

PROGNOZA ZMIAN WARUNKÓW HYDROLOGICZNYCH ZALEWU WIŚLANEGO POD WPLYWEM ODDZIAŁYWANIA KANALU ŻEGLUGOWEGO PRZEZ MIERZEJĘ WIŚLANĄ

Roman Cieśliński

Cieśliński R., 2013: Prognoza zmian warunków hydrologicznych Zalewu Wiślanego pod wpływem oddziaływania kanału żeglugowego przez Mierzę Wiślaną (*Projected changes in the hydrological conditions of the Vistula Lagoon under influence of new navigable channel through the Vistula Spit*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Vol. 14, s. 13–25.

Zarys treści: W efekcie przeprowadzonej kwerendy materiałów źródłowych oraz badań terenowych mających na celu wykonanie zdjęcia hydrologicznego (pomiar przepływu na głównych dopływach do Zalewu Wiślanego przy użyciu ADCP i przepływomierza Argonaut, lokalne kartowanie hydrograficzne) ustalono, że największym problemem dla Zalewu Wiślanego przy tworzeniu kanału przez Mierzę Wiślaną – tak na etapie budowy, jak i eksploatacji – będzie zmętnienie wody wskutek wyczerpania z dna gruntów o zawartości cząstek pylasto-gliniastych i organicznych (namulów). Poza wzrostem zmętnienia mogą wystąpić (w zależności od rodzaju zanieczyszczenia i jego koncentracji) efekty spowodowane uwolnieniem materii organicznej i substancji toksycznych oraz związków biogenicznych zdeponowanych w osadach dennych (wzrost biologicznego zapotrzebowania tlenu i oddziaływanie substancji toksycznych). Zmiany zasolenia wód w Zalewie Wiślanym mogą wystąpić jedynie lokalnie i w bardzo niewielkim stopniu. Podstawowym źródłem zasolenia wód Zalewu Wiślanego pozostaną sztormowe fale od strony Cieśniny Piławskiej. Naturalne warunki hydrodynamiczne i hydrologiczne wód na Zalewie Wiślanym nie ulegną istotnym zmianom i nadal będą zależne od warunków hydrometeorologicznych.

Słowa kluczowe: Zalew Wiślany, hydrologia, projektowany kanał żeglowny, zasolenie, osady dennie, zmętnienie.
Key words: *Vistula Lagoon, hydrology, projected navigable channel, salinity, sediments, turbidity.*

Roman Cieśliński, Uniwersytet Gdański, Katedra Hydrologii, ul. Bażyńskiego 4, 80-952 Gdańsk, georc@univ.gda.pl

1. Wprowadzenie

Zalew Wiślany (ros. Zalew Kaliningradzki), zwany czasem Świeżym lub Fryskim (ryc. 1), jest drugim pod względem wielkości zalewem w strefie brzowej południowego Bałtyku. Jest zatoką wewnętrzną Zatoki Gdańskiej, części Morza Bałtyckiego. Biorąc pod uwagę jego położenie, należy do kategorii wód przejściowych pomiędzy wodami lądowymi a morzem (Maciejewski i in. 2004). Potwierdzają to prace Krzywińskiego i in. (2004) oraz Krzywińskiego

i Kruk-Dowgiałło (2005), którzy na podstawie typologii wód w Polsce, zaliczyli Zalew Wiślany do wód przejściowych, o charakterze laguny z substratem mułowym i piaszczystym. W literaturze (Majewski 1972, 1994) taki typ wód, o ile stanowi też ujście rzeki, nosi często nazwę estuarium, a ponieważ akwen od strony morza ograniczony jest wąskim pasem wydmy, Zalew Wiślany można również określić jako lagunę (Kruk 2011). Zalew Wiślany stanowił dawniej jeden z głównych odbiorników Wisły. Po odcięciu ramion delty od głównego koryta Wisły w Zalewie znacz-



Ryc. 1. Zalew Wiślan – część polska i rosyjska (Cieśliński 2002)

Fig. 1. Vistula Lagoon – Polish and Russian part (Cieśliński 2002)

nie wzmogła się rola czynnika morskiego (Majewski 1960). Obecnie jest on prawie zamknięty. Jedyny kontakt z wodami morskimi odbywa się poprzez Cieśninę Pilawską, nazywaną także Rynną Bałtyjską, znajdującą się w części rosyjskiej, oraz przez rzekę Szkarpawę. Pomysł budowy kanału, który połączyłby wody Zalewu Wiślanego i Zatoki Gdańskiej, a przez to skróciłby i uprościł drogę dla żeglugi polskiej (z pominięciem drogi przez obszar rosyjski) istniał od dawna. Na początku maja 2006 roku Rosjanie wstrzymali możliwość wpływania polskich statków turystycznych i pasażerskich do rosyjskich portów oraz rosyjskich statków do polskich portów nad Zalewem Wiślanym. Przez Cieśninę Pilawską pływać mogą jedynie jednostki tranzytowe polskie i rosyjskie, przez Szkarpawę wszystkie. Przed restrykcjami port w Elblągu w ponad 90% obsługiwał transport turystyczny i towarowy między Polską a obwodem kaliningradzkim, po ich wprowadzeniu ruch w nim praktycznie zamarł. Dopiero w 2009 roku została zawarta umowa polsko-rosyjska regulująca możliwość przepływu statków przez granicę. Decyzja Rosji z 2006 roku była jednym z bodźców dla podjęcia decyzji o realizacji tego projektu.

Celem niniejszej pracy jest określenie prawdopodobnych zmian w warunkach hydrologicznych Zalewu Wiślanego wynikających z powstania kanału żeglugo-wego przez Mierzeję Wiślaną i jego eksploatacji.

2. Metody

Główne prace polegały na kwerendzie materiałów źródłowych publikowanych i niepublikowanych w różnych instytucjach państwowych i prywatnych. Uzupełnieniem kwerendy były prace terenowe polegające na lokalnym kartowaniu hydrograficznym frag-

mentów polskiej części wybrzeża Zalewu Wiślanego, wykonaniu dokumentacji fotograficznej (niezamieszczona w pracy) oraz pomiarach przepływów głównych cieków odpływających z polskiej części zlewiska Zalewu. Pomiary przepływu wykonano przy użyciu Akustycznego Dopplerowskiego Prądomierza Profilującego (ADCP) Teledyne RD Instruments StreamPro o zakresie głębokości od 0,15 do 4,2 m i Akustycznego Dopplerowskiego Prądomierza Profilującego Teledyne RD Instruments Workhorse Rio Grande 1200 ZedHed ADCP o zakresie głębokości od 0,3 do 21 m.

3. Propozycje lokalizacji kanału żeglugowego oraz dane techniczne konstrukcji

Obecnie istnieją cztery propozycje lokalizacji przekopu przez Mierzeję Wiślaną (Raport OOŚ 2009). Są to:

- Skowronki w Gminie Sztutowo,
- Nowy Świat w Gminie Sztutowo,
- Przebrno w Gminie Krynica Morska,
- Piaski w Gminie Krynica Morska (ryc. 2).

Poniżej przedstawiono krótką informację na temat poszczególnych lokalizacji kanału.

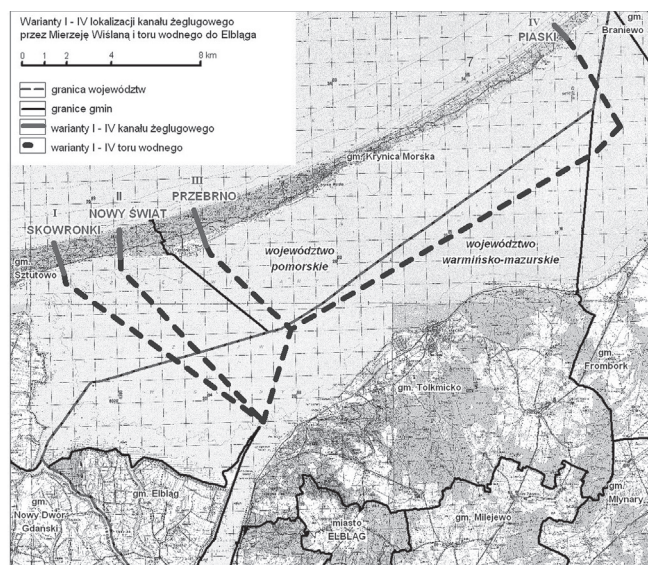
Skowronki – przewidywana długość kanału wyniesie 1150 m. Lokalizacja kanału w tym miejscu wymaga wykonania robót ziemnych o kubaturze 1 260 000 m³. Tor wodny od strony morza do projektowanego portu będzie wymagał wyrefulowania około 100 000 m³. Wykonanie nowego i pogłębienie istniejącego toru wodnego na Zalewie od przekopu Mierzei do portu w Elblągu wymaga wykonania robót refulacyjnych o łącznej kubaturze 4 150 000 m³. Wysokość wydmy w tym miejscu nie przekracza 12 m.

