

Ocena oddziaływania falochronów osłaniających wejścia do projektowanego kanału żeglugowego w rejonie Nowego Świata na brzegi Mierzei Wiślanej

Dr hab. inż. Marek Szmytkiewicz
Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku

Mierzeja Wiśłana ma około 90 km długości i $1 \div 2$ km szerokości. Rozciąga się ona od rejonu Bałtyjska (położonego na północno-wschodnim brzegu Cieśniny Piławskiej, zwanej również Cieśniną Bałtyjską) do Wyspy Sobieszewskiej. Polska część Mierzei, zgodnie z kilometrażem Urzędu Morskiego, obejmuje odcinek brzegu na wschód od miejscowości Piaski, to

jest od KM 0.0. Jeszcze w średniowieczu Mierzeja Wiśłana była łańcuchem wysp rozdzielonych cieśninami, które z czasem były zasypywane przez przemieszczające się wzdłuż brzegów osady.

Jedynym obecnie bezpośrednim połączeniem Zalewu Wiślanego z morzem jest Cieśnina Piławska, która powstała podczas sztormów pod koniec XV wieku. Cieśnina ta była wielokrotnie

pogłębiania, a jej brzegi umacnianie. W latach 60. ubiegłego wieku została ona znacząco poszerzona ze względu na potrzeby floty wojennej ówczesnego Związku Radzieckiego. Obecnie sam kanał prowadzący do nabrzeży portu wojennego w Baltijsku ma około 460 m szerokości i ponad 12 m głębokości. Przez cieśninę mogą przechodzić statki o zanurzeniu do 12 m i długości 200 m. Współcześnie miejsce połączenia Zalewu Wiślanego z morzem nosi nazwę *Rinna Baltiskaja* lub *Morskoj Kanał*.

W 1847 roku opracowano koncepcję przekopania kanału przez Mierzę Wiślaną w rejonie Kątów Rybackich w celu skrócenia odległości z Elbląga na otwarte morze (odległość z Elbląga do Cieśniny Piławskiej wynosi 60 km, w poprzek Zalewu – 12 km). Z następną propozycją budowy kanału wystąpił w 1945 roku Eugeniusz Kwiatkowski, przedwojenny wicepremier, bezpośrednio po II wojnie światowej Delegat Rządu dla spraw Wybrzeża.

Współczesny projekt budowy kanału żeglugowego przez Mierzę przedstawił w 1983 roku prof. T. Jednorą. W latach 1994-96 w Instytucie Morskim w Gdańsku powstał raport pt. „Opracowanie podstaw procesu aktywizacji regionu elbląskiego w aspekcie transportu morsko-rzecznego, rekreacji i rybołówstwa”, który zapoczątkował powstawanie kolejnych opracowań w następnych latach. W 2016 roku podjęto uchwałę w sprawie budowy kanału żeglugowego pod nazwą „Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską”. W lutym 2017 Sejm uchwalił, a 3 kwietnia prezydent podpisał specustawę w sprawie przekopu Mierzei Wiślanej. Za realizację projektu odpowiada Minister Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej, a organem odpowiedzialnym za nadzór nad inwestycją został Urząd Morski w Gdyni. W lutym 2017 została podpisana umowa z Konsorcjum firm Mosty Gdańsk i Projmors Biuro Projektów Budownictwa Morskiego na przygotowanie koncepcji, projektu budowlanego, wykonawczego, karty Informacyjnej Przedsięwzięcia, Raportu Oddziaływania na Środowisko i innych dokumentów. W październiku 2017 roku minister gospodarki morskiej i żeglugi śródlądowej na podstawie opracowanych dokumentów i analiz poinformował, że kanał powstanie w miejscowości Nowy Świat. Wykonawca inwestycji będzie wyłoniony w przetargu ogłoszonym pod koniec 2018 roku.

Planowana budowa kanału żeglugowego przez Mierzę Wiślaną oraz nowego toru wodnego na Zalewie Wiślanym budzi od wielu lat gorące emocje. Pojawiają się rozmaite opinie – od entuzjastycznie pozytywnych do skrajnie negatywnych.

Zwolennicy budowy podkreślają korzyści ekonomiczne, jakie uzyskalaby gospodarka morska przy niezakłóconym zawirowaniach politycznymi połączeniu Zalewu z Bałtykiem. Między innymi nastąpiłaby możliwość znacznie szerszego wykorzystania portu morskiego w Elblągu, rozbudowanego dzięki funduszom unijnym. Port w Elblągu miałby szanse stać się portem odciażającym drogi i linie kolejowe prowadzące do portu gdańskiego. Oprócz oczywistego rozwoju tego portu nastąpiłaby również aktywizacja małych miejscowości położonych nad brzegami Zalewu w wyniku spodziewanego rozwoju jachtingu, a co za tym idzie zwiększonej liczby turystów odwiedzających ten akwen wodny.

Z kolei przeciwnicy budowy podważają ekonomiczną zasadność inwestycji, tym bardziej, że będą konieczne nakłady na utrzymanie wymaganych głębokości toru wodnego na Zalewie

i toru podejściowego do przekopu od strony Zatoki Gdańskiej. Mówią o katastrofalnym wpływie planowanego przedsięwzięcia na środowisko, pojawiają się obawy dotyczące zanieczyszczenia wód Zalewu w wyniku robót czerpalnych oraz negatywnych oddziaływań planowanych konstrukcji hydrotechnicznych, w tym budowy sztucznej wyspy, na brzegi Mierzei zarówno od strony morza, jak i Zalewu.

W latach 2017-2018 Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku wspólnie z Instytutem Morskim w Gdańsku uczestniczył w pracach związanych z projektowaną budową drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską. Efektem tych prac były dwa raporty: „Badanie falowania i ruchu rumowiska” [9] oraz „Wpływ konstrukcji hydrotechnicznych, w tym sztucznej wyspy, na kształtowanie się brzegu oraz plaż od strony Zalewu Wiślanego na Mierzei Wiślanej” [10].

Jednym z elementów prowadzonych prac była ocena wpływu budowy planowanego kanału żeglugowego na brzegi Mierzei Wiślanej zarówno od strony otwartego morza, jak i od strony Zalewu. Innymi słowy, w ramach tego zadania oceniono na ile wybudowane falochrony osłaniające wejścia do kanału z obu jego stron oraz budowa sztucznej wyspy na Zalewie zakłóca naturalne procesy erozyjno-akumulacyjne występujące w sąsiedztwie brzegów Mierzei i jakich w związku z tym należy spodziewać się wielkości i zasięgu zmian położenia linii brzegowej.

Problem negatywnego oddziaływania falochronów na brzegi Mierzei był i jest do tej pory jednym z częściej przytaczanych argumentów przemawiających za rezygnacją z planowanej inwestycji. Z tego względu uznano za celowe przybliżenie wyników tych prac możliwie szerokiej liczbie czytelników.

ZAKRES INWESTYCJI

Budowa przekopu ma obejmować [5, 6]:

- przekopanie kanału żeglugowego przez Mierzę o wymiarach: długość ~1,3 km, szerokość 60 m w dnie, głębokość docelowa 5 m,
- budowę falochronów osłaniających wejście do kanału od strony otwartego morza,
- tor podejściowy do awanportu,
- budowę śluzy po południowej stronie kanału żeglugowego o długości 200 m, głębokości 5 m i szerokości 25 m,
- budowę kierownic (falochronów) osłaniających wejście do kanału od strony Zalewu,
- budowę toru wodnego na Zalewie od ujścia rzeki Elbląg do przekopu,
- budowę sztucznej wyspy usytuowanej na Zalewie jako miejsca odkładu urobku refulacyjnego zarówno na etapie budowy kanału żeglugowego przez Mierzę, jak również późniejszego utrzymania toru wodnego prowadzącego przez Zalew,
- budowę dwóch mostów obrotowych nad kanałem.

