Ustrój hydrologiczny Zalewu Wiślanego i jego możliwe zmiany pod wpływem budowy drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską

Dr hab. Roman Cieśliński, prof. UG – Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii
Dr Andrzej Lewandowski – Geomor Sp. z o.o., Gdańsk

Zalew Wiślany (ros. Zalew Kaliningradzki), zwany też Świeżym lub Fryskim jest drugim pod względem wielkości zalewem w strefie brzegowej południowego Bałtyku (rys. 1). Jest zatoką wewnętrzną Zatoki Gdańskiej, części Morza Bałtyckiego. Biorąc pod uwagę jego położenie, należy do kategorii wód przejściowych pomiędzy wodami lądowymi a morzem [10]. Potwierdzają to prace [20, 21], gdzie na podstawie typologii wód w Polsce, zaliczono Zalew Wiślany do wód przejściowych, o charakterze laguny z substratem mułowym i piaszczystym. Zalew Wiślany można również określić jako lagunę [18]. Stanowił on dawniej jeden z głównych odbiorników wód Wisły. Po odcięciu ramion delty od głównego koryta Wisły, w Zalewie znacznie wzmogła się rola czynnika morskiego [23]. Obecnie jest on prawie zamknięty. Jedyny kontakt z wodami morskimi odbywa się poprzez Cieśninę Pilawską we wschodniej części Zalewu, na terytorium Rosji.

MORFOMETRIA I OSADY DENNE ZALEWU WIŚLANEGO

Zalew Wiślany (rys. 1) to mulista niecka, która rozciąga się w postaci wydłużonego prostokąta, o długości około 90,7 km (w tym na terenie Polski 35,1 km) i średniej szerokości 9,2 km (zakres od 6,8 do 13,0 km), od Żuław Wiślanych aż po Półwysep Sambii i ujście Pregoły. Powierzchnia Zalewu wynosi 838,0 km^2 [31], w tym w granicach Polski 328 km^2. Jest odcięty od Zatoki Gdańskiej przez Mierzeję Wiślaną o długości około 50 km. Jak już wspomniano, jedyne połączenie Zalewu z Zatoką Gdańską stanowi współcześnie Cieśnina Pilawska, której długość wynosi 2000 m, szerokość około 400 m i głębokość od 8 do 12 m [31].

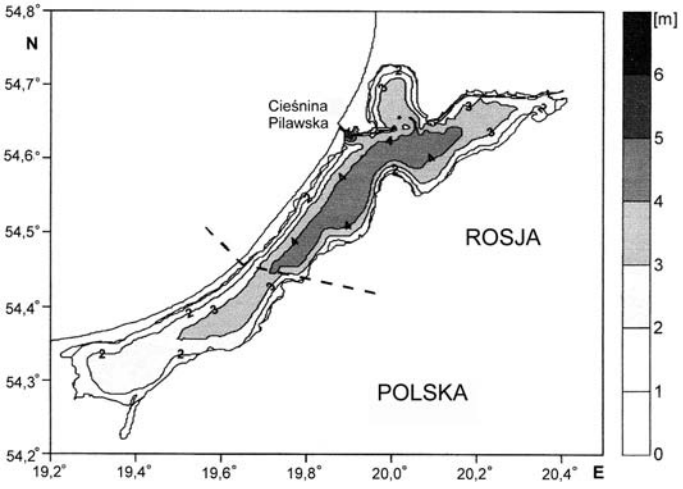
Zalew Wiślany jest zbiornikiem bardzo płytkim. Misa Zalewu jest spłycona. Średnie głębokości wynoszą tu zaledwie 2,0 – 3,0 m. Średnia głębokość polskiej części Zalewu Wiślanego wynosi 2,4 m, a całego Zalewu 2,5 m [2]. Jedynie w rynnie toru wodnego, biegnącego środkiem Zalewu, głębokości osiągają wartości większe niż 3 m [30], maksymalnie 5,2 m [7] (rys. 2).

Pojemność Zalewu szacuje się na 2,3 km^3 masy wodnej, z czego na wschodnią część przypada 1,5 km^3 (64,0% całkowitej objętości).

Powierzchnia dna wschodniej części Zalewu jest pokryta głównie mułem, w którym zawartość cząstek ilastych zwiększa się w kierunku północno-wschodnim, a tylko na odcinku przyujściowym skłonu podwodnego delty Nogatu oraz wzdłuż brzegu północnego i południowego występuje piasek, rzadko przerywany osadami mulistymi [33]. Dno części środkowej Zalewu Wiślanego pokryte jest mułem.



Rys. 1. Zalew Wiślany – część polska i rosyjska [8]



Rys. 2. Batymetria Zalewu Wiślanego [32]

Na południowo-wschodnim skłonie podwodnym brzegu występuje kilka ilasto-piaszczystych i dwie kamienne mielizny. Utworzone są one przez osady rzeczne lub związane są z miejscami intensywnej abrazji brzegów morenowych, spowodowanej przez falowanie.

Według „Koncepcji przebudowy wejścia do portu Elbląg wraz z pogłębieniem torów podejściowych do portów Zalewu Wiślanego" [17] typowym osadem w polskiej części Zalewu Wiślanego są muły: piaszczysty, pośredni i ilasty. Pokrywa mułowa lokalnie osiąga miąższość ponad 10 m. Ogólnie, ich warstwa wzrasta w kierunku mierzei, gdzie osiąga przy brzegach ponad 10 m grubości. Muły w warstwie stropowej są zróżnicowanej konsystencji, od półpłynnej do miękkoplastycznej, a w warstwie spągowej – silnie sprasowane (twardoplastyczne).

