

## BADANIE CHEMIZMU WÓD UKŁADU HYDRODYNAMICZNEGO JEZIORA DRUZNO

ROMAN CIEŚLIŃSKI

Uniwersytet Gdański, Katedra Hydrologii, ul. Dmowskiego 16a, 80-952 Gdańsk

Keywords: quality waters, coastal lake, full intrusion, incomplete intrusion.

### STUDY OF WATER CHEMISM IN HYDROKINETIC ARRANGEMENT OF LAKE DRUZNO

The purpose of this paper was to study the water chemism in hydrokinetic arrangement Elbląg Bay – Elbląg River – Lake Druzno, which may be qualified as quasiestuary arrangement because of only periodical penetration of salty waters upwards of it. The measurements showed, that in about 20% of taken samples these was evidence of water intrusion from the Vistula Bay to estuary. It was found out that inlets were either into the whole estuary, so-called complete intrusion, or only into the part of it, in such case, salty waters reached only the northern part of Lake Druzno, so-called incomplete intrusion. The registered inlets occurred only in favorable hydrometeorological conditions. The kind of intrusion, complete or incomplete, was depended of hydrometeorological situation.

#### Streszczenie

Celem niniejszej pracy było badanie chemizmu wód układu hydrograficznego Zatoka Elbląska – rzeka Elbląg – jezioro Druzno tworzącego zwarty układ hydrodynamiczny, który można określić jako quasiestuariowy. Quasiestuariowy, gdyż dochodzi tu jedynie do okresowych, a nie cyklicznych penetracji wód słonych w górę tego układu. Wykonane pomiary wykazały, że około 20% pobranych prób dokumentuje wystąpienie wlewów wód Zalewu Wiślanego do estuarium. Stwierdzono, że wlewy obejmowały bądź całe estuarium tzw. wlewy pełne albo tylko jego część, w których wody słone docierały tylko do północnego akwenu jeziora Druzno tzw. wlewy niepełne. Zarejestrowane wlewy wystąpiły tylko przy sprzyjających warunkach hydrometeorologicznych. Właśnie od sytuacji hydrometeorologicznej zależało czy wystąpił wlew pełny czy niepełny.

#### WSTĘP

Literatura fachowa bardzo wiele miejsca poświęca zagadnieniom jakości wód powierzchniowych i podziemnych. Niestety z zasady jest ona oparta o przyporządkowanie uzyskanych wyników laboratoryjnych do trzech klas czystości wody dla wód śródlądowych lub wód morskich, bądź w przypadku jezior poprzez zastosowanie systemu oceny jakości i klasyfikacji jezior [9]. Powyższe klasyfikacje mijają się niestety

z celem w przypadku większości obiektów hydrograficznych polskiej strefy brzegowej południowego Bałtyku, w tym także w przypadku jezior przybrzeżnych. Obiekty te stanowią bowiem strefę przejściową, gdzie zachodzą procesy wzajemnego oddziaływania na siebie wód pochodzenia morskiego i lądowego. Ma miejsce wtedy wyraźny proces mieszania się wód o odmiennych cechach fizyczno-chemicznych przez co niemożliwe jest zastosowanie powyższych klasyfikacji ze względu na dużą rozpiętość uzyskiwanych wyników laboratoryjnych. Związane jest to z chwilowym lub stałym wzrostem niektórych wskaźników chemicznych, których wartości zbliżone są okresowo do wartości obserwowanych w morzu bądź w wodach śródlądowych, a najczęściej są to wartości pośrednie między wodami morskimi i śródlądowymi.

### CEL I ZAKRES PRACY

Celem pracy było znalezienie takiej definicji jakości wody, którą można wykorzystać w przypadku jezior strefy brzegowej i rzek mających bezpośrednie ujście do morza, ze szczególnym naciskiem na okresy wlewów wód słonych.

Na wstępie pracy przyjęto założenie, że skład fizyczno-chemiczny wód wybranego obiektu hydrograficznego strefy pobraża południowo-bałtyckiego (jeziro Druzno) zależy od dopływu ze zlewni wody, której jakość jest wynikiem działalności rolniczej człowieka, odprowadzania ścieków komunalnych i przemysłowych, a jest tylko modyfikowana przez wlewy wód słonawych.

Na bazie tak postawionej tezy wyznaczono cele cząstkowe, które określono jako:

- wyznaczenie wielkości wpływu wody morskiej na stan jakości wód jeziora Druzno;
- znalezienie wskaźników fizyczno-chemicznych, które określiłyby wpływy wód słonawych na wody jeziora Druzno;
- określenie kierunków i zasięgów przestrzennych migrujących wód zalewowych;
- określenie częstotliwości występowania wlewów;
- ustalenie najważniejszych uwarunkowań stanu jakościowego wód jeziora Druzno.

Wstępnie ustalono, że pod pojęciem jakości wody należy rozumieć zespół właściwości fizyczno-chemicznych wyróżniających daną wodę od innych, a także całością cech, istotnych ze względu na strukturę wewnętrzną oraz ze względu na jej stonki, oddziaływania i związki z otoczeniem.

Zakres przestrzenny pracy objął akwen jeziora Druzno, rzekę Elbląg wraz z dopływami oraz cieki uchodzące do jeziora Druzno, a także południowo-zachodnią część Zalewu Wiślanego wraz z Zatoką Elbląską.

### UWARUNKOWANIA ZJAWISKA PRZENIKANIA WÓD ZALEWOWYCH DO WÓD LĄDOWYCH

Czynnikiem determinującym okresowe „wpychanie” do jeziora Druzno i rzek strefy brzegowej wody słonej, jest ilość wody w Zalewie Wiślanym. Stan napełnienia Zalewu Wiślanego jest natomiast uwarunkowany poziomem wód Zatoki Gdańskiej, a przede wszystkim poziomem u wschodnich jej wybrzeży – w rejonie Bałtyjska.

Wezbrania sztormowe wywołują wahania poziomów wody, a ściślej wiatr występujący bezpośrednio nad Zalewem Wiślanym. Największe tego typu wezbrania występują przy wiatrach wiejących wzdłuż podłużnej osi zalewu z kierunku NE, nieco mniejsze przy wiatrach z kierunków N i E. W tym samym czasie, w północno-wschodniej części Zalewu Wiślanego następuje obniżenie poziomu wody [18].

