INSTYTUT BUDOWNICTWA WODNEGO
POLSKIEJ AKADEMII NAUK
W GDAŃSKU

Szmytkiewicz M., Sulisz W.,
Ostrowski R., Paprota M., Piotrowska D., Pruszak Z., Skaja M., Szmytkiewicz P.

Badanie falowania i ruchu rumowiska dla inwestycji pod nazwą „Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską”

Gdańsk, czerwiec 2017

Wykonawca: Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk (IBW PAN)
ul. Kościerska 7
80-328 Gdańsk
www.ibwpan.gda.pl

Zamawiający: PROJMORS Biuro Projektów Budownictwa Morskiego Sp. z o.o.

Symbol pracy: C2-10/2017

Autorzy
(w porządku alfabetycznym):

dr hab. inż. Rafał Ostrowski
dr inż. Maciej Paprota
tech. Danuta Piotrowska
prof. dr hab. inż. Zbigniew Pruszak
inż. Marek Skaja
dr hab. inż. Wojciech Sulisz
dr hab. inż. Marek Szmytkiewicz
dr inż. Piotr Szmytkiewicz

Kierownik pracy: dr hab. inż. Marek Szmytkiewicz
dr hab. inż. Wojciech Sulisz

Kierownik Zakładu Mechaniki Falowania i Dynamiki Budowli: dr hab. inż. Wojciech Sulisz

Kierownik Zakładu Mechaniki i Inżynierii Brzegów: dr hab. inż. Rafał Ostrowski

Dyrektor Instytutu: dr hab. inż. Waldemar Świdziński

Spis treści

1. Wstęp
2. Hydrologia Zatoki Gdańskiej
   2.1. Poziomy wody
   2.2. Zjawiska lodowe
3. Parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej
   3.1. Wybór punktów prognostycznych do wyznaczenia parametrów falowania głęboko-wodnego
   3.2. Wyznaczenie parametrów falowania w średnim roku statystycznym
   3.3. Wyznaczenie parametrów fal projektowych
4. Obliczenie falowania w akwenach portowych
   4.1. Usytuowanie wejść portowych
   4.2. Warianty zabudowy i dane wejściowe
   4.3. Wyniki analizy falowania
      4.3.1. Skowronki
      4.3.2. Nowy Świat
      4.3.3. Piaski
   4.4. Podsumowanie
5. Transport osadów po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej
   5.1. Opis naturalnych procesów lito- i morfodynamicznych
   5.2. Obliczenie natężenia wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w sąsiedztwie trzech lokalizacji planowanego kanału żeglugowego
      5.2.1. Transport rumowiska w rejonie Skowronek
      5.2.2. Transport rumowiska w rejonie Nowego Świata
      5.2.3. Transport rumowiska w rejonie Piasków
      5.2.4. Podsumowanie
6. Oddziaływanie planowanych falochronów na odmorskie brzegi Mierzei Wiślanej
   6.1. Ocena oddziaływania falochronów na brzegi Mierzei w rejonie Skowronek
   6.2. Ocena oddziaływania falochronów na brzegi Mierzei w rejonie Nowego Świata
   6.3. Ocena oddziaływania falochronów na brzegi Mierzei w rejonie Piasków
   6.4. Podsumowanie
7. Oszacowanie tempa zapiaszczania akwenu położonego w sąsiedztwie głowic falochronów osłaniających wejście do projektowanego kanału
   7.1. Szacunkowa ocena zapiaszczania wejścia portowego prowadzącego do kanału żeglugowego w Skowronkach

7.2. Szacunkowa ocena zapiaszczania wejścia portowego prowadzącego do kanału żeglugowego w Nowym Świecie

7.3. Szacunkowa ocena zapiaszczania wejścia portowego prowadzącego do kanału żeglugowego w Piaskach

7.4. Podsumowanie

8. Zalew Wiślany

8.1. Wyznaczenie parametrów falowania na Zalewie Wiślanym dla potrzeb projektowania stanowiska postojowego statków oraz sztucznej wyspy

8.2. Zlodzenie

8.3. Poziomy wody

9. Podsumowanie końcowe

10. Spis rysunków

11. Spis tabel

12. Spis literatury

1. Wstęp

Celem pracy było wykonanie analizy falowania i transportu rumowiska dla potrzeb inwestycji „Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską". Praca została wykonana na zamówienie PROJMORS-u Biura Projektów Budownictwa Morskiego Sp. z o.o.

Zgodnie z załącznikiem nr 1 stanowiącym integralną część podpisanej umowy, zakres prac zrealizowanych przez IBW PAN obejmował następujące zagadnienia.

- Obliczenie falowania od strony otwartego morza:
  - określenie parametrów falowania na przedpolu portu osłonowego o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 (silne warunki sztormowe) i raz na 20 lat (przeciętne warunki sztormowe),
  - współpracę z Biurem Projektów przy ustaleniu 3 wariantów geometrycznego układu falochronów,
  - obliczenie falowania w porcie osłonowym (trzy warianty układu falochronów) z uwzględnieniem odbić falowania od falochronów i nabrzeży, dyfrakcji, tłumienia, itp.
- Obliczenie rocznego transportu rumowiska wzdłuż odmorskich brzegów Mierzei Wiślanej w rejonach planowanych trzech lokalizacji przekopu.
- Ocenę wpływu planowanych falochronów portu osłonowego na brzeg morski wraz z ewentualną propozycją przeciwdziałania erozji brzegów.
- Określenie możliwości i wielkości zapiaszczania toru wodnego na Zatoce Gdańskiej prowadzącego do projektowanego portu osłonowego.
- Pomiary falowania i prądów w trzech lokalizacjach od strony Zatoki Gdańskiej.

Przedstawiony powyżej zakres prac dotyczył trzech następujących lokalizacji drogi wodnej (kanału):

- dawna osada Nowy Świat w gminie Sztutowo w województwie pomorskim,
- Skowronki w gminie Sztutowo w województwie pomorskim,
- Nowa Karczma część Krynicy Morskiej – dawna nazwa Piaski w województwie pomorskim.

Wyniki pomiarów falowania i prądów zostaną przekazane oddzielnie.

2. Hydrologia Zatoki Gdańskiej

2.1. Poziomy wody

Zgodnie z rozporządzeniem ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 1 czerwca 1998 r. (Dziennik Ustaw Nr 101, 1988 r.) polskie obszary morskie traktuje się jako morze bezpływowe. Jako poziom zerowy morza przyjęto w Polsce poziom równy 500 cm.

W Zatoce Gdańskiej systematyczne pomiary poziomów morza wykonywane są w kilku punktach, przy czym najdłuższe serie pomiarowe dostępne są dla stacji Gdańsk – Nowy Port (od 1886 roku, z niewielką przerwą w czasie wojny 1940÷45). W grudniu 1986 roku wodowskaz został przeniesiony do Portu Północnego.

Według istniejących danych absolutne maksimum, zarejestrowane w 1914 roku, wynosiło 656 cm. Ekstremalne spiętrzenia wody zanotowano również w latach 1983 (638 cm), 1905 (637 cm) i w roku 1899 (636 cm). Kilkakrotnie notowano stan wody 621 cm.

Charakterystyczne poziomy wody dla Zatoki Gdańskiej, w tym dla rozpatrywanych lokalizacji przekopu od strony morza, wyznaczone za okres 1948÷2006 na podstawie pomiarów w Gdańsku, Wiśniewski, Wolski (2009):

WWW → 644 cm,

SWW → 546 cm,

SSW → 506 cm,

SNW → 476 cm,

NNW → 414 cm.

Analizując rozkłady sezonowe spiętrzeń sztormowych w Zatoce Gdańskiej i czasy ich trwania stwierdzić można, że w ciągu roku stany wody powyżej 550 cm mogą pojawić się 3÷4 razy, a stany rzędu 600 cm pojawiają się nie częściej, niż raz na dwa lata. Przeciętne spiętrzenie sztormowe powyżej 0.5 m trwa około 31÷32 godziny, zaś powyżej 0.8 m około 9 godzin. Z kolei przeciętny sztormowy przyrost stanu wody wynosi od około 10 do około 16 cm/godz., zaś największe sztormowe przyrosty wynosiły ok. 22 cm/godz.

Analiza pomiarów z pełnego roku 2010÷2011 (grudzień ÷ grudzień) wskazująca na maksymalne stany odpowiednio 581 cm oraz 583 cm dla Gdańska i Gdyni wraz ze średnim czasem trwania pięciu spiętrzeń powyżej 0.5 m określonym na 29 godzin potwierdza dane statystyczne z lat poprzednich.

Poziomy zwierciadła wody o określonych prawdopodobieństwach wystąpienia pokazano w tabeli 2.1. W tabeli tej zamieszczono zarówno poziomy wody wyznaczone na podstawie pomiarów z lat 1886÷2006, Wiśniewski i Wolski (2009) oraz w starszej pracy Wróblewskiego (1992). Jako obowiązujące przyjęto poziomy przedstawione w pracy z 2009 roku.

Tab. 2.1. Prawdopodobieństwa występowania i okresy powtarzalności maksymalnych poziomów morza w Gdańsku wg Wiśniewskiego i Wolskiego (2009) oraz Wróblewskiego (1992)

Prawdopodobieństwo [%]	20	10	5	2	1	0.5	0.1
Okres powtarzalności [lata]	5	10	20	50	100	200	1000
Poziom morza [cm] Wiśniewski, Wolski (2009)	606	620	633	649	660	671	695
Poziom morza [cm] Wróblewski (1992)	594	608	631	639	651	664	694

Z uwagi na efekt globalnego ocieplania charakterystyczne poziomy wody według zaleceń IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) należy zwiększyć o prognozowane podnoszenie się poziomu morza. W latach 90-tych ubiegłego wieku, według najbardziej prawdopodobnego scenariusza, wzrost ten po 10, 25, 50 i 100 latach szacowano odpowiednio na 4, 16, 30 i 60 cm, Cieślak (2001). We współczesnych publikacjach, np. Stramska i Chudziak (2013) określony na podstawie analizy zdjęć satelitarnych trend wzrostu poziomu wody w Bałtyku wynosi 0.33 cm/rok z odchyleniem standardowym równym 0.08 cm.

Projektowy poziom wody.

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w Zaleceniach do Projektowania i Wykonywania Morskich Budowli Hydrotechnicznych (Mazurkiewicz 2006) dla falochronów osłaniających wejścia portowe należy przyjmować projektowy poziom wody o prawdopodobieństwie przewyższenia równym 1%. Z kolei IPCC zaleca dodatkowo uwzględniać prognozowany wzrost poziomu morza związany z efektem cieplarnianym. Przyjmując za Stramską i Chudziakiem (2013) roczny wzrost poziomu wody równy 0.33 cm otrzymamy:

- poziom morza o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 lat – 660 cm,
- prognozowany wzrost poziomu morza w perspektywie 50 lat (+17 cm),

skąd:

$$Z_{proj} = 660 + 17 = 677 \text{ cm (+1.77 m powyżej średniego poziomu morza).}$$

2.2. Zjawiska lodowe

W porównaniu do pozostałych wód polskiej strefy brzegowej, lód na Zatoce Gdańskiej w rejonie Mierzei Wiślanej pojawia się rzadko. Warunki zlodzenia zmieniają się znacznie z roku na rok. Warunki te są związane z surowością zimy. Dla odmorskich brzegów Mierzei najczęściej występują zimy łagodne (49%), natomiast zimy łagodne i umiarkowane stanowią łącznie 82%, a zimy surowe i bardzo surowe stanowią 18% wszystkich zim, Zorina i Maliński (1975). Podczas zim łagodnych przeważa cyrkulacja cyklonalna nad Bałtykiem, która nie sprzyja zaleganiu lodu. Natomiast w okresie zim surowych i bardzo surowych przeważa cyrkulacja typu antycyklonalnego. Wyże biorące początek nad Morzem Barentsa i Morzem Karskim niosące chłodne powietrze arktyczne dostają się w rejon południowego Bałtyku i stwarzają warunki sprzyjające intensywnemu rozwojowi procesów lodowych.