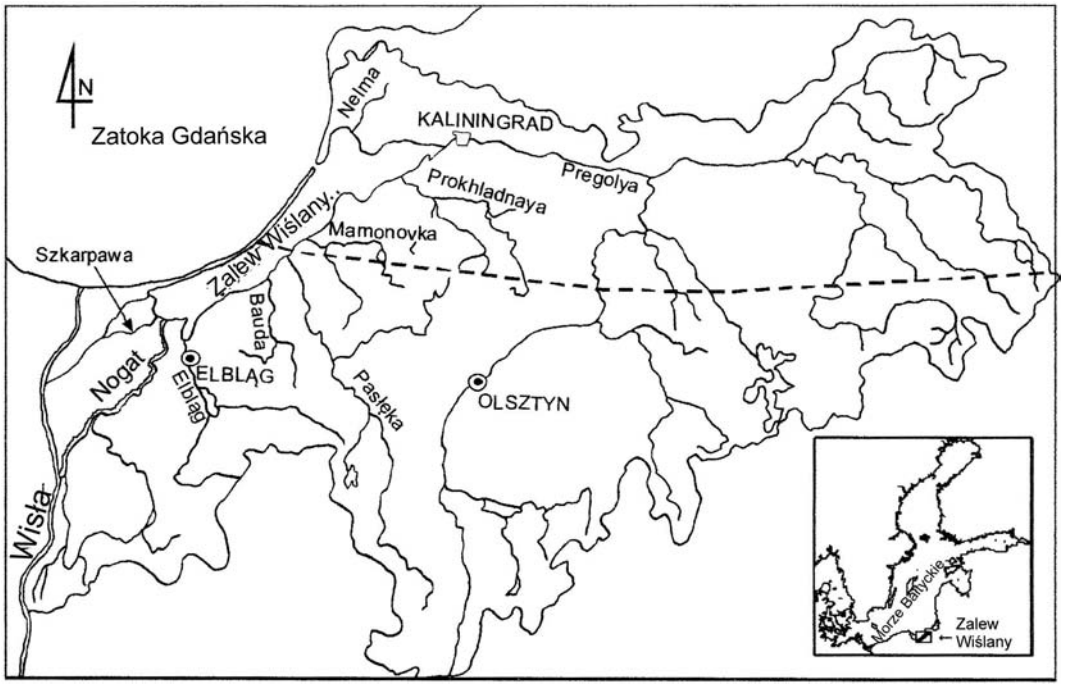
ZLEWISKO ZALEWU WIŚLANEGO

Powierzchnia zlewiska Zalewu Wiślanego (rys. 3) wynosi 23870,6 km^2 [29]. Jest ono położone w większej części w Polsce: 14757 km^2 [12], a w mniejszej w Rosji, w Obwodzie Kaliningradzkim oraz w postaci tylko wschodniej części zlewni Jeziora Wisztynieckiego, również na Litwie. Wskutek prawie równoleżnikowego przebiegu największej rzeki uchodzącej do zalewu – Pregoły, zlewisko Zalewu jest rozbudowane niesymetrycznie na wschód. Zachodnią granicą zlewiska jest Wisła. Najdalej wysuniętym na południe obszarem zlewiska jest dorzecze Pasłęki. Dorzecze Pregoły wynosi prawie 63% obszaru zlewiska Zalewu Wiślanego (14667 km^2). Drugą rzeką pod względem długości jest Pasłęka, której dorzecze stanowi nieco poniżej 10% obszaru zlewiska. W skład zlewiska Zalewu Wiślanego wchodzą również po stronie polskiej dorzecza rzek Elbląg, Nogat oraz Szkarpawa i Tuga, a po stronie rosyjskiej dorzecze Prochładnej.

Średni roczny dopływ wód rzecznych do Zalewu wynosi około 100 m^3/s. Chwilowe przepływy zawierają się w przedziale od około 40 m^3/s do około 1300 m^3/s (tabl. 1). Wywołane tymi dopływami maksymalne dobowe zmiany poziomu wody w Zalewie nie przekraczają 0,1 m.

WYMIANA WODY POPRZEZ CIEŚNINĘ PILAWSKĄ

Zalew Wiślany jest akwenem z bardzo nieproporcjonalnie rozłożonymi zasobami wodnymi w relacji do miejsca wymiany wód z Morzem Bałtyckim, czyli do Cieśniny Pilawskiej. Ruch wód z zachodniej części Zalewu jest już „na wstępie" utrudniony. Rzeki w tej części Zalewu oddalone są proporcjonalnie dalej niż rzeki uchodzące w części wschodniej. Głównym „napędem"

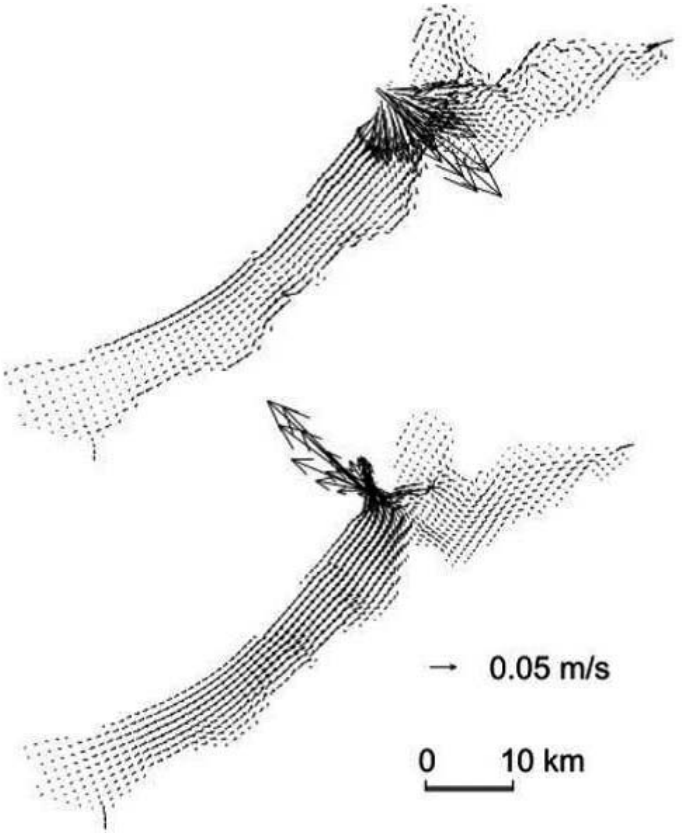


Rys. 3. Zlewisko Zalewu Wiślanego [32]

Tabl. 1. Charakterystyka rzek zasilających Zalew Wiślany [18]

Rzeka	Długość w km	Średni przepływ w mln $m^3 \cdot rok^{-1}$	Powierzchnia dorzecza w km^2	Część Zalewu
Pregoła	123	2728	15 500	Ru
Elbląg	18	826	b.d.	Pl
Pasłęka	211	528	2 295	Pl
Nogat	62	224	1 330	Pl
Prokhladnaya	65	161	b.d.	Ru
Mamonovka	35	109	215	Ru
Bauda	54	85	340	Pl
Primorskaya	b.d.	80	b.d.	Ru
Szkarpawa	25	74	780	Pl

b.d. – brak danych



Rys. 4. Rozkład prędkości wód w Zalewie Wiślanym w sytuacji napływu wód z Bałtyku (górny rysunek) i ich wypływu (dolny) [1]

odpowiedzialnym za około 80% dopływu wód do Zalewu Wiślanego są zmiany poziomu wód bałtyckich, których wahania w tym akwenie łącznie z oddziaływaniem wiatru mogą sięgać ponad 1,3 m (według Locji Bałtyckiej). Można sobie wyobrazić, że te wpływy wód z Zatoki Gdańskiej, dodatkowo „hamują" ruch wód z polskiej części laguny, a zatem wody z rzeki Elbląg czy z Nogatu dotrą do otwartego morza znacznie później niż wody pochodzące z Pregoły czy Pasłęki. Dodatkowo mamy tu do czynienia z istotną modyfikacją wahań poziomu Bałtyku przy przejściu wód przez wąską Cieśninę Pilawską. Rola cieśniny jako „wąskiego gardła" polega na hamowaniu i opóźnianiu efektów wahań. Przy podnoszeniu się wód Zatoki Gdańskiej różnica poziomów w stosunku do wód Zalewu jest wyrównywana poprzez silny prąd skierowany do laguny, a przy opadaniu wód Bałtyku, wody Zalewu z opóźnieniem wypływają do morza, wytwarzając w cieśninie silny prąd o kierunku odwrotnym (rys. 4). Jednakże, efekty tego „przemywania" Cieśniny Pilawskiej, to w jedną, to w drugą stronę, obejmują akwen Zalewu najbliżej położony, a więc rosyjską część, natomiast im dalej na zachód, tym bardziej prądy wyrównujące poziomy wód z Zatoką Gdańską ulegają „wygaszeniu" i w najbardziej na zachód, sąsiadującej z deltą Wisły, części laguny możemy mówić o swo-

istym „zastoisku” (rys. 4). Jak podają Bielecka i Kaźmierski [1], tempo wymiany wód w zachodnim basenie polskiej części Zalewu wynosi około jednego roku.