Nowy Świat – powierzchnia zajęta przez kanał i infrastrukturę wyniesie około 19,5 ha, 1260 m długości i 150 m szerokości. Wydmy w tym rejonie osiągają wysokość od 9 m do 20 m. Ilość materiału, którą trzeba będzie zagospodarować, będzie podobna jak w przypadku lokalizacji w Skowronkach i wyniesie 1 740 000 m³.

Przebrno – obejmuje powierzchnię około 26 ha. Przewidywana długość kanału ma wynieść 1650 m. Wysokość najwyższej wydmy wynosi 20 m. Ilość materiału, którą trzeba będzie zagospodarować, będzie podobna jak w przypadku lokalizacji w Skowronkach i wyniesie 1 960 000 m³.

Piaski – kanał żeglugowy w tym miejscu będzie wymagał zbudowania najdłuższego toru wodnego (przez całą polską część Zalewu Wiślanego) z pogłębieniem toru do głębokości 4 m. Zajęłyby obszar 11,2 ha. Przewidywana długość kanału ma wynieść 750 m. Ilość materiału, którą trzeba będzie zagospodarować, wyniesie 790 000 m³. Ze względu na sąsiedztwo z Rosją zachodzi

możliwość największego transgranicznego oddziaływania przedsięwzięcia.



Ryc. 2. Propozycje lokalizacji przekopu przez Mierzę Wiślaną (Raport OOS 2009)

Fig. 2. Proposals for the location of the trench by the Vistula Spit (Raport OOS 2009)

Poniżej podano parametry hydrotechniczne dla wszystkich lokalizacji.

Przewidywana szerokość kanału żeglugowego wyniesie 60 m, z poszerzeniem do 100 m na odcinku 200 m, głębokość zaś ma wynieść 5 m (Studium Wykonalności 2008). Przewiduje się zamontowanie śluzy o długości 200 m, szerokości 25 m i głębokości 5 m.

Według Raportu OOS (2009) brzegi kanału będą obustronnie obudowane konstrukcjami żelbetonowymi. Skarpy będą kształtowane w nachyleniu 1:3 względem poziomu terenu.

Śluza jest konieczna dla zapewnienia po obu stronach Mierzei Wiślanej bezpiecznej żeglugi w warunkach zmiennych stanów wody. Ponadto śluza ograniczy do minimum mieszanie się wody z Zatoki Gdańskiej z wodą z Zalewu Wiślanego.

Przewiduje się także wykonanie toru wodnego na Zalewie Wiślanym. Jego długość w zależności od lokalizacji wyniesie:

- „Skowronki” – 11,63 km,
- „Nowy Świat” – 9,68 km,
- „Przebrno” – 9,66 km,
- „Piaski” – 26,3 km.

4. Zagospodarowanie refulatu i jego wpływ na środowisko

W „Studium wykonalności” (2008), dotyczącym budowy kanału żeglugowego przez Mierzę Wiślaną

oraz toru wodnego do portu w Elblągu, przedstawiono teoretyczne możliwości zagospodarowania urobku – piasków i mulów. Składało się na to kilka koncepcji. Wśród nich do najistotniejszych zaliczyć należy:

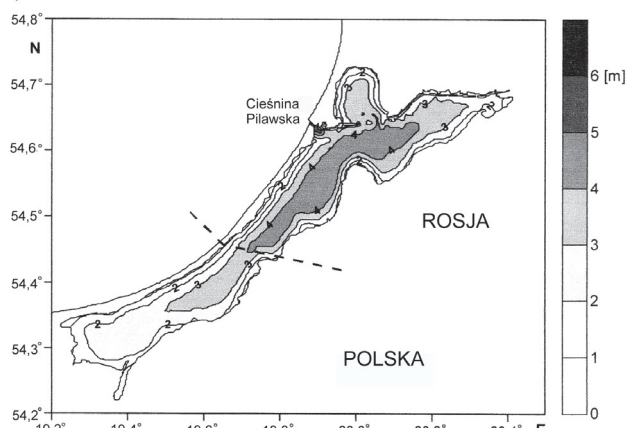
- Wybudowanie jednej lub dwóch wysp stanowiących ostoję dla ptactwa wodnego na Zalewie Wiślanym w miejscu wskazanym przez lokalną społeczność i władze samorządowe gmin nadzalewowych, w uzgodnieniu z ekologami i ornitologami. Wyspy wykonane byłyby w systemie otwartym (tworzone przez rekultywację) lub zamkniętym (budowane na konstrukcjach). 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 Mierzę Wiślaną. Nowo powstały 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 (Niespodzińska 1995), obrzeża takiej wyspy można wykonać z walców i kieszek z geowłókniny, wypełnionych piaskiem z robót pogłębiarskich na torze wodnym, a wewnątrz wyspy z urobku organicznomineralnego. 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.
- Tworzenie związanych z brzegiem polderów otwartych – magazynów (składowisk) – urobku czerpalnego na wszystkich torach zalewu. Maksymalna powierzchnia polderu, związanego z brzegiem, wyniesie od 6,8 km² do 10,3 km². Polder byłby poddany intensywnym zabiegom biotechnicznym – zatrąwienie, 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 oczyszczania (pogłębiania) toru wodnego na Zalewie Wiślanym.

5. Morfometria Zalewu Wiślanego

Zalew Wiślany to mulista niecka, która rozciąga się w postaci wydłużonego południkowo 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 Pregoi. Powierzchnia jego wynosi 838,0 km² (Szymkiewicz 1992, Schiewer 2008), w tym w granicach Polski 328 km² (Łomniewski 1958). Jest odcięty od Zatoki Gdańskiej przez Mierzę Wiślana. Dłuższa oś Zalewu biegnie z północnego wschodu na południowy zachód. Akwen jest oddzielony od Bałtyku Mierzę Wiślana o długości około 50 km. Jak już wcześniej wspomniano, jedyne połączenie Zalewu z Zatoką Gdańską stanowi Cieśnina Piławska, której długość wynosi 2000 m, szerokość około 400 m i głębokość od 8 do 12 m (Schiewer 2008). Na obszarze Zalewu Wiślanego znajdują się trzy zatoki, dwie po stronie rosyjskiej – Primorska i Kalinińgradzka oraz jedna po stronie polskiej – Elbląska.

Zalew Wiślany jest zbiornikiem bardzo płytkim. Jego misa jest spłycona przez osadzający się na dnie muł. Średnie głębokości wynoszą tu zaledwie 2,0–3,0 m. Średnia głębokość w polskiej części Zalewu Wiślanego wynosi 2,4 m, zaś dla całego Zalewu – 2,5 m (Bogdanowicz 2009). Jedynie w rynnie toru wodnego biegnącego środkiem Zalewu głębokości osiągają wartości większe niż 3,0 m (Sołowiew 1975), a maksymalnie 5,2 m (Chubarenko, Margoński 2008) (ryc. 3).



Ryc. 3. Batymetria Zalewu Wiślanego (Witek i in. 2001)
Fig. 3. Bathymetry of the Vistula Lagoon (Witek et al. 2001)

Pojemność Zalewu szacuje się na 2,3 km³ masy wodnej, z czego na wschodnią część przypada 1,5 km (64,0% całkowitej objętości). Czas retencji wynosi tu około 6 miesięcy (Silicz 1975). Dno Zalewu Wiślanego stanowią szare piaski i muły, a w części południowo-zachodniej muły.

