

Trendy zmian zasolenia wód powierzchniowych u polskich brzegów Bałtyku

Prof. dr hab. Józef Piotr Girjatowicz
Uniwersytet Szczeciński, Wydział Nauk o Ziemi

Zmienność zasolenia wód u polskich brzegów Bałtyku zależy od wielu czynników hydrologiczno-meteorologicznych oraz warunków lokalnych. Są to przede wszystkim wlewy wód oceanicznych przez Cieśniny Duńskie [15], odpływ rzeczny ze zlewiska Morza Bałtyckiego [16] czy opad atmosferyczny bezpośrednio na powierzchnię morza [32]. Pewien wpływ na zmienność zasolenia mogą mieć też inne czynniki, jak: parowanie z powierzchni morza [12], mieszanie wód [25] czy

upwelling [13]. Wzrostowi zasolenia wód sprzyjają wlewy wód oceanicznych, parowanie z powierzchni morza, mieszanie wiatrowe i *upwelling*. Natomiast wysładzanie wód morskich powodują odpływ rzeczny i opad atmosferyczny bezpośrednio na powierzchnię morza.

O zmienności zasolenia u polskich brzegów Bałtyku pisali głównie Majewski [14], Młodzińska [20] i Cyberska [4], czy Kamińska i Krzymiński [9]. Pewne informacje o zmianach zaso-

lenia zawarto również w innych pracach [6, 25, 26]. Natomiast zmianami zasolenia na Morzu Bałtyckim zajmowali się głównie Nehring i Matthauss [22], Samuelsson [28] oraz Meier i Kauker [17]. Generalnie stwierdzono spadek zasolenia wód Bałtyckich, co wiąże się głównie z osłabieniem wlewów wód oceanicznych do Bałtyku i zwiększającym się odpływem wód rzecznych. Zmiany zasolenia mają duży wpływ na funkcjonowanie ekosystemu Bałtyku. Takie zmiany mogą wpływać na introdukcję gatunków obcych [29].

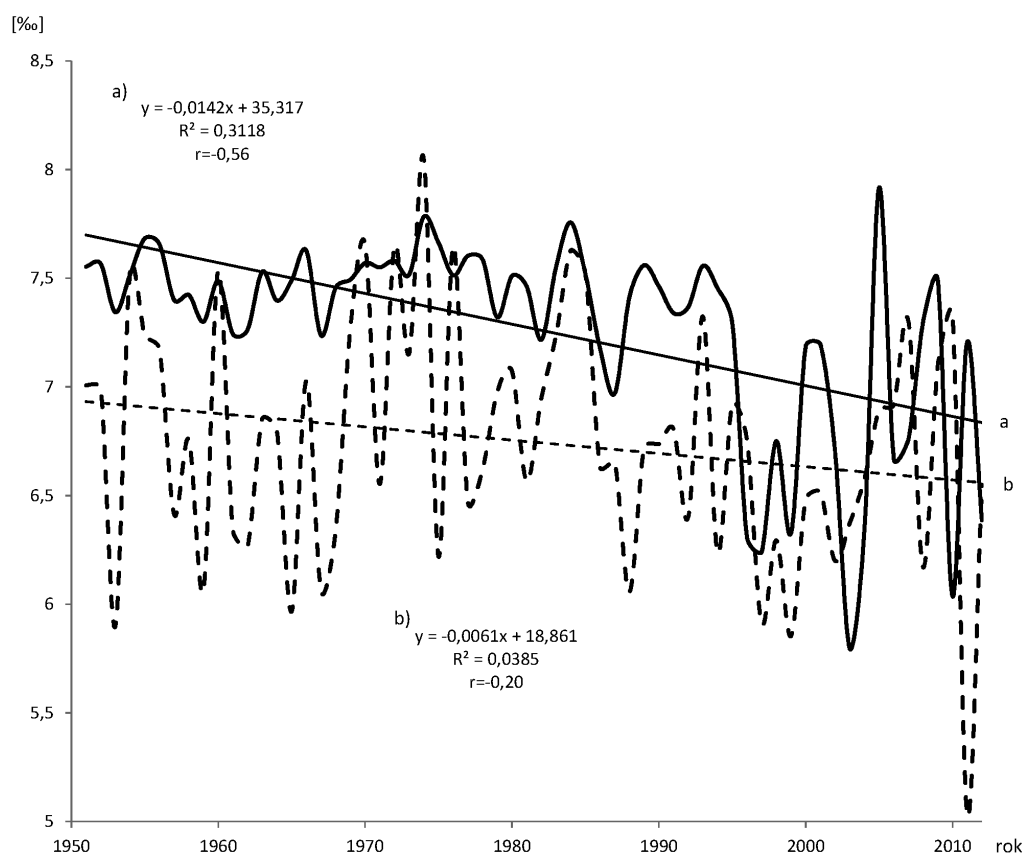
Celem pracy jest określenie trendów zmian zasolenia wód powierzchniowych oraz ocena wpływu czynników hydrologiczno-meteorologicznych, warunków lokalnych oraz cyrkulacji atmosferycznej na zmianę zasolenia w strefie brzegowej w okresie 1950-2012. Szczególnie zwrócono uwagę na wpływ wiatru/cyrkulacji atmosferycznej, która może oddziaływać na zmienność zasolenia. Czynnik ten dotychczas rzadko uwzględniano w badaniach nad zmiennością zasolenia wód na Bałtyku. Wcześniej, na podstawie danych z okresu 1950-1990, stwierdzono, że u południowych brzegów Zatoki Pomorskiej istnieją istotne statystycznie związki zasolenia z cyrkulacją atmosferyczną [5].