Maksymalna wymiana wody przez Cieśninę Pilawską może wynieść nawet 10000 m^3/s [22].

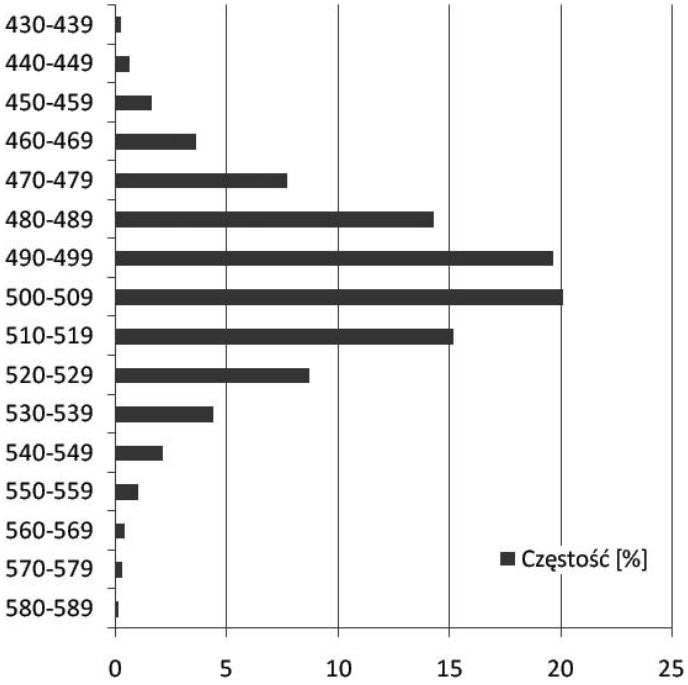
Z obliczeń bilansu wodnego wynika, że wymiana wód następuje przede wszystkim przez Cieśninę Pilawską. Sumaryczny roczny odpływ do morza ocenia się na 20,48 km^3, a napływ z Bałtyku do Zalewu na 17,00 km^3. Dopływ wód lądowych do Zalewu określa się na 3,60 km^3 [22]. Wymiana wody przez Cieśninę Pilawską zależna jest od czynników hydrologiczno-meteorologicznych. Są nimi różnica poziomu wody między Zalewem i Zatoką Gdańską oraz warunki wiatrowe w rejonie cieśniny.

POZIOM WODY

Wody Zalewu Wiślanego cechuje niewielka dynamika. Jest ona zależna w głównej mierze od warunków meteorologicznych. Absolutna amplituda wahań zaobserwowana w historii notowań stanów wody Zalewu Wiślanego we Fromborku wyniosła 217 cm. Podobną wartość (200 cm) podaje Szymkiewicz [29] dla posterunku Tolkmicko.

Średnie miesięczne i średnie roczne stany wody z wielolecia wykazują zbieżność z przebiegiem wahań wód Morza Bałtyckiego, nie widać natomiast większej zależności od dopływu rzecznego czy wymiany pionowej. Minimum stanów przypadało w rejonie centralnym Zalewu na marzec i kwiecień, po czym następował systematyczny wzrost do maksimum w lipcu, sierpniu i we wrześniu. W latach 1950-1964 amplituda średnich miesięcznych stanów wody Zalewu wyniosła 23 cm, a różnica między najwyższymi średnimi miesięcznymi i najniższymi średnimi miesięcznymi stanami wody wyniosła 73 cm [29]. Częstość stanów wody w Tolkmicku w latach 1951-1970 przedstawiono na rys. 5. Średni stan morza w Tolkmicku wynosi 502 cm. Jak wynika z rys. 5, większość obserwowanych stanów oscyluje wokół średniego poziomu morza. Ponad 78% stanów mieści się w przedziale od -22 do +27 cm.

Niezależnie od długookresowych i sezonowych wahań stanów wody, bardzo charakterystyczną cechą ustroju wód Zalewu Wiślanego są nieokresowe wahania wiatrowe, związane z wiatrami pojawiającymi się w okresie sztormu. Mają one charakter przypływu eolicznego, czyli wzrostu poziomu wody, lub odpływu eolicznego, czyli obniżenia poziomu wody. Wahania tego rodzaju są na ogół krótkotrwałe – średnio do kilkunastu godzin. Zdarzały się jednak sytuacje, gdzie tego rodzaju oddziaływanie trwało ponad 2 doby. Średni czas trwania wzrostu stanu wody przy spiętrzeniu wód wynosi 16 godzin, a czas trwania obniżenia się poziomu jest nieco dłuższy i wynosi 17 godzin. Szybkość wzrostu i obniżania się poziomu wynosi zwykle 5 cm/godz. Wahania te najczęściej mają miejsce w okresie od sierpnia do stycznia [29]. Wyższe stany wody po stronie morskiej spowodowane podpiętrzeniem wiatrowym powodują napływ wód morskich przez Cieśninę Pilawską, co skutkuje wzrostem poziomu wód zalewowych. Zwiększony odpływ wody z Zalewu Wiślanego i wynikający z tego spadek jej poziomu spowodowany jest wiatrem obniżającym poziom morza [3]. Na podstawie danych z lat 1951-1965, dotyczących wymiany wody, obliczono



Rys. 5. Częstość stanów wody w Tolkmicku (1951-1970) [29]

średnie wartości możliwego wzrostu poziomu wód, zależnie od dopływu rzecznego i napływu wód morskich. Wykazały one, że wzrost poziomu wód zalewowych powstały w wyniku napływu wód morskich jest na wiosnę 3-krotnie, a latem i jesienią nawet 6- do 9-krotnie większy niż wywołany dopływem rzecznym.

Wysokość wezbrania zależna jest przede wszystkim od napełnienia Zalewu Wiślanego, wynikającym z sytuacji anemobarycznej, a następnie od wiatru [15].

DYNAMIKA WÓD ZALEWU WIŚLANEGO

Dynamika wód Zalewu zależy głównie od prędkości i kierunków wiatru. Wiatry decydują o wymianie cieplnej, zasoleniu, spiętrzeniu wód, zalodzeniu, a także o procesach biologicznych. Najbardziej rozbudowane cyrkulacje prądowe są wywołane wiatrami o kierunkach zbliżonych do kierunku osi dłuższej Zalewu. Układy zwierciadła wody kształtowane przez wiatry są niesymetryczne, ze względu na niesymetryczne usytuowanie Cieśniny Pilawskiej względem osi symetrii Zalewu (stosunek ten wynosi 2,3:1) [17, 26].