6. Osady denne Zalewu Wiślanego

Powierzchnia dna wschodniej części Zalewu głównie jest pokryta mułem, w którym zawartość cząstek ilastych zwiększa się w kierunku północno-wschodnim,

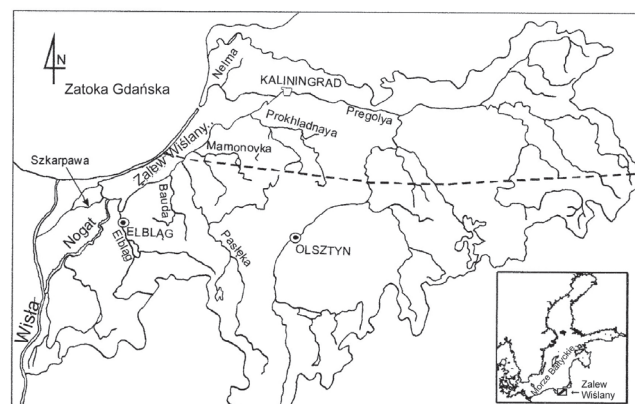
a tylko na odcinku wzdłuż brzegu północnego i południowego spotykamy nagromadzony piasek. Dno części środkowej Zalewu Wiślanego pokryte jest mułem. Wzdłuż brzegu nierównym pasmem ciągną się złoża drobnego piasku, tylko w bardzo rzadkich przypadkach przerywane osadami mulistymi (Wypych i in. 1975).

Na południowo-wschodnim skłonie podwodnym brzegu występuje kilka ilasto-piaszczystych i dwie kamienne mielizny. Utworzone są przez osady rzeczne lub związane są z miejscami intensywnej abrazji brzegów morenowych, spowodowanej falowaniem. Mielizna Szczukińska, o głębokości 1,5 m, jest największą z nich i ciągnie się w głąb zalewu na odległość 2,5 km.

Rejon Rynny Bałtyjskiej oddzielony jest od głównej niecki Zalewu piaszczystą mielizną o charakterze rewy z głębokościami nad nim 0,5–1,0 m. Tak jak w przypadku stożka Pregoi, przecina go tor wodny i kanał morski. Grzbiet baru, znajdujący się w odległości około 2 km od Rynny Bałtyjskiej, stanowi pewną przeszkodę dla swobodnej wymiany wody przez cieśninę.

7. Zlewisko Zalewu Wiślanego

Powierzchnia zlewiska Zalewu Wiślanego (ryc. 4) wynosi 23 870,6 km² (Szymkiewicz 1992). Jest ono położone w większej części w Polsce: 14 757 km² (Dynowska, Pociask-Karteczka 1999), a w mniejszej w Rosji, w Obwodzie Kalinińgradzkim, oraz w postaci tylko wschodniej części zlewni jeziora Wysztyńckiego, również na Litwie. Wskutek prawie równoleżnikowego przebiegu największej rzeki uchodzącej do zalewu – Pregoi, jest rozbudowany niesymetrycznie na wschód. Zachodnią granicą zlewiska jest Wisła. Najdalej wysuniętym na południe obszarem zlewiska jest dorzecze Pasłęki. Dorzecze Pregoi wynosi prawie 63% obszaru zlewiska Zalewu Wiślanego (14 667 km²). Rzeka ta wraz ze swymi dopływami należy do typu rzek



Ryc. 4. Zlewisko Zalewu Wiślanego (Witek i in. 2001)
Fig. 4. River basin of the Vistula Lagoon (Witek et al. 2001)

nizinnych, które charakteryzują się możliwością występowania wezbrań w ciągu całego roku. Drugą rzeką pod względem długości jest Pasłęka, której dorzecze stanowi nieco poniżej 10% obszaru zlewiska. W skład zlewiska Zalewu Wiślanego wchodzi również od strony polskiej dorzecze rzek: Elbląg, Nogat oraz Szkarpowa i Tuga, a od strony rosyjskiej – Prochładna. Przez wody Pregoly i Dejmy Zalew Wiślany łączy się z Zalewem Kurońskim i Niemnem (*Atlas podziału hydrograficznego Polski* 2005).

Sieć hydrograficzna zlewiska Zalewu Wiślanego jest dość urozmaicona. Występują tu liczne rzeki, jeziora, wypływy wód podziemnych. W dużej części są to tereny podmokłe.

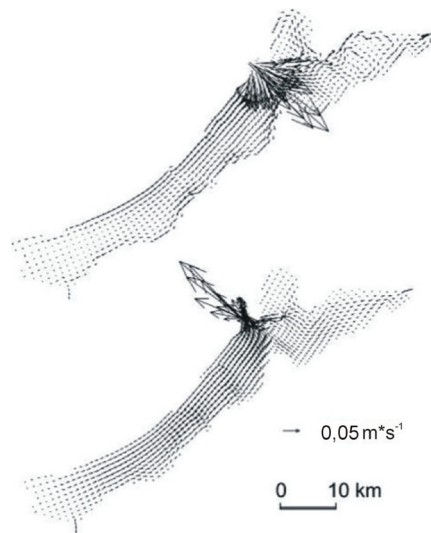
Reżim ujściowych odcinków rzek uchodzących do Zalewu Wiślanego, ze względu na nieznaczne spadki podłużne, jest warunkowany stanami wód w Zalewie. Przykładowo na Pregole cofka wywołana spiętrzeniem wód w Zalewie sięga do 60–70 km w górę rzeki.

Największe rzeki wpływające do Zalewu to: Pregola (dostarcza 62% wód słodkich), Prochładna, Mamonowka i Primorskaja, dopływające z części rosyjskiej, oraz Pasłęka, Elbląg, Nogat, Szkarpowa, Tuga i Bauda, dopływające od strony polskiej. Dopływ wody z Wisły, w wyniku funkcjonowania śluz na Nogacie i Szkarpiwie, jest bardzo ograniczony. Średni roczny dopływ wód rzecznych do Zalewu wynosi około $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Chwilowe przepływy (na podstawie badań własnych przy użyciu ADCP) zawierają się w przedziale od około $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do około $1300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wywołane tymi dopływami maksymalne dobowe zmiany poziomu wody w Zalewie nie przekraczają 0,1 m.

8. Wymiana wody poprzez Cieśninę Pilawską

Zalew Wiślany jest akwenem płytkim, z bardzo nieproporcjonalnie rozłożonymi zasobami wodnymi w relacji do miejsca wymiany wód z Morzem Bałtyckim, czyli do Cieśniny Pilawskiej. Ruch wód z jego zachodniej części jest już „na wstępie” utrudniony. Rzeki w tej części Zalewu oddalone są od Cieśniny Pilawskiej proporcjonalnie dalej niż rzeki zlokalizowane w części wschodniej. A przecież głównym „napędem” odpowiedzialnym w około 80% za dopływ wód do Zalewu Wiślanego są zmiany poziomu wód bałtyckich. Wahania w tym akwenie łącznie z oddziaływaniem wiatru mogą sięgać w trakcie listopada nawet ponad 1,3 m (wg Loci Bałtyckiej). Można sobie wyobrazić, że te wpływy wód z Zatoki Gdańskiej dodatkowo „hamują” odpływ wód z polskiej części laguny, a zatem wody z rzeki Elbląg czy z Nogatu dotrą do otwartego morza znacznie później niż wody pochodzące z Pregoly czy Pasłęki.

Dodatkowo mamy tu do czynienia z istotną modyfikacją dynamiki przepływu wód morskich przy przejściu wód przez wąską Cieśninę Pilawską. Rola tego morskiego przejścia jako „wąskiego gardła”, którego działanie można porównać do zjawiska syfonu, polega na hamowaniu i opóźnianiu efektów wahań. Mianowicie 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 (ryc. 5).