MATERIAŁY I METODY BADAŃ

W pracy wykorzystano wartości miesięczne, sezonowe i roczne zasolenia wód powierzchniowych z 4 stacji u polskich brzegów Bałtyku – Gdynia, Hel, Władysławowo i Międzyzdroje z okresu 1950-2012. Dane hydrologiczno-meteorologiczne, a zwłaszcza dane o zasoleniu, zaczerpnięto z: Roczników Hy-

Tabl. 1. Statystyki rocznych wartości zasolenia wód u polskich brzegów Bałtyku (1951-2012).
W nawiasach podano rok, w którym wystąpiła wartość ekstremalna

Stacje	Zasolenie [‰]	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]	Amplituda [‰]
Międzyzdroje	minimum	5,76 (1999)		
	średnie	6,52	0,36	5,51
	maksimum	7,35 (1984)		1,59
Władysławowo	minimum	6,95 (2002)		
	średnie	7,42	0,18	2,42
	maksimum	7,82 (1976)		0,87
Hel	minimum	6,58 (1999)		
	średnie	7,22	0,24	3,23
	maksimum	7,68 (1976)		1,10
Gdynia	minimum	6,57 (2002)		
	średnie	7,21	0,22	3,09
	maksimum	7,68 (1984)		1,11



Rys. 1. Zimowe (XII-II) trendy zmian zasolenia w Helu (najsilniejszy, linia ciągła, a) i w Międzyzdrojach (najsłabszy, linia przerywana, b) w okresie od 1950 do 2012 roku

drogaficznych Morza Bałtyckiego (1950-1970) [27], Morskich Komunikatów Hydrologiczno-Meteorologicznych (1961-1990) [21], Warunków Środowiskowych Polskiej Strefy Południowego Bałtyku (1986-2001) [31] oraz z Bałtyku Południowego – charakterystyka wybranych elementów środowiska (2002-2012) [2]. Podstawowe roczne statystyki zasolenia, takie jak: wartości średnie, ekstremalne, amplitudy, odchylenia standardowe oraz współczynniki zmienności dla tych stacji przedstawiono w tabl. 1. Wykorzystano również dane dotyczące prędkości wiatru przy powierzchniowego, prędkości i częstości występowania kierunków wiatru geostroficznego [19], częstości występowania kierunków cyrkulacji atmosferycznej [24] oraz wartości indeksu Oscylacji Północnoatlantyckiej – NAO, które zaczerpnięto z bazy publikowanej on-line przez University of East Anglia.

Do wyznaczenia i zbadania istotności statystycznej trendów zasolenia oraz związków zasolenia z czynnikami anemologicznymi dotyczącymi wiatru/cyrkulacji zastosowano metodę korelacji i regresji. Wyznaczono trendy zasolenia w formie prostych regresji, obliczono współczynniki korelacji r i determinacji R^2 oraz określono ich istotność statystyczną testem Fishera-Snedecora. Przykłady wybranych trendów zasolenia przedstawiono na rys. 1 i 2 w układzie współrzędnych prostokątnych, zawierających równanie trendów oraz współczynników korelacji r i determinacji R^2 . Współczynniki korelacji r dla wszystkich badanych trendów z uwzględnieniem ich istotności statystycznej przedstawiono w tabl. 2. W celu określenia wpływu wiatru/cyrkulacji na zasolenie wód wyznaczono związki korelacyjne dla ich wartości rocznych.

