Charakterystyki i związki zasolenia wód na polskim wybrzeżu

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

Na polskim wybrzeżu zmienność zasolenia zarówno w czasie, jak i w przestrzeni zależy głównie od czynników hydrologiczno-meteorologicznych. Najważniejszą rolę odgrywają wlewy wód słonych z Morza Północnego i odpływ słodkich wód rzecznych [8,11]. Wlewające się oceaniczne słone wody w warstwach przydennych przez Cieśniny Duńskie i ich mieszanie się z wodami pochodzenia lądowego sprawiają, że zasolenie wód Bałtyku maleje w kierunku wschodnim i dalej w kierunku północnym [10]. Od Skagen do Arkony zasolenie wód powierzchniowych spada z 30 do 8 PSU (ang. *practical salinity units*) [2]. Dalej w kierunku wschodnim, pomijając rejony ujść rzecznych, spadek ten jest już bardzo niewielki i dla południowego Bałtyku zawiera się w przedziale od 8 do 7 PSU.

Pierwsze regularne pomiary zasolenia wód na polskim wybrzeżu rozpoczęto w Państwowym Instytucie Hydrologiczno-Meteorologicznym (obecnie Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej) w 1950 roku [7]. Pomiary te wykonywane były wówczas w ośmiu stacjach naszego wybrzeża, obejmującego nie tylko otwarte wody Bałtyku, ale także zalewy przybrzeżne. Wzdłuż polskiego wybrzeża pomiary zasolenia wykonywane były w Międzyzdrojach, Mielnie, Władysławowie, Helu, Gdyni i Gdańsku, a także w Tolkmicku (Zalew Wiślany) oraz w Pucku (Mała Zatoka Pucka). W następnych latach z przerwami pomiary wykonywano również w Świnoujściu (ujście Świny), Świbnie (ujście Wisły) i w Podgrodziu (Zalew Szczeciński). Najdłuższe ciągi pomiarów zasolenia od 1950 roku do czasów obecnych (2010 r.) są tylko dla stacji Międzyzdroje, Władysławowo, Hel, Gdynia i Tolkmicko. Dane te z przerwami zawarte są w materiałach i rocznikach wydawanych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Są to głównie Roczniki Hydrograficzne Morza Bałtyckiego (1946-1970) [12], Morskie Komunikaty Hydrologiczno-Meteorologiczne (1961-1990) [9] oraz Warunki Środowiskowe Polskiej Strefy Południowego Bałtyku (1986-2010) [14]. Zdarza się, że dane zawarte w tych materiałach mają niewielkie braki, które uzupełniono metodą korelacji i regresji. Poprawione, kompletne i jednorodne ciągi zasolenia dla wartości miesięcznych, sezonowych i rocznych z poszczególnych lat, głównie w latach 1950-2000, zostały zamieszczone w „Katalogu zasolenia…" [4].

Na podstawie tych materiałów i danych uzyskanych z archiwum Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej skompletowano dla stacji Międzyzdroje, Władysławowo, Hel, Gdynia i Tolkmicko dane o zasoleniu do 2010 roku. W pracy tej opublikowano informacje o zasoleniu naszego wybrzeża z okresu możliwie najdłuższego (1950-2010). Średnie i ekstremalne wartości miesięczne, sezonowe i roczne przedstawiono odpowiednio w tabl. 1, 2 i 3. Analizowano przyczyny zróżnicowania zasolenia wód w rejonach o różnych reżimach hydrologicznych oraz

Tabl. 1. Minimalne, średnie i maksymalne miesięczne zasolenie wód (PSU) u polskiego wybrzeża Bałtyku (1950-2010)

Stacje	Wartość	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Międzyzdroje	minimalna	5,71	5,21	4,57	4,73	4,50	4,13	5,24	5,37	4,70	4,50	5,34	5,52
	średnia	6,81	6,76	6,53	6,23	6,29	6,19	6,35	6,57	6,50	6,59	6,73	6,76
	maksymalna	8,26	8,72	7,90	7,87	7,69	7,28	7,13	7,36	7,47	7,68	7,88	8,23
Władysławowo	minimalna	6,94	6,97	6,86	6,95	6,76	6,95	6,90	6,72	6,83	6,82	6,91	6,10
	średnia	7,50	7,56	7,52	7,49	7,49	7,46	7,37	7,35	7,30	7,31	7,37	7,41
	maksymalna	8,21	8,31	8,19	8,10	7,97	8,02	7,88	7,79	8,18	7,95	8,01	9,14
Hel	minimalna	4,67	5,76	5,75	5,64	6,20	6,38	6,06	6,40	6,50	5,43	5,65	4,70
	średnia	7,25	7,38	7,35	7,16	7,08	7,13	7,20	7,17	7,22	7,24	7,31	7,24
	maksymalna	8,04	7,88	7,79	7,83	7,69	8,02	7,77	7,75	7,86	7,71	7,74	8,48
Gdynia	minimalna	4,66	5,86	6,58	6,00	5,84	6,32	5,87	6,19	6,64	6,63	6,65	4,05
	średnia	7,33	7,38	7,36	7,17	7,03	7,06	7,13	7,11	7,20	7,25	7,27	7,26
	maksymalna	8,07	7,83	7,80	7,92	7,73	7,89	7,79	7,72	7,62	7,86	7,74	7,90
Przeciętna	minimalna	5,50	5,95	5,94	5,83	5,83	5,95	6,02	6,17	6,17	5,85	6,14	5,09
	średnia	7,22	7,27	7,19	7,01	6,97	6,96	7,01	7,05	7,05	7,10	7,17	7,17
	maksymalna	8,15	8,19	7,92	7,93	7,77	7,80	7,64	7,66	7,78	7,80	7,84	8,44
Tolkmicko	minimalna	0,42	0,18	0,17	0,39	0,65	0,78	1,07	0,91	0,99	1,08	1,14	0,52
	średnia	2,26	1,57	1,50	1,95	1,94	2,07	2,42	2,65	2,96	3,15	3,41	3,01
	maksymalna	4,78	3,74	3,56	3,86	3,51	3,74	3,90	4,42	4,16	4,89	5,09	4,71