Cechą charakterystyczną obszaru badań jest przede wszystkim wymuszony obieg wody i izolacja obiegu wód autochtonicznych od wód allochtonicznych. Odpływ wód jest stymulowany przez system przepompowni. Szacuje się, że ze zlewni jeziora Druzzno odpływa średnio rocznie około  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  wody [11]. Dominującym elementem zlewni jeziora jest gęsta sieć kanałów i rowów odwadniających łączących elementy sieci hydrograficznej. Są one ograniczone sztucznymi działaniami wodnymi, które tworzą wały i groble otaczające poldery. Dominującym przedziałem gęstości sieci wodnej na Żuławach Elbląskich jest przedział od 8 do  $18 \text{ km}/\text{km}^2$ , który obejmuje 60,7% powierzchni. Wartości maksymalne powyżej  $20 \text{ km}/\text{km}^2$  występują w czterech bardziej zwartych obszarach. Trzy z nich układają się wokół jeziora Druzzno – na zachód, południowy-wschód i południowy-zachód od jeziora, czwarty zaś, odsunięty od jeziora w kierunku zachodnim na około 7 – 8 km. Rozciąga się on wzdłuż lewego brzegu środkowego odcinka rzeki Fiszewki [1].

Odpływ ze zlewni jeziora Druzzno odbywa się rzeką Elbląg, która stanowi oś hydrograficzną obszaru badań [6]. Duży udział w przepływach rzeki wahający się od 22% do 33% mają wody z Zalewu Wiślanego [12]. Wskutek spiętrzania wód zalewu pod wpływem wiatru następuje bowiem zmiana kierunku przepływu wody na rzece Elbląg. Efektem tego jest zahamowanie odpływu wód rzecznych do Zalewu Wiślanego i napływ wód morskich w ujściowy odcinek rzeki i do jeziora Druzzno.

Porównując składy chemiczne słonych wód morskich i słodkich wód lądowych dostrzeżemy różnice zarówno jakościowe jak też ilościowe (Tab. 1).

Tabela 1. Procentowy udział jonów występujących w wodzie morskiej i rzecznej  
Proportional part of ions in sea and river water

Jony Ions	Woda morska Sea water	Woda rzeczna River water
	[16]	[14]
Na <sup>+</sup>	30,4	5,3
K <sup>+</sup>	1,1	2,3
Ca <sup>2+</sup>	1,2	12,5
Mg <sup>2+</sup>	3,7	3,4
Cl <sup>-</sup>	55,2	6,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,4	49,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7,7	9,3

Różnice jakościowe polegają przede wszystkim na tym, że w wodach morskich główną solą jest chlorek sodu, podczas gdy w wodach lądowych dwuwęglan wapnia. Różnice ilościowe wyrażają się tym, że stężenie soli rozpuszczalnych w wodach morskich jest średnio 100 razy wyższe niż w wodach słodkich [15]. Poza tymi różnicami, istnieje jeszcze jedna zasadnicza rozbieżność: wzajemne stosunki stężeń podstawowych składników soli w wodzie morskiej są w przybliżeniu stałe, gdy tymczasem woda słodka wyraźnie różni się jedna od drugiej, w zależności od skał, po których przepływa, bądź od ilości materii organicznej którą posiada. Z kolei w przypadku wody jeziornej

skład jest podobny do składu wody rzek zasilających te jeziora lub w przypadku jezior przybrzeżnych i bezodpływowych okresowo do składu soli wody morskiej [14]. Może być on także modyfikowany poprzez bezpośrednią lub pośrednią działalność człowieka [17].

### CHARAKTERYSTYKA HYDROLOGICZNA JEZIORA DRUZNO

Jezioro Druzno mimo dość znacznego oddalenia znajduje się w związku hydraulicznym z wodami Zatoki Elbląskiej i Zalewu Wiślanego nie tylko przez fakt połączenia rzeką Elbląg, ale przede wszystkim przez minimalną różnicę poziomów wody w jeziorze i zatoce – średnio zaledwie około 0,1 m.

Powierzchnia lustra wody w jeziorze przy średnim stanie wody wynosi około 1450 ha, jego głębokość średnia to zaledwie około 1,2 m, a głębokość maksymalna 3,0 m [3]. Kształt jeziora jest mocno wydłużony w kierunku południowym z lekkim odchyleniem na wschód. Największa szerokość wynosi 2,2 km. Przewężenie w środku długości jeziora wynosi zaledwie 0,5 km.

Morfometria jeziora wskazuje, że można je zaliczyć do polimiktycznego ustroju termiczno-dynamicznego. Niewielka głębokość jeziora sprzyja występowaniu w ciągu roku licznych okresów pełnej cyrkulacji [19]. W takich warunkach niemal każde oddziaływanie wiatru prowadzi do likwidacji rozkładu pionowego temperatury.

### MATERIAŁY I METODY

Badania terenowe prowadzono od marca 1997 roku do października 1999 roku [5]. W tym czasie wykonano kartowanie hydrograficzne zlewni jeziora Druzno oraz 35-krotny pobór próbek wody, pobierając łącznie około 6000 próbek wody do analizy laboratoryjnej.

W celu realizacji badań wyznaczono ponad 20 stanowisk poboru próbek (Rys. 1) na jeziorze Druzno, większych dopływach do jeziora, rzece Elbląg, Zalewie Wiślanym i Zatoce Elbląskiej.

Pobieranie, przechowywanie i utrwalanie próbek odbywało się zgodnie z zaleceniami podanymi w Normach Polskich. Analizy chemiczne pobranych próbek wody wykonano w laboratorium Katedry Hydrologii UG. Obejmowały one określenie stężeń sodu, potasu, magnezu, chlorków, wodorowęglanów, siarczanów oraz ustalenie poziomu przewodności właściwej.