Liczba dni z lodem jest różna i waha się od 0 do około 30 dni (Miętus i in. 2011, Majewski i in. 1990). Przeciętna długość sezonu lodowego wynosi około 6 dni. W latach 1946÷1976 lód najwcześniej pojawił się na przełomie grudnia i stycznia, a najpóźniej w pierwszej dekadzie marca. Z kolei zakończenie okresu zlodzenia następuje średnio pomiędzy trzecią dekadą lutego a trzecią dekadą marca. Najdłużej lód utrzymywał się w sezonie 1955/56, tab. 2.2. W wieloleciu 1946÷1976 wystąpiło 14 sezonów z brakiem lodu. U brzegów Mierzei przeważa występowanie lodu dryfującego.

Typowe kolejne etapy zamarzania Zatoki Gdańskiej są następujące:

- pojawienie się pierwszych form lodu w rejonie Zatoki Puckiej,
- wystąpienie zjawisk lodowych w innych rejonach Zatoki Gdańskiej,
- przy brzegach Mierzei Wiślanej występują parodniowe okresy lodu poprzedzielane wystąpieniem gruzu lodowego i lodu dryfującego.

Nawet w okresach zim surowych w strefie przybrzeżnej morza w rejonie Mierzei notowano łagodne warunki zlodzenia, gdzie lód pojawiał się w krótkich parodniowych okresach poprzedzielanych okresami wolnymi od lodu.

Tab. 2.2 Liczba dni z lodem na Zatoce Gdańskiej w rejonie Mierzei Wiślanej w latach 1953/54 – 1970/71 (Majewski i in. 1990)

Lata	Liczba dni z lodem	Lata	Liczba dni z lodem
1953/54	8	1963/64	2
1954/55	5	1964/65	1
1955/56	27	1965/66	1
1956/57	2	1966/67	5
1957/58	2	1967/68	1
1958/59	3	1968/69	8
1959/60	4	1969/70	5
1962/63	25	1970/71	1

Grubość lodu

W porównaniu do innych obszarów Zatoki Gdańskiej przy brzegach Mierzei Wiślanej występuje najcieńsza pokrywa lodowa. Nie zarejestrowano tam w ciągu rozpatrywanego trzydziestolecia lodu grubszego niż 33 cm (Majewski i in. 1990).

3. Parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej

3.1 Wybór punktów prognostycznych do wyznaczenia parametrów falowania głębokowodnego

Pomiary falowania na wodach Zatoki Gdańskiej są wykonywane nieregularnie i w niewielu miejscach, tak, że na ich podstawie niemożliwym jest wykonanie długoterminowych analiz określających prawdopodobieństwo występowania fal o różnych parametrach (wysokości, okresu i kąta podchodzenia). Dlatego też do odtworzenia falowania wykorzystywane są modele prognostyczne, do których danymi wejściowymi są pola wiatrów.

W większości dotychczasowych prac opierano się na wynikach obliczeń falowania wykonywanych modelami parametrycznymi dla wiatrów stacjonarnych i jednorodnych. W modelach tych zakładano, że wiatry pomierzone na stacjach brzegowych (lądowych) są reprezentatywne dla całego Bałtyku i mogą być przyjmowane jako czynnik sprawczy generacji fal wiatrowych na tym akwenie.

Począwszy od 1997 roku w Interdyscyplinarnym Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego (ICM) systematycznie prognozowana jest pogoda za pomocą mezoskalowego modelu atmosfery UMPL (Unified Model Poland), który swym zasięgiem obejmuje cały Bałtyk. W rezultacie możliwym stało się także obliczenie falowania występującego na Bałtyku na podstawie znajomości pól barycznych zarejestrowanych nad Bałtykiem.

Dla potrzeb niniejszej pracy wykorzystano wyniki obliczeń pola falowego modelem spektralnym WAM4 (WaveModelling 1988). Model ten jest obecnie szeroko stosowany na świecie. Wyniki obliczeń pozwoliły na rekonstrukcję falowania na Bałtyku w okresie 44 lat (1958÷2001). Pola wiatru nad Bałtykiem, stanowiące dane wejściowe do modelu falowania, pochodziły z regionalnego modelu atmosferycznego REMO (Regional Climate Model 2001). W modelu WAM4 podstawowym równaniem jest tzw. równanie bilansu działania falowego, w którym uwzględniono transfer energii od wiatru do morza, załamanie fal typu „whitecapping", tarcie o dno i wzajemne oddziaływania rezonansowe składowych falowych. Rozdzielczość obliczeniowej siatki przestrzennej wynosiła 5'×5' (około 9 km). Interpolowane w przestrzeni pola wiatru wprowadzano do modelu falowego z krokiem jednogodzinnym, a następnie wewnątrz modelu interpolowano z krokiem czasowym 300 s. W wyniku tych obliczeń otrzymano dla każdej kolejnej godziny reprezentatywne parametry fali, tj. wysokości fali znacznej H_s, okresy T_p i azymuty kątów podchodzenia fali do brzegu A_z dla węzłowych punktów siatki obliczeniowej. Łącznie dla każdego punktu prognostycznego otrzymano zbiory zawierające 24×365×44 wartości liczbowe.

Porównanie wyników modelowania i pomiarów falowania *in situ* oraz z pomiarami satelitarnymi pokazało, że model WAM4 w dobrym stopniu przybliża falowanie rzeczywiste i może być wykorzystywany do analizy klimatu falowego na Bałtyku, Cieślikiewicz i in. (2005).

W celu wyznaczenia parametrów falowania głębokowodnego po odmorskiej strony Mierzei Wiślanej przeanalizowano otrzymane z rekonstrukcji falowania na Bałtyku w okresie 44 lat (1958÷2001) zbiory falowe punktów prognostycznych położonych w obrębie Zatoki Gdańskiej, możliwie blisko rozpatrywanych lokalizacji kanału prowadzącego z Zatoki Gdańskiej na wody Zalewu. W sumie kryterium to spełniały dwa punkty prognostyczne, jeden wspólny dla Skowronek i Nowego Świata oraz drugi – oddzielny dla Piasków. Współrzędne geograficzne tych punktów i występujące w tych miejscach głębokości były następujące:

- Skowronki i Nowy Świat - odległość między tymi lokalizacji wynosi około 3 km

współrzędne geograficzne: 54°25’00” N 19°18’00” E, głębokość $h \approx 45$ m.

Punkt ten usytuowany jest w odległości około 6 km od brzegu Mierzei na km 26.0.

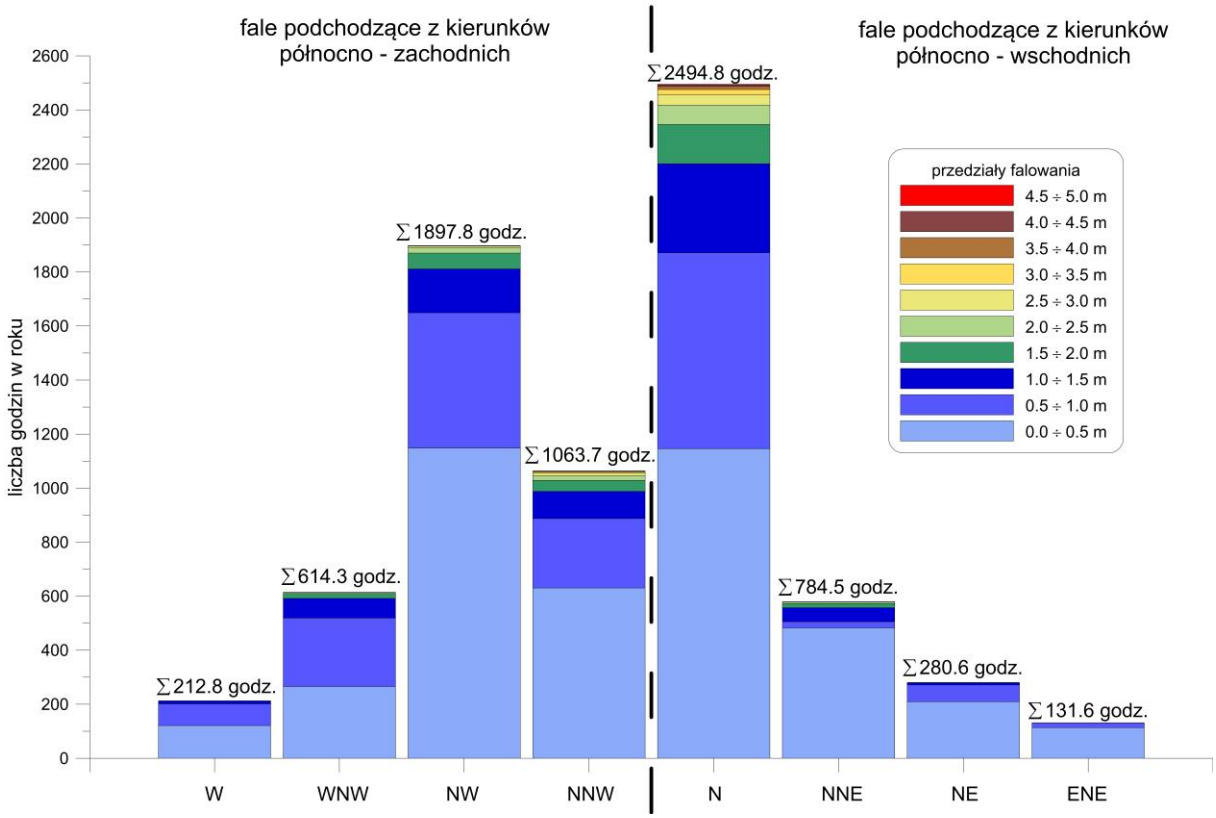
- Piaski

współrzędne geograficzne: 54°29’59” N, 19°35’12” E, głębokość $h \approx 50$ m.

Punkt ten usytuowany jest w odległości około 6.5 km od brzegu Mierzei na km 2.0.