Tabl. 2. Minimalne, średnie i maksymalne sezonowe i roczne zasolenie wód oraz amplitudy (PSU) u polskiego wybrzeża Bałtyku (1950-2010)

Stacje	Wartość	XII-II	III-V	VI-VIII	IX-XI	I-XII	A I-XII
Międzyzdroje	minimalna	5,85	5,12	5,17	5,59	5,76	
	średnia	6,78	6,35	6,37	6,61	6,52	1,59
	maksymalna	8,05	7,59	7,12	7,39	7,35	
Władysławowo	minimalna	6,82	6,98	6,88	6,91	6,95	
	średnia	7,49	7,50	7,39	7,33	7,43	0,87
	maksymalna	8,21	7,95	7,90	7,83	7,82	
Hel	minimalna	5,80	6,40	6,30	6,59	6,58	
	średnia	7,28	7,20	7,17	7,26	7,23	1,1
	maksymalna	7,92	7,70	7,83	7,70	7,68	
Gdynia	minimalna	5,64	6,45	6,26	6,74	6,57	
	średnia	7,32	7,19	7,10	7,24	7,21	1,11
	maksymalna	7,89	7,67	7,71	7,64	7,68	
Przeciętna	minimalna	6,03	6,24	6,15	6,46	6,47	
	średnia	7,22	7,06	7,01	7,11	7,10	1,16
	maksymalna	8,02	7,73	7,64	7,64	7,63	
Tolkmicko	minimalna	0,82	0,43	1,09	1,15	1,29	
	średnia	2,30	1,80	2,38	3,17	2,41	2,33
	maksymalna	3,89	3,57	3,88	4,71	3,62	

w poszczególnych porach roku. Ponadto zbadano siłę związków zasolenia wody między wybranymi rejonami polskiego wybrzeża. Obecnie zasolenie wyraża się w jednostkach PSU i odpowiadają one liczbowo promilom (1‰ = 1 PSU).

WARTOŚCI MIESIĘCZNE, SEZONOWE I ROCZNE ZASOLENIA WÓD

Wzdłuż polskich brzegów Bałtyku większe zasolenie wód obserwuje się w miesiącach chłodnej niż ciepłej pory roku, zwłaszcza pod koniec zimy. W większości rejonów (Władysławowo, Hel, Gdynia) największe zasolenie występuje w lutym. W tym miesiącu przeciętne wartości zawierają się w przedziale od 7,38 (Hel, Gdynia) do 7,56 (Władysławowo), natomiast maksymalne miesięczne – od 7,83 do 8,72 PSU; a w grudniu we Władysławowie nawet – 9,14 PSU (tabl. 1). Z kolei w Międzyzdrojach największe zasolenie pojawia się nieco wcześniej, bo już w styczniu i jest znacznie niższe (6,81 PSU). Niższe zasolenie wód Zatoki Pomorskiej spowodowane jest wysładzającymi wodami rzecznymi (Odry). Najniższe zasolenie obserwuje się w miesiącach ciepłej pory roku, zwłaszcza na przełomie wiosny i lata (Międzyzdroje, Hel, Gdynia). Najniższe zasolenie w Międzyzdrojach występuje w czerwcu (6,19 PSU); w Gdyni (7,03 PSU) i w Helu (7,08 PSU) – w maju, a we Władysławowie we wrześniu (7,30 PSU; tabl. 1). Stosunkowo małe zasolenie pod koniec wiosny i na początku lata można wytłumaczyć głównie wzmożonym dopływem słodkich wód rzecznych, a także słabszym mieszaniem się wód bałtyckich.

Natomiast zasolenie zalewów przymorskich jest już znacznie słabsze niż morza. Najmniejsze przeciętne zasolenie (1,50 PSU) obserwuje się tam (Zalew Wiślany) nieco wcześniej niż w morzu, bo już na początku wiosny (marzec). Wcześniej też niż w morzu, bo już pod koniec jesieni (listopad), pojawia się najwyższe zasolenie (3,41 PSU) spowodowane wzmożonym napływem wód morskich w tym okresie (cofki).