Ryc. 5. Rozkład prędkości wód w Zalewie Wiślanym w sytuacji napływu wód z Bałtyku (górny rysunek) i ich wypływu (dolny) (Bielecka, Kazimierski 2003)

Fig. 5. Velocity distribution of water in the Vistula Lagoon in the situation of water inflow from the Baltic (top figure) and outflow from the lagoon (bottom) (Bielecka, Kazimierski 2003)

Jednak efekty tego „przemywania” Cieśniny Pilawskiej to w jedną, to w drugą stronę obejmują akwen Zalewu najbliższej położony, a więc jego rosyjską część, natomiast im dalej na zachód, tym prądy wyrównujące poziomy wód z Zatoką Gdańską bardziej ulegają „wypaszeniu”. Dlatego w przypadku sąsiadującej z deltą Wisły najbardziej na zachód wysuniętej części laguny możemy mówić o swoistym „zastoisku”.

9. Bilans wodny Zalewu Wiślanego

Z obliczeń bilansu wodnego wynika, że wymiana wód następuje przede wszystkim przez Cieśninę Pilawską. Sumaryczny roczny odpływ do morza ocenia się na $20,48 \text{ km}^3$, a napływ z Bałtyku do Zalewu na $17,00 \text{ km}^3$ (tab. 1). Dopływ wód lądowych do Zalewu

określa się na 3,60 km³ (Silicz 1975). Wymiana wody przez Cieśninę Pilawską zależy jest od czynników hydrologiczno-meteorologicznych. Są nimi: różnica poziomu wody między Zalewem i Zatoką Gdańską oraz warunki wiatrowe w rejonie cieśniny.

Retencja wyrażona jako relacja pomiędzy objętością wody a rocznym dopływem rzeczny, wynosi 198 dni (Chubarenko i in. 2004).

Tab. 1. Zestawienie średniego rocznego bilansu wodnego Zalewu Wiślanego w latach 1951–1965 (Silicz 1975)

Tab. 1. Statement of average annual water balances of the Vistula Lagoon in the years 1951–1965 (Silicz 1975)

Elementy bilansu wodnego <i>Components of the water balance</i>	Zalew Wiślaný <i>Vistula Lagoon</i>	
	mln m ³	%
Przychód		
Opad atmosferyczny	500	2,4
Dopływ ze zlewni	3620	17,1
Dopływ z morza	17000	80,2
Rozchód		
Parowanie	650	3,1
Odpływ do morza	20480	96,9

10. 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 (1992) 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 rzeczny, 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.

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 przyprływu lub odpływu eolicznego. Wahania tego typu są na ogół krótkotrwałe – średnio do kilkunastu godzin. Zdarzały się jednak sytuacje, gdzie tego typu 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 (Dziadziuszko, Zorina 1975). Wyższe stany wody w Zatoce Gdańskiej 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 (Bogdanowicz, Krajewska 2009). Na podstawie danych z lat 1951–1965 dotyczących wymiany wody obliczono średnie wartości możliwego wzrostu poziomu wód zależnie od dopływu rzeczny 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 rzeczny.

11. Prądy

Prądy w Zalewie Wiślanym mają charakter złożony i zmienny. Prądy stałe zaznaczają się słabo – zależne są od wiatru, wymiany wody z Morzem Bałtyckim, spływu rzeczny i warunków morfometrycznych (głębokość, linia brzegowa, położenie cieśniny) (Jelcewa 1975). W wyniku działania wymienionych czynników w Zalewie powstają:

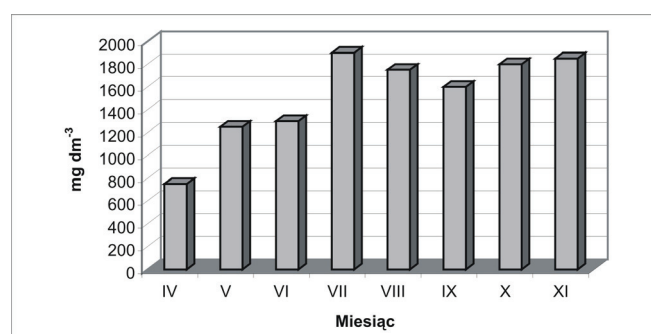
- prądy wiatrowe,
- prądy gradientowe,
- prądy okresowe – sejszowe,
- prądy gęstościowe.

W Rynnie Bałtyjskiej przeciętnie w ciągu roku prądy wyjściowe (odpływ) stanowią 41,5%, prądy wejściowe (napływ) 25,5%, prądy mieszane (dwuwarstwowe lub dwustrumieniowe) 27,6%, zaś okresy bez prądów 5,4%. Prądy te zależne są głównie od wymiany wody między Zalewem i Zatoką Gdańską. W rejonie Zalewu sąsiadującym bezpośrednio z Rynną w 25–50% przypadków prądy są skierowane w jej kierunku (na N, NNW, NW) lub w kierunku Zalewu (na S, SE). Częstość pozostałych kierunków prądów jest znacznie mniejsza i wynosi po 2–3%.

12. Zasolenie

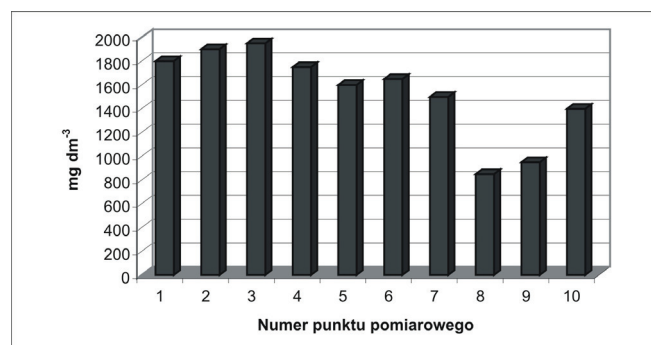
Przebieg zasolenia wód Zalewu Wiślanego jest rezultatem oddziaływania szeregu czynników, wśród których do najważniejszych należy wielkość zasilania rzeczny i częstość wlewów wód morskich (Mikulski 1970). Cechą charakterystyczną tego akwenu jest strefowość zasolenia. Rozległość poszczególnych stref

zasolenia jest różna. Mogą one ulegać przesunięciom w zależności od kierunku prądów, oddziaływania stałych wiatrów itp. Również ich zasięgi mogą się przesunąć sezonowo. Wzrost zasolenia na Zalewie Wiślanym obserwuje się w październiku, a minimum w lutym, gdy jest skuty lodem (Wiktor i in. 1997). Według Bogdanowicza (2009) 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. Z kolei na podstawie danych WIOŚ 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 (ryc. 6).



Ryc. 6. Średnie miesięczne stężenie chlorków w wodach powierzchniowych Zalewu Wiślanego w 1996 roku z 10 stanowisk pomiarowych (WIOŚ w Elblągu)

Fig. 6. The average monthly concentration of chloride in surface waters of the Vistula Lagoon in 1996 in 10 sampling stations (WIOŚ in Elbląg)



Ryc. 7. Średnie stężenie chlorków w wodach powierzchniowych Zalewu Wiślanego w 1996 roku na poszczególnych stanowiskach pomiarowych (WIOŚ w Elblągu)

Fig. 7. The average concentration of chloride in surface waters of the Vistula Lagoon in 1996 at individual sampling points (WIOŚ in Elbląg)

Rozpatrując zmienność przestrzenną stężeń chlorków, najniższe z nich notowane są na stanowisku nr 8, położo-

nym w zachodniej części laguny i będącym w zasięgu wód Nogatu. Najwyższe wartości wystąpiły na stanowiskach nr 1, 2, 3, 4, położonych w północno-wschodniej części Zalewu, przy granicy z Rosją (ryc. 7).

Zasolenie wód Zalewu ulega sezonowym zmianom i waha się od 0,7‰ do 4,4‰, stężenie chlorków zawiera się przeważnie w przedziale 567 mg Cl•m⁻³ do 5485 mg Cl•dm⁻³ (WIOŚ). Zasolenie wód Zalewu ulega również zmianom przestrzennym (najniższe wartości występują w zachodniej jego części). Według Raportu OOŚ (2009) w Zalewie Wiślanym obserwowany jest wyraźny gradient zasolenia wzdłuż osi akwenu 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 Piławskiej. Autorzy Raportu OOŚ (2009) na podstawie badań zasolenia wykonanych po 2000 roku zauważyli, że wody Zalewu Wiślanego cechowały się zmiennym zasoleniem, którego średnie roczne wartości zmieniały się w zakresie 2,9–5,2‰, przy czym zauważalny był z roku na rok wyraźny, konsekwentny trend malejący, wskazujący na wysładzanie wód zbiornika. Jednakże na podstawie obserwacji prowadzonych w latach 1993–2000 stwierdzili, że okresowe fluktuacje tego wskaźnika, w zależności od przewagi wpływów wód morskich bądź rzecznych, są zjawiskiem typowym dla tego zbiornika.