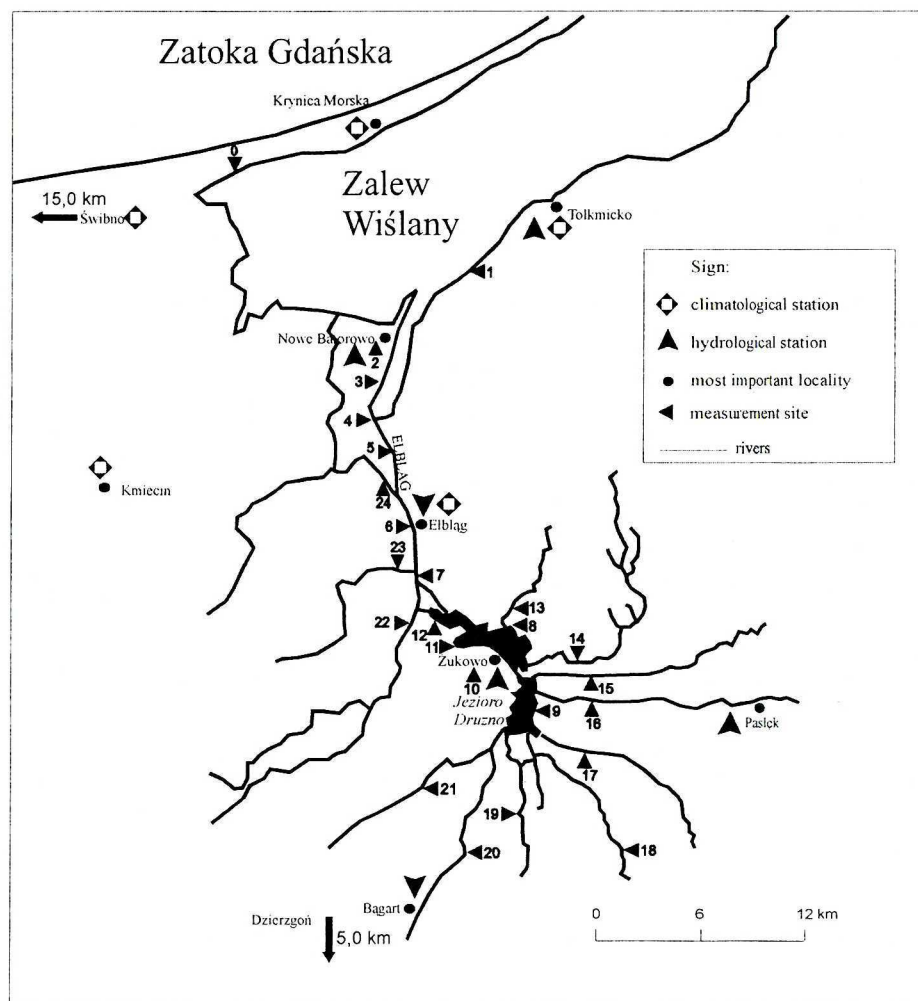
Oznaczenia chlorków oraz siarczanów wykonywane były fotometrem MPM – 3000 firmy WTW, zgodnie z instrukcją dołączoną do fotometru.

Sód i potas określono metodą potencjometryczną z użyciem potencjometrów z elektrodami jonoselektywnymi i elektrodami odniesienia. Badania wykonano przy użyciu jonometru mikrokomputerowego CI – 316 firmy Elmetron.

Magnez oznaczono metodą miareczkową z użyciem wersenianu disodu wobec mureksydu.

Przewodność elektrolityczna wyznaczana była przy pomocy konduktometru typu CC – 211 firmy Elmetron wyposażonego w elektrodę firmy Eurosensor EPS – 2 z.

Twardość węglanowa (wodorowęglany) oznaczana była metodą miareczkową, kwasem chlorowodorowym wobec oranżu metylowego.



Rys. 1. Lokalizacja własnych punktów pomiarowych  
Situation of own measurement sites

W pracy wykorzystano również wyniki pomiarów prędkości i kierunku wiatru dla posterunków klimatologicznych zlokalizowanych w miejscowościach Elbląg, Kmiecin i Świbno oraz dane o stanach wody na Zalewie Wiślany, rzece Elbląg i jeziorze Drużno dla trzech posterunków wodowskazowych usytuowanych w Nowym Batorowie, Elblągu i Żukowie dla lat 1997–1999.

Procentowy udział wody zalewowej w wodach jeziora Drużno i rzeki Elbląg obliczono ze wzoru [2]:

$$[Q_z : (Q_z + Q_c)] * 100\% = (1 + \eta^{-1})^{-1} * 100\% \quad (1)$$

Został on wyznaczony na podstawie wskaźnika mieszania  $\eta$  [13] opisującego ilościowo zjawisko mieszania się wód. Formuła tego wzoru przedstawiona została poniżej:

$$\eta = Q_Z : Q_C \quad (2)$$

gdzie:

$Q_Z$  – ilość wody zalewowej (w  $m^3$ );  $Q_C$  – ilość wody słodkiej (ciekowej) (w  $m^3$ ).

Z kolei:

$$Q_Z : Q_C = \frac{c-b}{a-c} \quad (3)$$

gdzie:

- a – stężenie średnie jonu chlorkowego w wodach Zalewu Wiślanego,
- b – stężenie jonu chlorkowego w wodach słodkich, na ciekach dopływających do jeziora Druzno (do obliczeń użyto średnią wartość stężenia obliczoną dla wszystkich cieków uchodzących do jeziora Druzno, która wyniosła  $18,5 \text{ mg Cl}^- \cdot \text{dm}^{-3}$ ),
- c – stężenie jonu chlorkowego w wodzie zmieszanej na danych stacjach Zatoki Elbląskiej, rzeki Elbląg i jeziora Druzno.

#### UKŁAD HYDROGRAFICZNY ZATOKA ELBLĄSKA – RZEKA ELBLĄG – JEZIORO DRUZNO

Wody jeziora Druzno pod względem jakości różnią się od innych jezior w Polsce (Tab. 2). W porównaniu do średnich wartości stężeń takich wskaźników jak sód, potas, magnez i wartości przewodności właściwej odnotowanych dla jezior Polski Północnej [8] widać, że stężenia tych wskaźników są zdecydowanie wyższe w wodach jeziora Druzno. W porównaniu do wartości stężeń chlorków i siarczanów w wodach jeziora Wigry [20] widać również, że są one wyższe w wodach jeziora Druzno. Podobne prawidłowości zauważono także w przypadku wód jeziora Wdzydze Północnego i Południowego oraz jeziora Grabowskiego [7, 10]. Natomiast w porównaniu do wartości stężeń powyższych wskaźników w wodach jeziora Jamno [4], które stanowi przykład jeziora przybrzeżnego widać, że są one w wodach jeziora Druzno zbliżone lub nieznacznie niższe. Wyjątek stanowią wodorowęglany i przewodność właściwa, których wyniki były wyższe.

W trakcie prowadzonych badań stwierdzono, że oddziaływanie Zalewu Wiślanego na jakość wody jeziora Druzno zależy od hydrologicznej pory roku. Zjawisko napływu wód zasolonych pojawia się najczęściej w okresie letnim, kiedy to stan wody w jeziorze jest stosunkowo niski, bądź podczas jesienno-zimowych sztormów. Należy zaznaczyć, iż przewaga napływu w półroczu letnim wynika z dłuższego czasu trwania napływów, natomiast napływy zimowe mogą się charakteryzować większą gwałtownością, jako wynik oddziaływania sztormów [12].