Na wahania stanów wody w poszczególnych punktach Zalewu mają wpływ trzy główne czynniki:

1) spiętrzenia wiatrowe powstające w wyniku działania wiatrów lokalnych – wahania poziomu wody pod wpływem wiatru mogą osiągać wartości 1 ÷ 1,5 m/dobę, amplituda tych wahań osiąga największe wartości w południowozachodniej części Zalewu, czyli w największej odległości od Cieśniny Pilawskiej,
2) przepływy wody przez Cieśninę Pilawską – wielkość tej wymiany jest szacowana na 17 ÷ 20 km^3 rocznie, a maksymalny wzrost lub obniżenie poziomu wody może wynosić około 0,8 ÷ 1,0 m/dobę,

3) dopływy wód rzecznych – średnie roczne natężenia dopływów wód do Zalewu wynosi około 100 m^3/s, przy chwilowych przepływach zawartych w przedziale od około 40 m^3/s do około 1300 m^3/s, maksymalne zmiany poziomu wody w Zalewie wywołane tymi dopływami nie przekraczają 0,1 m/dobę [26].

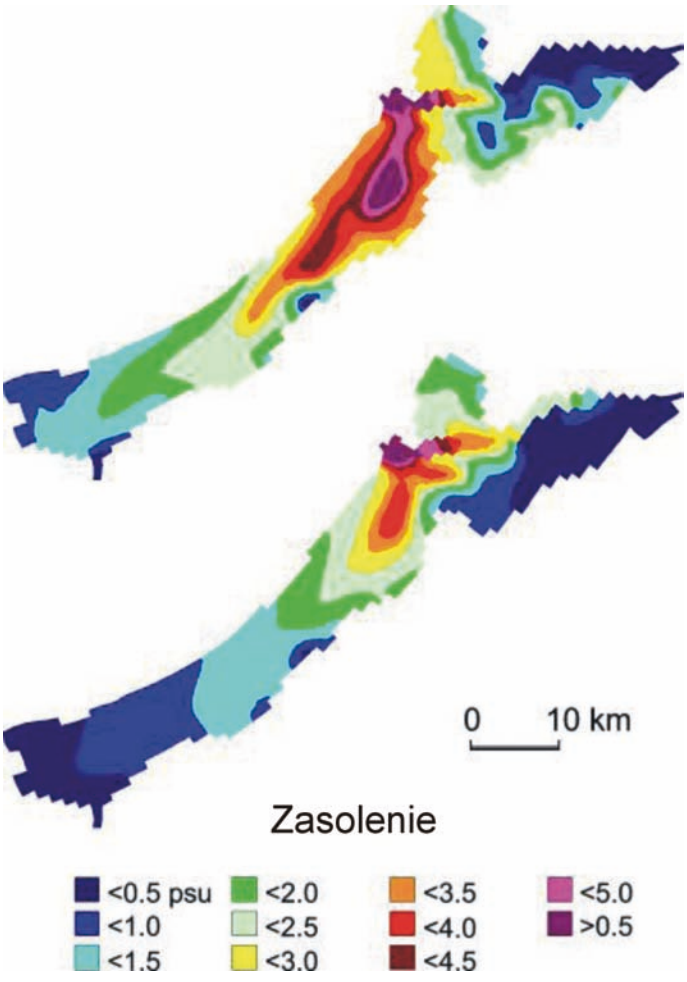
Z wymienionych czynników trzeci jest najmniej istotny. Wywołuje on bowiem zmiany stanu wody w Zalewie z prędkością co najwyżej 0,1 m/dobę. Pozostałe czynniki mogą (każdy z osobna) wywołać ponad dziesięciokrotnie większe zmiany poziomu wód w Zalewie.

ZASOLENIE

Zasolenie wód Zalewu Wiślanego jest rezultatem oddziaływania szeregu czynników, wśród których do najważniejszych należą wielkość zasilania rzecznego i częstość intruzji wód morskich [24]. Cechą charakterystyczną Zalewu Wiślanego jest strefowość zasolenia. Rozległość poszczególnych stref zasolenia jest różna. Strefy te mogą ulegać przesunięciom w zależności od kierunku prądów, oddziaływania stałych wiatrów itp. Również ich zasięgi mogą przesuwać się sezonowo. Wzrost zasolenia na Zalewie Wiślanym obserwuje się w październiku, a minimum w lutym, gdy Zalew jest pokryty lodem. Według Bogdanowicza [2] maksimum zasolenia przypada na listopad, a minimum na marzec. W okresie wiosennym decydujący wpływ wywierają słodkie wody rzeczne, natomiast jesienią przeważa wpływ zasolonych wód morskich, szczególnie w okresie sztormów. Sezonowo najniższe stężenia chlorków występują w okresie wiosennych spływów powierzchniowych ze zlewni, zaś największe zasolenie w okresie letnim podczas niskich stanów wody na zalewie oraz jesiennych sztormów i związanych z tym zwiększonych napływów wód bałtyckich.

Rozpatrując zmienność przestrzenną stężeń chlorków najniższe z nich są notowane w zachodniej części laguny będącej w zasięgu wód Nogatu. Najwyższe wartości wystąpiły w północno-wschodniej części Zalewu, przy granicy z Rosją.

Według „Raportu o oddziaływaniu na środowisko budowy kanału żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną" [26] w Zalewie Wiślanym obserwowany jest wyraźny gradient zasolenia wzdłuż osi Zalewu od 0,5 do 4,5‰ wiosną do 3,5 ÷ 6,5‰ w okresie sierpień – wrzesień. Zachodnia część jest najbardziej wysłodzona ze względu na największą odległość od Cieśniny Pilawskiej. Rozkład przestrzenny zasolenia wód Zalewu Wiślanego w okresie napływu od strony Zatoki Gdańskiej i wypływu z Zalewu przedstawiono na rys. 6. Potwierdza ona fakt dominacji wód morskich w zasilaniu Zalewu Wiślanego.



Rys. 6. Obliczone na podstawie modelu Delft3D zasolenie wód Zalewu Wiślanego w sytuacji napływu wód z Zatoki Gdańskiej (górny rysunek) i wypływu wód z Zalewu (dolny rysunek) [1]