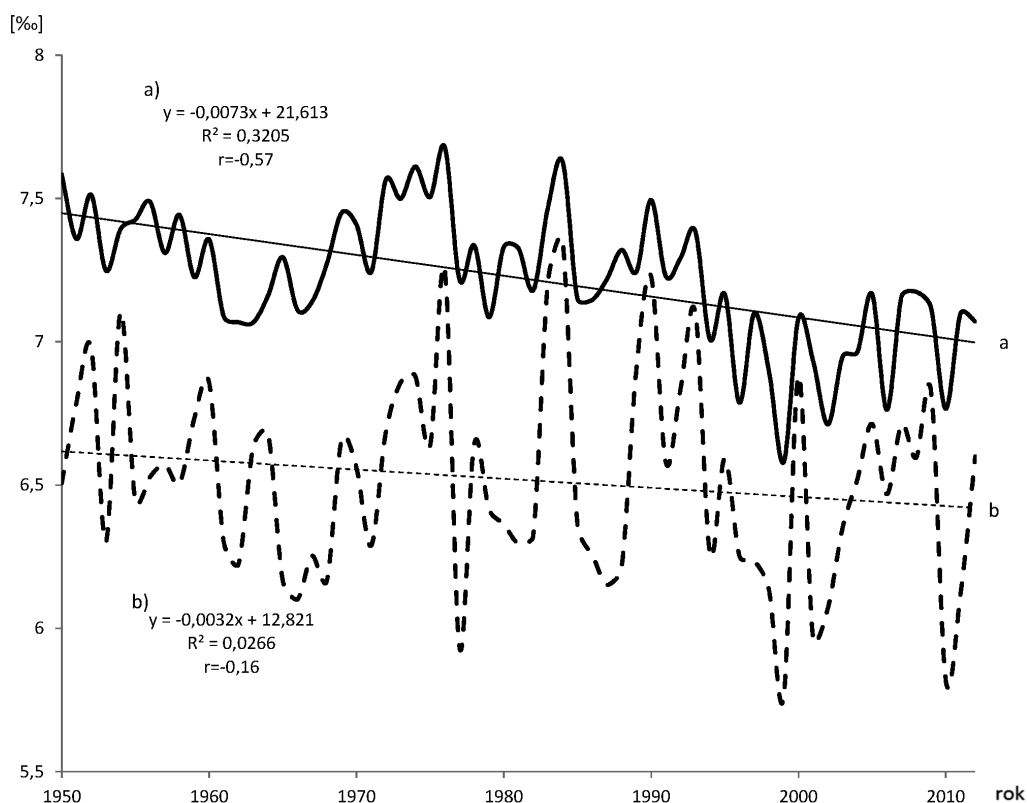
Tabl. 2. Współczynniki korelacji miesięcznych, sezonowych i rocznych trendów zasolenia dla wybranych rejonów u polskich brzegów Bałtyku w okresie 1950-2012

Okresy	Międzyzdroje	Władysławowo	Hel	Gdynia
I	-0,20	-0,47 ³	-0,52 ³	-0,46 ³
II	-0,16	-0,33 ¹	-0,47 ³	-0,34 ¹
III	-0,09	-0,32 ¹	-0,11	-0,16
IV	-0,04	-0,28 ¹	-0,25	-0,09
V	-0,05	-0,32 ¹	-0,29 ¹	-0,30 ¹
VI	-0,08	-0,28 ¹	-0,23	-0,23
VII	0,10	-0,27 ¹	-0,39 ²	-0,32 ¹
VIII	-0,11	-0,28 ¹	-0,40 ²	-0,27 ¹
IX	-0,12	-0,31 ¹	-0,31 ¹	-0,46 ³
X	-0,12	-0,36 ²	-0,31 ¹	-0,40 ²
XI	-0,06	-0,37 ²	-0,32 ¹	-0,38 ²
XII	-0,17	-0,51 ³	-0,38 ²	-0,47 ³
XII-II	-0,20	-0,53 ³	-0,56 ³	-0,55 ³
III-V	-0,07	-0,34 ¹	-0,29 ¹	-0,24
VI-VIII	-0,05	-0,30 ¹	-0,38 ²	-0,34 ¹
IX-XI	-0,13	-0,40 ²	-0,38 ²	-0,45 ³
I-XII	-0,16	-0,47 ³	-0,57 ³	-0,51 ³

¹⁾ istotne na poziomie $\alpha = 0,05$

²⁾ istotne na poziomie $\alpha = 0,01$

³⁾ istotne na poziomie $\alpha = 0,001$



Rys. 2. Trendy zmian zasolenia w Helu (najsilniejszy, linia ciągła, a) i w Międzyzdrojach (najsłabszy, linia przerywana, b) dla wartości rocznych w okresie od 1950 do 2012 roku

TRENDY ZASOLENIA

U polskich brzegów Bałtyku w okresie 1950-2012 występują spadkowe trendy zasolenia wód. Istotne statystycznie są one tylko we wschodniej części wybrzeża (tabl. 2). Najsilniejsze trendy spadkowe występują tam w chłodnej porze roku, zwłaszcza w grudniu i styczniu. Dość wyraźne są one również w lutym, a także od września do listopada. Najsłabsze trendy zasolenia występują w okresie wiosenno-letnim, a zwłaszcza w marcu, kwietniu i czerwcu, kiedy są przeważnie nieistotne statystycznie. Nieistotne statystycznie trendy zasolenia, choć również spadkowe, występują w zachodniej części naszego wybrzeża (Międzyzdroje), i to we wszystkich miesiącach oraz porach roku (tabl. 2). Również w okresie 1986-2005 w Międzyzdrojach zasolenie nie wykazywało spadku [9]. Wpływ na nieistotne statystycznie trendy zasolenia wód w Międzyzdrojach ma zapewne między innymi wyjątkowo duża międzyroczna zmienność zasolenia przejawiająca się stosunkowo wysokimi współczynnikami zmienności (tabl. 1). W konsekwencji duże odchylenia wartości zasolenia (punktów empirycznych) od prostej regresji (linii trendu) znacznie pogarszają korelację.