Prognozowana wymiana wody przez kanał żeglutowy oraz zmiany zasolenia wód Zalewu Wiślanego

Wymiana wód między morzem i Zalewem Wiślanym następuje podczas sztormów, przy wytworzonej różnicy poziomów wody między tymi akwenami, która może dochodzić do 1,5–2,0 m (Dembicki i in. 2006). Na podstawie wstępnych założeń projektowych (Jednorą i in. 1996; Dubrawski, Zachowicz 1997) powierzchnia przekroju śluzy kanału żeglutowego wynosi 120 m², co stanowi około 2,7% powierzchni przekroju Cieśniny Piławskiej. Przy dużym uproszczeniu Jednorą i in. (1996) przyjął, że przepływ w kanale żeglutowym będzie proporcjonalny do wielkości powierzchni przekroju i wyniesie około 2,7% przepływu Cieśniny Piławskiej. Napływ wody z Zatoki Gdańskiej wyniesie wtedy ok. 0,5 km³•rok⁻¹, a odpływ z Zalewu Wiślanego około 0,55 km³•rok⁻¹. Odpowiednio średnie prędkości napływu z morza osiągną wtedy około 0,22 m•s⁻¹, a odpływu około 0,33 m•s⁻¹. W analizie nie uwzględniano ekstremalnych różnic poziomów wody, ponieważ przy prędkości przepływu ≥0,5 m•s⁻¹ śluzy zostaną całkowicie zamknięte. Objętość wody polskiej części Zalewu Wiślanego wynosi około 0,8 km³, a całego Zalewu 2,3 km³, dlatego oszacowany napływ 0,5 km³ wody morskiej przez kanał żeglutowy, mimo rozcieńczenia

przez wody rzeczne, podniesie według Jednorąla i in. (1996) oraz Dubrawskiego i Zachowicz (1997) istotnie zasolenie wód zarówno zachodniej części, jak i całości Zalewu. Przy odpływie 0,55 km³ wody z Zalewu o zasoleniu około 2-krotnie niższym od morskiego pozostanie w nim około 0,25 km³ wody morskiej o zasoleniu około 7,5‰. Szacuje się, że w stosunku do objętości polskiej części Zalewu spowoduje to wzrost zasolenia co najmniej o 1,3‰, a całego akwenu o 0,4‰. Wyrównywanie bilansu wody będzie głównie odbywać się poprzez Cieśninę Pilawską. W przypadku dodatniego bilansu zachodniej części (spiętrzenie) do Zalewu napłynie woda morska przez Cieśninę Pilawską, podwyższając i tak wysokie zasolenie akwenu. Wydaje się jednak, że autor zdecydowanie przeszacował wartości napływu i odpływu kanałem żeglugowym, a w konsekwencji ustalił błędnie wzrost zasolenia polskiej części Zalewu Wiślanego. Na podstawie materiałów źródłowych, na których bazuje niniejsza praca, zauważyć można, że napływ wód z Zatoki Gdańskiej bądź odpływ wód z Zalewu Wiślanego będzie niewielki i powstanie wyłącznie w momencie śluzowania statków. Nie jest zamiarem twórców projektów przekopu, aby był on stale otwarty, o czym świadczy proponowana śluza. W konsekwencji objętość wody, która dopłynie do Zalewu Wiślanego będzie niewielka, a jej wpływ na dynamikę i zasolenie wód Zalewu będzie miał charakter krótkotrwały i jedynie okresowy. Zasięg tego oddziaływania będzie zaledwie lokalny. O lokalności oddziaływania kanału na wzrost zasolenia wód zalewu mogą świadczyć obliczenia modelowe Kruka i in. (2011), według których zasięg ograniczy się jedynie do bliskiego sąsiedztwa przekopu, np. w okolicach Skowronek. Według autorów zasolenie wzrośnie tam z 0,5‰ do około 4,5–5,0‰. Nie określili oni jednak, czy będzie to stała tendencja, czy tylko chwilowe wzrosty, np. podczas śluzowania.

Prognoza oddziaływania kanału żeglugowego na hydrologię Zalewu Wiślanego na etapie budowy

Wydaje się, że budowa kanału żeglugowego przez Mierzę Wiślaną w niewielkim stopniu wpłynie na warunki hydrologiczne Zalewu Wiślanego. Nie wpłynie ona na zmiany poziomu wody, kierunków i prędkości prądów czy intensywność falowania. Również nie wpłynie na zmiany zasolenia wód tego akwenu. Jedyнным problemem wynikającym z prowadzonych prac są efekty wydobywania osadów dennych. W wyniku prac pogłębiarskich powstanie zmętnienie wody z powodu wyczerpania z dna gruntów o zawartości cząstek pylasto-gliniastych i organicznych (namulów). Zmętnienie to będzie miało charakter lokalny. Ze względu na to, że czas opadania cząsteczek osadu z Zalewu Wiślanego jest bardzo długi, to przy założeniu, że maksymal-

na głębokość w obszarze planowanego toru wodnego wynosi 4,0 m, czas opadania cząsteczek poderwanych podczas prac pogłębiarskich wyniesie około 41 godzin. Wydobywanie urobku zanieczyszczonego – poza wzrostem zmętnienia – może spowodować (w zależności od rodzaju zanieczyszczenia i jego koncentracji) uwolnienie materii organicznej i substancji toksycznych oraz związków biogenicznych zdeponowanych w osadach dennych (wzrost biologicznego zapotrzebowania tlenu i oddziaływanie substancji toksycznych). Potencjalne wprowadzanie dodatkowych zanieczyszczeń w wyniku wzruszania (resuspensji) osadów dennych (m.in. uwolnienie związków azotu i fosforu), może spowodować znaczne pogorszenie jakości wód Zalewu Wiślanego. Skala tego oddziaływania będzie uzależniona od stopnia czystości urobku.

Na trasie planowanego kanału przez Mierzę (tylko dla lokalizacji w Skowronkach) zinventaryzowano niewielkie oczka wodne wypełnione stale lub okresowo wodą. Realizacja planowanego przedsięwzięcia spowoduje całkowitą likwidację tych obiektów hydrograficznych (Raport OOS 2009).

Wykonanie przekopu przez Mierzę Wiślaną może zagrozić przerwaniem soczewy wód słodkich występujących na Mierzei Wiślanej. Trudno przewidzieć, jaki będzie to miało wpływ na funkcjonowanie wodociągu komunalnego w Krynicy Morskiej i w Kątach Rybackich, a także na liczne ujęcia lokalne. Może mieć również wpływ na funkcjonowanie np. zbiorowisk roślinnych na Mierzei Wiślanej.

13. Prognoza oddziaływania kanału żeglugowego na hydrologię Zalewu Wiślanego na etapie eksploatacji

Po zakończeniu budowy przekopu przez Mierzę Wiślaną nie przewiduje się w trakcie jej eksploatacji istotnych zmian w warunkach hydrologicznych Zalewu Wiślanego. Z porównania ilości prac czerpalnych wykonanych w 1994 roku w rejonie Kamienicy Elbląskiej i w 2000 roku na torze podejściowym do Kątów Rybackich oraz uwzględnienia faktu, że na głównym torze prowadzącym przez Zalew przez ostatnie 15 lat nie wykonano oczyszczania, można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że po wykonaniu nowego toru nawigacyjnego prowadzącego przez Zalew co najmniej przez 10 lat nie będą wymagane prace pogłębiarskie.