Wszystkie wskaźniki poza siarczanami wykazywały wyższe wartości stężeń dla sezonu letniego. Stwierdzono także, że wartości wskaźników różniły się w układzie przestrzennym oraz w każdej z wykonanych serii. Zaobserwowano prawidłowość, że wartość takich wskaźników jak chlorki, siarczany, sód, potas, magnez, przewodność właściwa wzrastają wraz ze zbliżaniem się do Zalewu Wiślanego (Rys. 2).

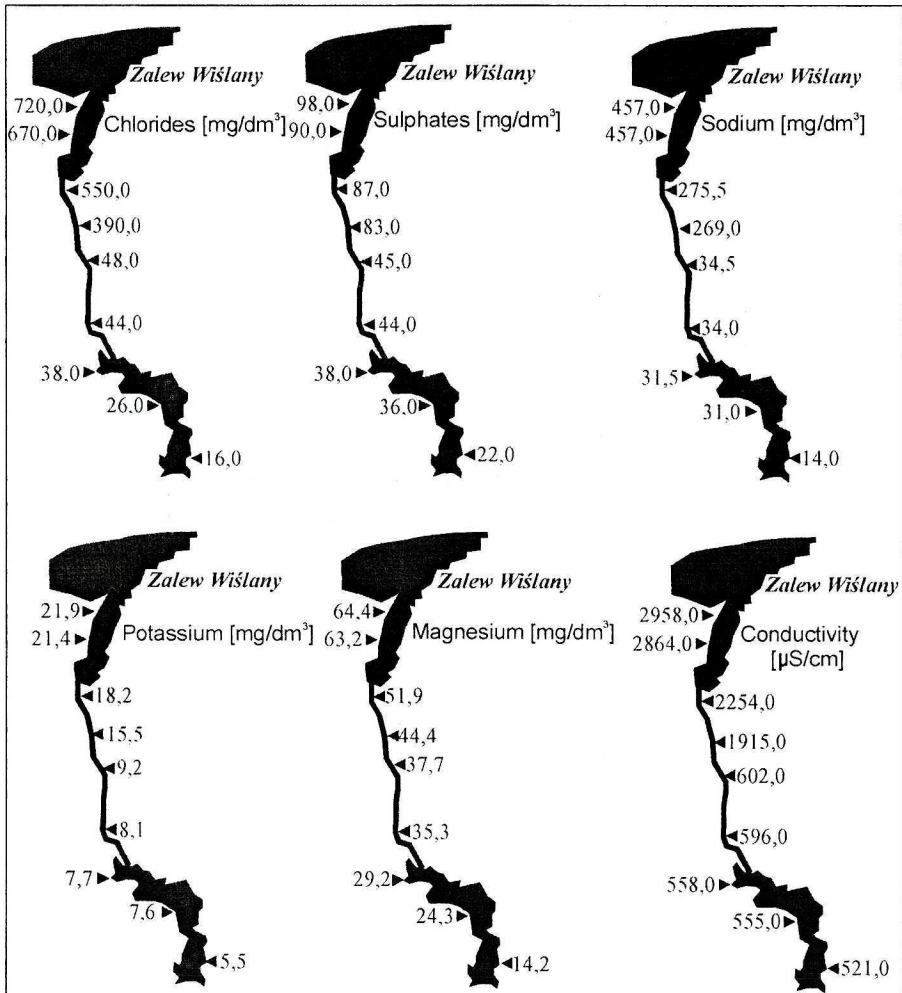
Od powyższej prawidłowości stwierdzono również kilka charakterystycznych odstępstw, które dotyczyły w jednym przypadku chlorków, w jednym potasu, a w pięciu siarczanów.

Tabela 2. Porównanie średnich wartości wybranych wskaźników wód jeziora Druzno z innymi jeziorami w Polsce  
 Comparison of average value of choose coefficients of waters of lake Druzno with different lakes in Poland

Wskaźnik Parameter	Jednostka Unit	Jezioro Druzno (badania własne) Lake Druzno (own measurement)			Jez. Polski Północnej z lat 1961-69 [8]	Jez. Wigry [20]*	Jez. Wdzydze z lat 1995-98 [10]		Jez. Grabowskie z lat 1996-97 [7]	Jez. Jamno z lat 1996-98 [4]
		Drużewska Karczma (9)	Żukowo (10)	Tropy Elbląskie (12)			Pn.	Pd.		
Sód Sodium	mg/dm <sup>3</sup> Na <sup>+</sup>	34,9	63,6	88,7	11,0		4,6	4,2		98,6
Potas Potassium	mg/dm <sup>3</sup> K <sup>+</sup>	5,9	7,2	8,2	4,1		1,5	1,8		8,4
Magnez Magnesium	mg/dm <sup>3</sup> Mg <sup>2+</sup>	14,6	17,0	20,7	10,9	10,5 – 14,8	5,6	5,7	5,3	16,2
Chlorki Chlorides	mg/dm <sup>3</sup> Cl <sup>-</sup>	46,6	82,5	116,0		7,8 – 28,3	10,2	9,5	11,1	171,8
Wodorowęglany Bicarbonates	mval/dm <sup>3</sup> HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5,3	4,9	4,6					3,0	2,8
Siarczany Sulphates	mg/dm <sup>3</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	59,9	69,4	81,8		2,5 – 10,9	22,3	19,2	17,5	68,3
Przewodność właściwa Proper conductivity	μS/cm	710,9	842,6	940,9	320,0		211,0	213,0		660,1