Wartości sezonowe zasolenia wody są odzwierciedleniem zmienności wartości miesięcznych. Rozpatrując wartości przeciętne sezonowe należy stwierdzić, że największe zasolenie w wodach morskich występuje w zimie (tabl. 2). Natomiast w zalewach przymorskich najbardziej zasolone wody obserwuje się wcześniej niż w morzu, bo już jesienią. Wcześniejsze pojawienie się maksimów zasolenia w zalewach przymorskich niż w morzu można wyjaśnić szybszymi napływami wód bałtyckich do zalewów niż wód oceanicznych do Bałtyku w okresie występowania silnych sztormów jesienno-zimowych. W Bałtyku występuje również dłuższe mieszanie wód niż na zalewach przymorskich. Dotarcie i wymieszanie się wód oceanicznych (przydennych) z powierzchniowymi wodami u wybrzeży polskich wymaga więcej czasu niż wód morskich w zalewach przymorskich. Dłuższym przemieszczaniem i mieszaniem się wód przydennych z powierzchniowymi ku wschodowi Bałtyku można też wyjaśnić późniejsze występowanie maksimów zasolenia przy wschodnich (Władysławowo, Hel, Gdynia) niż przy zachodnich (Międzyzdroje) brzegach Bałtyku.

Analizując wartości przeciętne roczne zasolenie przy brzegach morskich naszego wybrzeża można zauważyć, że jest ono największe w rejonach najbardziej oddalonych od ujść rzecznych. Takim rejonem jest Władysławowo (7,43 PSU), które od-

Tabl. 3. Średnie roczne zasolenie wody (PSU) u polskiego wybrzeża Bałtyku w poszczególnych latach w okresie od 1950 do2010 roku

Lata	Międzyzdroje	Władysławowo	Hel	Gdynia	Średnia	Tolkmicko
1950	6,51	7,56	7,58	7,44	7,27	2,68
1951	6,79	7,36	7,36	7,35	7,22	1,93
1952	6,98	7,62	7,51	7,48	7,40	2,95
1953	6,30	7,38	7,25	7,21	7,03	2,24
1954	7,10	7,58	7,39	7,36	7,36	2,90
1955	6,44	7,55	7,43	7,36	7,19	2,32
1956	6,53	7,75	7,49	7,39	7,29	1,82
1957	6,57	7,61	7,31	7,33	7,21	1,91
1958	6,51	7,54	7,44	7,46	7,24	1,29
1959	6,73	7,39	7,23	7,22	7,14	2,32
1960	6,86	7,67	7,36	7,39	7,32	1,37
1961	6,30	7,20	7,09	7,12	6,93	2,36
1962	6,22	7,46	7,07	6,98	6,93	1,70
1963	6,63	7,48	7,07	6,91	7,02	2,11
1964	6,68	7,46	7,16	7,13	7,11	2,64
1965	6,17	7,50	7,30	7,30	7,07	2,29
1966	6,10	7,38	7,11	7,11	6,93	2,11
1967	6,25	7,22	7,14	7,20	6,95	2,07
1968	6,17	7,37	7,27	7,27	7,02	1,96
1969	6,66	7,57	7,45	7,31	7,25	2,90
1970	6,56	7,54	7,41	7,38	7,22	1,57
1971	6,29	7,41	7,24	7,17	7,03	2,13
1972	6,69	7,66	7,57	7,45	7,34	2,83
1973	6,86	7,58	7,50	7,40	7,33	2,67
1974	6,88	7,75	7,61	7,64	7,47	2,78
1975	6,64	7,63	7,51	7,40	7,29	2,42
1976	7,25	7,82	7,68	7,64	7,60	2,67
1977	5,93	7,46	7,22	7,35	6,99	2,08
1978	6,64	7,54	7,34	7,34	7,21	2,25
1979	6,42	7,58	7,09	7,15	7,06	1,58
1980	6,36	7,51	7,33	7,33	7,13	1,42
1981	6,30	7,41	7,33	7,39	7,11	1,55
1982	6,32	7,32	7,18	7,24	7,01	1,86
1983	7,21	7,65	7,47	7,48	7,45	2,64
1984	7,35	7,65	7,63	7,68	7,58	3,09
1985	6,36	7,25	7,15	7,19	6,99	1,84
1986	6,26	7,21	7,15	6,93	6,88	2,04
1987	6,15	7,41	7,22	7,26	7,01	1,62
1988	6,21	7,36	7,32	7,29	7,05	2,07
1989	6,90	7,35	7,24	7,17	7,17	3,45
1990	7,23	7,57	7,50	7,45	7,43	3,62
1991	6,58	7,21	7,23	7,19	7,05	2,82
1992	6,84	7,36	7,29	7,22	7,18	3,55
1993	7,10	7,53	7,39	7,33	7,34	3,00
1994	6,26	7,28	7,01	7,07	6,90	2,87
1995	6,59	7,36	7,17	7,10	7,05	3,03
1996	6,25	7,38	6,79	7,09	6,88	1,86
1997	6,24	7,27	7,10	7,15	6,94	3,10
1998	6,13	7,17	6,90	7,08	6,82	2,33
1999	5,76	6,95	6,58	6,69	6,50	1,89
2000	6,88	7,37	7,08	7,11	7,11	3,01
2001	5,96	7,14	6,93	6,81	6,71	2,66
2002	6,07	6,95	6,71	6,57	6,58	2,39
2003	6,35	7,15	6,95	6,93	6,85	2,72
2004	6,52	7,23	6,96	6,91	6,91	2,68
2005	6,71	7,38	7,17	7,04	7,08	2,97
2006	6,47	7,26	6,76	6,72	6,80	3,02
2007	6,71	7,49	7,16	7,19	7,14	3,23
2008	6,60	7,46	7,17	7,04	7,07	3,03
2009	6,83	7,51	7,12	7,12	7,14	2,66
2010	5,82	7,37	6,77	7,00	6,74	2,10
Średnia	6,52	7,43	7,23	7,21	7,10	2,41