Z rozpatrywanych lokalizacji projektowanego kanału żeglugowego przez Mierzę w Piaskach, Nowym Świecie i Skowronkach wybrano ostatecznie Nowy Świat położony na 23,6 KM polskiego brzegu.

Polska część Mierzei od strony morza charakteryzuje się dobrze rozbudowanym nadbrzeżnym wałem wydmy sięgającym do wysokości rzędu $7 \div 12$ m i szerokości $10 \div 100$ m. Dalej na zapleczu wydmy te są utrwalone pokrywą glebową i szatą roślinną, osiągając wysokości dochodzące do około 30 m. Przeciętna szerokość plaży wynosi od 30 do 40 m [1].

Fragment wybrzeża ciągnący się od wschodniej granicy Polski do ujścia przekopu Wisły jest najdłuższym w Polsce odcinkiem całkowicie naturalnego brzegu, na którym procesy hydrodynamiczne i przebudowy plaż nie są zakłócane przez jakiekolwiek konstrukcje hydrotechniczne.

Odmorskie brzegi polskiej części Mierzei Wiślanej można zakwalifikować do brzegów o dużej, a nawet bardzo dużej odporności na procesy erozyjne generowane falowaniem i wysokimi poziomami wody [1, 2]. Lokalna erozja wydmy na niektórych odcinkach Mierzei bywa zjawiskiem przejściowym, a brzeg ulega ponownej samoczynnej odbudowie.

Na podstawie wieloletnich obserwacji można stwierdzić, że odmorskie brzegi Mierzei Wiślanej charakteryzują się słabymi procesami litodynamicznymi, powolnymi zmianami konfiguracji dna, występowaniem stref dywergencji (zmiany wypadkowego kierunku przemieszczania się osadów), a co za tym idzie niewielkim natężeniem wypadkowego transportu rumowiska wzdłuż brzegów.

Dno strefy przybrzeżnej Zatoki Gdańskiej w rejonie planowanego przekopu przez Mierzę jest zbudowane z osadów niespoistych (piasków). W większej odległości od brzegu, na głębokościach $5 \div 9$ m, występuje piasek drobny (charakteryzujący się medianą średnicy ziaren d_{50} z przedziału $0,12 \div 0,15$ mm), zaś w strefie przybrzeżnej – na głębokościach $1 \div 4$ m stwierdza się przeważnie obecność nieco grubszych osadów $d_{50} = (0,17 \div 0,25$ mm). W bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej i na plaży występują piaski o zmiennym uziarnieniu, z medianą $d_{50} = 0,21 \div 0,38$ mm [4].

Brzegi Mierzei od strony Zalewu Wiślanego są przeważnie niskie, piaszczyste i pozbawione plaż. Utrwalone są one pokrywą glebową i szatą roślinną, głównie lasem. Sam brzeg porośnięty jest trzciną, która w rejonie Nowego Świata pokrywa przybrzeżny pas wody o szacowanej szerokości na co najmniej 100 m.

Około 70% powierzchni dna Zalewu pokrywają muły ilaste, co przy niewielkiej jego głębokości sprawia, że osady te są, obok fitoplanktonu, jednym z głównych źródeł zawiesiny ograniczającej przezroczystość wody [3]. Na podstawie badań przeprowadzonych w 2008 roku [4] stwierdzono w bezpośrednim sąsiedztwie brzegu obecność piasków o medianie średnicy ziaren $d_{50} = 0,28$ mm. W dalszej odległości od brzegu dno Zalewu tworzą namuły pylaste, gliniasto-pylaste i gliniaste w stanie miękkoplastycznym. Na głębokości $2 \div 3$ m pod dnem zalegają namuły piaszczyste w stanie miękkoplastycznym (lokalnie plastycznym).

Pomiary batymetryczne strefy brzegowej Zalewu w rejonie Nowego Świata były wykonane w 2017 roku przez Urząd Morski w Gdyni. Sięgały one do odległości około 1 km od brzegu, do głębokości rzędu 2,5 m. Przybrzeżny akwen jest płytki,

w odległości około 400 m od brzegu głębokości nie przekraczają 1,0 m.

TRANSPORT OSADÓW WZDŁUŻ BRZEGÓW MIERZEI WIŚLANEJ

Procesy hydrodynamiczne (fale i prądy) są siłą sprawczą transportu osadów oraz ewolucji brzegu i dna morskiego. Wielkość tego transportu zależy głównie od klimatu falowego, układu batymetrycznego dna w strefie brzegowej. Natężenie transportu zależy także od rodzaju rumowiska zalegającego w dnie morskim, od podaży tych frakcji osadów, które są podatne na oddziaływanie przepływu wody w warstwie przydennej (transportowane w postaci wleczonej i zawieszanej wskutek oddziaływania przydennych naprężeń ścinających).

Obliczenia transportu osadów wykonano wzdłuż odmorskich brzegów Mierzei w rejonie Nowego Świata na KM 24,0. W obliczeniach tych wykorzystano pomiary batymetryczne wykonane w marcu 2017 roku obejmujące około 500-metrowy odcinek brzegu i sięgające w głąb morza do głębokości około 7,5 m. Profile te uzupełniono punktami głębokościowymi uzyskanymi z mapy nawigacyjnej Zatoki Gdańskiej. Dno w tym rejonie charakteryzuje się występowaniem dwóch wyraźnych rew oraz głęboką doliną między nimi o maksymalnych głębokościach wynoszących 5,5 m. Średnie nachylenie dna wynosi około 0,01.

Obliczenia wielkości transportu osadów wykonano licencyjnym holenderskim programem numerycznym UNIBEST-LT (wersja 4.0) [11] wchodzącym w skład pakietu numerycznego UNIBEST.

W przeprowadzonych obliczeniach założono, że osady piaszczyste w strefie brzegowej są w przybliżeniu jednorodne i jako charakterystyczne średnice ziaren osadów przyjęto: $d_{50} = 0,22$ mm, $d_{90} = 0,30$ mm [7].

Zgodnie z przyjętą w Polsce konwencją transport osadów skierowany z zachodu na wschód traktowany jest jako dodatni, a w kierunku przeciwnym jako ujemny.

Obliczone sumaryczne wielkości wzdłużbrzegowego transportu rumowiska dla poszczególnych kierunków podchodzenia falowania do brzegu oraz wypadkowy roczny transport w ciągu roku łącznie z czasami występowania zamieszczono w tabl. 1. Natomiast na rys. 1 pokazano obliczone rozkłady wielkości transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu.