PROGNOZA ODDZIAŁYWANIA KANAŁU ŻEGLUGOWEGO NA HYDROLOGIĘ ZALEWU WIŚLANEGO NA ETAPIE BUDOWY

W trakcie prowadzenia prac na etapie budowy przekopu oraz pogłębiania istniejących torów wodnych nie będzie istotnego wpływu na hydrologię Zalewu Wiślanego (nie wpłynie na falowanie, poziom wody, prądy, zasolenie itd.). Największym problemem, który pośrednio dotyczy hydrologii będzie refulacja osadów oraz jego składowanie. Według „Koncepcji przebiegu i budowy torów podejściowych i toru głównego na Zalewie Wiślanym dla czterech lokalizacji kanału żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną" [16] typowym osadem Zalewu Wiślanego są muły: piaszczysty, pośredni i ilasty. Pokrywa mułowa lokalnie osiąga ponad 10 m miąższości. Muły w warstwie stropowej są zróżnicowanej konsystencji, od półpłynnej do miękkoplastycznej, a w warstwie spągowej silnie sprasowane (twardoplastyczne). Dla gruntów spoistych zalegających na dnie Zalewu minimalną prędkość niezbędną do przenoszenia osadów oszacowano jako równą co najmniej 1,0 m/s, a dla gruntów niespoistych jako zawartą w przedziale 0,2 ÷ 0,4 m/s. Z przeprowadzonych obliczeń rozkładów prędkości przepływu wody w warstwie przydennej w rejonie planowanego toru nawigacyjnego otrzymano, że maksymalne prędkości po wschodniej stronie kanału, w zależności od rodzaju wymuszeń, zawarte są w przedziale od 0,2 do 0,5 m/s, natomiast po stronie zachodniej od 0,25 do 0,4 m/s. W osi kanału maksymalne prędkości osiągają wartości nieprzekraczające 0,2 m/s. Dla gruntów niespoistych należy spodziewać się transportu osadów przy silnych wymuszeniach, tj.: spiętrzeniach sztormowych +2,0 m w Cieśninie Pilawskiej, przy wiatrach o prędkości 20 m/s i wyższych z kierunków NE i SW, przy jednoczesnym wystąpieniu spiętrzenia sztormowe-

go +1.5 m w Cieśninie Pilawskiej i wiatru o prędkości 20 m/s i wyższych oraz przy łącznym oddziaływanie wiatru o prędkości powyżej 20 m/s z NE.

Pomierzona koncentracja cząsteczek osadów zawieszonych w wodach Zalewu Wiślanego, w badanych warunkach hydrodynamicznych, była bardzo mała (8,0 – 24,5 µl/l). Można przypuszczać, że większość cząsteczek zawieszonych w Zalewie Wiślanym jest pochodzenia organicznego. Na zdecydowanej długości projektowanego toru należy liczyć się głównie z osiadaniem występującej w toni wodnej zawiesiny organicznej oraz „podbitych" mułów (zamulanie). Jedynie w strefie brzegowej, gdzie zalegają piaski, istnieje potencjalne niebezpieczeństwo zapiaszczania projektowanego toru wodnego i kotwicowiska.

Zawartość zawiesiny w toni wodnej waha się w zakresie od 4 do 230 mg/dm^3, ze średnią na poziomie 30 mg/dm^3 (wartości 10 razy wyższe niż w Bałtyku – [4, 5, 6]). Ze względu na niewielką głębokość zbiornika typowym zjawiskiem jest także resuspensja osadu wywołana wiatrem. Powoduje to znaczne ograniczenie przeźroczystości wody.

W efekcie prac pogłębiarskich powstanie zmętnienie wody wskutek wyczerpania z dna gruntów o zawartości cząstek pylasto-gliniastych i organicznych (namułów). Ze względu na to, że czas opadania cząsteczek osadu z Zalewu Wiślanego jest bardzo długi, to przy założeniu, że maksymalna głębokość w obszarze planowanego toru wodnego wynosi 5,0 m, czas opadania cząsteczek poderwanych podczas prac pogłębiarskich wyniesie około 41 godzin [16]. Wydobywanie urobku poza wzrostem zmętnienia może spowodować (w zależności od potencjalnego rodzaju zanieczyszczenia i jego koncentracji) uwolnienie materii organicznej oraz związków biogenicznych zdeponowanych w osadach dennych .

Podsumowując, można stwierdzić, że po wykonaniu przekopu i pogłębieniu toru wodnego zjawisko zapiaszczenia i zamulania będzie znaczne i wymusi okresowe pogłębianie toru wodnego.

W przypadku refulatu oszacowano w „Koncepcji przebudowy wejścia do portu Elbląg wraz z pogłębieniem torów podejściowych do portów Zalewu Wiślanego" [17], że kubatura robót czerpalnych dla toru wodnego na Zalewie Wiślanym w wariancie głębokości 4 m i 5 m (razem z rezerwą bagrowniczą 0,5 m i z kotwicowiskami o głębokości 5 m) w zależności od wariantu lokalizacji wyniesie odpowiednio:

- Skowronki – 5,575 i 7,598 mln m^3,
- Nowy Świat – 5,013 i 6,751 mln m^3,
- Przebrno – 6,019 i 7,524 mln m^3,
- Piaski – 9,116 i 13,304 mln m^3.

Z kolei na podstawie „Koncepcji przebudowy wejścia do portu Elbląg wraz z pogłębieniem torów podejściowych do portów Zalewu Wiślanego" [17] ustalono, że kubatura prac ziemnych przy budowie kanału żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną w zależności od wariantu lokalizacji wyniesie:

- Skowronki – 1,26 mln m^3,
- Nowy Świat – 1,74 mln m^3,
- Przebrno – 1,96 mln m^3,
- Piaski – 0,79 mln m^3.

W „Studium wykonalności" [28] dotyczącym budowy kanału żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną oraz toru wodnego do portu w Elblągu, przedstawiono teoretyczne możliwości zagospodarowania urobku – piasków (z budowy kanału przez Mierzeję Wiślaną) i mułów (z pogłębiania torów wodnych na Zalewie Wiślanym). Składało się na to kilka koncepcji. Wśród nich do najistotniejszych w przypadku piasków wydmowych zaliczyć należy:

1) Zasilanie odcinków abrazyjnych odmorskiego brzegu Mierzei Wiślanej.
2) Wybudowanie jednej lub dwóch wysp stanowiących ostoję dla ptactwa wodnego na Zalewie Wiślanym w miejscu wskazanym przez lokalną społeczność i władze samorządowe gmin nadzalewowych, w uzgodnieniu z ekologami i ornitologami. Wyspy wykonane byłyby w systemie otwartym lub zamkniętym – pełno lub częściowo konstrukcyjnym. Utworzenie wyspy z urobku uzasadnione jest koniecznością składowania wielkiej masy osadów czerpalnych, powstałej w rejonie Zalewu w trakcie realizacji projektowanego rozwoju systemu żeglugowo-portowego i kanału żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną. Nowopowstały obszar wyspy może być wykorzystany do utworzenia siedliska dla ptactwa wodnego oraz ośrodków badawczo-monitoringowych i hodowlanych (ptaszarnie) dla awifauny i ichtiofauny rejonu. Przedpola wyspy można zasiedlić roślinnością wodną, zwiększającą odporność wyspy na działanie czynników hydrodynamicznych. Stosując proekologiczne rozwiązania konstrukcyjne [25], obrzeża takiej wyspy można wykonać z walców i kiszek z geowłókniny, wypełnionych piaskiem z robót pogłębiarskich na torze wodnym, a wnętrze wyspy z urobku organiczno-mineralnego. Rozwiązanie takie jest możliwe, ponieważ osady denne na Zalewie Wiślanym są wolne (tzn. nie przekraczają ustawowych wartości progowych stężeń zanieczyszczeń) od zanieczyszczeń organicznych oraz nieorganicznych i w związku z tym urobek pogłębiarski nie jest traktowany jako odpad.
3) Tworzenie związanych z brzegiem polderów otwartych – magazynów (składowisk) – urobku czerpanego na wszystkich torach zalewu. Maksymalna powierzchnia polderu związanego z brzegiem wyniesie od 6,8 km^2 do 10,3 km^2. Polder byłby poddany intensywnym zabiegom biotechnicznym – zatrawienie, zakrzewienie i zalesienie, a obszar – włączony do systemu ostoi ptasich na Zalewie. Wzdłuż bocznych i czołowych krawędzi polderu można byłoby w przyszłości odkładać urobek z prowadzonych prac podczyszczeniowych na torach Zalewu.