izolowane jest od wód rzecznych Wisły Mierzeją Helską. Nieco niższe zasolenie jest w Helu (7,23 PSU) i w Gdyni (7,21 PSU), która położona jest najbliżej ujścia Wisły. Znacznie niższe zasolenie obserwuje się w Międzyzdrojach (6,52 PSU; tabl. 2), które usytuowane są blisko ujść Świny i Dziwny. Odwrotne wartości przyjmuje amplituda zasolenia $A_{I\text{-}XII}$. Najwyższa amplituda wartości rocznych (1950-2010) dotyczy rejonu będącego pod silnym wpływem wód rzecznych (Międzyzdroje – 1,59 PSU). Nieco niższe amplitudy są w Gdyni (1,11 PSU) i Helu (1,10 PSU), a najniższa we Władysławowie (0,87 PSU; tabl. 2), gdzie stosunkowo najsłabiej oddziałują wody rzeczne.

Rozpatrując wartości ekstremalne najwyższe roczne zasolenie, ono również dominuje we Władysławowie. Te ekstrema wystąpiły w 1976 roku (Władysławowo – 7,82 PSU, Hel – 7,68 PSU) oraz w roku 1984 (Gdynia – 7,68 PSU; Międzyzdroje – 7,35 PSU; tabl. 3). Znamienne jest to, że w latach tych zdecydowanie dominowała cyrkulacja atmosferyczna z kierunków wschodnich i południowych [5]. Taka cyrkulacja sprzyjała pojawianiu się upwellingów, czyli prądom oddolnym wynoszącym na powierzchnię bardziej zasolone wody z głębszych warstw morza. Przy polskich brzegach w rejonie wystąpienia upwellingu w porównaniu do rejonów sąsiednich zasolenie może być wyższe nawet o 10 PSU [13].

Na polskim wybrzeżu najniższe zasolenie występuje na zalewach przymorskich. W Zalewie Wiślanym średnie roczne zasolenie wynosi 2,41 PSU (tabl. 3), a w Zalewie Szczecińskim nawet poniżej 1 PSU (0,81) [4].

ZWIĄZKI ZASOLENIA WÓD

Między rejonami polskiego wybrzeża występują przeważnie dość silne związki zasolenia wody. Najsilniejsze związki dotyczą rejonów położonych najbliżej siebie i o podobnym reżimie hydrologicznym. Są to związki między rejonami Gdyni, Helu i Władysławowa. Współczynniki korelacji dla związków miesięcznych, sezonowych i rocznych zawierają się w przedziale od 0,35 do 0,92. Są one wysoce istotne statystycznie na poziomie $\alpha \leq 0{,}01$; a większość związków jest istotna nawet na poziomie $\alpha \leq 0{,}001$. Przykłady najsilniejszych związków zasolenia przedstawiono na rys. 1. Najsilniejszy związek jest między Gdynią i Helem w lecie ($r = 0{,}93$). Współczynnik determinacji r^2 ma wartość 0,86, co oznacza, że zmienność zasolenia wody w lecie w Gdyni jest w 86% wyjaśniona zmiennością zasolenia w Helu. Natomiast współczynnik regresji (a) tego związku wynosi około 0,98 (rys. 1b). Oznacza to, że wzrost zasolenia w Helu o 1 PSU przejawi się wzrostem zasolenia w Gdyni w tym sezonie średnio o około 0,98 PSU. Oprócz lata korelacja prawie pełna ($r = 0{,}92$) jest tam również dla wartości rocznych (tabl. 4).