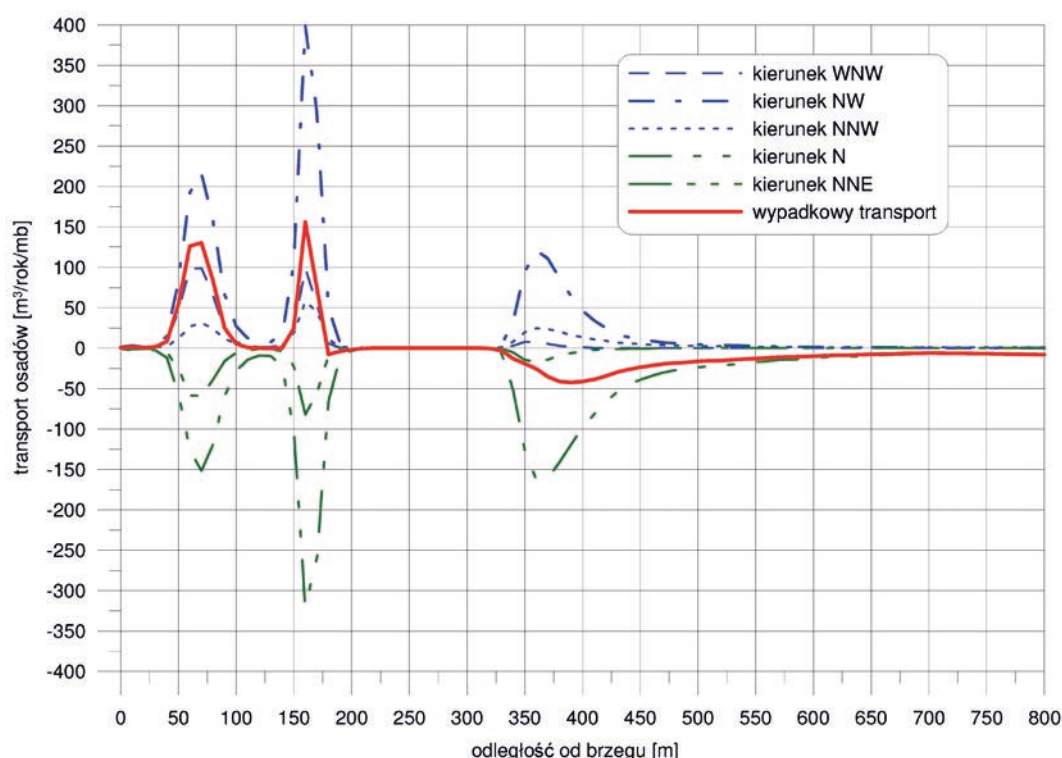
Z pokazanych obliczonych wielkości transportu osadów oraz ich rozkładów w funkcji odległości od brzegu wynika, że:

- największy transport osadów z zachodu na wschód występuje przy falowaniu podchodzącym z kierunku NW, a ze wschodu na zachód przy falowaniu podchodzącym z kierunku N,
- przy falowaniu podchodzącym z kierunków W, NE i ENE transport osadów jest minimalny,
- łączny transport rumowiska przemieszczający się z zachodu na wschód wynosi 35 tys. m³/rok, a w kierunku ze wschodu na zachód – 38 tys. m³/rok,
- wypadkowy roczny transport w średnim roku statystycznym jest minimalny, wynoszący 3 tys. m³/rok i skierowany ze wschodu na zachód,

Tabl. 1. Obliczone wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów i czasy ich występowania w średnim roku statystycznym po odmorskiej stronie Mierzei w rejonie Nowego Światu [9]

Transport skierowany z zachodu na wschód			Transport skierowany ze wschodu na zachód		
Kierunek podchodzenia fali	Wielkość transportu [m ³ /rok]	Łączny czas trwania [doby]	Kierunek podchodzenia fali	Wielkość transportu [m ³ /rok]	Łączny czas trwania [doby]
W	0*	8,8	N	-33 000	104,0
WNW	6 000	25,6	NNE	-5 000	32,6
NW	24 000	79,1	NE	0*	11,6
NNW	5 000	44,3	ENE	0*	5,4
Suma	35 000	157,8	Suma	-38 000	153,6
Transport wypadkowy: -3 000 m ³ /rok					
Łączny czas w roku 311,4 doby					

0* – transport poniżej 1000 m³/rok



Rys. 1. Obliczone rozkłady wzdłużbrzegowego transportu osadów po odmorskiej stronie Mierzei w funkcji odległości od brzegu dla poszczególnych kierunków podchodzenia fali oraz roczny transport wypadkowy dla rejonu Nowego Światu [9]

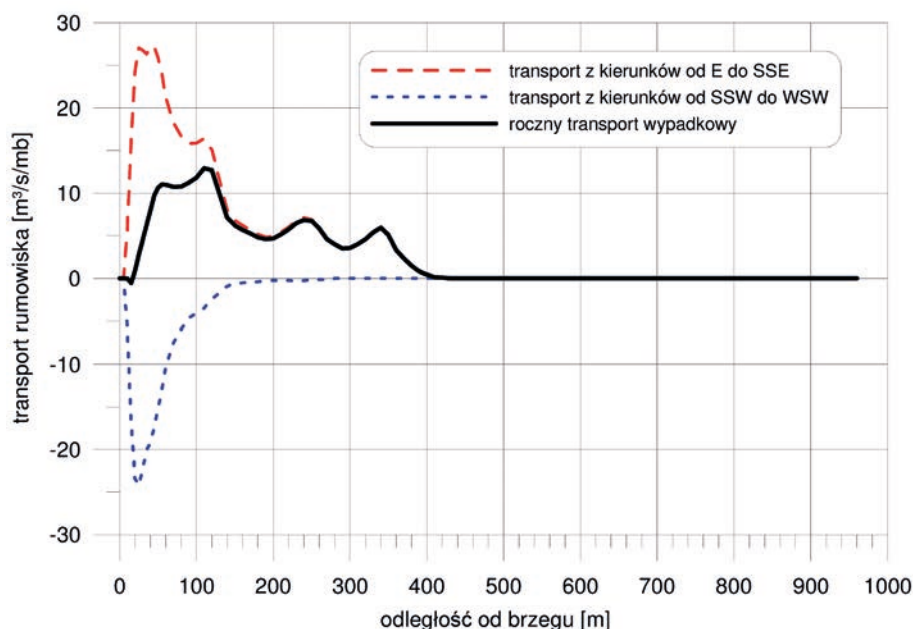
- rozkład występowania transportu wzdłużbrzegowego rumowiska jest zrównoważony w obu kierunkach,
- wypadkowy roczny transport rumowiska charakteryzuje się dwukierunkowością, pierwsze dwa strumienie do odległości około 200 m od brzegu są skierowane z zachodu na wschód, natomiast trzeci strumień, to jest dla odległości większej od 350 m jest skierowany ze wschodu na zachód.

Otrzymane wyniki obliczeń natężenia transportu rumowiska wzdłuż odmorskich brzegów Mierzei są zgodne zarówno z zamieszczonymi w pracy [7], jak i z ogólną oceną intensywności procesów litodynamicznych przedstawioną w pracy [13]. Autor tej pracy stwierdza, że brzegi Mierzei Wiślanej charakteryzują się słabymi procesami litodynamicznymi, powolnymi zmianami konfiguracji dna, a co za tym idzie niewielkim transportem rumowiska wzdłuż brzegów. Aktywna strefa dna nie przekracza

głębokości około 4,0 m. Dla głębokości powyżej 6,0 m transport rumowiska jest niemal zerowy. Przemieszczanie się rumowiska w kierunku wschodnim i zachodnim jest nieznaczne i praktycznie wzajemnie się równoważące. Zmiany głębokości obserwuje się głównie w rejonie pierwszej i drugiej rewy. Dla głębokości większych od 5,0 m układ dna jest stabilny.

Obliczenia transportu osadów wzdłuż zalewowych brzegów Mierzei w rejonie Nowego Światu wykonano tym samym licencyjnym, holenderskim programem numerycznym UNIBEST-LT. [11] W obliczeniach tych przyjęto, na podstawie danych zawartych w pracy [8], jako charakterystyczne średnice ziaren osadów: $d_{50} = 0,125$ mm, $d_{90} = 0,160$ mm.

Obliczone roczne wartości wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w strefie przybrzeżnej w rejonie Nowego Światu zamieszczono w tabl. 2, a na rys. 2 pokazano ich rozkłady w funkcji odległości od brzegu.