3.2 Wyznaczenie parametrów falowania w średnim roku statystycznym

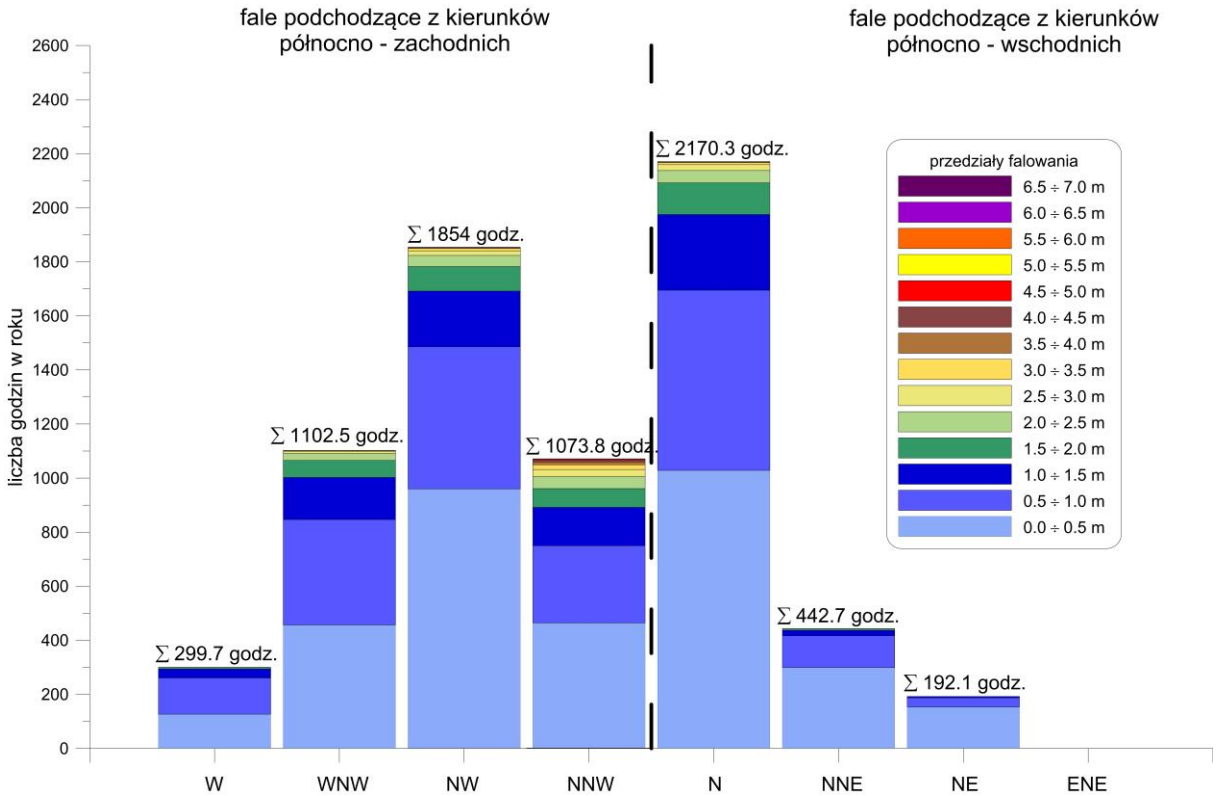
Dla Mierzei Wiślanej w rejonie Skowronek i Nowego Świata odmorskimi kierunkami wiatrów generujących falowanie są kierunki: W, WNW, NW, NNW, N, NNE, NE i ENE. Natomiast dla rejonu Piasków tymi odmorskimi kierunkami są: W, WNW, NW, NNW, N, NNE i NE. Na podstawie danych falowych z 44 lat wyznaczono w obu punktach prognostycznych parametry falowania występujące w średnim roku statystycznym. W celu wyznaczenia czasów trwania określonych wysokości falowania dla poszczególnych kierunków przyjęto przedziały wysokości fali co 0.5 m i dla każdego z nich obliczono średnie wysokości fal znacznych H_s, średnie okresy piku T_p, średnie azymuty promieni fali A_z oraz czasy trwania. Wyniki tych obliczeń dla Skowronek i Nowego Świata pokazano na rys. 3.1, natomiast dla Piasków na rys. 3.2.



Rys. 3.1 Rozkład wysokości fal znacznych i czasów ich trwania w średnim roku statystycznym po stronie odmorskiej Mierzei Wiślanej w rejonie Skowronek i Nowego Świata w punkcie o współrzędnych 54°25’00” N, 19°18’00” E, głębokość $h \approx 45$m

Z zamieszczonych na rys. 3.1 rozkładów falowania wynika, że:

- w rejonie Skowronek i Nowego Świata łączny czas trwania falowania generowanego wiatrami z kierunków odmorskich wynosi w ciągu roku 7480.1 godzin (~312 dni),
- najczęściej w ciągu roku występują fale podchodzące do brzegu z kierunku północnego,
- największe wysokości osiągają fale podchodzące z północy ($H_{s,max}$=4.72 m) i z północno-północnego-zachodu ($H_{s,max}$=4.70 m),
- falowanie docierające do strefy brzegowej z sektora północno-zachodniego (W÷NNW), tj. generujące wzdłużbrzegowy transport osadów skierowany z zachodu na wschód, występuje przez 3788.6 godz. (157,86 dni), a z sektora północno-wschodniego (N÷ENE), tj. generujący wzdłużbrzegowy transport osadów skierowany ze wschodu na zachód, przez 3691.5 godz. (153.81 dni),
- przyjmując jako 100% łączny czas występowania falowania spowodowanego wiatrami odmorskimi otrzymujemy, że fale z sektora W÷NNW, a tym samym i transport rumowiska skierowany z zachodu na wschód, trwają przez około 51%, zaś z sektora N÷ENE przez 49% czasu w roku.



Rys. 3.2 Rozkład wysokości fal znacznych i czasów ich trwania w średnim roku statystycznym po stronie odmorskiej Mierzei Wiślanej w rejonie Piasków w punkcie o współrzędnych 54°29’59” N, 19°35’12” E, głębokość $h \approx 50$ m

Z kolei z zamieszczonych na rys. 3.2 rozkładów falowania wynika, że:

- w rejonie Piasków łączny czas trwania falowania generowanego wiatrami z kierunków odmorskich w ciągu roku wynosi 7135.1 godzin (~297 dni),
- najczęściej w ciągu roku występują fale podchodzące do brzegu z kierunku północnego,

– największe wysokości osiągają fale podchodzące z północno-północnego-zachodu ($H_{s,max}$=6.72 m) i północnego-zachodu ($H_{s,max}$=6.25 m),
– falowanie docierające do strefy brzegowej z sektora północno-zachodniego (W÷NW), tj. generujące wzdłużbrzegowy transport osadów skierowany z zachodu na wschód, występuje przez 3256.2 godz. (~136 dni), a z sektora północno-wschodniego (NNW÷NE), tj. generujący wzdłużbrzegowy transport osadów skierowany ze wschodu na zachód, przez 3878.9 godz. (~161 dni),
– przyjmując jako 100% łączny czas występowania falowania spowodowanego wiatrami odmorskimi otrzymujemy, że fale z sektora W÷NW trwają przez około 46%, natomiast z sektora N÷NE przez 54% czasu w roku.

Reasumując stwierdzić można, że:

- dla rejonu Skowronek (km 27.0) i Nowego Świata (km 24.0)
  - łączny czas falowania docierającego do strefy brzegowej w średnim roku statystycznym wynosi około 312 dni,
  - przez około 51% czasu w roku falowanie to dociera z kierunków północno-zachodnich, a przez około 49% czasu z kierunków północno- wschodnich, co oznacza praktycznie całkowicie zrównoważony rozkład energii ruchu falowego dochodzących do brzegu z kierunków zachodnich i wschodnich, a tym samym także zrównoważony transport rumowiska docierającego z kierunków zachodnich i wschodnich.
- Dla rejonu Piasków (km 2.0)
  - łączny czas falowania docierającego do strefy brzegowej w średnim roku statystycznym wynosi około 297 dni, czyli jest tylko nieznacznie mniejszy niż dla rejonu Skowronek i Nowego Świata,
  - przez około 46% czasu w roku falowanie to dociera z kierunków północno-zachodnich, a przez około 54% czasu z kierunków północno- wschodnich, co oznacza przewagę falowania dochodzącego do brzegu z kierunków wschodnich, a tym samym także przewagę transportu rumowiska z kierunków wschodnich.

3.3 Wyznaczenie parametrów fal projektowych

Dla potrzeb obliczenia falowania na przedpolu projektowanego portu osłonowego w Skowronkach, Nowym Świecie i Piaskach obliczono parametry falowania o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 (silne warunki sztormowe) i raz na 20 lat (przeciętne warunki sztormowe). Parametry te wyznaczono z rekonstrukcji falowania na Bałtyku w okresie 44 lat (1958÷2001) dla tych samych punktów prognostycznych dla których określono parametry falowania występujące w średnim roku statystycznym. Głębokowodne parametry falowania o zadanych okresach powtarzalności obliczono oddzielnie dla każdego odmorskiego kierunku wiatru.

Natomiast dla potrzeb projektowania falochronów obliczono także łączne (dla wszystkich kierunków wiatru) parametry falowania o okresie powtarzalności T_R=100 lat. Przyjęty okres powtarzalności równy 100 lat jest zgodny z zaleceniami do projektowania morskich budowli hydrotechnicznych (Mazurkiewicz 2006), które mówią, że przy projektowaniu falochronów portowych należy przyjmować parametry falowania o prawdopodobieństwie pojawienia się raz na 100 lat.

W celu wyznaczenia parametrów falowania o określonym prawdopodobieństwa powtarzalności z 44-letniego zbioru danych falowych dla każdego punktu prognostycznego wybrano z każdego miesiąca każdego roku maksymalne wysokości fali oddzielnie dla każdego kierunku dla potrzeb obliczenia falowania w porcie i łącznie dla wszystkich kierunków dla potrzeb projektowania falochronów. Dla tak otrzymanych zbiorów obliczono parametry falowania o zadanych okresach powtarzalności przy wykorzystaniu trójparametrowego rozkład Weibulla, Kamphuis (2010). Wyniki tych obliczeń zamieszczono dla Skowronek i Nowego Świata w tab. 3.1, a dla Piasków w tab. 3.2.

Tab. 3.1 Głębokowodne parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej w rejonie Skowronek i Nowego Świata w punkcie prognostycznym o współrzędnych 54°25'00" N, 19°18'00" E i głębokości $h \approx 45$ m o okresach powtarzalności $T_R = 20$ i $T_R = 100$ lat

Okres powtarzalności T_R		**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**Wszystkie kierunki**
20 lat	H_s	1.97	2.94	4.03	5.60	6.76	3.19	1.82	1.15	6.88
	T_p	6.4	7.8	9.2	10.8	11.9	8.2	6.2	4.9	12.0
100 lat	H_s	2.27	3.36	4.65	6.73	8.16	3.90	2.31	1.47	8.33
	T_p	6.9	8.4	9.8	11.8	13.0	9.0	6.9	5.5	13.2

Tab. 3.2 Głębokowodne parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej w rejonie Piasków w punkcie prognostycznym o współrzędnych 54°29'59" N, 19°35'12" E i głębokości $h \approx 50$ m o okresach powtarzalności $T_R = 20$ i $T_R = 100$ lat

Okres powtarzalności T_R		**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**Wszystkie kierunki**
20 lat	H_s	2.61	4.30	5.84	6.78	4.68	2.27	1.55	1.04	7.09
	T_p	7.4	9.5	11.0	11.9	9.9	6.9	5.7	4.7	12.2
100 lat	H_s	3.05	5.01	7.15	8.03	5.35	2.72	1.98	1.30	8.43
	T_p	8.0	10.2	12.2	12.9	10.6	7.5	6.4	5.2	13.3

Parametry fal głębokowodnych zawarte w powyższych tabelach stanowiły warunki brzegowe do obliczenia falowania na przedpolu każdego z projektowanych falochronów osłonowych. Obliczenia te z uwzględnieniem procesów refrakcji, transformacji i spłycenia wykonano wzdłuż profili batymetrycznych usytuowanych odpowiednio: w rejonie Skowronek na 27 km brzegu, w rejonie Nowego Świata na km 24.0 i w rejonie Piasków na km 2.0, tj. w profilach, w których Urząd Morski w Gdyni w ramach realizowanej Strategii Ochrony Brzegów wykonuje rutynowe pomiary głębokości.

W celu obliczenia transformacji falowania w strefie brzegowej morza wykorzystano dostarczone prze Zamawiającego pomiary batymetryczne wykonane w marcu 2017 roku. Dla każdego z rozpatrywanych rejonów obejmowały one około 500-metrowy odcinek brzegu i sięgały w głąb morza do głębokości około 7.5 m. Głębokości w tych profilach sięgające do punktów prognostycznych zostały odczytane z mapy nawigacyjnej Zatoki Gdańskiej. Azymuty tych profili batymetrycznych są następujące:

- Skowronki km 27, azymut $A_{z,S}$=351.40°,
- Nowy Świat km 24, azymut $A_{z,NŚ}$=347.97°,
- Piaski km 2.0, azymut $A_{z,P}$=321.70°.

Przy obliczaniu parametrów falowania o zadanym okresie wystąpienia dodatkowo uwzględniono poziom wody o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 20 lat oraz wzrost poziomu wody wynikający z uwzględnienia efektu cieplarnianego po 50 latach. W rezultacie przyjęty w tych obliczeniach poziom wody wynosił:

$$\textit{Poziom wody} = 633 \text{ cm} + 50\times0.33 \text{ cm} = 650 \text{ cm}.$$

Głębokość na przedpolu projektowanych falochronów osłonowych w ww. warunkach wynosi:

$$h_{650} = h_{500} + \Delta h = 8.0 + 1.5 = 9.5 \text{ m}$$

gdzie:

h_{500} = 8.0 m – głębokości na przedpolu portów przy średnim poziomie wody równym 500 cm,

Δh = 1.5 m – uwzględnienie poziomu wody o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 20 lat zwiększonego o 50-letni wzrost poziomu wody wynikający z efektu cieplarnianego.