Dość silne związki zasolenia są również między wodami ujścia Świny (Świnoujście) i Zalewem Szczecińskim (Podgrodzie). Rejony te nieco różnią się reżimem hydrologicznym, bowiem Zalew Szczeciński wypełniony jest głównie wodami rzecznymi o zasoleniu przeważnie poniżej 1 PSU, natomiast ujście Świny jest pod silniejszym wpływem wód morskich o średnim rocznym zasoleniu około 3 PSU [4]. Niemniej jednak rejony te pozostają w silnym kontakcie hydraulicznym, przejawiającym się intensywnymi napływami i odpływami wód. Znajduje to odzwierciedlenie nie tylko w podobnych wahaniach poziomów wody, ale także i zasolenia. Współczynniki korelacji między tymi rejonami dla związków miesięcznych, sezonowych i rocznych zawierają się w przedziale od 0,05 do 0,85 (tabl. 4). Oprócz marca ($r = 0{,}05$) są to związki istotne statystycznie. W marcu bowiem rozpoczyna się wzmożony odpływ wód roztopowych, które zbyt silnie kontrastują ze słonawymi wodami Zatoki Pomorskiej. W styczniu związki są istotne na poziomie $\alpha \leq 0{,}05$, a pozostałe – nawet na poziomie $\alpha \leq 0{,}001$. Najsilniejsze związki występują w miesiącach jesiennych ($r = 0{,}64 \div 0{,}81$) oraz dla wartości rocznych ($r = 0{,}83$) i sezonowych, zwłaszcza jesienią ($r = 0{,}85$), kiedy zmienność zasolenia w Podgrodziu jest w 72% wyjaśniona zmiennością zasolenia w Świnoujściu. Wzrost zasolenia w Świnoujściu o 1 PSU spowoduje wzrost zasolenia w Podgrodziu w tym sezonie średnio o około 0,46 PSU.

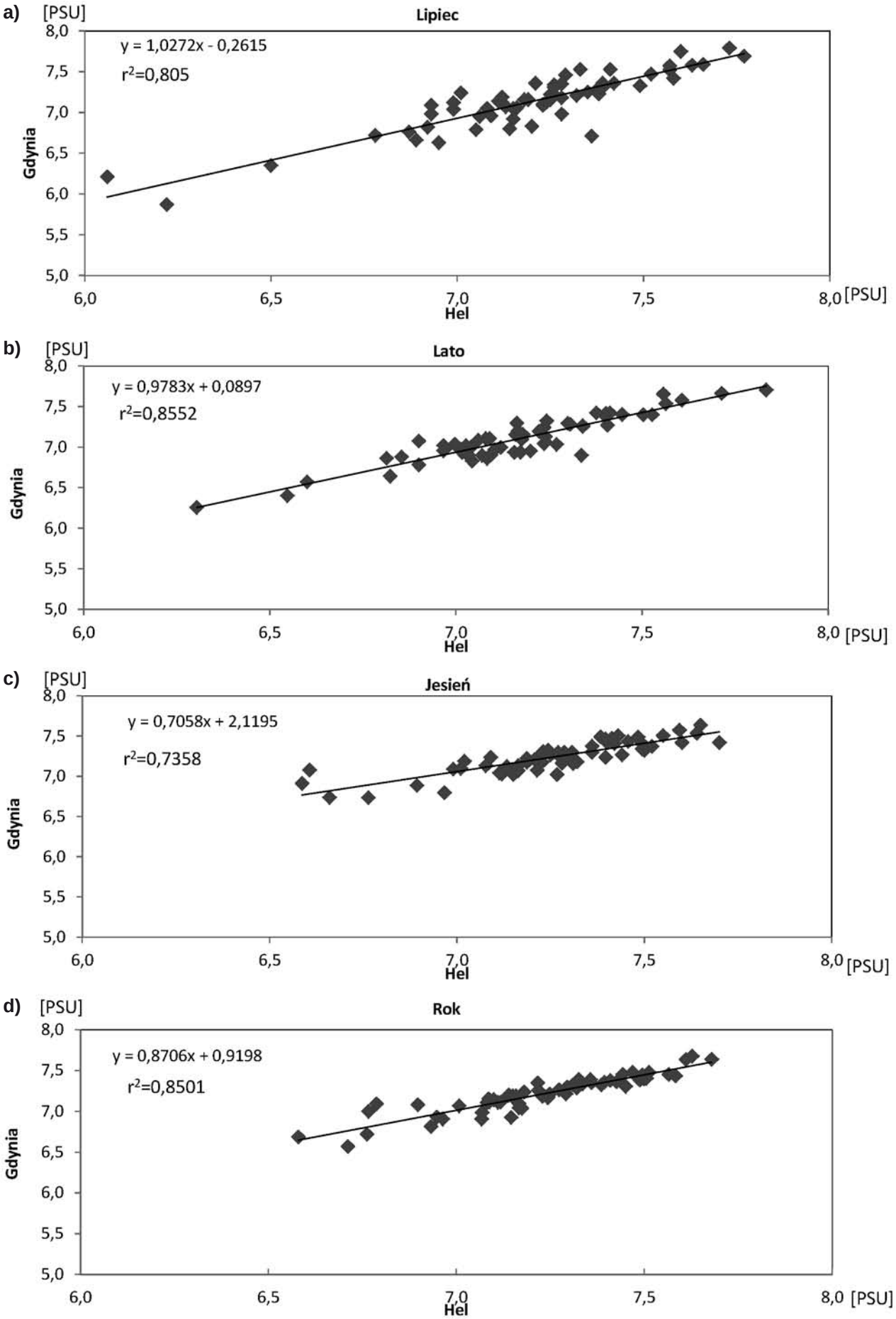
Nieco słabsze związki zasolenia występują między rejonami na zachodnim wybrzeżu Bałtyku, tj. między Świnoujściem i Międzyzdrojami. Choć te stacje położone są najbliżej siebie spośród pozostałych rejonów, to jednak różnią się reżimem hydrologicznym. Świnoujście bowiem położone jest przy ujściu Świny i jest pod silnym wpływem wód odrzańskich, natomiast Międzyzdroje reprezentują wody morskie. Współczynniki korelacji związków zasolenia między tymi rejonami, dotyczących wartości miesięcznych, sezonowych i rocznych, zawierają się w przedziale od 0,09 do 0,78 (tabl. 4). Są to związki w większości istotne statystycznie przynajmniej na poziomie $\alpha \leq 0{,}01$. Najsilniejsze związki występują pod koniec roku, głównie w grudniu ($r = 0{,}78$). Jest to korelacja bardzo wysoka o współczynniku determinacji wynoszącym $r^2 = 0{,}61$. Oznacza to, że w grudniu zmienność zasolenia w Świnoujściu jest w 61% tłumaczona zmiennością zasolenia w Międzyzdrojach.