Z kolei w przypadku zagospodarowania mułów wydobytych w trakcie pogłębiania torów wodnych na Zalewie Wiślanym do najważniejszych rozwiązań zaliczyć należy:

1) Wypełnienie przyportowych zatok erozyjnych – rejony portów Frombork, Tolkmicko, Kąty Rybackie i Krynica Morska.
2) Zasilanie – odbudowa przedpoli w rejonie przyportowych zatok erozyjnych oraz na odcinkach wałów przeciwpowodziowych i brzegów polderów zachodnich Zalewu.
3) Wypełnienie przybrzeży przyportowych zatok erozyjnych – wielkoobszarowe pokrycie dna po wschodniej stronie toru podejściowego do portów.

Tabl. 2. Prognoza zmian kompletu podstawowych parametrów hydrologicznych na etapie budowy

Parametr hydrologiczny	Prognoza					
	Wpływ toru wodnego			Wpływ kanału		
	terytorialny	jakościowy	czasowy	terytorialny	jakościowy	czasowy
Stan wody	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Prądy	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Falowanie	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Spiętrzenia	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Przepływy na kanale	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Zlodzenie	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Termika	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Zasolenie	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Zamulenie i zapiaszczenie	subregionalny	umiarkowany	średniookresowy	lokalny	mały	chwilowy
Składowanie refulatu	subregionalny	umiarkowany	średniookresowy	lokalny	mały	krótkookresowy
Zasilanie ze strony zlewni	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Bilans wodny	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Morfometria i batymetria	subregionalny	brak	średniookresowy	brak	brak	brak
Pojemność	brak	brak	brak	brak	brak	brak

Zakres terytorialny – brak, lokalny, subregionalny, regionalny,
Zakres jakościowy – brak, mały, umiarkowany, duży,
Zakres czasowy – brak, chwilowy, krótkokresowy (do 1 roku), średniookresowy (1 rok do 10 lat), długookresowy (powyżej 10 lat)

4) Przy ujęciu piasków – odbudowa plaż kąpieliskowych na odcinkach przyportowych brzegów Wysoczyzny (od Suchacza do Fromborka).
5) Stosowanie złożonych sposobów użytkowania osadów czerpanych na torach podejściowych do portów Tolkmicko, Frombork, Kąty Rybackie i Krynica Morska oraz z północnego odcinka toru do portu Elbląg (np. Suchacz).
6) Rozmieszczenie osadów czerpalnych na dużych powierzchniach dna przyległego od wschodu do torów poprzecznych i wzdłuż toru głównego od strony południowej.
7) Nagromadzenie osadów w formie konstrukcyjnych lub otwartych wysp na Zalewie.

W zestawieniu tabelarycznym przedstawiono prognozę zmian podstawowych parametrów hydrologicznych na etapie budowy kanału, z podziałem na kanał i pogłębienie toru wodnego (tabl. 2).

PROGNOZA ODDZIAŁYWANIA KANAŁU ŻEGLUGOWEGO NA HYDROLOGIĘ ZALEWU WIŚLANEGO NA ETAPIE EKSPLOATACJI

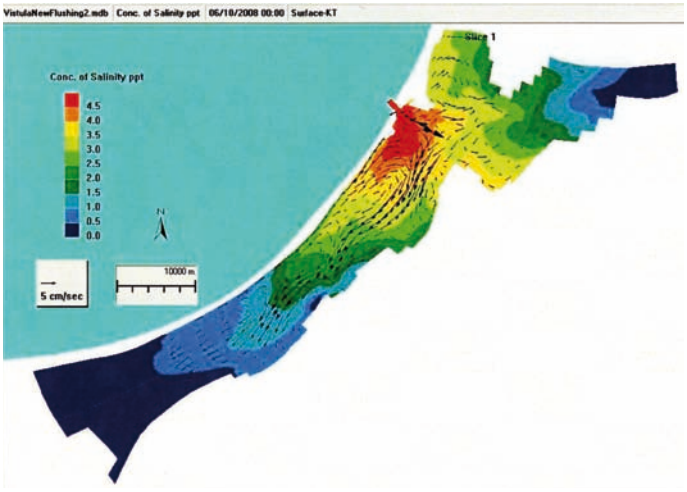
Na etapie eksploatacji wydawało się, że największe zmiany mogą nastąpić w przypadku zasolenia, termiki czy zmian poziomu wody.

Wymiana wód między morzem i Zalewem Wiślanym następuje przy wytworzonej różnicy poziomów wody między tymi akwenami, która może dochodzić do 1,5 ÷ 2,0 m [9]. Na podstawie wstępnych założeń projektowych [11, 14] powierzchnia przekroju śluzy kanału żeglugowego wyniesie 120 m^2, co stanowi około 2,7% powierzchni przekroju Cieśniny Pilawskiej.

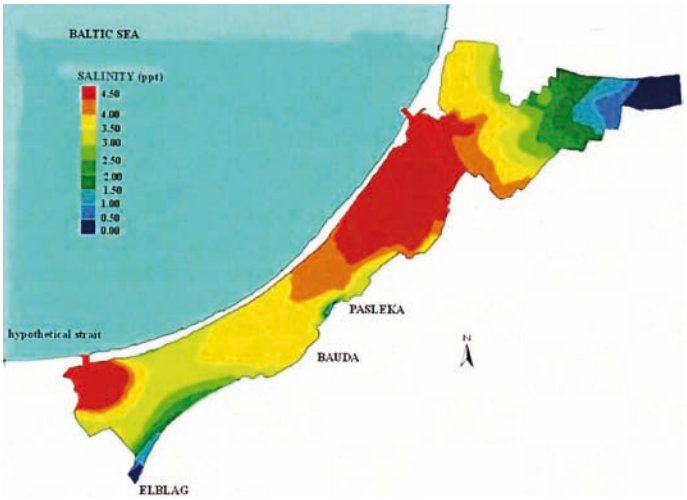
Na podstawie uzyskanych danych zauważyć można, że napływ wód z Zatoki Gdańskiej bądź odpływ wód z Zalewu Wiślanego będzie niewielki i powstanie wyłącznie w momencie śluzowania statków. Nie było zamiarem twórców przekopu, aby był on stale otwarty, przejawem czego jest proponowana śluza. W konsekwencji ilość wody, która dotrze do Zalewu Wiślanego będzie niewielka, a jej wpływ na dynamikę i zasolenie wód Zalewu będzie miał charakter krótkookresowy. Zasięg tego oddziaływania będzie zaledwie lokalny. O lokalności oddziaływania kanału na wzrost zasolenia wód zalewu mogą świadczyć obliczenia modelowe Kruka i in. [19], według których zasięg ograniczy się jedynie do bliskiego sąsiedztwa kanału, np. w okolicach Skowronek (rys. 7, 8). Według Autorów zasolenie wzrośnie tam z 0,5‰ do około 4,5 ÷ 5,0‰. Nie określili oni jednak czy będzie to stała tendencja (przy stale otwartej śluzie), czy tylko chwilowe wzrosty, np. podczas śluzowania. Wydaje się, że Autorzy błędnie założyli, że śluza będzie otwarta przez dłuższy okres czasu. Jednakże w przypadku awarii śluzy możliwe będzie wystąpienie takiego zasolenia w okresie jej trwania.