\* - zakres wartości osiągniętych w roku 1986

9, 10, 12 - numery punktów pomiarowych z rys. 1



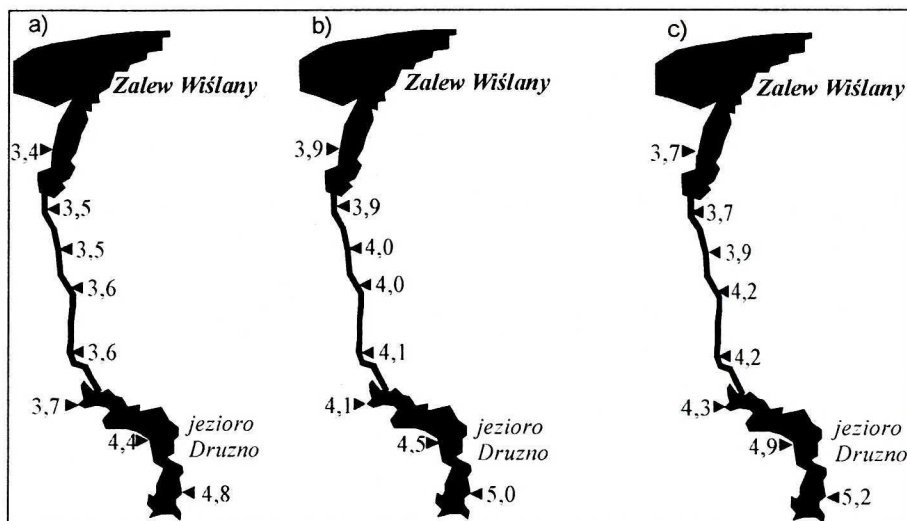
Rys. 2. Zróznicowanie przestrzenne wybranych wskaźników w wodach rzeki Elbląg i jeziora Druzno w dniu 27.08.1997 roku

Differentiation of spatial choose coefficients in waters of river Elbląg and lakes Druzno in day 27.08.1997

Porównując wyniki rozkładu przestrzennego wodorowęglanów nie zauważono odstępstw od prawidłowości. Jego stężenie w trakcie całego okresu badawczego spadało wraz ze zbliżaniem się ku morzu (Rys. 3 a – c).

Zaobserwowane prawidłowości w kształtowaniu się rozkładów przestrzennych stężeń poszczególnych wskaźników pozwalają na dalej idące wnioskowanie prowadzące do wskazań, czy badane akweny znajdują się pod wpływem wód pochodzenia morskiego i czy ten wpływ jest na tyle istotny, że można mówić o jednym układzie hydrograficznym. Ustalono, że w centralnym akwenie jeziora Druzno stężenie chlorków i sodu w wodzie były we wszystkich analizowanych przypadkach wyższe niż w ciekach dopływających do jeziora. w odniesieniu do siarczanów taka sytuacja wystąpiła w około 56% przypadków, przewodności w 62% przypadków, potasu w 77% przypadków i magnezu w 71% przypadków. Jedynie w odniesieniu do wodorowęglanów taki stan





Rys. 3. Zróżnicowanie przestrzenne wodorowęglanów [mval/dm<sup>3</sup>] w wodach rzeki Elbląg i jeziora Drużno w dniach 24.04.1997 (a), 22.05.1997 (b), 18.06.1997 (c)

Differentiation spatial carbonate [mval/dm<sup>3</sup>] in waters of river Elbląg and lakes Drużno in days 24.04.1997 (a), 22.05.1997 (b), 18.06.1997 (c)

rzeczy wystąpił w 41% przypadków. Wyniki te świadczą, że na jakość wód centralnego akwenu jeziora Drużno wyraźnie oddziałują wody Zalewu Wiślanego.

Z kolei porównanie stężeń tych samych wskaźników w południowym akwenu jeziora Drużno i w ciekach dopływających wykazało, że jedynie w czterech przypadkach stężenie chlorków, siarczanów, sodu, potasu, magnezu i przewodności właściwej było wyższe, a dla wodorowęglanów niższe w wodach jeziora niż w wodach cieków dopływających.

Stwierdzić można zatem, że jezioro Drużno znajduje się pod stałym wpływem wód Zalewu Wiślanego, choć wpływ ten w poszczególnych akwenach jeziora nie jest taki sam. Szczególnie duże oddziaływanie widoczne jest w akwenu północnym. w centralnym akwenu występują już czasami sytuacje, w których wody cieków oddziałują w większym stopniu niż wody zalewowe. Natomiast w południowym akwenu jeziora Drużno oddziaływanie wód Zalewu Wiślanego jest również widoczne, acz sporadyczne. Ta stała obecność w Zatoce Elbląskiej, rzece Elbląg i w jeziorze Drużno wód o cechach świadczących o ich zalewowym pochodzeniu, których udział i częstość występowania zmniejsza się ku południowi wzdłuż podłużnej osi jeziora, pozwala na uznanie tego całego akwenu za końcowy odcinek estuarium – Zatoka Elbląska – rzeka Elbląg – jezioro Drużno, czyli tak zwanego estuarium elbląskiego.

#### RODZAJE WLEWÓW SŁONAWYCH WÓD ZALEWOWYCH DO ESTUARIUM ELBLĄSKIEGO

Dotychczasowa analiza uzyskanych wyników wykazała, że w przypadku kilku serii pomiarów wartości wskaźników były wyraźnie wyższe od wartości przeciętnych

zarejestrowanych w całym okresie badawczym. Są to przypadki zarejestrowanych wlewów wód słonawych do estuarium elbląskiego. W dniach 24.09.1997 roku, 26.08.1998 roku, 25.02. i 6.10.1999 roku zarejestrowano wlewy we wszystkich punktach pomiarowych. Były to wlewy pełne obejmujące swoim zasięgiem całe estuarium. Natomiast 9.07. i 30.10.1997 roku oraz 22.01.1998 roku wlewy zarejestrowano jedynie w części punktów pomiarowych. Były to wlewy niepełne obejmujące swoim zasięgiem tylko fragment estuarium.

W celu oceny intensywności wlewów wykonano obliczenia procentowego udziału wody zalewowej w wodach różnych akwenów układu stosując wzór (1) wyznaczony w oparciu o wzory (2) i (3). Przyjęto, że zawartość wody zalewowej przekraczająca 10% świadczyła o wystąpieniu wlewów wód słonawych. Przyjęto także, że jeżeli procentowa zawartość wód słonawych wynosi od 10,1 do 25,0% to wystąpił wlew słaby, od 25,1 do 50,0% – wlew średni, od 50,1 do 75,0% – wlew silny, a powyżej 75,0% – wlew bardzo silny. Analizie poddano tylko te terminy w których wartości wyników przekraczające 10% wystąpiły przynajmniej na całej długości rzeki Elbląg.