Dla wartości sezonowych najsilniejsze trendy zasolenia wód występują w zimie i poza Międzyzdrojami, współczynniki korelacji r wahają się w przedziale od -0,53 (Władysławowo) do -0,56 (Hel) i są istotne statystycznie nawet na poziomie $\alpha = 0,001$ (tabl. 2). Zmienność zasolenia w Helu w 31% (R^2) można wytłumaczyć zmiennością czasową. Ze współczynnika regresji wynika, że z każdą następną zimą zasolenie tam spada średnio o 0,014‰ (rys. 1). Dość silne trendy zasolenia występują również jesienią [$r = (-0,38) \div (-0,45)$], o istotności statystycznej przynajmniej na poziomie $\alpha = 0,01$. Natomiast wyraźnie słabsze trendy zasolenia dotyczą lata o istotności statystycznej przeważnie zaledwie na poziomie $\alpha = 0,05$, a najsłabsze są wiosną, kiedy nie wszystkie są one istotne (tabl. 2).

Z kolei trendy zasolenia dla wartości rocznych są wysoce istotne statystycznie ($\alpha = 0,001$), o najsilniejszym współczynniku korelacji w Helu wynoszącym $r = -0,57$ (tabl. 2). Zmienność zasolenia tam w 32% (R^2) można wyjaśnić zmiennością czasową. Ze współczynnika regresji wynika, że z każdym następnym rokiem zasolenie w tym rejonie spada średnio o 0,007‰ (rys. 2). Bardziej wyraźny spadek zasolenia był w okresie 1986-2005, kiedy dla całej polskiej strefy przybrzeżnej wynosił 0,07 psu/rok [9], choć na otwartych wodach południowego Bałtyku w okresie późniejszym (1998-2010) zaznaczył się wzrostowy trend zasolenia wód [26].

Spadkowa tendencja zasolenia wód w strefie brzegowej zauważalna jest również dla średnich wartości dziesięcioletnich, zwłaszcza w Gdyni, Helu i Władysławowie (tabl. 3). Stały spadek rozpoczyna się tam od 1971-1980 do ostatniego dziesięciolecia – 2001-2010. W tym ostatnim dziesięcioleciu zasolenie w Gdyni i Helu obniżyło się nawet poniżej 7‰. W Międzyzdrojach natomiast spadkowa tendencja zasolenia jest słabo widoczna, choć najwyższe zasolenie wystąpiło w pierwszym dziesięcioleciu (1951-1960). Stały spadek zasolenia rozpoczął się dopiero od dziesięciolecia 1981-1990 i był kontynuowany również w ostatnim dwuleciu 2011-2012 (tabl. 3). Na pozostałych stacjach w tym ostatnim dwuleciu zaznaczył się wzrost zasolenia wód.

Tabl. 3. Średnie zasolenie wód (w ‰) w Międzyzdrojach, Władysławowie, Helu i Gdyni w poszczególnych dziesięcioleciach w okresie od 1951 do 2012 roku

	Międzyzdroje	Władysławowo	Hel	Gdynia	Średnia
1951-1960	6,68	7,54	7,38	7,35	7,24
1961-1970	6,37	7,42	7,21	7,17	7,04
1971-1980	6,60	7,59	7,41	7,39	7,25
1981-1990	6,63	7,42	7,32	7,31	7,17
1991-2000	6,46	7,29	7,05	7,10	6,98
2001-2010	6,40	7,29	6,97	6,93	6,90
2011-2012	6,36	7,32	7,09	7,15	6,98
Średnia	6,52	7,42	7,21	7,21	7,09

Na spadkowe trendy zasolenia u naszych brzegów Bałtyku w okresie 1950-2012 mogło złożyć się wiele przyczyn. Przede wszystkim zaobserwowano brak silnych wlewów wód oceanicznych do Bałtyku, zwłaszcza w latach osiemdziesiątych i na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku [15]. Natomiast wzrastały opady atmosferyczne nad Bałtykiem [3]. Podobne tendencje opadów obserwowano na polskim wybrzeżu, jednak trendy sumy opadów w okresie od 1951 do 2012 były nieistotne statystycznie (Świnoujście $r = 0,21$ i Hel $r = 0,17$). Stwierdzono również wzrost odpływu rzeczny do Bałtyku [8]. Wzrostowa tendencja odpływu rzeczny jest widoczna również u polskich brzegów Bałtyku. Jednak wzrostowe trendy odpływu Wisły ($r = 0,09$) i Odry ($r = 0,06$) w okresie 1951-2012 są nieistotne statystycznie. Warto zauważyć, że średni odpływ Wisły (1061 m³/s) i Odry (508 m³/s) w okresie 2001-2012 w porównaniu do okresu 1951-2000 (1078 m³/s i 530 m³/s) był nieco mniejszy, odpowiednio o 17 m³/s i 22 m³/s. Trend odpływu Wisły w okresie 1990-1999 był bardzo wyraźny, o wysokim współczynniku korelacji r wynoszącym 0,96 [7].