Rys. 2. Obliczony rozkład wzdłużbrzegowego transportu rumowiska po zalewowej stronie Mierzei w rejonie Nowego Światu w średnim roku statystycznym w profilu batymetrycznym położonym wzdłuż osi projektowanego toru wodnego [10]

Tabl. 2. Wypadkowy roczny wzdłużbrzegowy transport rumowiska po zalewowej stronie Mierzei w rejonie Nowego Światu [10]

Kierunek transportu	Natężenie transportu [m³/rok]
ze wschodu na zachód	~ (- 3 000)
z zachodu na wschód	~ 1 000
roczny wypadkowy	~ (-2 000)

Z przeprowadzonych obliczeń wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów wynika, że:

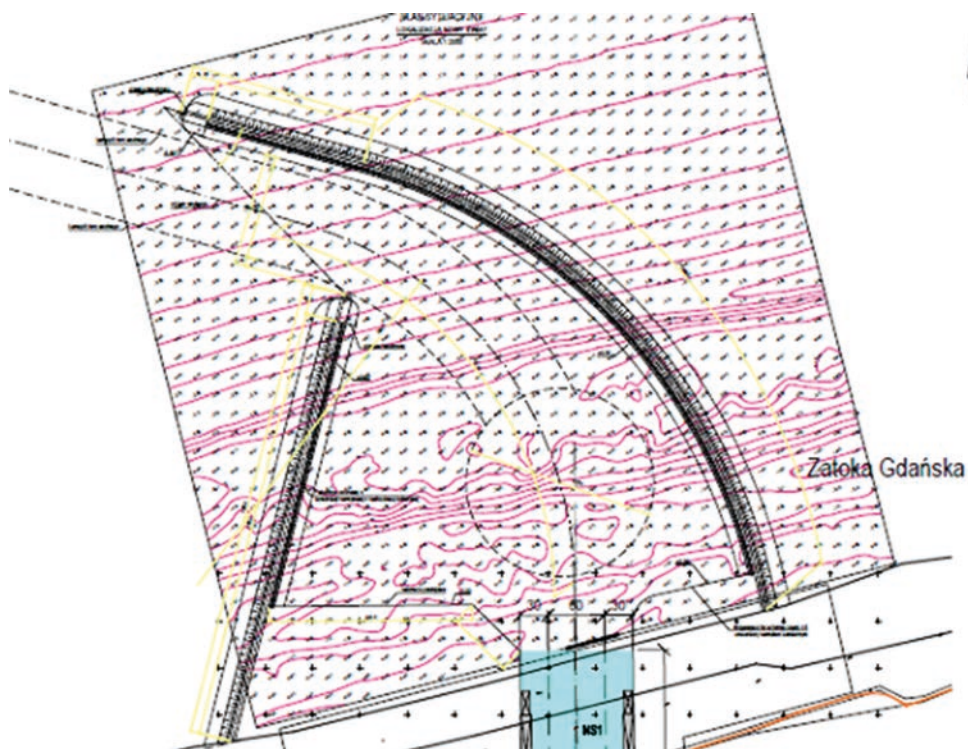
- wypadkowy roczny transport osadów jest niewielki, rzędu 2000 m³/rok,
- wypadkowy roczny transport jest skierowany ze wschodu na zachód,
- transport rumowiska skierowany ze wschodu na zachód odbywa się w strefie brzegowej w pasie o szerokości 400 m,
- transport rumowiska skierowany z zachodu na wschód odbywa się w strefie brzegowej w pasie o szerokości 150 m.

ODDZIAŁYWANIE PLANOWANYCH FAŁOCHRONÓW NA ODMORSKIE BRZEGI MIERZEI

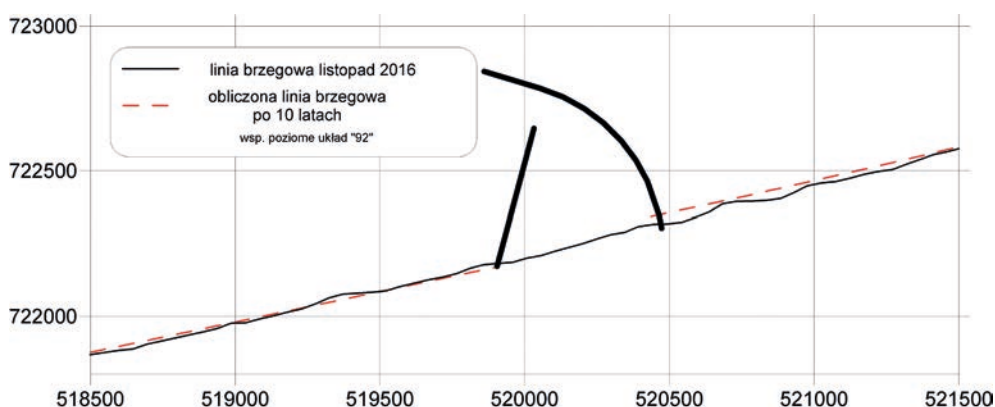
Każda przeszkoda postawiona poprzecznie do brzegu zakłóca naturalne procesy hydro- i litodynamiczne występujące w strefie brzegowej morza. Jeżeli przemieszczający się wzdłuż brzegów potok rumowiska napotka na swej drodze sztuczną przeszkodę, np. w postaci falochronów portowych, to wówczas w jego sąsiedztwie nastąpi przebudowa brzegu. Jeżeli wypadkowy roczny transport rumowiska będzie skierowany z zachodu na wschód, to wtedy po stronie zachodniej falochronów, w wyniku zatrzymania przynajmniej części transportowanych osadów, będzie następował przyrost linii brzegowej, a po stronie wschodniej, w wyniku pewnego deficytu osadów, wystąpią procesy erozyjne, brzeg będzie się cofał. Natomiast, jeżeli wypadkowy roczny kierunek transportu osadów będzie skierowany ze wschodu na zachód, to wówczas po stronie wschodniej falochronów będzie następował przyrost brzegu, a po stronie zachodniej falochronów brzeg będzie się cofał.

Wielkość i szybkość przebudowy brzegu zależy głównie od natężenia wypadkowego transportu osadów przenoszonych przez fale i prądy wzdłuż brzegu oraz od szerokości strefy brzegowej przegrodzonej falochronami. Im transport ten będzie większy, im większa będzie szerokość strefy brzegowej przegrodzonej falochronami, tym zmiany brzegu po obu stronach falochronów będą większe. Natomiast wpływ kształtu falochronów na przebudowę brzegu jest znacznie mniejszy. Przy łukowych falochronach ich oddziaływanie na brzegi będzie słabsze ze względu na ułatwione warunki odpływu konstrukcji przez rumowisko niż przy falochronach prostopadłych do brzegu. Na rys. 3 pokazano projektowany układ falochronów osłaniających wejście do kanału od strony Zatoki Gdańskiej.

W przeprowadzonych obliczeniach przyjęto falochrony prostopadłe do brzegu, to jest najmniej korzystny układ pod względem ich oddziaływania na brzegi. Modelowe falochrony zostały „zaczepione” na linii brzegowej w miejscach przecięcia projektowanych falochronów z brzegiem. Jako szerokość strefy brzegowej przegrodzonej falochronami przyjęto prostopadłe odległości od głowic falochronu zachodniego i wschodniego w kierunku brzegu wynoszące odpowiednio 435 i 670 m. Obliczenia zmian położenia linii brzegowej, przy wykorzystaniu licencyjnego holenderskiego programu numerycznego UNIBEST-CL (wersja 4.0) [12], wykonano dla okresu 10 lat od wybudowania falochronów. W obliczeniach tych założono całkowite blokowanie transportu rumowiska przez falochrony.



Rys. 3. Schemat geometryczny układu falochronów w Nowym Świecie od strony Zatoki Gdańskiej [9]



Rys. 4. Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach po odmorskiej stronie Mierzei w sąsiedztwie projektowanych falochronów w Nowym Świecie [9]

Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach po wybudowaniu falochronów pokazano na rys. 4. Dodatkowo w tabl. 3 zamieszczono maksymalne przyrosty i ubytki brzegu w bezpośrednim sąsiedztwie falochronów oraz maksymalny zasięg zmian brzegowych po wschodniej i zachodniej stronie falochronów.