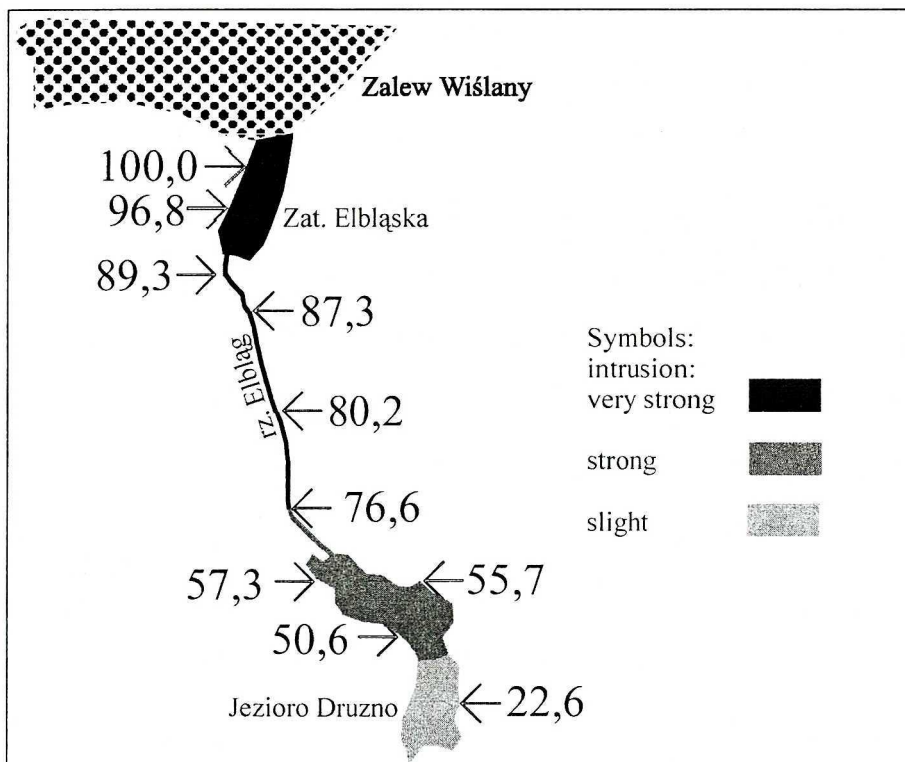
#### WLEWY PEŁNE

W terminach, w których zaobserwowano wlewy pełne stężenia wszystkich wskaźników znacznie różniły się od wyników uzyskanych w pozostałych seriach pomiarowych we wszystkich punktach pomiarowych. Poniżej przedstawiono przykład wlewu pełnego.

W dniu poboru próbek wody 24 września 1997 roku zanotowano zmianę kierunku wiatru z zachodniego na północny, a więc na sprzyjający wystąpieniu wlewu. Prędkość wiatru wynosiła 3 – 4 m/s. Stany wody w dniu poboru były wyższe na Zalewie Wiślanym niż na jeziorze Druzno o 22 cm. Sytuacja hydrometeorologiczna była więc również sprzyjająca dla wystąpienia wlewu. Stwierdzono, że intensywność tego wlewu wyrażana procentowym udziałem wody zalewowej w wodach estuarium na całej długości Zatoki Elbląskiej i rzeki Elbląg była bardzo duża, w północnym i centralnym akwencie jeziora Druzno była silna, a w południowym słaba (Rys. 4).

Wyniki badań fizyczno-chemicznych wody wskazywały, że w wyniku wlewu stężenie wodorowęglanów w jeziorze Druzno, rzece Elbląg i Zatoce Elbląskiej spadło w porównaniu z danymi uzyskanymi w poprzedniej serii pomiarowej. Natomiast w porównaniu do tej samej serii pomiarowej stężenia wszystkich innych wskaźników gwałtownie wzrosły.

Stwierdzono także, że stężenie wszystkich wskaźników poza wodorowęglanami w centralnym i południowym akwencie jeziora Druzno (punkty „9” i „10”) było wyższe niż we wszystkich ciekach doń dopływających. Z porównania stężeń tych wskaźników w ciekach dopływających i w wodzie jeziora wynika, że woda z jeziora nie była wtłaczana do ujść tych cieków. Natomiast ciekawą sytuację odnotowano na dopływach rzeki Elbląg. W ich wodach zanotowano gwałtowne wzrosty stężeń poszczególnych wskaźników fizyczno-chemicznych. Z porównania wody w rzece Elbląg i w ciekach dopływających wynika, że woda o podwyższonej zawartości wskaźników była wtłaczana poprzez rzekę Elbląg również do jej dopływów.



Rys. 4. Procentowy udział wody zalewowej w wodach estuarium Zatoki Elbląskiej rzeki Elbląg jeziora Drużno w dniu 24.09.1997 r.

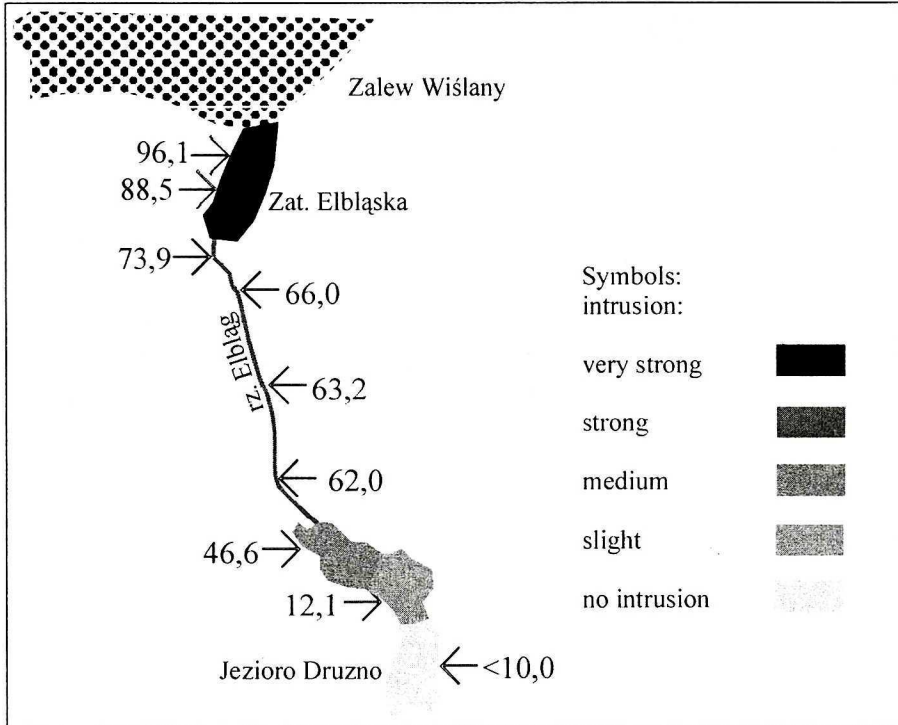
Percentage share of lagoon water in waters of Elbląska Bay river Elbląg lake Drużno on 24.09.1997

### WLEWY NIEPEŁNE

Wyniki badania wody wykonane w dniach 9 lipca i 30 października 1997 roku oraz 22 stycznia 1998 roku potwierdziły wystąpienie wlewów wód zalewowych do układu hydrograficznego Zatoka Elbląska – rzeka Elbląg – jezioro Drużno. W tych terminach stężenia wskaźników znacznie różniły się od wyników uzyskanych w pozostałych seriach pomiarowych jedynie na części punktów pomiarowych. Poniżej opisano jeden z terminów, w których wystąpił wlew niepełny (9 lipiec 1997 roku).