Znacznie słabsze związki zasolenia występują między rejonami bardziej oddalonymi od siebie, choć o podobnym reżimie hydrologicznym, np. między Międzyzdrojami i Władysławowem. Ma na to wpływ powolna propagacja i rozpraszanie się słonych wód z Cieśnin Duńskich w kierunku wschodnim. Współczynniki korelacji tych związków nie są już tak wysokie i zawierają się w przedziale od 0,21 do 0,65 (tabl. 4). W niektórych miesiącach (VI, XII) związki te na poziomie $\alpha \leq 0{,}05$ są nieistotne statystycznie. Wysokie korelacje dotyczą zaś związków sezonowych ($r = 0{,}49 \div 0{,}64$) i związku dla wartości rocznych ($r = 0{,}63$). Są one istotne statystycznie nawet na poziomie $\alpha \leq 0{,}001$. Przykłady tych związków sezonowych przedstawiono na rys. 2. Należy zauważyć, że spośród tych związków zasolenia najsłabszy jest związek wiosną. Na słabszą korelację ma tu wpływ małe zróżnicowanie zasolenia we Władysławowie, a więc mały kąt nachylenia prostej regresji (mały współczynnik regresji – $a = 0{,}19$; rys. 2b).

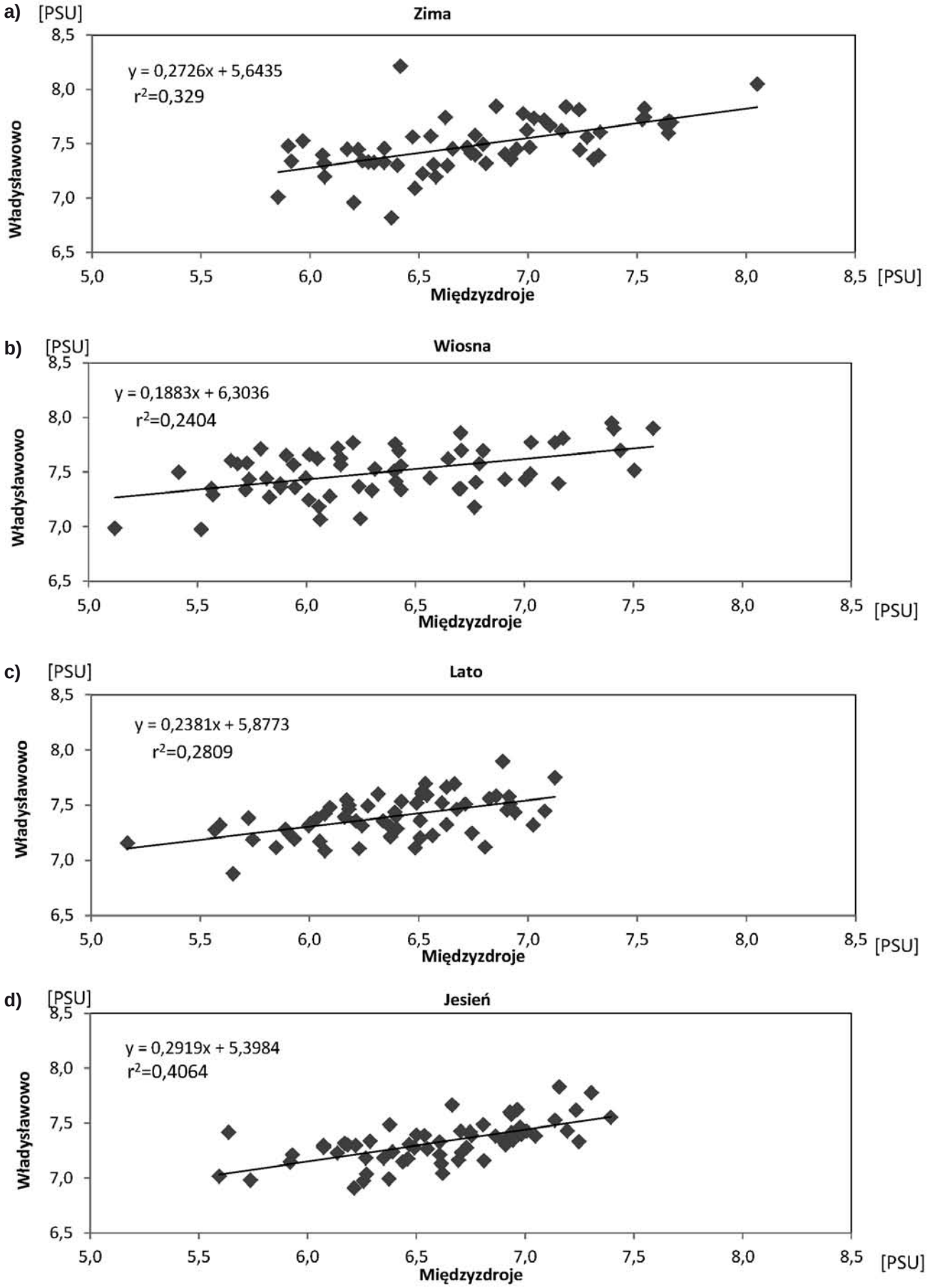
Nieistotne statystycznie są natomiast związki zasolenia między rejonami morskimi (Gdynia, Hel) a Zalewem Wiślanym (Tolkmicko). Ich współczynniki korelacji są bardzo niskie ($r < 0{,}24$). Rejony te charakteryzują się odmiennym reżimem hydrologicznym i słabym kontaktem hydraulicznym.