Wyniki obliczonych parametrów fal o prawdopodobieństwie wystąpienia T_R = 20 i 100 lat na przedpolach projektowanych falochronów osłonowych zamieszczono odpowiednio dla Skowronek w tab. 3.3, dla Nowego Świata w tab. 3.4 i dla Piasków w tab. 3.5.

Tab. 3.3 Parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej na przedpolu Skowronek na głębokości h_{650}=8.0+1.5=9.5 m o okresach powtarzalności T_R = 20 i 100 lat

Okres powtarzalności T_R		**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**Wszystkie kierunki**
20 lat	H_s	1.13	2.29	3.32	4.07	4.38	2.77	1.62	1.05	4.4
	T_p	6.4	7.8	9.2	10.8	11.9	8.2	6.2	4.9	6.88
100 lat	H_s	1.19	2.56	3.63	4.35	4.65	3.27	1.96	1.22	4.69
	T_p	6.9	8.4	9.8	11.8	13.0	9.0	6.9	5.5	13.2

Tab. 3.4 Parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej na przedpolu Nowego Świata na głębokości h_{650}=8.0+1.5=9.5 m o okresach powtarzalności T_R = 20 i 100 lat

Okres powtarzalności T_R		**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**Wszystkie kierunki**
20 lat	H_s	1.31	2.35	3.33	4.05	4.35	2.74	1.6	1.01	4.37
	T_p	6.4	7.8	9.2	10.8	11.9	8.2	6.2	4.9	12.0
100 lat	H_s	1.38	2.63	3.63	4.31	4.61	3.24	1.92	1.13	4.65
	T_p	6.9	8.4	9.8	11.8	13.0	9.0	6.9	5.5	13.2

Tab. 3.5 Parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej na przedpolu Piasków na głębokości h_{650}=8.0+1.5=9.5 m o okresach powtarzalności T_R = 20 i 100 lat

Okres powtarzalności T_R		**W**	**WNW**	**NW**	**NNW**	**N**	**NNE**	**NE**	**ENE**	**Wszystkie kierunki**
20 lat	H_s	2.17	3.48	4.06	4.28	3.61	1.84	0.96	–	4.35
	T_p	7.4	9.5	11.0	11.9	9.9	6.9	5.7	–	12.2
100 lat	H_s	2.48	3.76	4.36	4.52	3.85	2.11	1.02	–	4.59
	T_p	8.0	10.2	12.2	12.9	10.6	7.5	6.4	–	13.3

Z zamieszczonych w powyższych tabelach wysokości fal znacznych o prawdopodobieństwie wystąpienia T_R= 20 i 100 lat wynika że:

- dla rejonu Skowronek
  - najmniejsze wysokości fal będą wywołane wiatrami z kierunku W (H_s=1.13 m dla T_R=20 lat i H_s=1.19 m dla T_R=100 lat) oraz z kierunku ENE (H_s=1.05 m dla T_R=20 lat i H_s=1.22 m dla T_R=100 lat),
  - największe wysokości fal będą wywołane wiatrami z kierunku N (H_s=4.38 m dla T_R=20 lat i H_s=4.65 m dla T_R=100 lat) oraz z kierunku NNW (H_s=4.07 m dla T_R=20 lat i H_s=4.35 m dla T_R=100 lat),
- dla rejonu Nowego Świata
  - najmniejsze wysokości fal będą wywołane wiatrami z kierunku W (H_s=1.31 m dla T_R=20 lat i H_s=1.38 m dla T_R=100 lat) oraz z kierunku ENE (H_s=1.01 m dla T_R=20 lat i H_s=1.13 m dla T_R=100 lat),
  - największe wysokości fal będą wywołane wiatrami z kierunku N (H_s=4.35 m dla T_R=20 lat i H_s=4.61 m dla T_R=100 lat) oraz z kierunku NNW (H_s=4.05 m dla T_R=20 lat i H_s=4.31 m dla T_R=100 lat),
- dla rejonu Piasków
  - najmniejsze wysokości fal będą wywołane wiatrami z kierunku NE (H_s=0.96 m dla T_R=20 lat i H_s=1.02 m dla T_R=100 lat) oraz z kierunku NNE (H_s=1.84 m dla T_R=20 lat i H_s=2.11 m dla T_R=100 lat),
  - największe wysokości fal będą wywołane wiatrami z kierunku NNW (H_s=4.28 m dla T_R=20 lat i H_s=4.52 m dla T_R=100 lat) oraz z kierunku NW (H_s=4.06 m dla T_R=20 lat i H_s=4.36 m dla T_R=100 lat).

Obliczone dla potrzeb projektowania falochronów łączne (dla wszystkich kierunków wiatru) parametry fal znacznych o okresie powtarzalności T_R=100 lat dla różnych głębokości zamieszczono w tab. 3.6.

W przypadku falochronów o konstrukcji narzutowej parametry fal znacznych są parametrami fal projektowych.

Tab. 3.6 Parametry fal projektowych na różnych głębokościach
dla Skowronek, Nowego Świata i Piasków

Głębokość przy średnim poz. morza [m]	Skowronki			Nowy Świat			Piaski		
	H_s [m]	T_p [s]	L [m]	H_s [m]	T_p [s]	L [m]	H_s [m]	T_p [s]	L [m]
8.0	4.69	13.2	123	4.69	13.2	123	4.59	13.3	124
7.0	4.32	13.2	117	4.32	13.2	117	4.27	13.3	118
6.0	3.98	13.2	110	3.97	13.2	110	3.91	13.3	111
5.0	3.68	13.2	103	3.69	13.2	103	3.65	13.3	104
4.0	3.28	13.2	95	3.31	13.2	95	3.42	13.3	96
3.0	2.89	13.2	86	2.93	13.2	86	2.75	13.3	87
2.0	2.55	13.2	76	2.43	13.2	76	2.72	13.3	77
1.0	2.12	13.2	65	2.07	13.2	65	2.00	13.3	65

4. Obliczenie falowania w akwenach portowych

4.1 Usytuowanie wejść portowych

Z przedstawionych w rozdziale 3 analiz falowania wynika, że:

- dla rejonu Skowronek i Nowego Świata
  - ilość energii ruchu falowego dochodzącej do brzegu w ciągu roku z kierunków północno-zachodnich i północno-wschodnich jest zrównoważona,
  - najczęściej w ciągu roku występują fale podchodzące do brzegu z kierunku N,
  - największe wysokości osiągają fale podchodzące do brzegu z kierunku N i NNW, a najniższe podchodzące z kierunku W i ENE,
- dla rejonu Piasków
  - ilość energii ruchu falowego dochodzącej do brzegu z kierunków zachodnich i północno-zachodnich wynosi około 46% czasu w roku, a przez około 54% czasu z kierunków północnych i północno- wschodnich,
  - najczęściej w ciągu roku występują fale podchodzące do brzegu z kierunku N,
  - największe wysokości osiągają fale podchodzące do brzegu z kierunku NNW i NW, a najniższe podchodzące z kierunku NE i NNE.

Po konsultacjach z Zamawiającym i uwzględnieniu:

- analiz falowania w rejonach planowanej budowy falochronów osłonowych,
- najbardziej prawdopodobnych przyszłych kierunków ruchu statków towarowych i jednostek turystycznych

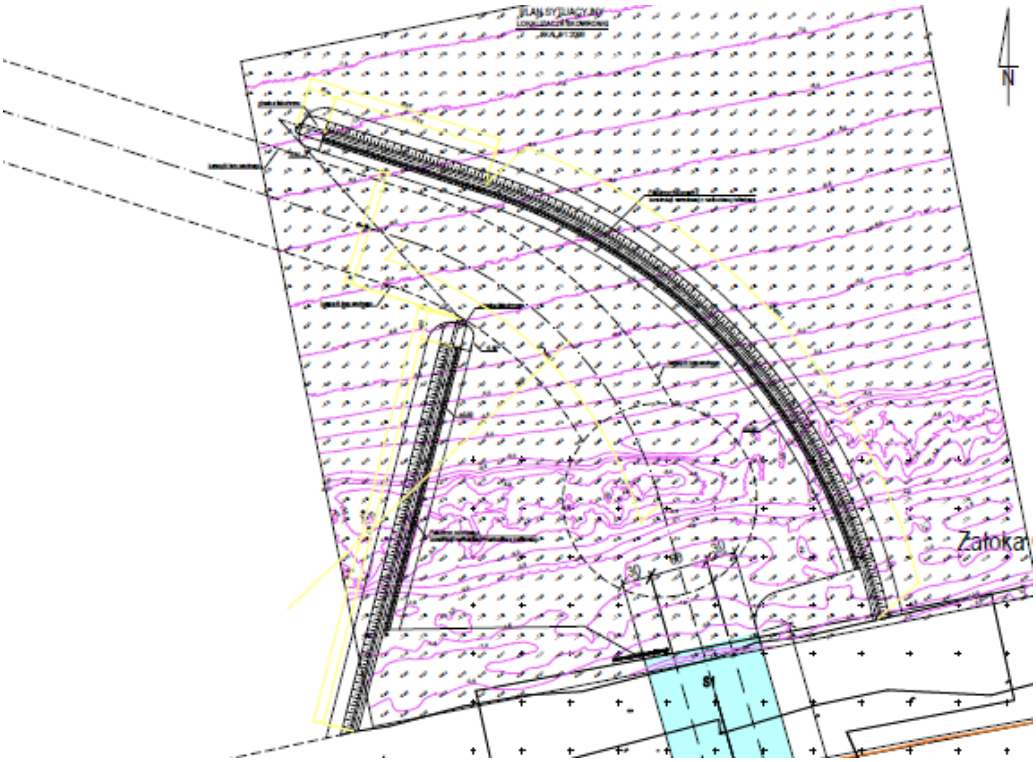
przyjęto dla wszystkich lokalizacji usytuowanie wejść portowych w kierunku zbliżonym do zachodniego. Generalny układ falochronów osłaniających wejście do kanału pokazano odpowiednio na rys. 4.1 dla Skowronek, na rys. 4.2 dla Nowego Świata i na rys. 4.3 dla Piasków.