Tabl. 3. Obliczone zmiany brzegu po 10 latach po odmorskiej stronie Mierzei w sąsiedztwie falochronów w Nowym Świecie [9]

Zmiany brzegowe w sąsiedztwie falochronów		Wzdłużbrzegowy zasięg zmian	
strona zachodnia	strona wschodnia	strona zachodnia	strona wschodnia
ubytek ~5m	przyrost ~10 m	~100 m	~200 m

Z przeprowadzonych obliczeń dla odmorskich brzegów Mierzei wynika, że:

- Po 10 latach od wybudowania falochronów można oczekiwać niewielkiej erozji po stronie zachodniej falochronów, rzędu około 5 m bezpośrednio przy falochronie zachodnim i zasięgu zatoki erozyjnej około 100 m. Niewielka akumulacja pojawi się po stronie wschodniej falochronów z przyrostem brzegu około 10 m bezpośrednio przy falochronie wschodnim i zasięgu obszaru akumulacyjnego około 200 m.
- Zmiany brzegowe w Nowym Świecie będą okresowe w kilkuletniej skali czasowej. Ze względu bowiem na niewielki wypadkowy transport osadów zmiany brzegowe po obu stronach falochronów będą powolne. W zależności od rzeczywistych rozkładów pól falowych docierających do brzegu w kolejnych latach będą występowały naprzemiennie obszary erozji i akumulacji brzegów po obu stronach falochronów.

ODDZIAŁYWANIE PLANOWANYCH KIEROWNIC (FALOCHRONÓW) NA ZALEWOWE BRZEGI MIERZEI

Wejście do kanału żeglugowego od strony Zalewu będzie osłonięte kierownicami (falachronami). W akwenie tym przewidziano stanowisko oczekiwania dla jednostek pływających. Stanowisko to wyznaczone jest przez nabrzeża, które w planie tworzą kanał o szerokości 120 m przy wejściu na Zalew. Kanał ten w miarę zbliżania się do śluzy stopniowo zmniejsza swą szerokość do 25 m.

W przeprowadzonych obliczeniach oddziaływania tych falochronów na brzegi Zalewu przyjęto, że ich długość liczona od umownej linii brzegowej w głąb Zalewu wynosi 305 m [6].

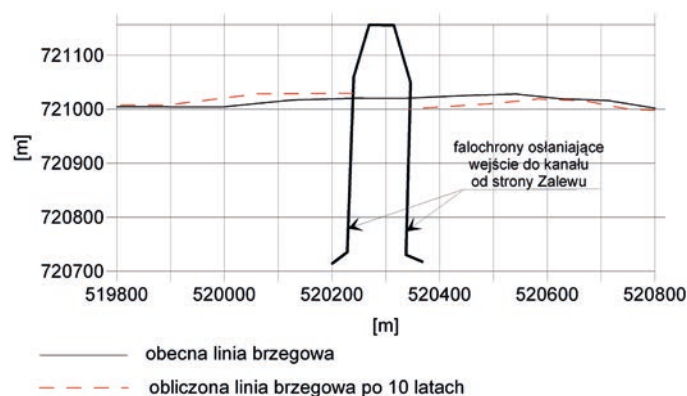
Porównując długość falochronów z szerokością strefy brzegowej, w której odbywa się transport rumowiska (rys. 2), widać, że praktycznie cała aktywna szerokość tej strefy będzie przegrodzona falochronami. W przeprowadzonych obliczeniach założono jednak, że ze względu na bardzo drobny materiał zalegający na dnie, tylko 70% transportowanych osadów będzie zatrzymywana przez falochrony, a 30% będzie je opływała.

Obliczenia wielkości przebudowy brzegu w sąsiedztwie projektowanych falochronów wykonano licencyjnym holenderskim programem numerycznym UNIBEST-CL (wersja 4.0) [12].

Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach od wybudowania planowanych falochronów pokazano na rys. 5 [10]. Obliczone wielkości tych zmian są następujące:

- zmiany brzegowe po stronie wschodniej falochronów:
 - przyrost brzegu w sąsiedztwie falochronu do około 7 m,
 - wzdłużbrzegowy zasięg zmian ograniczony do przyportowego odcinka nieporośniętego trzcinowiskami,
- zmiany brzegowe po stronie zachodniej falochronów
 - brzeg stabilny przy zachowanym przyportowym trzcinowisku.

Obliczone wartości liczbowe zmian brzegowych należy traktować jako średnie statystyczne tendencje zmian położenia linii brzegowej w okresie 10 lat po wybudowaniu falochronów osłaniających wejście do kanału żeglugowego.

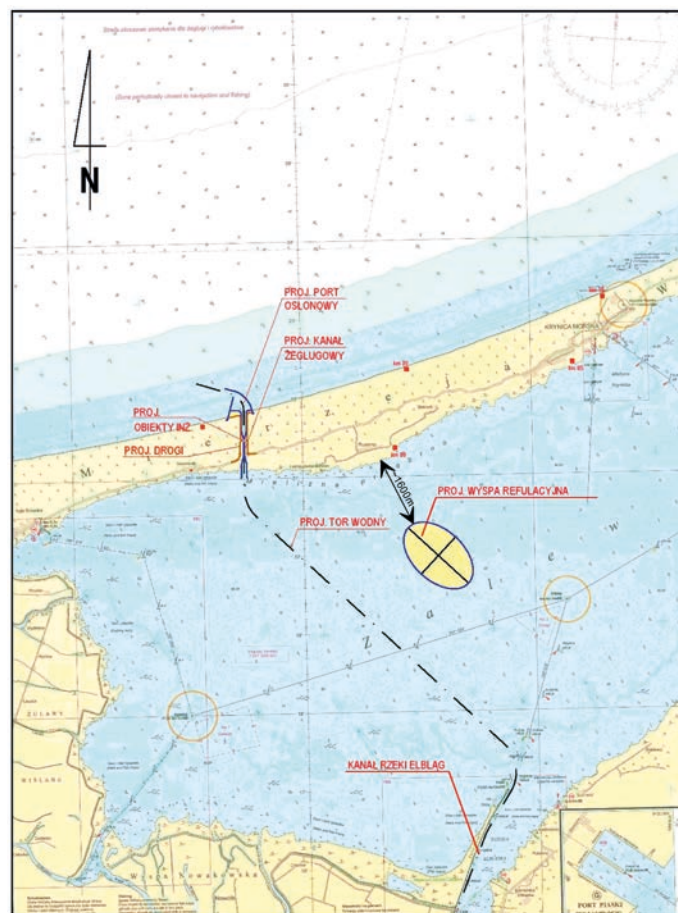


Rys. 5. Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach po wybudowaniu falochronów osłaniających wejście do kanału żeglugowego od strony Zalewu [10]

W tekstach przeciwników budowy kanału żeglugowego przez Mierzę często pojawia się zwrot "nastąpią trwałe zaburzenia równowagi dynamicznej brzegów Mierzei Wiślanej po wybudowaniu falochronów". W rzeczywistości nie ma czegoś takiego jak nieskończone w czasie oddziaływanie falochronów na brzegi. Proces ten stopniowo słabnie, a w momencie, kiedy wzdłużbrzegowy transport rumowiska zaczyna opływać falochrony, całkowicie zanika. Kończą się także wówczas wszelkie zmiany brzegowe – brzeg osiągnął nową równowagę dynamiczną.