W konsekwencji braku istotnego wzrostu zasolenia oraz możliwego napływu wód z Zatoki Gdańskiej nie będzie również obserwowany wzrost termiki wód Zalewu Wiślanego oraz skrócenie długości okresu trwania zlodzenia.

Kanał łączący wody Zalewu z morzem nie spowoduje pogorszenia jakości wód Zatoki Gdańskiej ani Zalewu Wiślanego,



Rys. 7. Przykładowy rozkład przestrzenny zasolenia (w PSU) oraz kierunków i prędkości prądów morskich na Zalewie Wiślanym w sytuacji wypływu wód do Bałtyku przez Cieśninę Pilawską, jako symulacja modelu GEMSS [19]



Rys. 8. Przykładowy rozkład przestrzenny zasolenia (w PSU) na Zalewie Wiślanym w sytuacji otwarcia kanału do Bałtyku w polskiej części Zalewu Wiślanego, jako symulacja modelu GEMSS [19]

ponieważ nie będzie ciekiem niosącym zanieczyszczenia z terenu, przez który przepływa, a jedynie łącznikiem między wodami Zalewu i morza. Nastąpi jedynie wymieszanie wód o znaczeniu lokalnym. W przypadku zanieczyszczenia wód samego Zalewu lub Zatoki Gdańskiej nie będzie w zasadzie możliwe zanieczyszczenie jednego akwenu przez drugi w wyniku utrudnionego napływu, który występować będzie tylko podczas śluzowania. Z kolei potencjalny napływ wody w powstałym kanale spowoduje wzrost natlenienia wód Zalewu Wiślanego (efekt pozytywny). Istnieje jednocześnie możliwość wystąpienia awarii statków przepływających kanałem i płynących torem wodnym do Elbląga. W konsekwencji przy „odpowiednich" warunkach hydrometeorologicznych możliwa jest katastrofa ekologiczna.

Regulacja wody w kanale za pomocą śluzy zapobiegnie przepływowi wód z Zatoki do Zalewu. Jednakże wybudowanie kanału żeglugowego umożliwi, po otworzeniu wrót z obu stron śluzy, obniżenie poziomu spiętrzenia (wywołanego dopływem potamicznym) w granicach od 15 do 25 cm w rejonie wałów

Tabl. 3. Prognoza zmian kompletu podstawowych parametrów hydrologicznych na etapie eksploatacji

Parametr hydrologiczny	Prognoza					
	Wpływ toru wodnego			Wpływ kanału		
	terytorialny	jakościowy	czasowy	terytorialny	jakościowy	czasowy
Stan wody	brak	brak	brak	lokalny	brak	chwilowy
Prądy	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Falowanie	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Spiętrzenia	brak	brak	brak	lokalny	brak	chwilowy
Przepływy na kanale	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Zlodzenie	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Termika	brak	brak	brak	lokalny	mały	chwilowy
Zasolenie	brak	brak	brak	lokalny	mały	chwilowy
Zamulenie i zapiaszczenie	subregionalny	umiarkowany	długookresowy	lokalny	mały	chwilowy
Składowanie refulatu	lokalny	umiarkowany	długookresowy	lokalny	mały	krótkookresowy
Zasilanie ze strony zlewni	brak	brak	brak	lokalny	mały	chwilowy
Bilans wodny	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Morfometria i batymetria	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Pojemność	brak	brak	brak	brak	brak	brak

Zakres terytorialny – brak, lokalny, subregionalny, regionalny,
Zakres jakościowy – brak, mały, umiarkowany, duży,
Zakres czasowy – brak, chwilowy, krótkokresowy (do 1 roku), średniookresowy (1 rok do 10 lat), długookresowy (powyżej 10 lat)

przeciwpowodziowych osłaniających tereny depresyjne od strony Żuław. Nawet tak niewielkie pozornie obniżenie zwierciadła poziomu wody stanowi istotną korzyść hydrologiczną. Kanał żeglugowy nie zagrozi terenom nizinno-depresyjnym w sytuacji spiętrzenia wód morskich. Zamknięcie wrót śluzy uniemożliwi napływ wody morskiej do Zalewu Wiślanego. Według Zadrogi [34, 35] w trakcie intensywnych spiętrzeń wody w Zalewie Wiślanym w ostatnich latach (1983, 1995, 2009) istniało poważne zagrożenie powodziowe dla terenów depresyjnych; w takich sytuacjach kanał żeglugowy stanowić może w przypadku otwarcia śluzy tzw. kanał ulgi, umożliwiający odpływ nadmiaru wody w stronę morza, a więc będzie miał zdecydowanie pozytywny wpływ na ochronę przeciwpowodziową terenów przyzalewowych. Wydaje się to jednak mało prawdopodobne, gdyż w czasie podniesienia się poziomu wody w Zalewie Wiślanym, w tym samym czasie podniesie się poziom wód Zatoki Gdańskiej, które będą dodatkowo podpiętrzane u wybrzeży Mierzei Wiślanej. W konsekwencji odpływ wód z Zalewu będzie utrudniony, a wręcz niemożliwy, co będzie wynikać nie tylko z podpiętrzenia wiatrowego, ale także wysokiego poziomu wody w Zatoce, wyższego niż w samym Zalewie. Jedynie w przypadku pojawienia się wysokiego poziomu wody wynikającego z dopływu potamicznego byłaby możliwość wykorzystania kanału w ten sposób, o którym pisał Zadroga [36].

Można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że po wykonaniu nowego toru nawigacyjnego prowadzącego przez Zalew wymagane będą okresowo prace pogłębiarskie. Z kolei naturalne warunki hydrodynamiczne wód na Zalewie Wiślanym nie ulegną istotnym zmianom i nadal będą zależne od warunków hydrometeorologicznych.

W zestawieniu tabelarycznym przedstawiono prognozę zmian podstawowych parametrów hydrologicznych na etapie eksploatacji powstałego kanału i pogłębionego toru wodnego (tabl. 3).

LITERATURA

1. Bielecka M., Kaźmierski J.: A 3D mathematical model of Vistula Lagoon hydrodynamics – general assumptions and results of preliminary calculations. Diffuse Pollution Conference, ECSA 8, Dublin 2003, 140-145.

2. Bogdanowicz R.: Komentarz do mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50000, arkusz N-34-52-C Frombork. Polkart, Warszawa 2009.