4.2 Warianty zabudowy i dane wejściowe

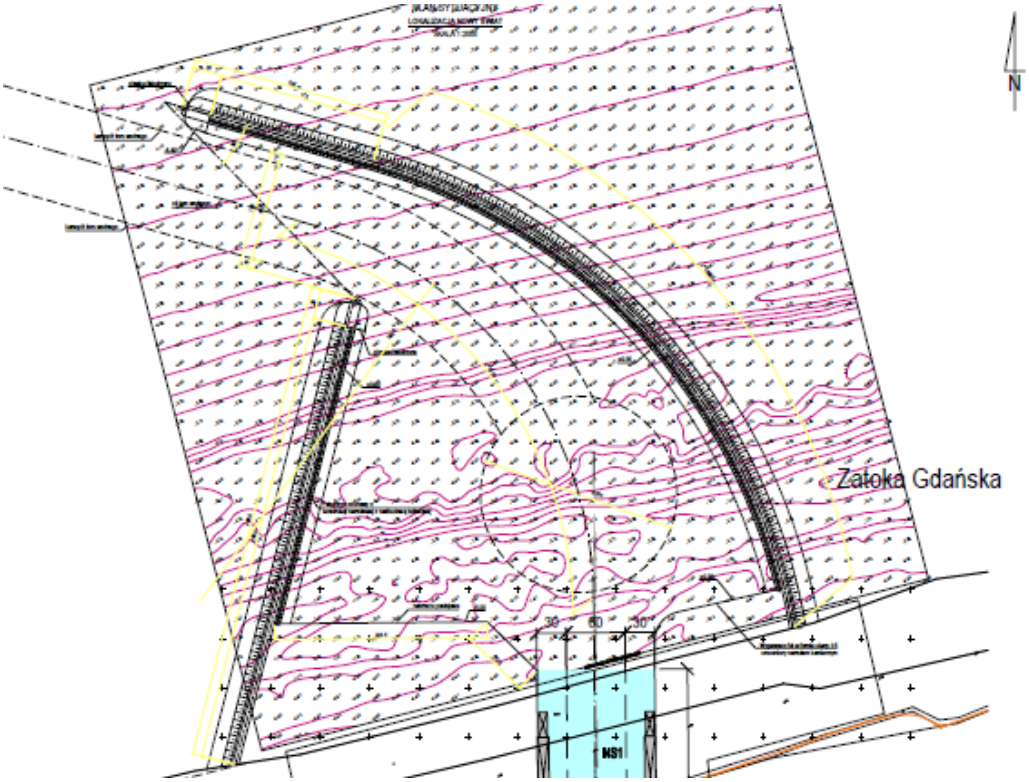
Falowanie na przedpolu portu, które jest wynikiem generacji falowania przez wiatr oraz procesów transformacji w strefie przybrzeżnej, przenika do wewnętrznych akwenów portowych przez wejście do portu. W wyniku strat energii związanych ze skomplikowanym procesem propagacji fal w akwenach portowych, wielokrotnymi odbiciami od nabrzeży, oddziaływaniem z budowlami portowymi, a także z procesem ponownego wypromieniowania części energii falowej przez wejście poza obszar portu, tworzy się rodzaj równowagi energetycznej. Stan taki można opisać przy pomocy modelu matematycznego przedstawionego w pracach Sulisza (1995, 1999) oraz Sulisza i Paproty (2007, 2008).

Wykorzystując dane dotyczące klimatu falowego dla trzech lokalizacji projektowanych portów, oraz bazując na opisie teoretycznym zagadnienia propagacji falowania i oddziaływania falowania powierzchniowego z budowlami (Sulisz 1985, 1987), Sulisz i inni (1989), Sulisz (1994, 1997, 2002), falowanie w akwenach portowych opisano za pomocą modelu matematycznego. W modelowaniu wykorzystano dane dotyczące położenia i rodzaju projektowanych nabrzeży i falochronów, istotne dla falowania w porcie budowle portowe oraz batymetrię portów i ich przedpola. Współczynniki odbicia od budowli portowych zostały określone zgodnie z CEM (2003). Siatka modelu została dobrana w ten sposób, aby dokładnie opisać analizowa-

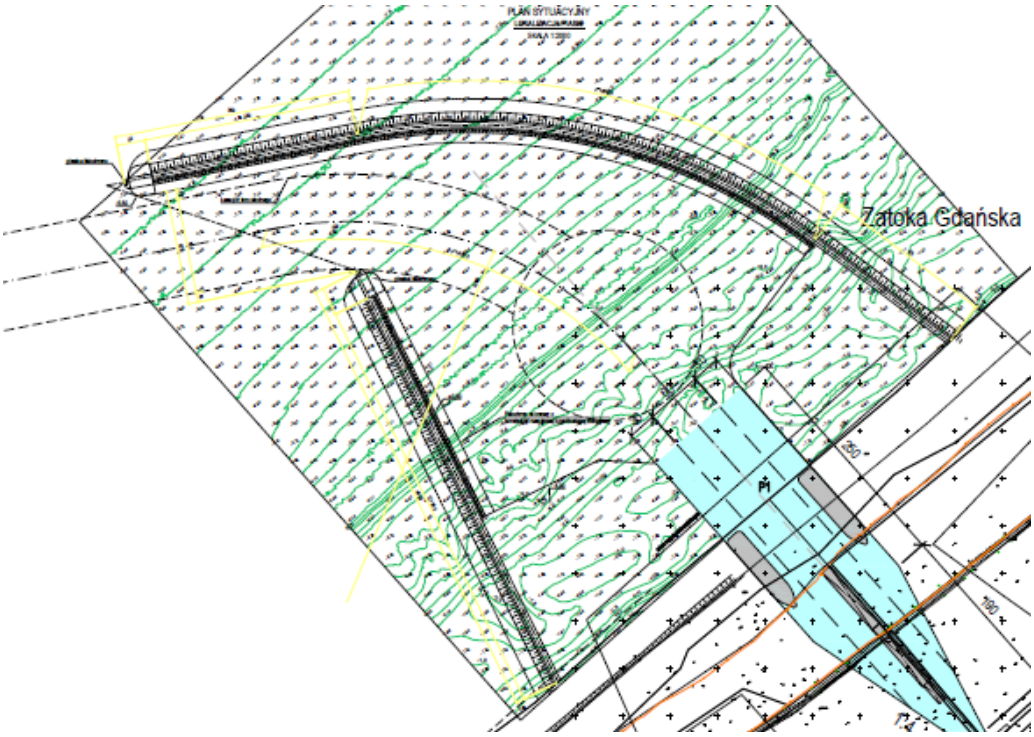
ny obszar oraz warunki falowe. Rozdzielczość siatki odpowiada przynajmniej dziesięciu węzłom obliczeniowym na jedną długość fali.



Rys. 4.1 Schemat geometryczny układu falochronów w Skowronkach
z wejściem usytuowanym w przybliżeniu w kierunku zachodnim



Rys. 4.2 Schemat geometryczny układu falochronów w Nowym Świecie
z wejściem usytuowanym w przybliżeniu w kierunku zachodnim



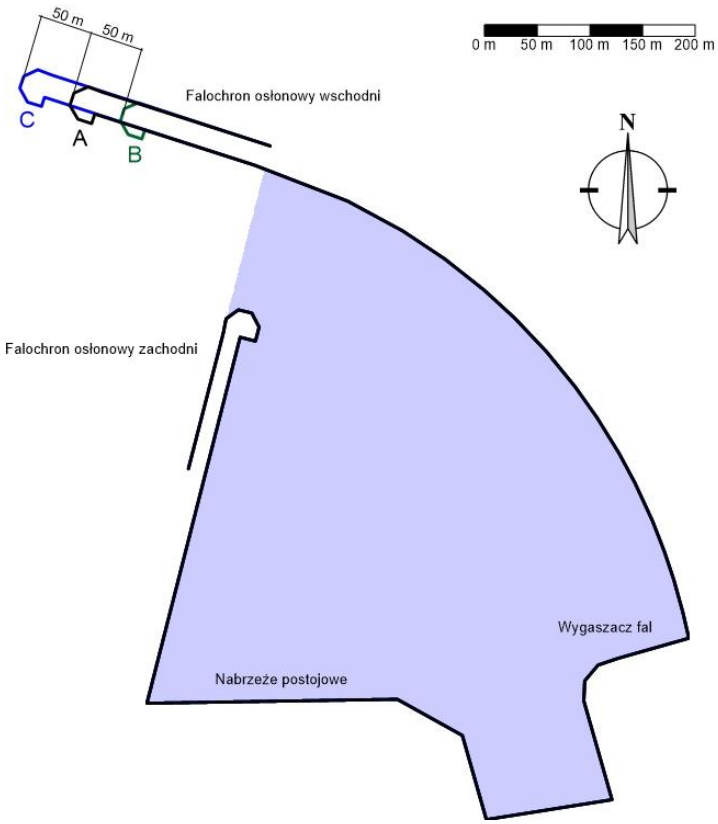
Rys. 4.3 Schemat geometryczny układu falochronów w Piaskach
z wejściem usytuowanym w kierunku zachodnim

Obliczenia falowania w każdym z trzech projektowanych portów przeprowadzono dla trzech wariantów zabudowy hydrotechnicznej, tj.:

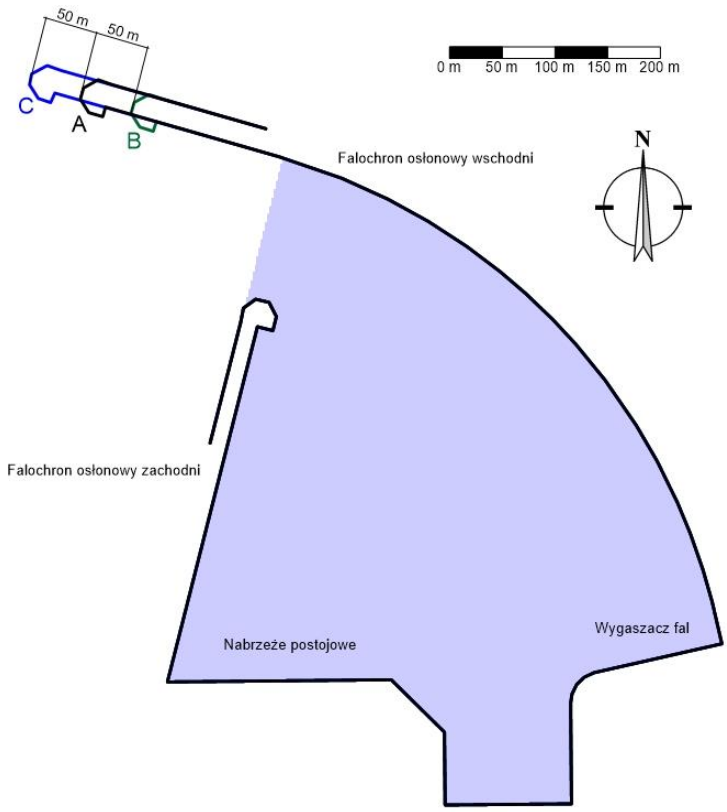
- wariantu A (wyjściowego) - geometryczne układy falochronów przedstawione na rys. 4.1÷4.3,
- wariantu B - skrócenie falochronu wschodniego o 50 m względem wariantu wyjściowego, co powinno poprawić warunki nawigacyjne wchodzenia statków do portów,
- wariantu C – wydłużenie falochronu wschodniego o 50 m względem wariantu wyjściowego, co powinno zmniejszyć falowanie wchodzące do portu.

Biorąc pod uwagę przyjętą lokalizację wejść portowych oraz warunki falowe występujące na przedpolu portu, niekorzystne warunki falowe w porcie występują dla sztormów generowanych wiatrami z kierunku północno-zachodniego (NW) i zachodnio-północno-zachodniego (WNW). Szczegółowa analiza falowania w porcie została przeprowadzona dla warunków sztormowych z tych sektorów odpowiadających wiatrom o okresie powtarzalności 20 i 100 lat.

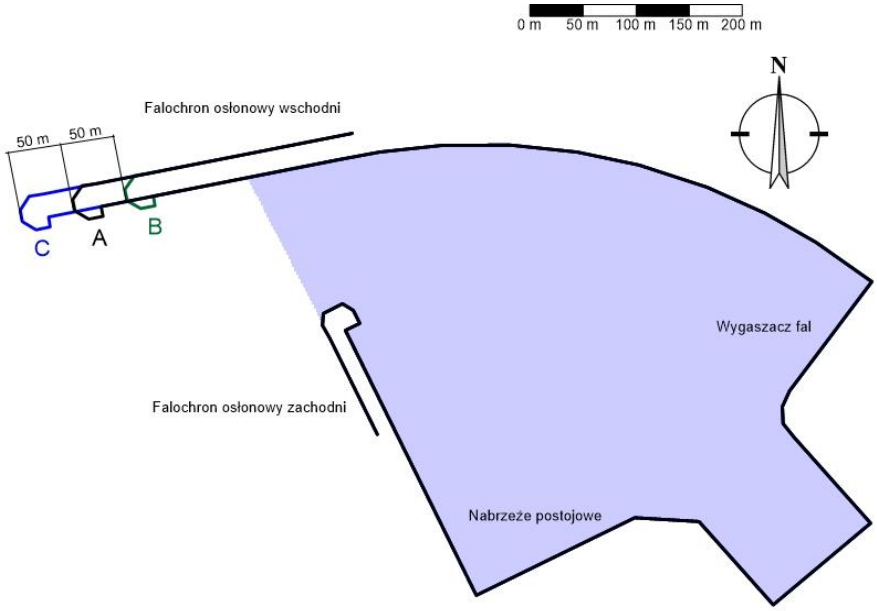
Na rys. 4.4÷4.6 przedstawione zostały wszystkie analizowane warianty zabudowy hydrotechnicznej dla Skowronek, Nowego Świata i Piasków wraz z obszarem wyróżnionym do celów porównawczych.