WPLYW WIATRU/CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NA ZMIENNOŚĆ ZASOLENIA

Na zmienność zasolenia wód mają wpływ przede wszystkim takie czynniki, jak: wlewy wód oceanicznych przez Cieśninę Duńską, odpływ wód rzecznych oraz opady atmosferyczne i parowanie dotyczące bezpośrednio powierzchni morza. Na zasolenie wód mogą mieć też wpływ czynniki anemologiczne (mieszanie wiatrowe) jak: falowanie, prądy wiatrowe czy *upwelling*. W celu określenia wpływu czynników anemologicznych na zmienność zasolenia wód zbadano związki jakie zachodzą między zasoleniem a takimi wskaźnikami wiatru, jak: prędkość wiatru przypowierzchniowego V , prędkość wiatru geostroficznego V_G , liczbą dni wiatru geostroficznego z sektora zachodniego G_W i z sektora wschodniego G_E , liczbą dni z cyrkulacją atmosferyczną z sektora zachodniego C_W i z sektora wschodniego C_E , a także z indeksem Oscylacji Północnoatlantyckiej *NAO* (tabl. 4).

Stwierdzono, że niektóre czynniki anemologiczne na większości stacji mają wpływ na zmienność zasolenia wód, zwłaszcza prędkość wiatru powierzchniowego i liczba dni wiatru geo-

stroficznego z sektora wschodniego (NE+E+SE). Wpływ tych czynników na zmienność zasolenia najwyraźniej zaznacza się w rejonie Władysławowa, który najbardziej wystawiony jest na działanie wiatru. W rejonie tym spadek częstości występowania wiatru/cyrkulacji z kierunków wschodnich (G_E , C_E) przyczynił się do spadku zasolenia wód. Wyjaśnienie wpływu wiatru/cyrkulacji z kierunków wschodnich na zmienność zasolenia nie jest łatwe. Wiadomo, że wiatry z kierunków wschodnich (NE, E, SE) u południowych brzegów otwartego Bałtyku wywołują *upwelling* [10, 30]. Można przyjąć, że podpyływające wody ku powierzchni z warstw głębszych morza mogą charakteryzować się większym zasoleniem. Wiadomo natomiast, że haloklina na otwartych wodach Bałtyku (w basenach) występuje dość głęboko (30 ÷ 70 m) i te słone wody nie podpyływają ku powierzchni. Jednakże w strefie przybrzeżnej południowego Bałtyku latem haloklina może występować na mniejszych głębokościach nawet 15 ÷ 20 m [1]. W okresach występowania *upwellingu* mogą więc wydostawać się na powierzchnię wody bardziej zasolone od wód powierzchniowych, głównie wzdłuż Półwyspu Helskiego [11].

Zasolenie może też wzrastać w wyniku wypychania przez wiatry wschodnie wysłodzonych wód powierzchniowych pochodzenia lądowego (rzeczne) w kierunku otwartego morza, odsłaniając tym samym wody morskie bardziej zasolone. Te interpretacje mogą wyjaśniać sens fizyczny istotnych statystycznie związków ze wskaźnikami anemologicznymi. Bowiem coraz rzadsze występowanie wiatrów/cyrkulacji z kierunków wschodnich i tym samym rzadsze występowanie *upwellingów* oraz częstsze zaleganie wysłodzonych powierzchniowych wód przybrzeżnych może być jednym z czynników względnego spadku zasolenia w badanym okresie.

Należy również zauważyć, że jeżeli istnieje dodatnia korelacja zasolenia wód ze wschodnimi wskaźnikami wiatrowymi,

Tabl. 4. Współczynniki korelacji zasolenia wód u polskich brzegów Bałtyku z prędkością wiatru przypowierzchniowego (V), prędkością wiatru geostroficznego (V_G), liczbą dni wiatru geostroficznego z sektora zachodniego (G_W) i z sektora wschodniego (G_E), liczbą dni z cyrkulacją z sektora zachodniego (C_W) i z sektora wschodniego (C_E) oraz z indeksem Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) dla wartości rocznych, głównie w okresie 1951-2012

Czynnik	V^a	V_G^b	G_W^b	G_E^b	C_W	C_E	NAO
Rejony							
Międzyzdroje	0,19	0,26 ¹	-0,06	0,13	0,04	-0,06	0,33 ³
Władysławowo	0,41 ³	0,22	-0,29 ²	0,49 ⁴	-0,31 ²	0,30 ²	-0,03
Hel	0,51 ⁴	0,23	-0,18	0,32 ²	-0,16	0,11	0,27 ²
Gdynia	0,32 ³	0,19	-0,28 ²	0,42 ³	-0,14	0,10	0,19