Regulacja wody w kanale przy pomocy śluzy zapobiegnie przepływowi (w przypadku sztormów) wód z Zatoki do Zalewu. Przepływ wody słonej przez kanał żeglugowy do Zalewu Wiślanego występować będzie w bardzo krótkich okresach, tylko w trakcie śluzowania statków. Wybudowanie Kanału Żeglugowego

umożliwi, po otwarciu wrót z obu stron służy, obniżenie poziomu spiętrzenia (wywołanego dopływem potamicznym) w granicach od 15 do 25 cm w rejonie wałów przeciwpowodziowych osłaniających tereny depresyjne. 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 w tym okresie wrót służy uniemożliwi napływ wody morskiej do Zalewu Wiślanego.

Zmiany zasolenia wód w Zalewie Wiślanym mogą wystąpić jedynie lokalnie i w bardzo niewielkim stopniu. Podstawowym źródłem zasolenia wód Zalewu Wiślanego pozostaną sztormowe fale od strony Cieśniny Piławskiej. Brak wzrostu zasolenia poprzez projektowany kanał wynika z niewielkiego przekroju poprzecznego przekopu (3% przekroju Cieśniny Piławskiej) oraz zainstalowania słuz wraz z wrotami na kanale, które będą zamykane podczas sztormu na Bałtyku (Dembicki i in. 2006).

Kanał łączący wody Zalewu z morzem nie spowoduje pogorszenia chemizmu wód Zatoki Gdańskiej ani Zalewu Wiślanego, ponieważ nie będzie ciekim wodnym, niosącym zanieczyszczenia z terenu, przez który przepływa, a jedynie łącznikiem między wodami Zalewu i morza. Nastąpi więc jedynie wymieszanie wód o znaczeniu lokalnym. Ruch wody w powstałym kanale spowoduje wzrost natlenienia wód Zalewu Wiślanego (efekt pozytywny).

Naturalne warunki hydrodynamiczne i hydrologiczne wód na Zalewie Wiślanym nie ulegną istotnym zmianom i nadal będą zależne od warunków hydrometeorologicznych.

Według Zadrogi (2009, 2010) 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 będzie 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, będzie to 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 (2010).

14. Oddziaływanie transgraniczne

Zalew Wiślany jest wspólnym akwenem Polski i Federacji Rosyjskiej. Przedsięwzięcie to ze względu na ograniczony, lokalny zakres oddziaływania na środowisko, zwłaszcza chronione elementy przyrody, nie narusza ekosystemu i nie będzie miało transgranicznego oddziaływania na elementy przyrody po stronie rosyjskiej (w przypadku lokalizacji w miejscowościach: Skowronki, Nowy Świat, Przebrno). Nie będzie również oddziaływało transgranicznie na wody powierzchniowe. W przypadku budowy kanału w Piaskach należałoby zastosować działania minimalizujące, aby zmniejszyć ewentualne oddziaływanie transgraniczne, niemniej oddziaływanie takie może wystąpić.

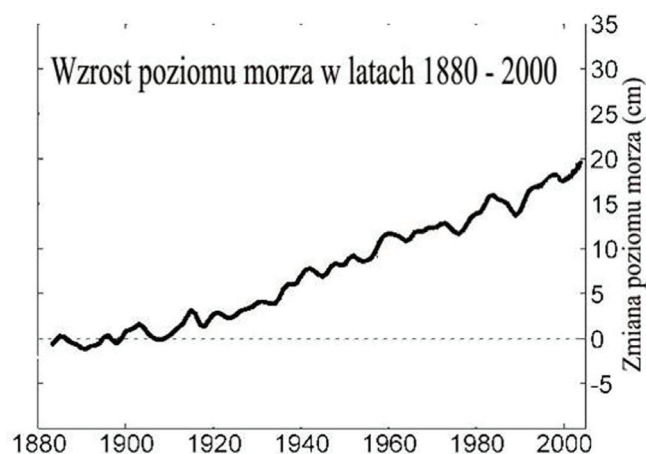
Reasumując, Federacja Rosyjska (Obwód Kaliningradzki) nie musi być informowana o działaniach związanych z budową kanału, jego eksploatacją i ewentualną likwidacją. Jedynie dla lokalizacji kanału w Piaskach strona rosyjska powinna być powiadomiona o działaniach związanych z eksploatacją i likwidacją kanału.

15. Możliwy wpływ prognozowanych zmian poziomu morza na wody Zalewu Wiślanego

Niezwykle istotne dla jakości wód strefy brzowej południowego Bałtyku, w tym Zalewu Wiślanego, są zmiany poziomu morza i ich prognozy na przyszłe lata związane z globalnym ociepleniem klimatu. O tym, że proces ocieplenia klimatu następuje, świadczy wzrost średniej temperatury powietrza na Ziemi, który w latach 1906–2005 wyniósł $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ (IPCC 2007). Dalsze prognozy IPCC (2007) wskazują, że średnia temperatura globalna powietrza na Ziemi do końca XXI wieku podniesie się o 1,4 do $5,8^{\circ}\text{C}$ (BACC Author Team 2008). W konsekwencji obserwowane będą zmiany nie tylko w termice powietrza i wody oraz w ilości opadów, ale także w wielkości parowania, dopływu potamicznego ze zlewiska oraz w kierunkach i prędkościach wiatru. Można zatem stwierdzić, że zmiany będą miały bardzo szeroki zakres, który spowoduje zmiany w cyrkulacji powietrza oraz zmiany w bilansie wodnym Bałtyku, w tym także Zalewu Wiślanego. Jednym z efektów zmian bilansu wodnego będzie prawdopodobnie wzrost ilości zjawisk sztormowych, które już dziś na Bałtyku wzrosły w ciągu roku z 80 do 120 (Cieśliński, Chromniak 2010). Również zmianie ulegnie reżim zlodzenia. Przewiduje się, że przy wzroście

do końca XXI wieku temperatury o 2 do 4°C zmniejszeniu ulegnie powierzchnia zlodzenia o 50 do 80%. Przy takim samym wzroście temperatury zasolenie Bałtyku zmniejszy się o 8 do 50% (BACC Author Team 2008). Kolejną konsekwencją globalnego ocieplenia Ziemi będzie wzrost zanieczyszczenia wód powierzchniowych, wynikający z przyspieszonego procesu eutrofizacji. W efekcie zmianie ulegnie ekosystem morski, jak i wód strefy brzegowej.

Jedną z najważniejszych zmian, które wystąpią w wyniku wzrostu temperatury na Ziemi będą wzrosty poziomu Wszechoceanu, w tym także Bałtyku i Zalewu Wiślanego. W ostatnim stuleciu proces podnoszenia się poziomu morza przebiegał bardzo intensywnie (ryc. 8). W latach 1875–1983 poziom Bałtyku podniósł się od 10 do 20 cm (Dubrawski, Zawadzka 2006). Wyraźnie daje się zaobserwować przyspieszenie procesu podnoszenia się poziomu morza od końca XIX wieku do czasów współczesnych, ze szczególnym uwzględnieniem okresu od końca lat czterdziestych ubiegłego wieku (ryc. 9).

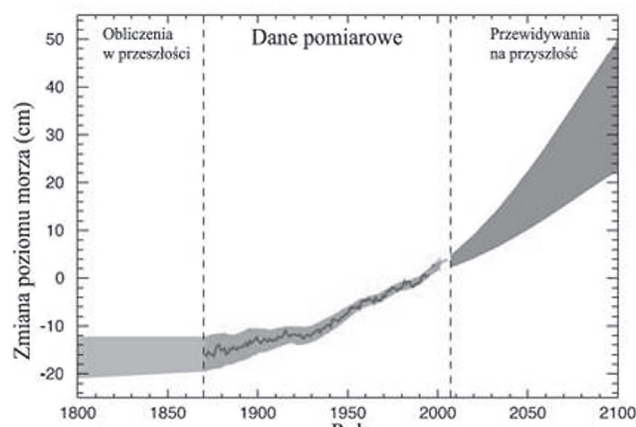


Ryc. 8. Zmiany poziomu morza w latach 1880–2000 (http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1__Oceany_i_klimat/_Podnoszenie_si_poziomu_morzm_3ng.html)

Fig. 8. Changes in sea level in the years 1880–2000 (http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1__Oceany_i_klimat/_Podnoszenie_si_poziomu_morzm_3ng.html)

Według współczesnych prognoz do końca XXI wieku poziom Bałtyku może wzrosnąć nawet o 80 cm (Miętus 2003, 2005, Pruszek, Zawadzka 2005, 2008). Najbardziej pesymistyczne prognozy mówią o wzroście poziomu morza nawet o 140 cm. Prognozy IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) z 2001 roku przewidują zmiany od 11 do 70 cm, natomiast z roku 2007 od 28 do 43 cm (ryc. 9).