Rys. 4.4 Schemat analizowanych wariantów zabudowy i obszaru wyróżnionego do celów porównawczych dla portu w Skowronkach



Rys. 4.5 Schemat analizowanych wariantów zabudowy i obszaru wyróżnionego do celów porównawczych dla portu Nowym Świecie

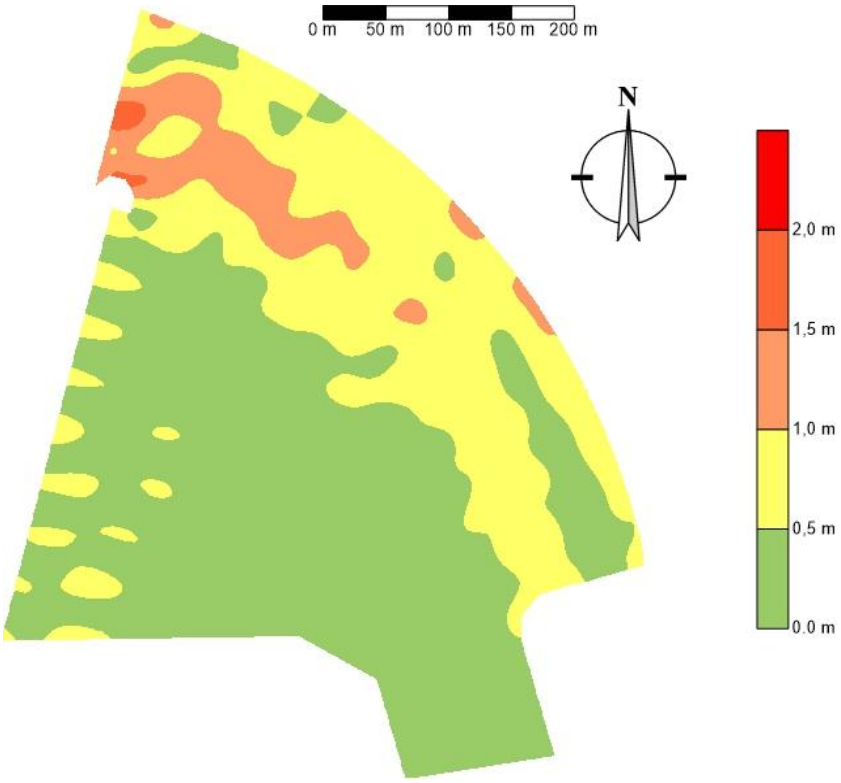


Rys. 4.6 Schemat analizowanych wariantów zabudowy i obszaru wyróżnionego do celów porównawczych dla portu w Piaskach

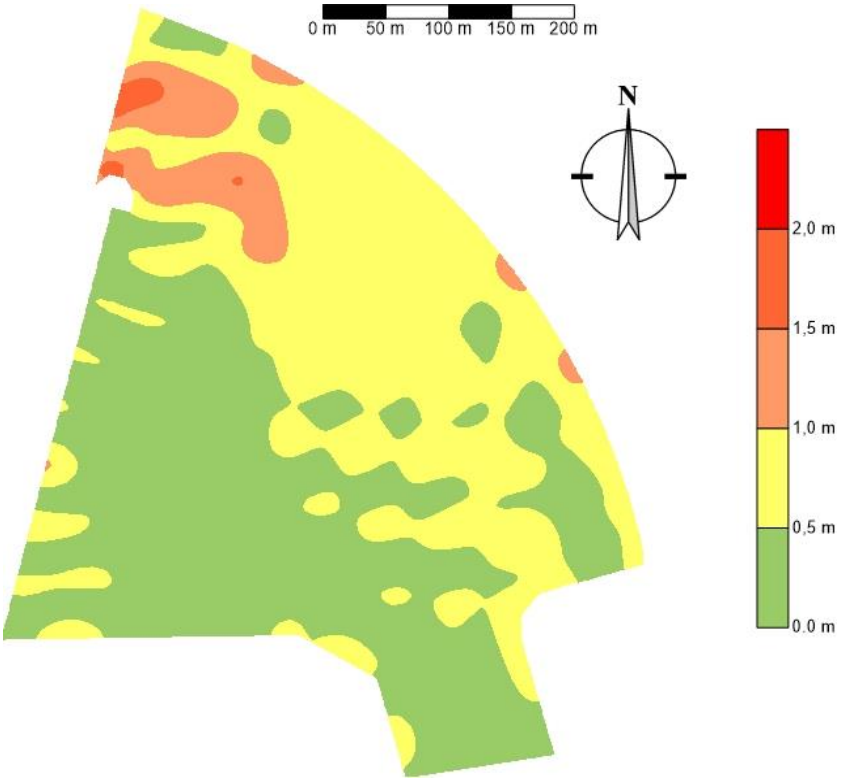
4.3 Wyniki analizy falowania

4.3.1 Skowronki

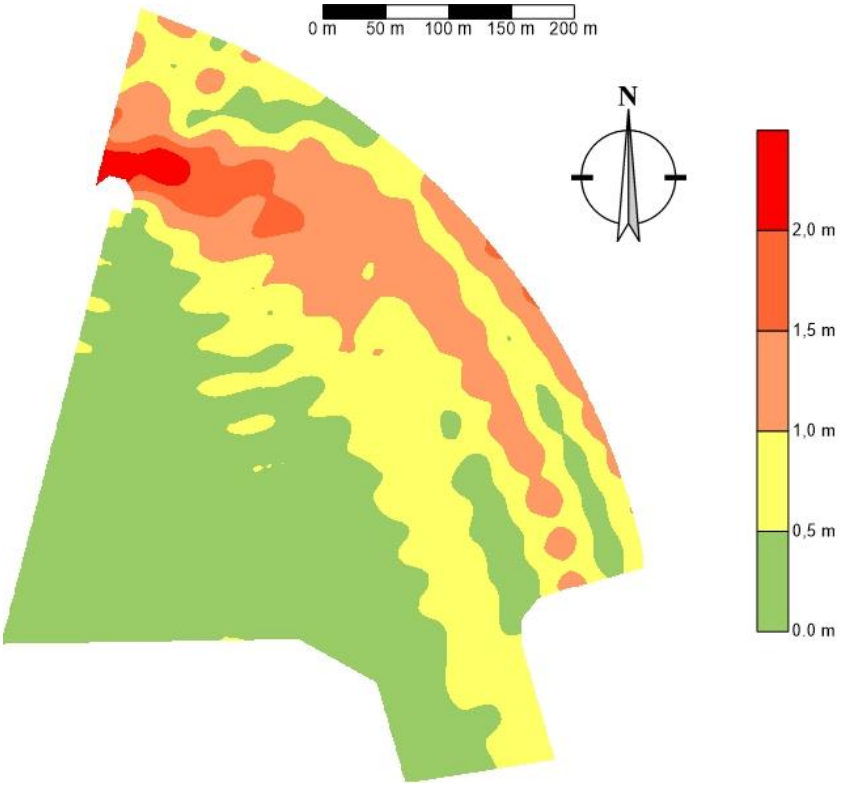
Dla przyjętych warunków sztormowych przeprowadzono obliczenia falowania w akwenach portów osłonowych dla trzech rozpatrywanych wariantów długości falochronu wschodniego. Wyniki w formie graficznej określające przestrzenny rozkład wysokości fali znacznej wewnątrz portu pokazano na rys. 4.7÷4.18.



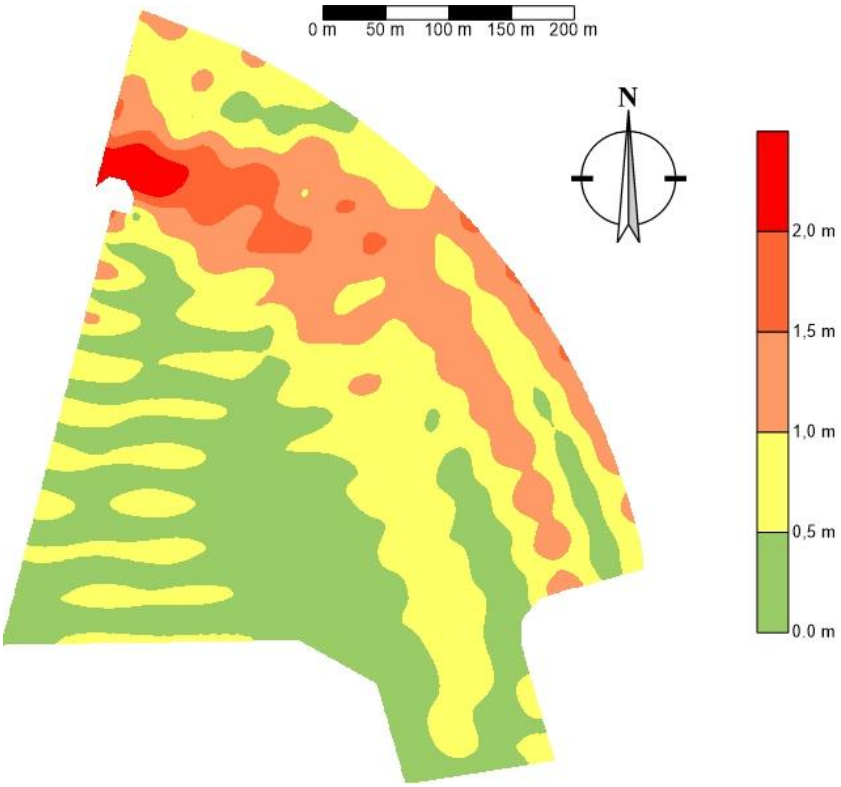
Rys. 4.7 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.32 m, T_p = 9.2 s



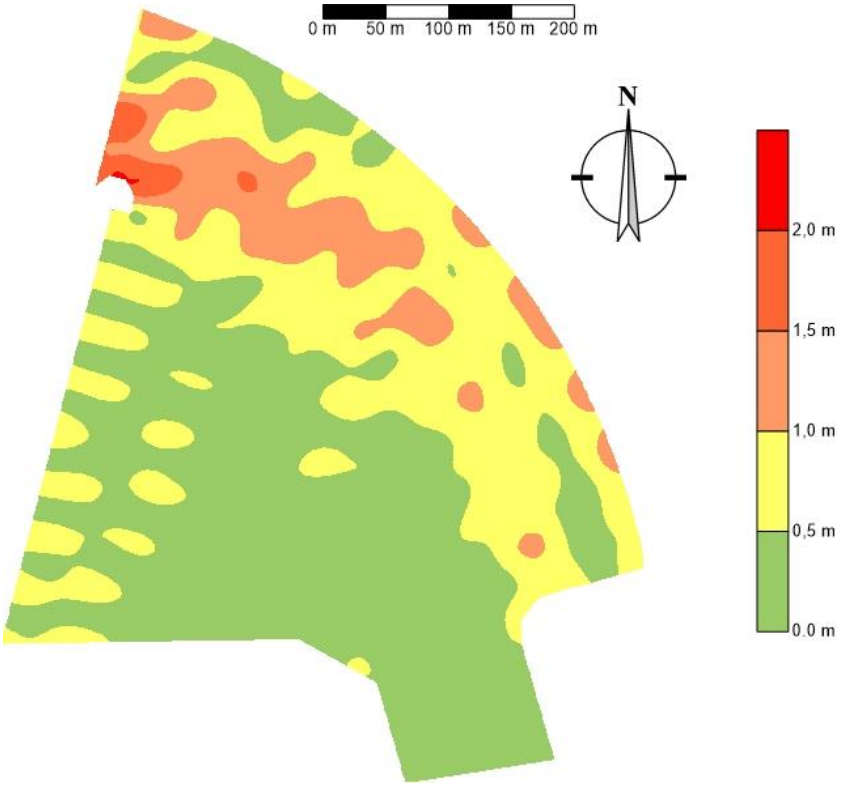
Rys. 4.8 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s