3. Bogdanowicz R., Krajewska Z.: Komentarz do mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50000, arkusz N-34-51-D Krynica Morska, Polkart. Warszawa 2009.

4. Chechko V. A.: Analysis of spatial-temporal variability of suspended matter of the Kaliningrad Bight of the Baltic Sea. Russ Water Resour, 4, 2002, 425-432.

5. Chechko V. A.: Characteristic features of sedimentation in estuaries of lagoon type (by the example of Vistula and Curonian lagoons of the Baltic Sea). [W:] A.V. Alimov, M.B. Ivanova (eds), Regularities of hydro biological regime in water bodies of different types, Moscow: "Scientific World", 2004, 172-175.

6. Chubarenko B. V., Kuleshov A.F., Chechko V.A., 1998, Field study of spatial-temporal variability of suspended substances and water transparency in Russian part of the Vistula lagoon. [W:] Monographs in system ecology, vol. 2, Klaipeda, Lithuania, 12-17.

7. Chubarenko B., Margoński P.: The Vistula Lagoon. [W:] U. Schiewer (ed.), Ecology of Balic Coastal Waters. Ecological Studies, 197, Springer, 2008, 167-195.

8. Cieśliński R.: Wpływ Zalewu Wiślanego na stan jakości wód wybranych obiektów Żuław Wiślanych. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 23/24, Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2002, 107-126.

9. Dembicki E., Jednorał T., Sedler B., Jaśkowski J., Zadroga B.: Kanał żeglugowy w polskiej części Mierzei Wiślanej. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5/2006, 275-286.

10. Directive 2000/60 of the European Parlament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy, 2000. Official Journal of the European Union, L 327, 1-72.

11. Dubrawski, R., Zachowicz J.: Kanał żeglugowy na Mierzei Wiślanej – pozytywy i negatywy dla środowiska morskiego, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5/ 1997, 301-307.

12. Dynowska I, Pociask-Karteczka J.: Obieg wody, w: Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze. Warszawa 1999, 343-373.

13. Dziadziuszko Z., Zorina W. A.: Stany wody. [W:] N. N. Łazarienko i A. Majewski (red.), Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego. WKiŁ Warszawa 1975, 134-197.

14. Jednorał T. i inni: Opracowanie podstaw procesu aktywizacji regionu elbląskiego w aspekcie transportu morsko-rzecznego, rekreacji i rybołówstwa. Wnioski i Zalecenia zeszyt 1 i 2, Instytut Morski, Gdańsk 1996.

15. Kaczmarek J., Wróblewski A., Zeidler R.: Wyznaczanie i predykcja wezbrań sztormowych, w: Rozprawy Hydrotechniczne, nr 61, PAN IBW, Gdańsk 1997, 75-89.

16. Koncepcja przebiegu i budowy torów podejściowych i toru głównego na Zalewie Wiślanym dla czterech lokalizacji kanału żęglugowego przez Mierzeję Wiślaną. Wuprohyd, 2009.

17. Koncepcja przebudowy wejścia do portu Elbląg wraz z pogłębieniem torów podejściowych do portów Zalewu Wiślanego. Zakład Mechaniki falowania i Dynamiki Budowli, Zakład Mechniki i Inżynierii brzegów IBW PAN, 2009.

18. Kruk M.: Zalew Wiślany pomiędzy lądem a morzem: kłopotliwe konsekwencje. [W:] M. Kruk, A. Rychter, M. Mróz (red.), Zalew Wiślany – środowisko przyrodnicze oraz nowoczesne metody jego badania na przykładzie projektu Visla, Wyd. PWSZ, Elbląg, 2011, 21-50.

19. Kruk M., Kempa M., Tjomsland T., Durand D.: Zastosowanie modeli matematycznych do przewidywania zmian środowiska Zalewu Wiślanego. [W:] M. Kruk, A. Rychter, M. Mróz (red.), Zalew Wiślany – środowisko przyrodnicze oraz nowoczesne metody jego badania na przykładzie projektu Visla, Wyd. PWSZ, Elbląg, 2011, 165-180.

20. Krzymiński W., Kruk-Dowgiałło L., Zawadzka-Kahlau E., Dubrawski R., Kamieńska M., Łysiak-Pastuszak E.: Typology of Polish Marine Waters. Coastline Reports 4 (2004), 39-48.

21. Krzymiński W., Kruk-Dowgiałło L.: Typologia polskich wód morskich – krok do przodu w kierunku doskonalenia ochrony wód. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, vol. 33, 2005, 271-278.

22. Łazarenko N. N., Majewski A.: Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1975.

23. Majewski A.: Przenikanie wód morskich w ujścia rzek polskich. Biuletyn PIHM „Gospodarka wodna", Nr 9 (31), Rok III, 1960.

24. Mikulski Z.: Wody śródlądowe w strefie brzegowej południowego Bałtyku. Prace PIHM, z. 98, Warszawa 1970, 25-41.

25. Niespodzińska L.: Zastosowanie geosyntetyków do budowli hydrotechnicznych w rejonie Zalewu Wiślanego. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6/1995, 306-311.

26. Raport o oddziaływaniu na środowisko budowy kanału żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną. EKOKONSULT, Gdańsk 2009.

27. Silicz M.W., 1975, Bilans wodny, [W:] N.N. Łazarienko i A. Majewski (red.), Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego, WKiŁ Warszawa, 246 - 269.

28. Studium wykonalności budowy kanału żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną, 2008. GEOSYNTEX, (maszynopis), ss. 166.

29. Szymkiewicz R. (red.), 1992, Hydrodynamika Zalewu Wiślanego, Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, zeszyt 4, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa, ss. 101.

30. Sołowiew I. I., 1975, Charakterystyka morfometryczna zalewu i jego linia brzegowa, [w:] N.N.Łazarienko i A. Majewski (red.), Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego, WKiŁ Warszawa, 18-21.

31. Schiewer U. (ed.), 2008, Ecology of Balic Coastal Waters. Ecological Studies, 197, Springer

32. Witek Z., Zalewski M., Wielgat-Rychert M., 2001, Nutrient stocks and fluxes in the Vistula Lagoon at the end of the twentieth century, Sea Fisheries Institute and Pomeranian Academy in Słupsk, Gdynia-Słupsk ss. 164.

33. Wypych K., Niechaj I.J., Sołowiew I.I., Jaworska M., 1975, Ukształtowanie dna i osady denne zalewu, [w:] N.N. Łazarienko i A. Majewski (red.), Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego, Wydaw. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 41–57.

34. Zadroga B., 2009, Wybrane terenowe badania geotechniczne w zakresie krajowego budownictwa morskiego. Przeszłość-teraźniejszość-przyszłość. Inż. Mor. Geotech. 5, 352-363.

35. Zadroga B., 2010, Budowanie wspólnie z naturą. Działania minimalizujące i kompensujące straty środowiskowe potwierdzające celowość budowy kanału żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną. Inż. Mor. Geotech. 2, 229-243.

36. Zadroga B., 2011, Czy można budować morskie obiekty hydrotechniczne wspólnie z naturą?, Nauka, Przyroda, Technologie, t. 5, z. 5, 1-10.