Hydrograficznym efektem procesu wzrostu poziomu Morza Bałtyckiego byłyby zmiany warunków odpływu w strefie równin pobrzeży południowobał-



Ryc. 9. Przewidywany wzrost poziomu morza w XXI wieku w zestawieniu z poprzednimi okresami

(http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1__Oceany_i_klimat/_Podnoszenie_si_poziomu_morzm_3ng.html)

Fig. 9. Projected sea level rise in the twenty-first century in comparison with previous periods (http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1__Oceany_i_klimat/_Podnoszenie_si_poziomu_morzm_3ng.html)

tyckich (zmniejszenie spadków), co zagroziłoby obszarom położonym do 2,5 m powyżej poziomu morza. Prognozuje się, że w przypadku podniesienia się poziomu morza o 1 metr nastąpi dziesięciokrotny wzrost ryzyka powodziowego na nisko położonych terenach deltowych i nadmorskich równin aluwialnych, a także potrojenie prędkości erozji plaż piaszczystych, wydmy nadbrzeżnych i terenów mierzei (Pruszek, Zawadzka 2005). Szczególnie istotne byłoby tu zjawisko abrazji wybrzeża. Nastąpiłoby zalanie przez wody morskie terenów równin nadmorskich i stopniowe przekształcenie większości obiektów hydrograficznych w zatoki oraz przesunięcie ku południowi zasięgu występowania intruzji wód morskich do wód lądowych. W efekcie zmieniałaby się linia brzegowa południowego Bałtyku oraz jakość wody obiektów położonych w tej strefie. Część z nich zniknęłaby całkowicie, w tym Zalew Wiślan. Podniesienie się poziomu wody tych obiektów spowodowałoby także to, że zanieczyszczenia zlokalizowane wcześniej na ich brzegach oraz materia organiczna i nieorganiczna umieszczona w glebach dopływałyby do nich. Nastąpiłoby to w wyniku wymywania związków chemicznych z gleb i składowisk zanieczyszczeń. W konsekwencji należałoby się spodziewać daleko idących zmian w jakości wody w strefie wybrzeża, w tym także w przypadku Zalewu Wiślanego.

Możliwy wpływ dopływu zanieczyszczeń ze zlewiska na wody Zalewu Wiślanego

Zalew Wiślan charakteryzuje się dużą dynamiką wymiany wody. Sumaryczny dopływ horyzontalny wynosi 20,6 km³, z czego napływ z Bałtyku wynosi

17,00 km³, a z części lądowej 3,60 km³ (Silicz 1975). Pojemność Zalewu Wiślanego wynosi 2,3 km³, w efekcie czego obliczony wskaźnik wymiany wody wynosi około 9. Wartość ta wskazuje na możliwość znacznego oddziaływania powierzchniowego dopływu poziomego. Dominującą rolę odgrywa tu dopływ od strony Zatoki Gdańskiej, który wynosi 82,5% wartości sumarycznej, natomiast dopływ od strony lądowej wynosi zaledwie 17,5%. Tak duża dysproporcja uzyskanych wyników wskazuje, że oddziaływanie zaplecza lądowego będzie spełniać drugorzędną rolę. Można zatem założyć, że nawet w przypadku dopływu zanieczyszczeń ze zlewiska nie będą one w sposób istotny wpływać na jakość wód Zalewu Wiślanego. Tylko w przypadku ekstremalnych zanieczyszczeń wpływ ten będzie znaczny.

16. Podsumowanie

Reasumując, można stwierdzić, że budowa kanału przez Mierzę Wiślaną oraz toru wodnego nie wpłynie zasadniczo na zmiany warunków hydrologicznych Zalewu Wiślanego. Nie zaobserwuje się istotnych zmian w warunkach hydrologicznych i jakościowych wód akwenu. Możliwe zmiany zasolenia będą miały charakter lokalny i okresowy. Również zmiany poziomu wód Zalewu będą niewielkie i nie wpłyną na jego warunki hydrodynamiczne. Wymiana wody pomiędzy Zalewem Wiślanym i Zatoką Gdańską będzie nieistotna ze względu na istniejące współzależności hydrologiczne pomiędzy tymi akwenami. W przypadku znacznego podniesienia się poziomu wód Zalewu kanał stanowiłby drogę odpływu nadwyżek tych wód, tak więc de facto będzie to element pozytywny. Powstające przepływy w samym kanale będą mało istotne, gdyż w czasie wezbrań sztormowych będzie on zamykany śluzą. Najważniejszym czynnikiem decydującym o zmianie warunków jakościowych, a przede wszystkim hydrobiologicznych jest refulacja osadów z dna Zalewu w czasie wykonywania przekopu i pogłębiania torów wodnych. Spowoduje bowiem znaczne zmętnienie wód Zalewu oraz wzrost zanieczyszczenia związkami chemicznymi, w tym biogenami, przez co nastąpi zmiana jakości, trofii oraz warunków biologicznych. Istotnym problemem będzie składowanie i zagospodarowanie refulatu.

Wydaje się (z hydrologicznego i geograficznego punktu widzenia), że najlepszą lokalizacją kanału jest ta w miejscowości Skowronek. Ta lokalizacja inwestycji jest korzystna ze względu na niewielkie wyniesienia wydmy – maksymalnie do 14 m n.p.m. Kanał powstanie praktycznie w dawnym naturalnym połączeniu zalewu z morzem. Dwie kolejne lokalizacje (Nowy Świat,

Przebrno) mogą stanowić alternatywę dla Skowronek. Lokalizację w Paskach należy odrzucić ze względu na odległość od portu w Elblągu oraz możliwe oddziaływanie transgraniczne.

Stąd wniosek, że najlepszym rozwiązaniem zagospodarowania refulatu będzie stworzenie wyspy lub wysp na Zalewie Wiślanym lub tworzenie związanych z brzegiem polderów otwartych – magazynów (składowisk) – urobku czerpanego na wszystkich torach Zalewu. Poldery byłyby poddane intensywnym zabiegom biotechnicznym, tak aby możliwe było ich włączenie do systemu ostoi ptasich na Zalewie.

17. Literatura

- Atlas Podziału Hydrograficznego Polski w skali 1:200000, 2005: część 1 i 2. Wyd. IMGW, Warszawa.
- BACC Author Team, 2008: *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 1–473.
- Bielecka M., Kazimierski J., 2003: *A 3D mathematical model of Vistula Lagoon hydrodynamics – general assumptions and results of preliminary calculations*. Diffuse Pollution Conference, ECSA 8, Dublin, 140–145.
- Bogdanowicz R., 2009: *Komentarz do mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50000*, arkusz N-34-52-C Frombork. Polkart, Warszawa.
- Bogdanowicz R., Krajewska Z., 2009: *Komentarz do mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50000*, arkusz N-34-51-D Krynica Morska. Polkart, Warszawa.
- Chubarenko B.V., Koutitonski V.G., Neves R., Umgieser G., 2004: *Modelling concept*. W: J. Wolflin (ed.). *Coastal lagoons: ecosystem processes and modeling for sustainable use and developments*. CRC, Boca Raton, 231–306.
- Chubarenko B., Margoński P., 2008: *The Vistula Lagoon*. W: U. Schiewer (ed.). *Ecology of Baltic Coastal Waters*. Ecological Studies, 197, Springer, 167–195.
- Cieśliński R., 2002: *Wpływ Zalewu Wiślanego na stan jakości wód wybranych obiektów Żuław Wiślanych*. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych nr 23/24. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 107–126.
- Cieśliński R., Chromniak Ł., 2010: *Hydrologiczne i hydrochemiczne efekty sztormu na polskim wybrzeżu i w delcie Wisły w dniach 14–15 października 2009 roku*. W: T. Ciupa, R. Suligowski (red.).