Zarówno w dniu poboru jak i w dniu poprzedzającym zanotowano wiatry z sektora północnego o prędkościach od 5 do 8 m/s. W dniu badania zaobserwowano także wyższe stany na Zalewie Wiślany (543 cm) niż na jeziorze Drużno (530 cm). W dniu poprzedzającym badania zaobserwowano natomiast odwrotną sytuację hydrologiczną, gdzie wyższe stany wody zanotowano na jeziorze Drużno (535 cm) w stosunku do stanów wody na Zalewie Wiślany (525 cm). Opisana sytuacja wskazuje na to, że kierunki wiatru w całym okresie były korzystne dla wystąpienia sytuacji wlewowej. Natomiast zróżnicowanie sytuacji hydrologicznej w dniu poprzedzającym badania jak i w dniu właściwych badań mogło spowodować ograniczenie zasięgu występującego wlewu.

Procentowy udział wody zalewowej w wodach estuarium wskazywał, że w całej Zatoce Elbląskiej zaobserwowano wlew bardzo silny, na całej długości rzeki Elbląg wlew silny, w północnym akwenie jeziora Druzno wlew średni, a w centralnym wlew słaby. w południowym akwenie jeziora brak było oznak jakiegokolwiek wlewu (Rys. 5).



Rys. 5. Procentowy udział wody zalewowej w wodach estuarium Zatoki Elbląskiej rzeki Elbląg jeziora Druzno w dniu 9.07.1997 r.

Percentage share of lagoon water in waters of Elbląska Bay river Elbląg lake Druzno on 09.07.1997

Wyniki badań fizyczno-chemicznych wody estuarium wykazały wzrost stężeń wszystkich wskaźników w porównaniu do wyników uzyskanych w poprzednim miesiącu. Jedynie dla wodorowęglanów odnotowano spadek. Na odcinku od centralnego akwenu jeziora Druzno po Zalew Wiślany wzrost stężeń poszczególnych wskaźników, poza wodorowęglanami był bardzo duży. Natomiast w południowym akwenie jeziora Druzno wzrosty te były niewielkie.

Porównanie stężeń poszczególnych wskaźników w wodach jeziora Druzno z wartościami uzyskanymi na ciekach doń dopływających wykazało, że wartości chlorków, sodu, potasu, magnezu i przewodności w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w centralnym akwenie jeziora (punkt „10”) były wyższe niż we wszystkich ciekach dopływających do jeziora. Jedynie stężenie wodorowęglanów było niższe niż w tych ciekach. Podobnie stężenie siarczanów było niższe niż we wszystkich ciekach dopływających, poza rzeką Burzanką. w tym wypadku może to świadczyć o tym, że podobnie

jak dla wodorowęglanów stężenia siarczanów w jeziorze mogły być wywołane przez oddziaływanie wód cieków uchodzących do jeziora.

Jeszcze bardziej skomplikowana sytuacja dotyczy wód w południowym akwenu jeziora (punkt „9”). Porównując stężenie wszystkich wskaźników w tym akwenu ze stężeniami na ciekach dopływających można stwierdzić, że cieki te oddziaływały na jakość wód w jeziorze Drużno.

Na ciekach dopływających do rzeki Elbląg notowano wzrost stężeń chlorków, sodu, potasu, magnezu i wzrost poziomu przewodności oraz spadek stężenia wodorowęglanów. Porównując te wyniki z wynikami uzyskanymi na rzece Elbląg stwierdzić można, że cieki doń dopływające nie wpływały na wysokie wartości tych wskaźników w jej wodach. Jedynie w przypadku siarczanów nastąpił równoczesny ich wzrost w wodach rzeki Fiszewki i rzeki Elbląg, co można tłumaczyć wolniejszą migracją siarczanów w środowisku w stosunku do innych wskaźników.

Z uwagi na duże wartości wskaźników odmorskich zanotowane w okresach wlewów pełnych i niepełnych, postanowiono przedstawić zbiorczą charakterystykę tych wskaźników dla pozostałych terminów. W tabeli 3 przedstawiono zatem wartości wybranych wskaźników fizyczno-chemicznych dla punktów pomiarowych zlokalizowanych w południowym i północnym akwenu jeziora Drużno.

Tabela 3. Zakres zmienności wskaźników dla wybranych punktów pomiarowych w okresach wlewowych i niewlewowych

Range of changeability of coefficients for choose measure points in periods inlets and no inlets

Wskaźnik Parameter	Jednostka Unit	Brak wlewu No intrusion		Okresy wlewowe Period intrusions	
		Drużeńska Karczma (9) /akwen południowy/ /south reservoir/	Tropy Elbląskie (12) /akwen północny/ /north reservoir/	Drużeńska Karczma (9) /akwen południowy/ /south reservoir/	Tropy Elbląskie (12) /akwen północny/ /north reservoir/
Sód Sodium	mg/dm <sup>3</sup> Na <sup>+</sup>	8,5 – 19,0	12,5 – 56,0	14,0 – 305,0	169,0 – 672,0
Potas Potassium	mg/dm <sup>3</sup> K <sup>+</sup>	3,1 – 6,2	3,4 – 8,4	5,6 – 17,2	10,1 – 25,1
Magnez Magnesium	mg/dm <sup>3</sup> Mg <sup>2+</sup>	8,5 – 15,8	9,7 – 29,2	15,8 – 37,7	29,5 – 62,0
Chlorki Chlorides	mg/dm <sup>3</sup> Cl <sup>-</sup>	12,0 – 35,0	15,0 – 79,0	16,0 – 355,0	233,0 – 824,0
Siarczany Sulphates	mg/dm <sup>3</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	12,0 – 149,0	23,0 – 186,0	44,0 – 147,0	51,0 – 242,0
Przewodność właściwa Proper conductivity	μS/cm	421,0 – 791,0	446,0 – 888,0	622,0 – 1511,0	1140,0 – 3427,0

## WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych badań wpływu morza na stan jakości wód jeziora Drużno można sformułować kilka wniosków końcowych.