UWAGI KOŃCOWE

U polskich wybrzeży największe wartości zasolenia wód występują w rejonach najbardziej oddalonych od ujść dużych rzek. Wraz ze wzrostem odległości od ujścia rzeki wzrasta zasolenie, natomiast maleje amplituda zasolenia. Dobrym przy-



Rys. 1. Najsilniejsze związki zasolenia wody miedzy Gdynią i Helem w lipcu (a), latem (b), jesienią (c) i dla wartości rocznych (d) w okresie 1950-2010



Rys. 2. Związki zasolenia wody miedzy Władysławowem i Międzyzdrojami w zimie (a), wiosną (b), latem (c) i jesienią (d) w okresie 1950-2010

Tabl. 4. Współczynniki korelacji (r) dla związków miesięcznych, sezonowych i rocznych zasolenia wody między stacjami polskiego wybrzeża (1950-2010)

Miesiące i sezony	Świnoujście – Podgrodzie 1	Świnoujście – Międzyzdroje 2	Międzyzdroje – Władysławowo	Władysławowo – Hel	Władysławowo – Gdynia	Hel – Gdynia	Hel – Tolkmicko	Gdynia – Tolkmicko
I	0,278	0,289	0,596	0,422	0,469	0,697	0,124	-0,099
II	0,544	0,087	0,561	0,372	0,345	0,509	0,022	0,041
III	0,048	0,423	0,507	0,416	0,450	0,469	0,008	0,225
IV	0,688	0,511	0,283	0,488	0,513	0,814	0,125	0,211
V	0,599	0,286	0,384	0,418	0,363	0,828	0,097	0,007
VI	0,474	0,498	0,231	0,653	0,571	0,842	0,189	0,084
VII	0,557	0,315	0,280	0,664	0,624	0,897	0,133	0,086
VIII	0,724	0,303	0,653	0,686	0,600	0,810	0,181	0,224
IX	0,757	0,689	0,614	0,776	0,590	0,798	0,077	-0,044
X	0,834	0,471	0,490	0,423	0,592	0,620	-0,069	-0,078
XI	0,648	0,560	0,458	0,526	0,673	0,706	0,050	-0,037
XII	0,812	0,782	0,213	0,527	0,623	0,751	0,240	0,133
XII-II	0,606	0,559	0,574	0,571	0,648	0,741	0,222	0,082
III-V	0,715	0,655	0,490	0,551	0,517	0,841	0,174	0,203
VI-VIII	0,694	0,533	0,530	0,816	0,761	0,925	0,174	0,123
IX-XI	0,851	0,781	0,638	0,759	0,796	0,858	0,030	-0,064
I-XII	0,827	0,729	0,634	0,819	0,819	0,922	0,111	-0,006

Dane z okresu:1/ 1956-1980, 2/ 1953-1980

kładem mogą być rejony pozostające pod wpływem wód Wisły. W Gdańsku-Nowym Porcie średnie roczne zasolenie wynosi zaledwie 5,99 PSU [1], w Gdyni – 7,21 PSU, w Helu – 7,23 PSU, a we Władysławowie, najbardziej oddalonym od ujścia Wisły, aż 7,43 PSU (tabl. 3). Największe zasolenie występuje w okresie zimowym. Przyczyną tego są sztormowe wiatry w okresie jesienno-zimowym wywołujące intensywne mieszanie się wód i podnoszenie ku powierzchni wód bardziej zasolonych. Duży wpływ na wzrost zasolenia, a zwłaszcza na ich wartości ekstremalne, mają upwellingi. W wyniku wiatru z kierunków wschodnich wynoszone są ku powierzchni wzdłuż polskich brzegów Bałtyku wody bardziej zasolone z warstw głębszych [6, 13]. Wzrostowi zasolenia sprzyja również cyrkulacja atmosferyczna z kierunków wschodnich, która generuje wiatry o zbliżonych kierunkach. Dla przykładu, współczynnik korelacji zasolenia z cyrkulacją południowo-wschodnią antycyklonalną (SEa) w zimie (XII-II) w Międzyzdrojach wynosi 0,55. Związek ten jest istotny statystycznie na poziomie $\alpha \leq 0{,}001$ [3].