OCENA ODDZIAŁYWANIA PROJEKTOWANEJ WYSPY NA ZALEWOWE BRZEGI MIERZEI

Jako miejsca odkładu urobku refulacyjnego zarówno na etapie budowy kanału żeglugowego przez Mierzę, jak również późniejszego utrzymania toru wodnego prowadzącego przez Zalew przewidziano budowę sztucznej wyspy. Wyspa ta ma być usytuowana na Zalewie na wysokości miejscowości Przebrno, w odległości około 1,6 km od brzegu Mierzei. Jej całkowita objętość ma wynosić 9,2 mln m³. Pole refulacyjne składać się będzie z dwóch osobnych kwater, które po wypełnieniu utworzą wyspę o powierzchni ~180 ha [6]. Wyspę zaprojektowano na planie elipsy o dłuższej osi równej 1930 m i krótszej 1190 m. Położenie wyspy na Zalewie Wiślanym pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Usytuowanie wyspy refulacyjnej na Zalewie Wiślanym [6]

Każda przeszkoda, czy to w postaci konstrukcji hydrotechnicznej, czy też w postaci usypanej wyspy usytuowanej w strefie przybrzeżnej, może oddziaływać na brzegi. W obszarze pomiędzy wzniesioną budowlą a brzegiem zasadnicze znaczenie mają procesy dyfrakcji fali. Wymuszają one zmiany pól falowych i prądowych w otoczeniu budowli, zmniejszając wzdłużbrzegową zdolność transportową osadów, powodując w rezultacie przechwytywanie i odkładanie ich w sąsiedztwie budowli. W rezultacie w jej cieniu powstają wypukłości brzegowe, które stopniowo rozrastają się, aż do zetknięcia się z budowlą. Wielkość oddziaływania zależy z jednej strony od odległości „przeszkody” od brzegu, z drugiej zaś od natężenia wzdłużbrzegowego transportu osadów. Transport ten z kolei zależy od intensywności procesów falowo-prądowych, na które główny wpływ mają prędkości i kierunki wiatrów występujących w ciągu roku nad Zalewem.

W celu oceny oddziaływania projektowanej wyspy na brzegi Mierzei sprawą kluczową było zatem odpowiedzenie na pytanie na ile warunki hydrodynamiczne po wybudowaniu wyspy zmienią się w strefie przybrzeżnej, głównie w obszarze położonym pomiędzy wyspą a brzegami Mierzei, w stosunku do stanu obecnego dla różnych prędkości i kierunków wiatru.

Obliczenie parametrów falowania i cyrkulacji prądowych wykonano przy wykorzystaniu holenderskiego pakietu numerycznego DELFT 3D. Modelowany obszar objął swoim zasięgiem cały Zalew Wiślaný.

Obliczenia parametrów falowania oraz cyrkulacji prądowych wykonano przyjmując nad całym Zalewem stały, jednorodny wiatr wiejący wzdłuż osi Zalewu – kierunki NE i SW oraz w poprzek Zalewu – kierunki NW i SE o prędkościach: 5, 10 i 15 m/s. Obliczenia te wykonano dla obecnego układu geometrycznego Zalewu (bez sztucznej wyspy) oraz po jej wybudowaniu. Prawdopodobieństwa wystąpienia wiatrów z poszczególnych kierunków o przyjętych w obliczeniach prędkościach pokazano w tabl. 4.

Tabl. 4. Okresy powtarzalności T_R prędkości wiatrów z kierunków NE, SE, NW i SW

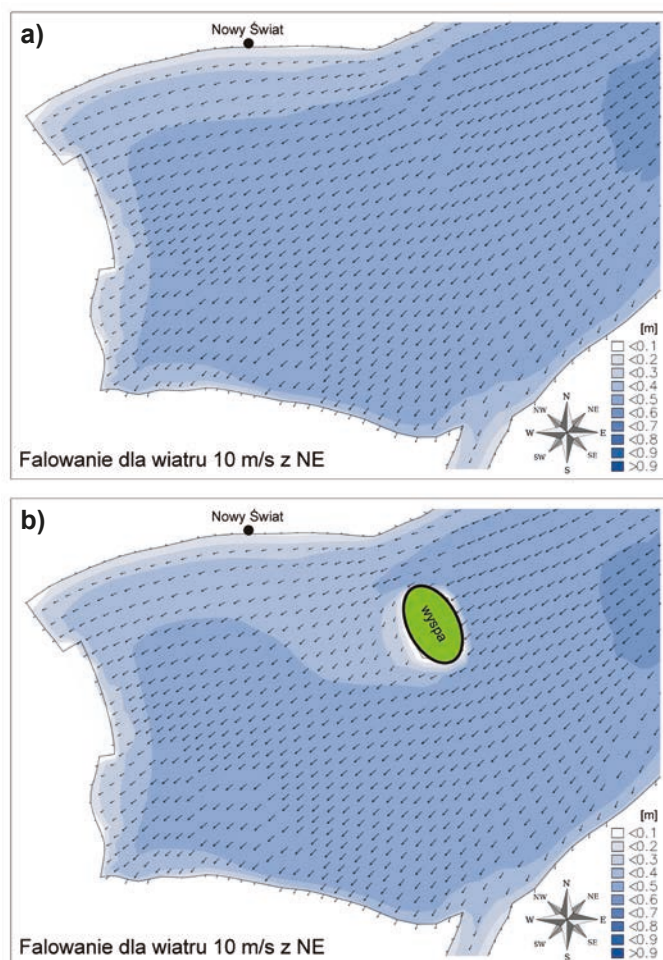
Prędkość wiatru [m/s]	Okresy powtarzalności T_R			
	NE	SE	NW	SW
5	co roku	co roku	co roku	co roku
10	co 5 lat	co 5 lat	co 2 lata	co 2 lata
15	ponad 100 lat	ponad 200 lat	co 20 lat	co 50 lat

Przykładowo na rys. 7 ÷ 12 pokazano zarówno obliczone rozkłady, bez i w obecności wyspy, wysokości falowania oraz prędkości przepływu wody w warstwie powierzchniowej i przydennej w rejonie Nowego Świata, jak i różnice w obliczanych wielkościach wynikające z uwzględnienia wyspy przy wietrze z kierunku NE o prędkości 10 m/s.

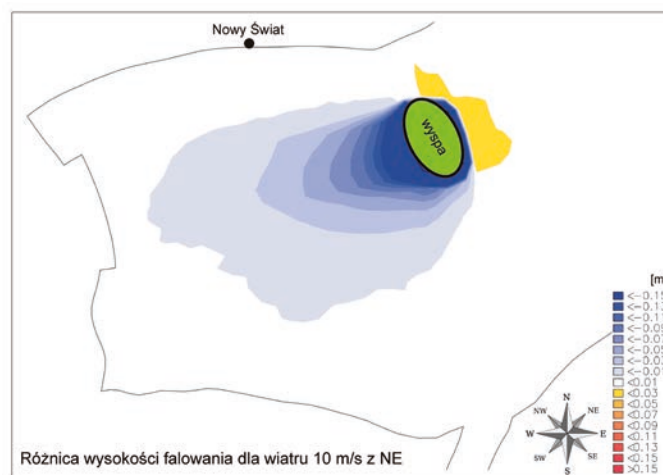
Z przeprowadzonych symulacji numerycznych otrzymano [10]:

- rozkłady wysokości falowania, cyrkulacji prądów powierzchniowych i przydennych obecnie i po wybudowaniu wyspy są podobne,

- obecność wyspy powoduje tylko niewielką modyfikację pól falowo-prądowych w jej sąsiedztwie, to jest:
 - dla pola falowego w powstającym po stronie zewnętrznej wyspy cieniu wysokości fal są maksymalnie o około 0,05 m mniejsze od obecnych,