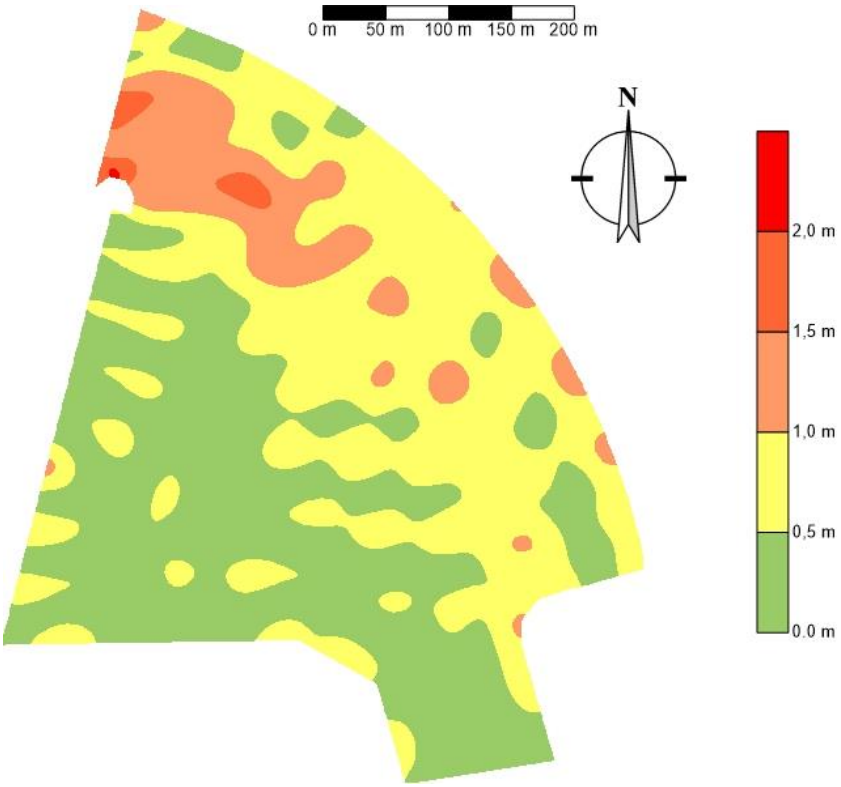
Rys. 4.9 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.29 m, T_p = 7.8 s



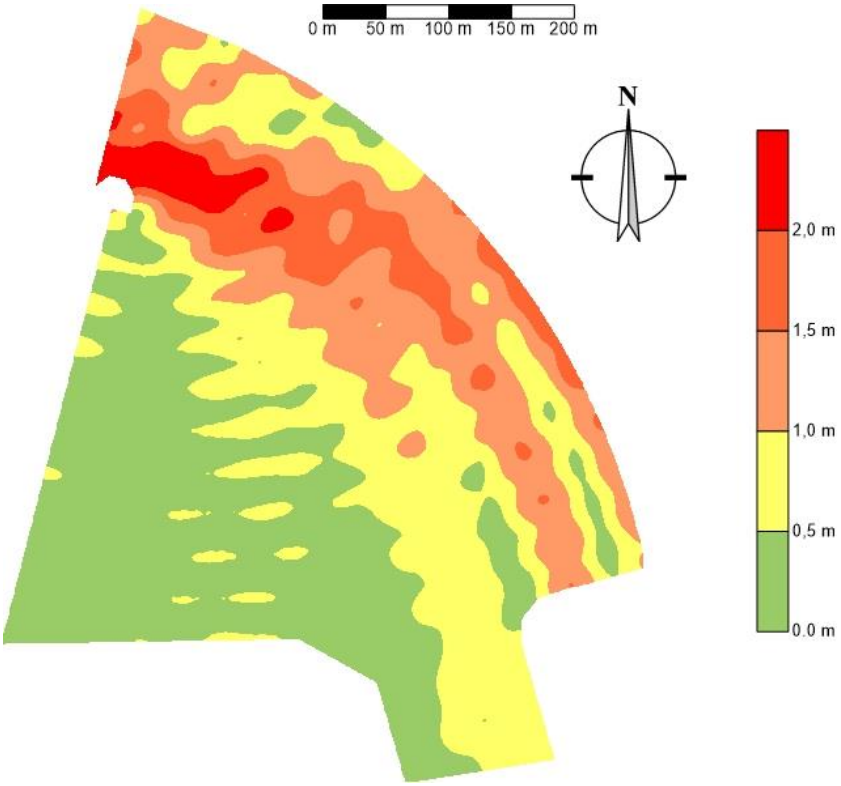
Rys. 4.10 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.56 m, T_p = 8.4 s



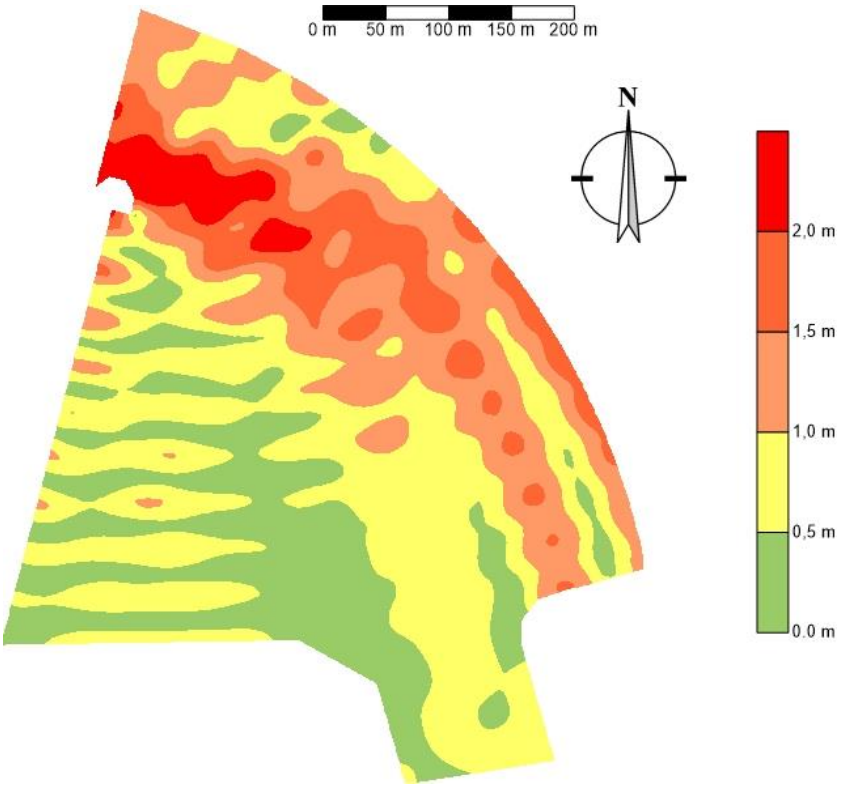
Rys. 4.11 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.32 m, T_p = 9.2 s



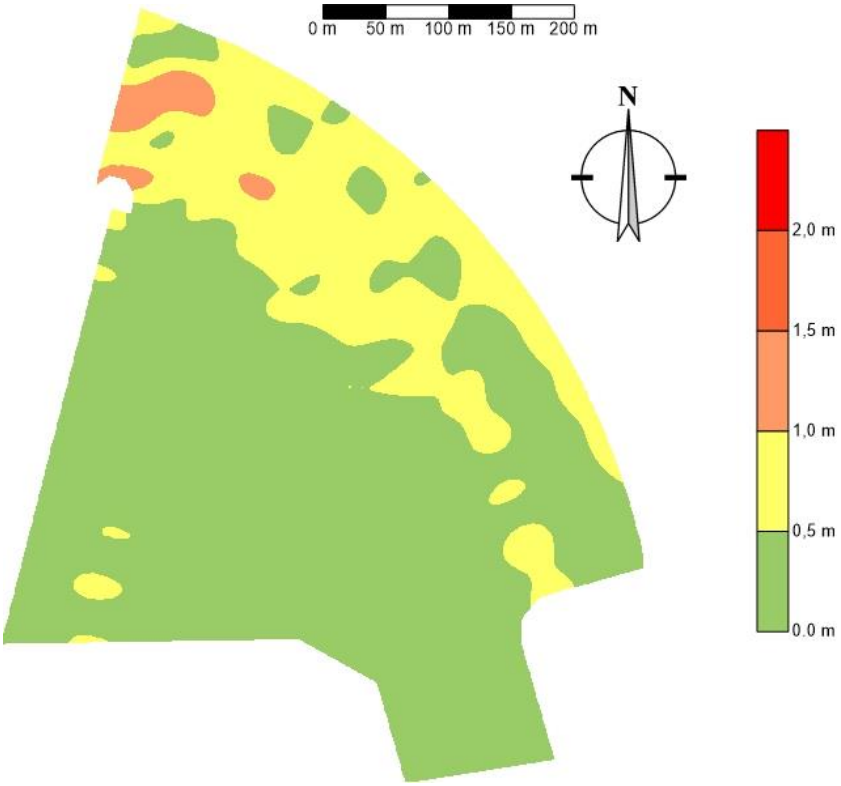
Rys. 4.12 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s



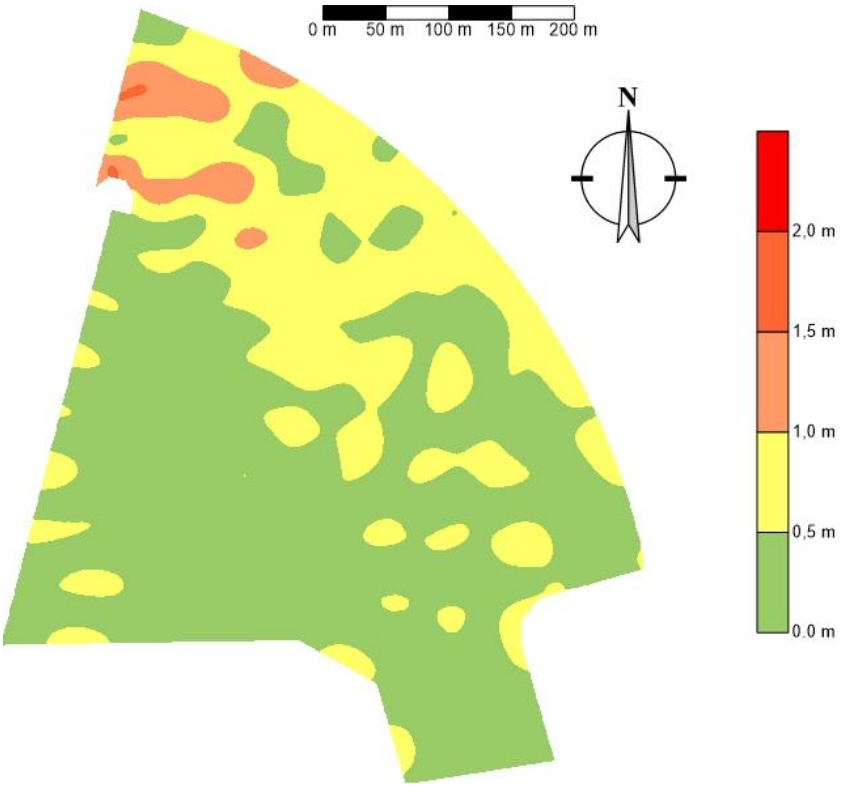
Rys. 4.13 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.29 m, T_p = 7.8 s