^{1/} istotne na poziomie $\alpha = 0,1$

^{a/} 1954-2012

^{2/} istotne na poziomie $\alpha = 0,05$

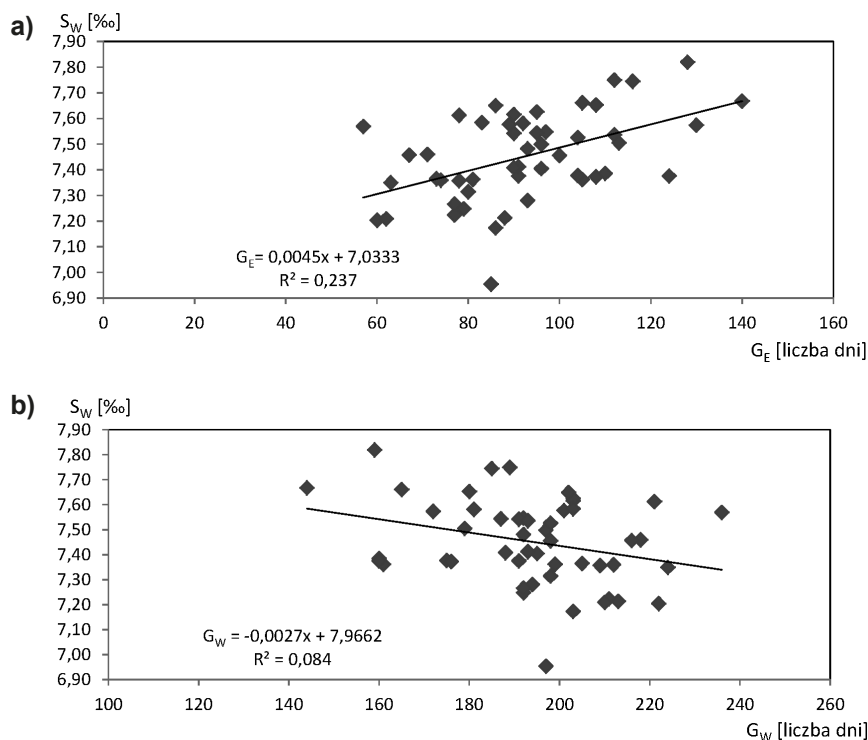
^{b/} 1951-2000

^{3/} istotne na poziomie $\alpha = 0,01$

^{c/} wiatr z Helu

^{4/} istotne na poziomie $\alpha = 0,001$

to z zachodnimi wskaźnikami wiatrowymi będzie korelacja ujemna. Jest to widoczne we Władysławowie, gdzie współczynniki korelacji r zasolenia z liczbą dni wiatru geostroficznego z sektora zachodniego (G_W , SW+W+NW) są ujemne i istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$; a z cyrkulacją atmosferyczną (C_W , SW+W+NW) – nawet na poziomie $\alpha = 0,01$ (rys. 3, tabl. 4). Jak widać na rys. 3, wraz ze wzrostem liczby dni z wiatrem z kierunków wschodnich (G_E , NE+E+SE) wzrastało zasolenie (rys. 3a), natomiast ze wzrostem liczby dni z wiatrem z kierunków zachodnich (G_W , SW+W+NW) spadało zasolenie (rys. 3b) w okresie 1951-2000. Można stwierdzić, że spadek częstości występowania wiatru/cyrkulacji z kierunków wschodnich (NE+E+SE) zrównoważony został wzrostem występowania wiatru/cyrkulacji zachodniej (SW+W+NW). Przy



Rys. 3. Związki zasolenia wód w rejonie Władysławowa (S_W) z liczbą dni z wiatrem geostroficznym z sektora wschodniego (G_E , a) i z sektora zachodniego (G_W , b) dla wartości rocznych w okresie 1951-2000

wiatrach/cyrkulacji z kierunków SW+W+NW nie pojawia się *upwelling*. Ponadto częste występowanie wiatru/cyrkulacji zachodniej sprzyja zaleganiu u wybrzeży wód pochodzenia lądowego (rzecznego). Te czynniki zapewne mogły mieć wpływ, choć niewielki, na spadek zasolenia u polskich brzegów Bałtyku. Odwrotnie może oddziaływać na zasolenie wód prędkość wiatru, gdzie współczynniki korelacji r są dodatnie i istotne statystycznie w rejonach położonych blisko głębin (tabl. 4). Można przypuszczać, że w wyniku mieszania wiatrowego podnoszone są ku powierzchni wody bardziej zasolone. Mniejszy wpływ na zasolenie ma indeks NAO, gdzie współczynniki korelacji r są słabe i tylko niektóre są istotne statystycznie (tabl. 4).