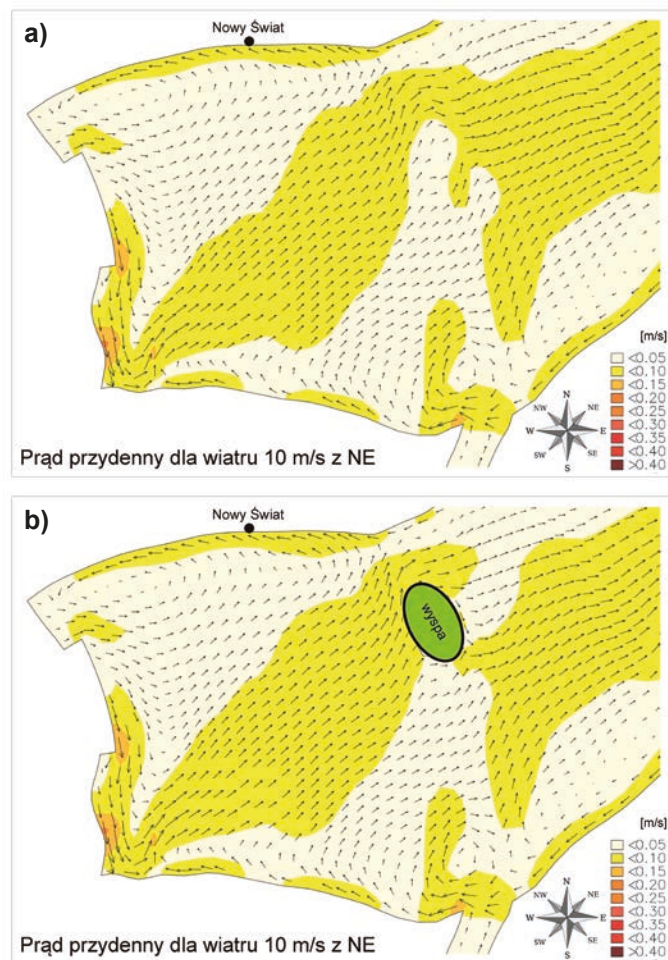
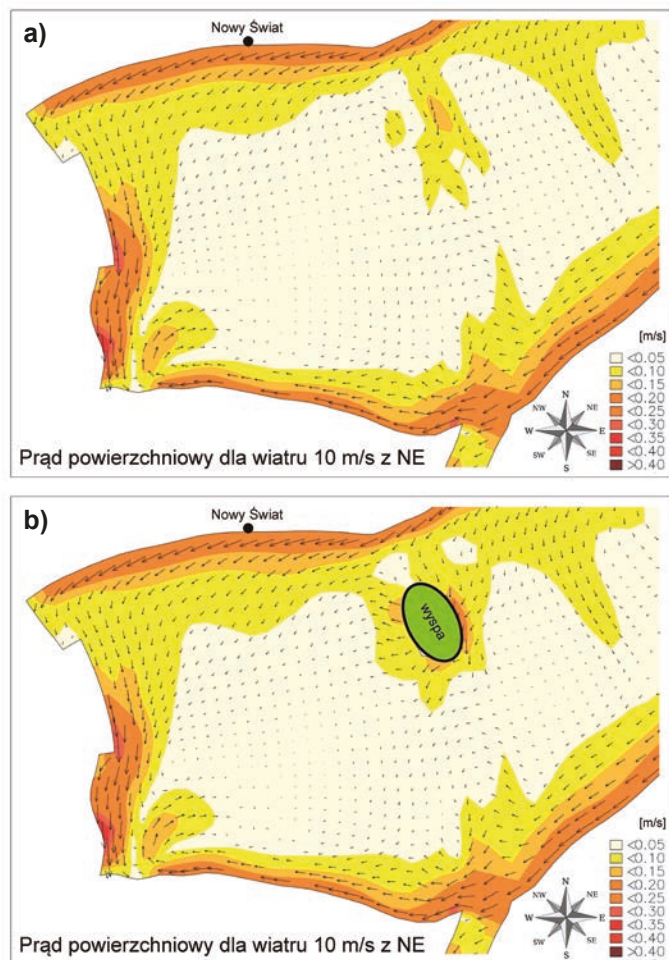
Rys. 7. Obliczone rozkłady wysokości falowania w rejonie Nowego Świata przy wietrze z kierunku NE o prędkości 10 m/s [10]
a) bez wyspy, b) z wyspą



Rys. 8. Różnice w obliczonych wysokościach falowania w rejonie Nowego Świata dla stanu aktualnego i w obecności wyspy przy wietrze z kierunku NE o prędkości 10 m/s [10]

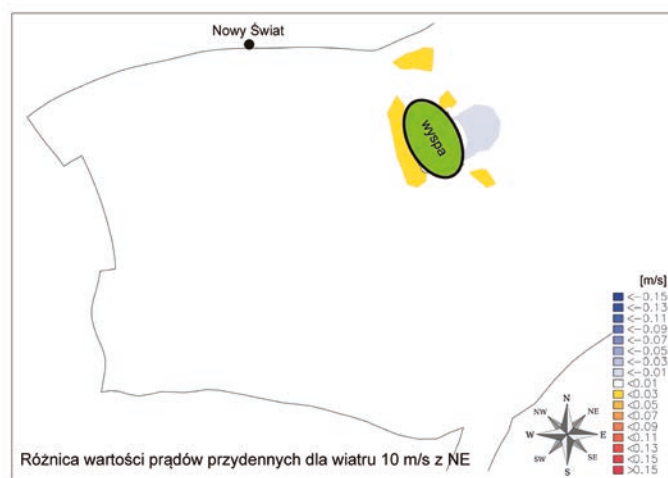
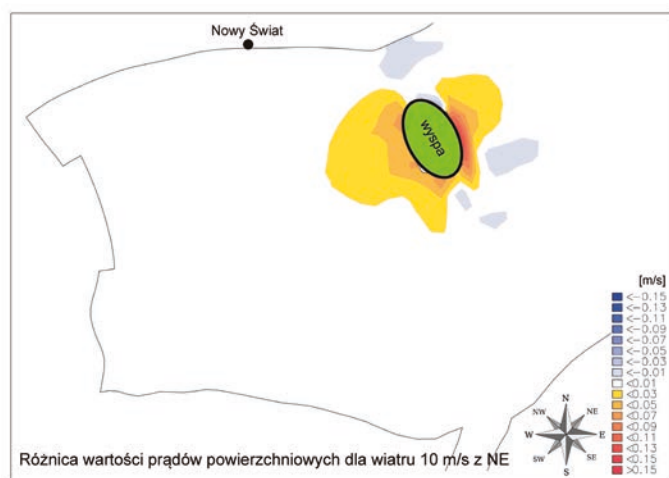
- dla pola prądów powierzchniowych zmiany prędkości pojawiają się głównie w samym sąsiedztwie wyspy, zarówno ich wzrost jak i spadek w stosunku do stanu istniejącego nie przekracza generalnie 0,03 m/s,

- dla pola prądów przydennych niewielkie różnice w prędkościach w sąsiedztwie wyspy nie przekraczające $\pm 0,03$ m/s występują przy wiatrach o prędkościach 10 i 15 m/s.



Rys. 9. Obliczone prędkości przepływu wody w warstwie powierzchniowej w rejonie Nowego Świata przy wietrze z kierunku NE o prędkości 10 m/s [10]
a) bez wyspy, b) z wyspą

Rys. 11. Obliczone prędkości przepływu wody w warstwie przydennej w rejonie Nowego Świata przy wietrze z kierunku NE o prędkości 10 m/s [10]
a) bez wyspy, b) z wyspą



Rys. 10. Obliczone różnice prędkości przepływu wody w warstwie powierzchniowej dla stanu aktualnego i w obecności wyspy przy wietrze z kierunku NE o prędkości 10 m/s [10]

Rys. 12. Obliczone różnice prędkości przepływu wody w warstwie przydennej dla stanu aktualnego i w obecności wyspy przy wietrze z kierunku NE o prędkości 10 m/s [10]

Reasumując, biorąc pod uwagę, że:

- zmiany pól falowo-prądowych w obszarze położonym pomiędzy projektowaną wyspą a brzegiem Mierzei położonym w cieniu wyspy są lokalne i niewielkie, a przy wiatrów o prędkości 5 m/s znikome,
- wzdłużbrzegowy transport rumowiska skierowany ze wschodu na zachód jest mały, wynoszący około 3 000 m³/rok i odbywa się w strefie brzegowej w pasie o szerokości 400 m,
- brzegi Mierzei są porośnięte pasem trzcinowisk, które przy szacowanej ich szerokości na co najmniej 100 m stanowią naturalną ochronę brzegu,

obecność wyspy nie spowoduje istotnych zmian w położeniu linii brzegowej. W długiej skali czasowej mogą się jedynie pojawić niewielkie spłycenia pomiędzy wyspą a brzegiem Mierzei Wiślanej.