1. Układ hydrograficzny Zatoka Elbląska – rzeka Elbląg – jezioro Drużno tworzy zwarty układ hydrodynamiczny, który można określić jako quasiestuariowy,

- w którym dochodzi jedynie do okresowych, a nie cyklicznych penetracji wód słonawych w górę tego układu.
2. Wykonane pomiary wykazały, że około 20% pobranych prób dokumentuje wystąpienie wlewów wód Zalewu Wiślanego do estuarium. Stwierdzono, że wlewy obejmowały bądź całe estuarium tzw. wlewy pełne albo tylko jego część, w których wody słonawe docierały tylko do północnego akwenu jeziora Druzno tzw. wlewy niepełne.
  3. Zarejestrowane wlewy wystąpiły tylko przy sprzyjających warunkach hydrometeorologicznych. Właśnie od sytuacji hydrometeorologicznej zależało czy wystąpił wlew pełny czy niepełny.
  4. Szczegółowa analiza przestrzennej struktury fizyczno-chemicznej wód estuarium występującej podczas wlewów wykazała, że stężenia wskaźników odmorskich spadały od Zalewu Wiślanego w górę estuarium, a odlądowych wzrastały i zależały od intensywności i od czasu utrzymywania się sprzyjających warunków meteorologicznych i hydrologicznych. Wlewy wywoływały gwałtowne wzrosty wartości wskaźników. Były one często od kilku do kilkunastu razy wyższe niż w sytuacjach niewlewowych. Jednocześnie wyniki badań wykluczyły możliwość wywołania wzrostu stężeń przez ciekę dopływające do jeziora. Wartość stężeń w tych ciekach była bowiem o kilka, a nawet kilkanaście razy niższa niż w wodach estuarium.
  5. Z wybranych wskaźników najprzydatniejsze w ocenie wpływu wód zalewowych na jakość wód estuarium były chlorki i sól, których migracja w wodach estuarium była najszybsza i najbardziej stabilna. Natomiast najmniej wygodnym w ocenie okazały się siarczany.
  6. Wstępnie przyjęta definicja jakości wody okazała się słuszna. Można zatem uznać, że jakość wody to zespół właściwości fizyczno-chemicznych wyróżniających daną wodę od innych.

## LITERATURA

- [1] Błaszowski J.: *Mapa gęstości sieci wodnej Żuław Elbląskich*, Zesz. Nauk. Wydz. BGiO, UG, seria Geografia, 1992, 164–170.
- [2] Bolałek J.: *Krążenie materii między wodą naddenną a osadem na przykładzie Zatoki Puckiej*, Wydawnictwo UG, Gdańsk 1993.
- [3] Choiński A.: *Katalog jezior Polski, cz. II – Pojezierze Mazurskie*, Wydawnictwo UAM, Poznań 1991.
- [4] Choiński A., A. Gogołek, T. Mrugalski: *Wieloletnie zmiany chemizmu wód jeziora Jamno*, [w]: Zagrożenia degradacyjne a ochrona jezior, Badania Limnologiczne, nr 1, Wyd. DJ, Gdańsk, 1998, 107–113.
- [5] Cieśliński R.: *Wpływ morza na stan jakości wód jeziora Druzno*, praca doktorska (maszynopis w Katedrze Hydrologii UG w Gdańsku).
- [6] Drwał J.: *Przyrodniczo-techniczne uwarunkowania powstania, trwania i dalszej ewolucji basenu jeziora Druzno*, [w]: Basen jeziora Druzno pod red. J. Drwala, UG, Gdańsk 1991, 7–17.
- [7] Faraś-Ostrowska B., W. Lange: *Przezroczystość wody jako miara nasilenia eutrofizacji jezior*, [w]: Zagrożenia degradacyjne a ochrona jezior, Badania Limnologiczne, nr 1, Wydawnictwo DJ, Gdańsk 1998, 181–192.
- [8] Korycka A.: *Charakterystyka chemicznego składu wody w jeziorach północnej Polski*, Roczniki Nauk Rolniczych, seria H.T. 102, z. 3, 1989.
- [9] Kudelska D., D. Cydzik, H. Soszka: *Wytyczne monitoringu podstawowego jezior*, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 1992.
- [10] Lange W., W. Maślanka: *Współczesne tendencje przemian jeziora Wdzydze*, Rocznik Fizyczno-Geograficzny, tom IV, Wydawnictwo DJ, Gdańsk, 1999, 57–70.

- [11] Mikulski Z., M. Bojanowicz: *Bilans wodny jeziora znajdującego się pod wpływem morza (na przykładzie jeziora Drużno)*, Przegląd Geofizyczny, R. XII (XX), z. 3-4, 1967, 343-348.
- [12] Mikulski Z., M. Bojanowicz, R. Ciszewski: *Bilans wodny jeziora Drużno*, Prace PIHM 96, 1969, 73-88.
- [13] Owczynnیکow A. M.: *Mineralnyje wody*, Gosgeoltechizdat, Moskwa 1963.
- [14] Pempkowiak J.: *Zarys geochemii morskiej*, Wydawnictwo UG, Gdańsk 1997.
- [15] Polański A.: *Geochemia i surowce mineralne*, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1974.
- [16] Schopf T. J. M.: *Paleoceanografia*, PWN, Warszawa 1987.
- [17] Simonow A. I., A. S. Pachomowa, A. K. Wieliczekiewicz, N. A. Afanasjewa: *Chimiczieskoje zagrażenije pribrieżnych wod moriej ZSRR*, [w]: *Gidrologia i gidrochimja moriej i ustiew riek*, Trudy, cz. 98, Moskowskoje Otdielienije Gidromieteoizdata, Moskwa 1970, 212-221.
- [18] Szymkiewicz R. [red.]: *Hydrodynamika Zalewu Wiślanego*, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, zeszyt 4, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992.
- [19] Wiszniewski J.: *Uwagi w sprawie typologii jezior polskich*, Polskie Archiwum Hydrobiologiczne, t. I (14) 1954.
- [20] Zdanowski B., A. Karpiński, S. Prusik: *Wieloletnie zmiany składu chemicznego wody w jeziorach*, [w]: *Jeziora Wigierskiego Parku Narodowego* pod red. B. Zdanowskiego, Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo, Wrocław, 1992, 56-59.

Wpłynęło: 4 lipca 2002, zaakceptowano do druku: 6 września 2002.