WNIOSKI

Stwierdzono, że istnieją spadkowe istotne statystycznie trendy zasolenia wód u wschodnich brzegów polskiego Bałtyku, zwłaszcza w okresie jesienno-zimowym. W tym okresie wzrastała częstość występowania wiatrów z kierunków zachodnich, niżów barycznych i związanymi z nimi opadami atmosferycznymi, które mogły przyczyniać się do spadku zasolenia wód.

Spadku zasolenia wód należy upatrywać głównie z powodu braku silnych wlewów wód oceanicznych bardziej zasolonych do Bałtyku poza latami 1951 i 1993, kiedy to nastąpiły bardzo silne wlewy [15]. Ponadto najsilniejszy wlew na początku badanego okresu (1951) mógł mieć znaczący wpływ na spadkowy kierunek trendu. W badanym okresie stwierdzono również nieznaczną rosnącą tendencję opadów atmosferycznych nad Bałtykiem i odpływu rzecznoego.

Spadkowe trendy zasolenia wód, choć nieistotne statystycznie, wystąpiły w zachodniej części naszego wybrzeża (Międzyzdroje). Przyczyną braku istotnych trendów w Międzyzdrojach może być duża międzyroczna zmienność zasolenia, co pogarsza korelację. W badanym okresie odchylenie standardowe, współczynnik zmienności i amplituda zasolenia są tam prawie dwukrotnie wyższe niż w pozostałych stacjach. Zapewne wpływ na to mają z jednej strony duży udział wód rzecznych w stosunkowo płytkiej Zatoce Pomorskiej, a z drugiej strony bliskość Cieśnin Duńskich, skąd napływają słone wody oceaniczne.

Zmienność zasolenia wód u polskich brzegów Bałtyku zależy od wielu czynników – wlewu wód oceanicznych, odpływu wód lądowych (rzecznych), opadu atmosferycznego i parowania bezpośrednio z powierzchni morza, mieszania wód czy *upwellingu*. W pracy zwrócono uwagę na rolę czynników anemologicznych mających wpływ, na przykład na *upwelling*, który w pewnym stopniu może wpływać na zmienność zasolenia wód. Od połowy lat siedemdziesiątych XX wieku równolegle do spadku zasolenia zmniejszała się częstość występowania wiatru/cyrkulacji z kierunków wschodnich (NE+E+SE). Spadek częstości występowania wiatru/cyrkulacji NE+E+SE, a tym samym spadek występowania *upwellingów*, które umożliwiają wydostawanie się wód bardziej zasolonych na powierzchnię, mógł przyczyniać się do nieznacznego spadku zasolenia.

Spadek występowania wiatru/cyrkulacji NE+E+SE był zrekompensowany wzrostem występowania cyrkulacji SW+W+NW. Wiatr/cyrkulacja z tego kierunku nie wywołuje *upwellingu* i sprzyja zaleganiu wzdłuż wybrzeża stosunkowo słodkich wód, głównie pochodzenia rzecznoego.

Na zmienność zasolenia wód mają też wpływ warunki lokalne. Stacja Władysławowo występuje w miejscu najbardziej eksponowanym na działanie morza, położonym blisko akwenów głębokich, a także w strefie intensywnego występowania *upwellingów* [30]. Z kolei stacje w Gdyni i Helu są bardziej osłonięte (Zatoka Pucka) od wpływów morskich i tam nie pojawiają się *upwellingi*, które nie pojawiają się również w Międzyzdrojach. Stacja Międzyzdroje położona jest na brzegu Zatoki Pomorskiej, której wody w zasadzie są izolinowe, choć występuje nieznaczny wzrost zasolenia wraz z głębokością [2, 31]. Ponadto takie stacje, jak: Międzyzdroje, Gdynia i Hel są pod silnym wpływem wód rzecznych. Zalegające na powierzchni słodsze wody rzeczne mają tam wpływ na uwarstwienie wód w strefie przybrzeżnej. Można też stwierdzić, że zasolenie wód przybrzeżnych różni się od zasolenia wód otwartego Bałtyku.

Prognozy wskazują, że będzie postępować stopniowe wysładzanie się Bałtyku, a zwłaszcza w jego części północnej, głównie ze względu na zwiększający się odpływ rzeczny [18]. Jednocześnie są sygnały, że w wyniku ocieplania się klimatu (wzrostu temperatury powietrza) w Basenie Morza Bałtyckiego nastąpi wzrost parowania, który ograniczy dopływ wód słodkich do Bałtyku [23]. W rezultacie spadek zasolenia wód bałtyckich może zostać zahamowany.