PODSUMOWANIE

Odmorskie brzegi polskiej części Mierzei Wiślanej charakteryzują się słabymi procesami litodynamicznymi, powolnymi zmianami konfiguracji dna, występowaniem stref dywergencji (zmiany wypadkowego kierunku przemieszczania się osadów), a co za tym idzie niewielkim natężeniem wypadkowego rocznego transportu rumowiska.

Obliczony łączny transport rumowiska po odmorskiej stronie Mierzei w Nowym Świecie przemieszczającego się z zachodu na wschód wynosi 35 tys. m³/rok, a w kierunku ze wschodu na zachód – 38 tys. m³/rok. Wypadkowy roczny transport rumowiska w średnim roku statystycznym jest minimalny wynoszący 3 tys. m³/rok i skierowany ze wschodu na zachód. Odbywa się on głównie w pasie o szerokości do około 450 m liczonym od linii brzegowej.

Z przeprowadzonych obliczeń oddziaływania na brzegi Mierzei falochronów osłaniających wejście do planowanego kanału żeglugowego od strony morza wynika, że po 10 latach od wybudowania falochronów zmiany brzegowe będą następujące:

- w sąsiedztwie falochronów po stronie zachodniej cofnięcie brzegu około 5 m, po stronie wschodniej przyrost brzegu około 10 m,
- zasięg wzdłużbrzegowych zmian po stronie zachodniej około 100 m, po stronie wschodniej około 200 m.

Zgodnie z przeprowadzonymi obliczeniami zmiany wzdłużbrzegowe spowodowane budową falochronów nie będą w żadnym kierunku przekraczały 200 m. Odległość pomiędzy Krynica Morską a Nowym Światem wynosi około 9 ÷ 10 km. Oznacza to, że budowa falochronów w Nowym Świecie nie może oddziaływać na plażę w Krynicy Morskiej.

Obliczony łączny transport rumowiska wzdłuż zalewowych brzegów Mierzei przemieszczający się z zachodu na wschód wynosi 1 tys. m³/rok, a w kierunku ze wschodu na zachód – 3 tys. m³/rok. W rezultacie wypadkowy roczny transport rumowiska w średnim roku statystycznym wynosi 2 tys. m³/rok i jest skierowany ze wschodu na zachód.

Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach od wybudowania falochronów osłaniających wejście do kanału żeglugowego od strony Zalewu wynoszą:

- po stronie wschodniej falochronów spodziewany przyrost brzegu w sąsiedztwie falochronu do około 7 m, a wzdłużbrzegowy zasięg zmian ograniczony do przyportowego odcinka nieporośniętego trzcinowiskami,
- po stronie zachodniej falochronów brzeg stabilny przy zachowanym przyportowym trzcinowisku.

Budowa wyspy na Zalewie jako miejsca odkładu urobku refulacyjnego nie spowoduje istotnych zmian w położeniu linii brzegowej. W długiej skali czasowej mogą się jedynie pojawić niewielkie spłycenia pomiędzy wyspą a brzegiem Mierzei Wiślanej.

LITERATURA

1. Basiński T.: Ocena stanu zabezpieczenia brzegów Morza Bałtyckiego od strony otwartego morza oraz Zatok Gdańskiej i Puckiej będących w administracji Urzędu Morskiego w Gdyni. Raport wykonany na zlecenie Urzędu Morskiego w Gdyni, 2007.
2. Dubrawski R., Zawadzka-Kahlau E. (redakcja): Przyszłość ochrony polskich brzegów morskich. Wyd. Instytut Morski, Gdańsk 2006.
3. Graniczny M., Kowalski Z., Zachowicz J.: Studium geośrodowiskowe Zalewu Wiślanego i jego otoczenia przy wykorzystaniu nowoczesnych technik kartograficznych. Przegląd Geologiczny, vol. 46, nr 12, 1998.
4. Kaczmarek L.M., Biegowski J., Gaca K., Gąsiorowski D., Kaźmierski J., Ostrowski R., Perfumowicz T., Pruszek Z., Schönhofer J., Skaja M., Szymtykiewicz M., Szymtykiewicz P.: Analiza procesów hydro- i litodynamicznych w rejonie planowanego przekopu przez Mierzę Wiślaną i predykcja wpływu przekopu na brzeg morski wraz z oceną intensywności zapiaszczania (zamulania) toru wodnego na odcinku od przekopu do portu w Elblągu. Raport końcowy z realizacji projektu badawczego rozwojowego. Zleceniodawca: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Kierownik grantu: Kaczmarek L.M., 2008.
5. Nadolny A., Samulak M.: Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską. Tom II Koncepcja realizacyjna – lokalizacja Nowy Świat. Raport PROJMORS Biura Projektów Budownictwa Morskiego Sp. z o.o. wykonany na zlecenie Urzędu Morskiego w Gdyni, 2017a.
6. Nadolny A., Samulak M.: Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską. Tom V Koncepcja realizacyjna Wyspa – pole refulacyjne. Raport PROJMORS Biura Projektów Budownictwa Morskiego Sp. z o.o. wykonany na zlecenie Urzędu Morskiego w Gdyni, 2017b.
7. Ostrowski R., Biegowski J., Kaczmarek L.M., Kapiński J., Piotrowska D., Pruszek Z., Różyński G., Schönhofer J., Skaja M., Swerpel B., Szymtykiewicz M., Szymtykiewicz P.: Raport z realizacji projektu badawczego pt. „Zmienność procesów hydrodynamicznych i litodynamicznych w strefie brzegowej wschodniej części Zatoki Gdańskiej” Zleceniodawca: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Departament Badań Naukowych, 2010.
8. Podbereski B.: Projekt robót podczyszczeniowych wzdłuż nabrzeża południowo-zachodniego w porcie w Kątach Rybackich. Dokumentacja projektowa wykonana dla Urzędu Morskiego w Gdyni, 1999.
9. Szymtykiewicz M., Sulisz W., Ostrowski R., Paprota M., Piotrowska D., Pruszek Z., Skaja M., Szymtykiewicz P.: Badanie falowania i ruchu rumowiska dla inwestycji pod nazwą „Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską”. Raport IBW PAN wykonany na zlecenie PROJMORS-u Biura Projektów Budownictwa Morskiego Sp. z o.o., 2017.

10. Szmytkiewicz M., Ostrowski R., Schönhofer J., Skaja M., Szmytkiewicz P.: Wpływ konstrukcji hydrotechnicznych, w tym sztucznej wyspy na kształtowanie się brzegu oraz plaż od strony Zalewu Wiślanego na Mierzei Wiślanej dla inwestycji pod nazwą „Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską”. Raport IBW PAN wykonany na zamówienie Urzędu Morskiego w Gdyni, 2018.
11. UNIBEST-LT Version 4.0 1993. User's manual MS-DOS PC-program. *Delft Hydraulics, The Netherlands*.
12. UNIBEST-CL Version 4.0 1993. User's manual MS-DOS PC-program. *Delft Hydraulics, The Netherlands*.
13. Zawadzka-Kahlau E.: Tendencje rozwojowe polskich brzegów Bałtyku południowego. Wyd. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk 1999.