Najmniejsze zasolenie obserwuje się przeważnie w okresie wiosenno-letnim, na co decydujący wpływ ma intensywny dopływ wiosennych wód rzecznych pochodzących z roztopów. Wraz z odległością od ujścia, zwłaszcza dużych rzek (Odra, Wisła), minima zasolenia występują później. Najwcześniej, bo już wiosną, najmniejsze zasolenie występuje w zalewach przymorskich i w ujściach rzek. Latem wody rzeczne zmniejszają zasolenie w rejonach położonych dalej od ujść rzecznych. Najpóźniej, bo na początku jesieni, minimum zasolenia obserwuje się w rejonach najbardziej odizolowanych od ujść rzecznych (Władysławowo).

W cyklu rocznym przy polskich brzegach Bałtyku można zauważyć, że generalnie począwszy od przełomu wiosny i lata (V-VI) następuje nieznaczny wzrost zasolenia aż do końca zimy (II). Wiosną (III-V) obserwuje się nagły spadek zasolenia, osiągając minimum na przełomie wiosny i lata.

Między rejonami wzdłuż polskich brzegów Bałtyku istnieją generalnie dość silne związki zasolenia wód. Są to przeważnie korelacje wysokie ($r = 0{,}5 \div 0{,}7$) i bardzo wysokie ($0{,}7 \div 0{,}9$) o istotności statystycznej nawet $\alpha \leq 0{,}001$. Najsilniejsze związki zachodzą między rejonami położonymi najbliżej siebie o podobnym reżimie hydrologicznym. Dość silne związki są też między akwenami o silnym kontakcie hydraulicznym (ujście Świny – Zalew Szczeciński).

Silniejsze związki dotyczą wartości z dłuższych uśrednionych okresów, tj. związków sezonowych, a zwłaszcza dla wartości rocznych, w porównaniu ze związkami miesięcznymi. Można to wytłumaczyć redukcją wartości zbyt dużych i małych (ekstremalnych). Takie uśrednione (wygładzone) dane charakteryzują się mniejszym rozrzutem punktów empirycznych wzdłuż prostej regresji w układzie współrzędnych prostokątnych, a więc silniejszą korelacją.

Silne związki o korelacji bardzo wysokiej i prawie pełnej mogą mieć pewne znaczenie prognostyczne. Związki te mogą być przydatne do uzupełniania brakujących danych – wartości miesięcznych, sezonowych i rocznych dla rejonów położonych najbliżej siebie.

LITERATURA

1. Cyberska B.: Zasolenie wód Basenu Gdańskiego. W: Zatoka Gdańska, A. Majewski (red.), Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1990.

2. Cyberska B.: Zasolenie wody. W: A. Majewski, Z. Lauer (red.), Atlas Morza Bałtyckiego. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 1994.

3. Girjatowicz J. P.: Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na zasolenie wód u południowych brzegów Zatoki Pomorskiej. Wiadomości IMGW, z.4, 2002.

4. Girjatowicz J. P.: Katalog zasolenia i stanów wody polskiego wybrzeża Bałtyku. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2008.

5. Girjatowicz J. P., Świątek M., Olechwir T.: Katalog cyrkulacji i opadów atmosferycznych na polskim wybrzeżu Bałtyku. Rozprawy i Studia, T. 774, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin 2011.

6. Krężel A.: Identyfikacja mezoskalowych anomalii hydrofizycznych w morzu płytkim metodami szerokopasmowej teledetekcji satelitarnej. Rozprawy i Monografie nr 233, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1997.

7. Majewski A.: Charakterystyka hydrologiczna Zatoki Pomorskiej. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1974.

8. Majewski A.: Charakterystyka wód. W: Bałtyk Południowy. B. Augustowski (red.), Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk 1987.

9. Morski Komunikat Hydrologiczno-Meteorologiczny, 1961-1990. Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Gdynia.

10. Piechura J.: Rola wód Morza Północnego w kształtowaniu warunków hydrologicznych Bałtyku. Prace PIHM, z.98, Warszawa 1970.

11. Piechura J.: Oddziaływanie wlewów z Morza Północnego na warunki hydrologiczne Bałtyku. Przegląd Geofizyczny 12 (1), 1967.

12. Rocznik Hydrograficzny Morza Bałtyckiego, 1951-1970. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.

13. Urbański J.: Upwellingi polskiego wybrzeża Bałtyku. Przegląd Geofizyczny 40 (2), 1995.

14. Warunki Środowiskowe Polskiej Strefy Południowego Bałtyku, 1986-2010, Materiały Oddziału Morskiego IMGW, Gdynia.