LITERATURA

1. BACC Autor Team: Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin. Regional Series Studies, Springer, Berlin Heidelberg, 2008.
2. Bałtyk Południowy. Charakterystyka wybranych elementów środowiska 2002-2012. Wyd. IMGW, Warszawa.
3. Christensen O., Christensen J.: Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. Global and Planetary Change 44, 2004, 107-117.
4. Cyberska B.: Zasolenie wód Basenu Gdańskiego. W: Zatoka Gdańska, A. Majewski (red.), Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1990.
5. Girjatowicz J. P.: Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zasolenie wód u południowych brzegów Zatoki Pomorskiej. Wiadomości IMGW, T. XXV, z. 4, 2002, 39-50.
6. Girjatowicz J. P.: Katalog zasolenia i stanów wody polskiego wybrzeża Bałtyku. Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2008.
7. Girjatowicz J. P., Świątek M.: Salinity variations of the surface water at the southern coast of the Baltic Sea in years 1950-2010. Continental Shelf Research 126, 2016, 110-118.
8. Graham P.: Climate Change Effects on River Flow to the Baltic Sea, Ambio 33 (4-5), 2004, 235-241.
9. Kamińska M., Krzemiński W.: Warunki hydrograficzne. [W:] Stan środowiska polskiej strefy przybrzeżnej Bałtyku w latach 1986-2005, Miętus M., Sztobryn M. (red.), Wyd. IMGW, Warszawa 2011.
10. Krężel A.: Identyfikacja mezoskalowych anomalii hydrofizycznych w morzu płytkim metodami szerokopasmowej teledetekcji satelitarnej. Rozprawy i Monografie nr 233, Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1997.
11. Lehmann A., Myrberg K.: Upwelling in the Baltic Sea – A review. Journal of Marine Systems 74, 2008, 3-12.
12. Leppäranta M., Myrberg K.: Physical oceanography of the Baltic Sea. Springer, Berlin, 2009.

13. Łomniewski K.: Stosunki termohaliczne w strefie brzegowej południowego Bałtyku. *Zeszyty Geograficzne* 2, Wyższa Szkoła Pedagogiczna, Gdańsk, 1960, 45-74.
14. Majewski A.: Charakterystyka hydrologiczna Zatoki Pomorskiej. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1974.
15. Matthäus W.: The history of investigation of salt water inflows into the Baltic Sea: From the early beginning to recent results. *Marine Science Reports*, 95, Baltic Sea Research Institute, Warnemünde 2006.
16. Matthäus W., Schinke H.: The influence of river runoff on deep water conditions of the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 393, 1999, 1-10.
17. Meier M., Kauker F.: Sensitivity of the Baltic sea salinity to the fresh-water supply. *Climate Research* 24, 2003, 231-242.
18. Meier M., Kjellström E., Graham P.: Estimating uncertainties of projected Baltic sea salinity in the late 21st century. *Geophysical Research Letters* 33, 2006.
19. Miętus M.: Kalendarz lokalnego wskaźnika cyrkulacji atmosferycznej w rejonie południowego Bałtyku 1961-1999. Wyd. Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Gdynia, 2000.
20. Młodzińska Z.: Stężenie i skład chemiczny soli w Zatoce Gdańskiej. *Studia i Materiały Oceanologiczne* 8, Gdańsk 1974, 65-94.
21. Morski Komunikat Hydrologiczno-Meteorologiczny, 1961-1990. Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Gdynia.
22. Nehring D., Matthäus W.: Current Trends in Hydrographic and Chemical Parameters and Eutrophication in the Baltic Sea. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 76 (3), 1991, 297-316.
23. Omstedt A., Hansson D.: The Baltic Sea ocean climate system memory and response to changes in the water and heat balance components. *Continental Shelf Research* 26, 2006, 236-251.
24. Pianko-Kluczyńska K.: Nowy kalendarz typów cyrkulacji atmosfery według J. Lityńskiego. Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2006.
25. Piechura J.: Mieszanie się wód w słonawym morzu uwarstwionym (na przykładzie Bałtyku). Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Gdynia, 1973.
26. Rak D., Wieczorek P.: Variability of temperature and salinity over the last decade in selected regions of the southern Baltic Sea. *Oceanologia* 54 (3), 2012, 339-354.
27. Rocznik Hydrograficzny Morza Bałtyckiego, 1951-1970. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
28. Samuelsson M.: Interannual salinity variations in the Baltic Sea during the period 1954-1990. *Continental Shelf Research* 16 (11), 1996, 1463-1477.
29. Strömer O.: Climate change of impacts on coastal waters of the Baltic Sea. [In:] Schernewski G., Hofstede J., Neumann T. (Eds.), *Global change and Baltic coastal zones*. Springer, Dordrecht, 51-70, 2011.
30. Urbański J.: Upwellingi polskiego wybrzeża Bałtyku. *Przegląd Geofizyczny* 2, 1995, 141-153.
31. Warunki Środowiskowe Polskiej Strefy Południowego Bałtyku, 1986-2001, Materiały Oddziału Morskiego IMGW, Gdynia.
32. Zorita E., Laine A.: Dependence of salinity and oxygen concentrations in the Baltic Sea on large-scale atmospheric circulation. *Climate Research* 14, 2000, 25-41.