- Woda w badaniach geograficznych. Wyd. Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, Kielce, 81–90.
- Dembicki E., Jednorat T., Sedler B., Jaśkowski J., Zadroga B., 2006:** *Kanał żeglugowy w polskiej części Mierzei Wiślanej*. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5, 275–286.
- Dubrawski, R., Zachowicz J., 1997:** *Kanał żeglugowy na Mierzei Wiślanej – pozytyw i negatywy dla środowiska morskiego*. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5, 301–307.
- Dubrawski R., Zawadzka E., 2006:** *Przyszłość ochrony polskich brzegów morskich*. Prace Instytutu Morskiego, ss. 302.
- Dynowska I., Pociask-Karteczka J., 1999:** *Obieg wody*, W: Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze, Warszawa, 343–373.
- Dziadziuszko Z., Zorina W.A., 1975:** *Stany wody*, W: N. N. Łazarenko, A. Majewski (red.). Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego. WKiŁ Warszawa, 134–197.
- http://www.atmosphere.mpg.de/enid/1__Oceany_i_klimat/_Podnoszenie_si_poziomu_morza_3ng.html.
- IPCC, 2007: Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva, pp. 104.
- Jednorat T., 1996:** *Opracowanie podstaw procesu aktywizacji regionu elbląskiego w aspekcie transportu morsko-rzecznego, rekreacji i rybołówstwa*. Wnioski i Zalecenia, z. 1 i 2. Instytut Morski, Gdańsk.
- Jelcewa I.A., 1975:** *Prądy*. W: N.N. Łazarenko, A. Majewski (red.). Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 212–245.
- Kruk M., 2011:** *Zalew Wiśłany pomiędzy lądem a morzem: kłopotliwe konsekwencje*. W: M. Kruk, A. Rychter, M. Mróz (red.). Zalew Wiśłany – środowisko przyrodnicze oraz nowoczesne metody jego badania na przykładzie projektu Wisła. PWSZ, Elbląg, 21–50.
- Kruk M., Kempa M., Tjomsland T., Durand D., 2011:** *Zastosowanie modeli matematycznych do przewidywania zmian środowiska Zalewu Wiślanego*. W: M. Kruk, A. Rychter, M. Mróz (red.). Zalew Wiśłany – środowisko przyrodnicze oraz nowoczesne metody jego badania na przykładzie projektu Wisła. PWSZ, Elbląg, 165–180.
- Krzywiński W., Kruk-Dowgiałło L., Zawadzka-Kahlau E., Dubrawski R., Kamińska M., Łysiak-Pastuszek E., 2004:** *Typologia of polish marine Waters*. Coastline Reports 4: 39–48.
- Krzywiński W., Kruk-Dowgiałło L., 2005:** *Typologia polskich wód morskich – krok do przodu w kierunku doskonalenia ochrony wód*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Vol. 33: 271–278.
- Łazarenko N.N., Majewski A., 1975:** *Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 518.
- Łomniewski K., 1958:** *Zalew Wiśłany*. PWN, Warszawa, 117.
- Maciejewski M. i in., 2004:** *Typologia wód powierzchniowych i wyznaczenie części wód powierzchniowych i podziemnych zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej 2000/60/WE*. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 388.
- Majewski A., 1960:** *Przenikanie wód morskich w ujścia rzek polskich*. Biuletyn PIHM Gospodarka Wodna, 9(31), R. III.
- Majewski A., 1972:** *Charakterystyka hydrologiczna estuariowych wód u polskiego wybrzeża*. Prace PIHM, z. 105, Warszawa, 3–37.
- Majewski A., 1994:** *Naturalne warunki środowiskowe Zatoki Gdańskiej i jej obrzeża*. W: J. Błażejowski, D. Schuller (red.). Zanieczyszczenie i odnowa Zatoki Gdańskiej. Mat. Seminarium – Gdynia 1991. UG, Gdańsk, 35–42.
- Miętus M., 2003:** *Long-term sea level variability along the Polish coast of the Baltic Sea*. W: K. Haman, B. Jakubiak, J. Zabczyk (eds). Probabilistic Problems in Atmospheric and Water Sciences. Wyd. ICM, Seria Fizyka Atmosfery, Warszawa, 170–181.
- Miętus M., 2005:** *Ekstremalne zjawiska klimatyczne z perspektywy IPCC*. W: E. Bogdanowicz, U. Kosowska-Cezak, J. Sekutnicki (red.). Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne. PTGF, IMGW, 19–31.
- Mikulski Z., 1970:** *Wody śródlądowe w strefie brzegowej południowego Bałtyku*. Prace PIHM, z. 98, Warszawa, 25–41.
- Niespodzińska L., 1995:** *Zastosowanie geosyntetyków do budowli hydrotechnicznych w rejonie Zalewu Wiślanego*. Inż. Mor. Geotech. 6, 306–311.
- Pruszek Z., Zawadzka E., 2005:** *Vulnerability of Poland's Coast to Sea-Level Rise*. Coastal Engineering Journal, Vol. 47, No. 2–3, 131–155.
- Pruszek Z., Zawadzka E., 2008:** *Potential implications of sea-level rise for Poland*. Journal of Coastal Research, 24, 2: 410–422.
- Raport o oddziaływaniu na środowisko budowy kanału żeglugowego przez Mierzę Wiślaną, 2009: EKOKONSULT, Gdańsk, 199.
- Silicz M.W., 1975:** *Bilans wodny*. W: Hydrometeorolo-

PROJECTED CHANGES IN THE HYDROLOGICAL CONDITIONS OF THE VISTULA LAGOON UNDER INFLUENCE OF NEW NAVIGABLE CHANNEL THROUGH THE VISTULA SPIT

Summary

As a result of a query performed using source materials and field studies found that the biggest problem for the Lagoon to create a channel through the Vistula Spit, just at the stage of construction and operation will be muddy water due to exhaustion from the bottom land of the content dusty-clay particles and organic (silt). In addition to increased turbidity may occur (depending on the type of pollutant and its concentration) effects caused by the release of organic matter and toxic substances and biogenic compounds deposited in the sediments (increased biological oxygen demand and the impact of toxic substances). Changes in salinity of the water in the Vistula Lagoon can occur only locally and in a very small degree. The primary source of salinity of the Vistula Lagoon will remain stormy waves of the Strait of Baltiysk. The natural conditions of hydrodynamic and water hydrology on the Vistula Lagoon will not be materially changed and will continue to depend on meteorological and hydrological conditions at sea.

- giczny ustrój Zalewu Wiślanego, N.N.Łazarienko, A. Majewski (red.). Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego. WKiŁ, Warszawa, 246–269.
- Studium wykonalności budowy kanału żeglugowego przez Mierzę Wiślaną, Urząd Morski w Gdyni, 2008 (maszynopis), 166.
- Szymkiewicz R. (red.). 1992:** *Hydrodynamika Zalewu Wiślanego*. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, z. 4, Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Sołowiew I. I., 1975:** *Charakterystyka morfometryczna zalewu i jego linia brzegowa*. W: N.N.Łazarienko, A. Majewski (red.). Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego, WKiŁ, Warszawa, 18–21.
- Schiewer U. (ed.). 2008:** *Ecology of Baltic Coastal Waters*. Ecological Studies, 197, Springer.
- Wiktor K., Węslawski J. M., Żmijewska M. I., 1997:** *Biogeografia morza*, Wyd. UG, Gdańsk.
- 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, 164.
- Wypych K., Niechaj I.J., Solowiew I.I., Jaworska M., 1975:** *Ukształtowanie dna i osady dennego zalewu*. W: N.N. Łazarienko i A. Majewski (red.). Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego, Wydaw. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 41–57.
- Zadroga B., 2009:** *Wybrane terenowe badania geotechniczne w zakresie krajowego budownictwa morskiego. Przeszłość – teraźniejszość – przyszłość*. Inż. Mor. Geotech., 5: 352–363.
- Zadroga B., 2010:** *Budowanie wspólnie z naturą. Działania minimalizujące i kompensujące straty środowiskowe potwierdzające celowość budowy kanału żeglugowego przez Mierzę Wiślaną*. Inż. Mor. Geotech. 2: 229–243.

