisku hiperbarycznym. Autorka uczestniczyła w pracach wykonywanych na zlecenie przemysłu stoczniowego, dotyczących własności cieplno-fizycznych oraz przepływu czynników oddechowych, wymiany ciepła i klimatyzacji w systemach prac podwodnych oraz w pracach, związanych z długotrwałym przebywaniem człowieka pod wodą, które wykonywane były we współpracy z ówczesną WSMW w ramach programu badawczo – rozwojowego technicznych systemów gospodarki morskiej.