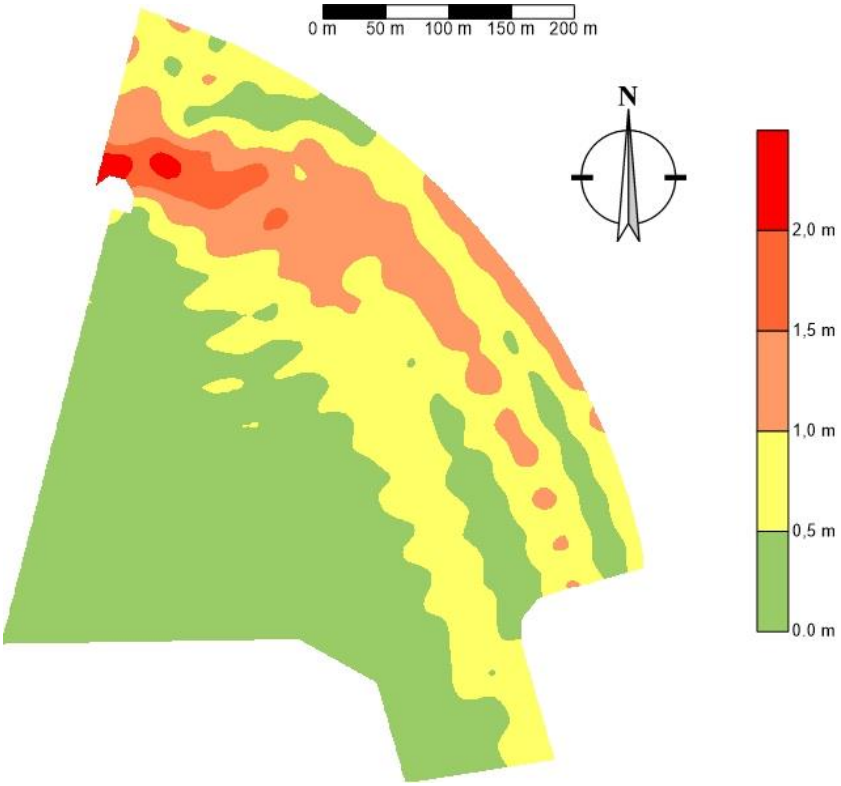
Rys. 4.14 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.56 m, T_p = 8.4 s



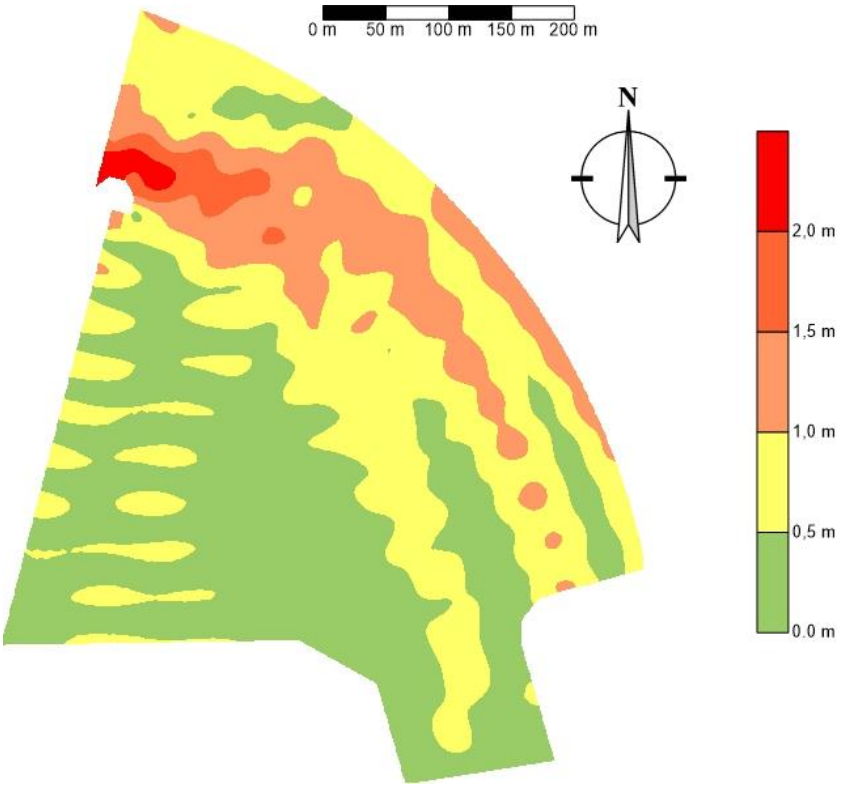
Rys. 4.15 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.32 m, T_p = 9.2 s



Rys. 4.16 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s



Rys. 4.17 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.29 m, T_p = 7.8 s



Rys. 4.18 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.56 m, T_p = 8.4 s

Analizę wyników obliczeń wysokości fal dla wybranych sytuacji sztormowych w porcie Skowronki dla rozpatrywanych wariantów zabudowy A, B i C przedstawiono poniżej.

Wariant A - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku NW (rys. 4.7 i 4.8)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: generalnie wysokości fal w przedziale 1.5 – 2.0 m,

falochron zachodni: generalnie wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, lokalnie 0.6 – 0.7 m,

nabrzeże postojowe: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.3 m,

falochron wschodni: wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m.

Wariant A - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku WNW (rys. 4.9 i 4.10)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: generalnie wysokości fal w przedziale 1.5 – 2.0 m, lokalnie przy głowicy falochronu zachodniego rzędu 3 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 1.0 m,

nabrzeże postojowe: w wyniku odbić średnia wysokość fal rzędu 0.7 m,

kanał żeglugowy: w osi kanału i przy jego wschodnim brzegu wysokości rzędu 0.7 m, w pozostałych obszarach wysokości fal zawarte w przedziale 0.2 – 0.3 m,

falochron wschodni: na przeważającej długości wysokości fal z przedziału 1.0 – 1.5 m.

Wariant B - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku NW (rys. 4.11 i 4.12)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: generalnie wysokości fal w przedziale 1.5 – 2.0 m,

falochron zachodni: generalnie wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, lokalnie 0.7 – 0.8 m,

nabrzeże postojowe: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, lokalnie do 0.8 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.4 m,

falochron wschodni: wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m, lokalnie do 1.2 m.

Wariant B - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku WNW (rys. 4.13 i 4.14)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: generalnie wysokości fal w przedziale 1.5 – 2.0 m, lokalnie przy głowicy falochronu zachodniego do 3.6 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 1.0 m, lokalnie do 1.5 m,

nabrzeże postojowe: w wyniku odbić średnia wysokość fal rzędu 0.8 m,

kanał żeglugowy: przy zachodnim brzegu wysokości fal w przedziale 0.2 – 0.3 m, w części centralnej i wschodniej rzędu 0.7 – 0.8 m,

falochron wschodni: na przeważającej długości wysokości fal z przedziału 1.0 – 1.8 m.

Wariant C - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku NW (rys. 4.15 i 4.16)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: przy głowicy falochronu zachodniego i w części centralnej wysokości fal rzędu 1.5 m, w pozostałym obszarze poniżej 1.0 m,

falochron zachodni: generalnie wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, lokalnie 0.6 – 0.7 m,

nabrzeże postojowe: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.3 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.3 m,

falochron wschodni: na przeważającej długości wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m.

Wariant C - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku WNW (rys. 4.17 i 4.18)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: wysokości fal zmienne, w rejonie głowicy falochronu zachodniego ok 2.5 m, w części centralnej 1.5 – 2.0 m, przy falochronie wschodnim 0.5 – 1.0 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 1.0 m,

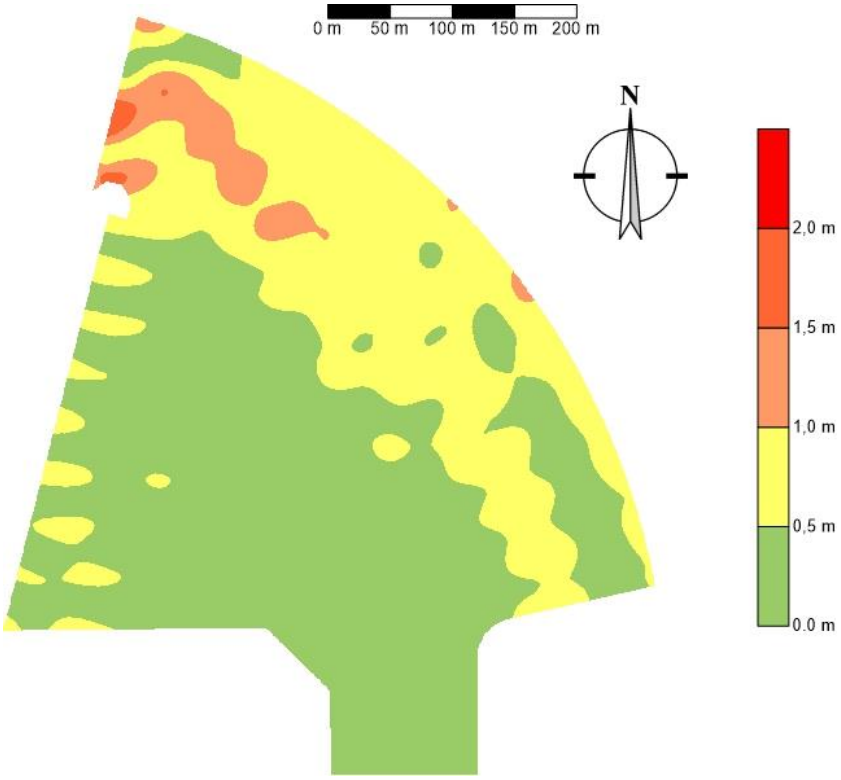
nabrzeże postojowe: w wyniku odbić średnia wysokość fal rzędu 0.5 – 0.6 m,

kanał żeglugowy: na całej szerokości kanału średnie wysokości fal z przedziału 0.3 – 0.4 m,

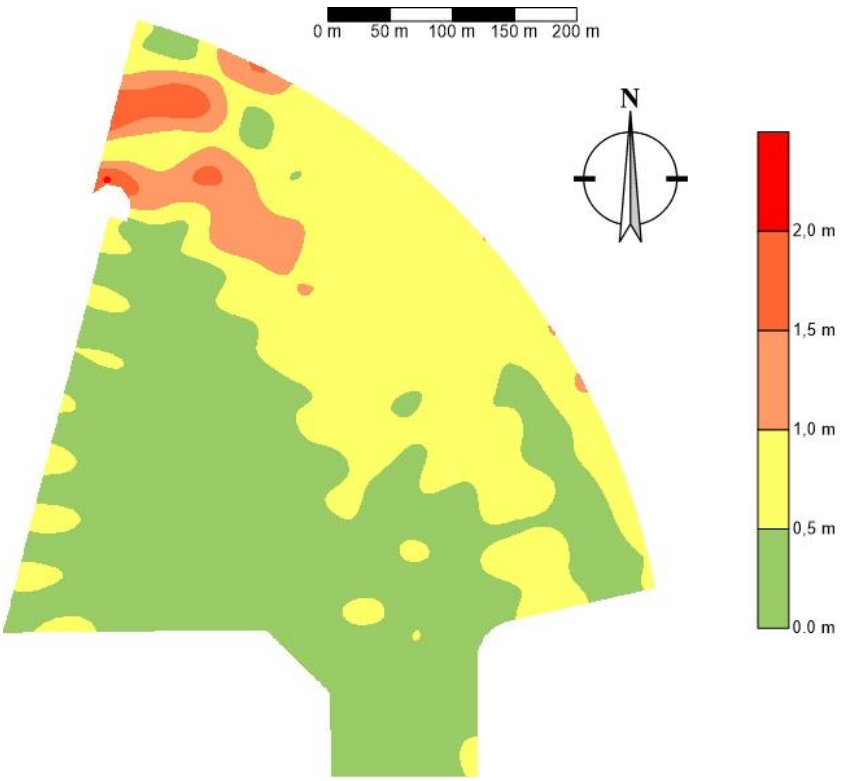
falochron wschodni: występowanie dwóch obszarów o wysokościach fal z przedziałów 0.5 – 1.0 m i 1.0 – 1.5 m.

4.3.2 Nowy Świat

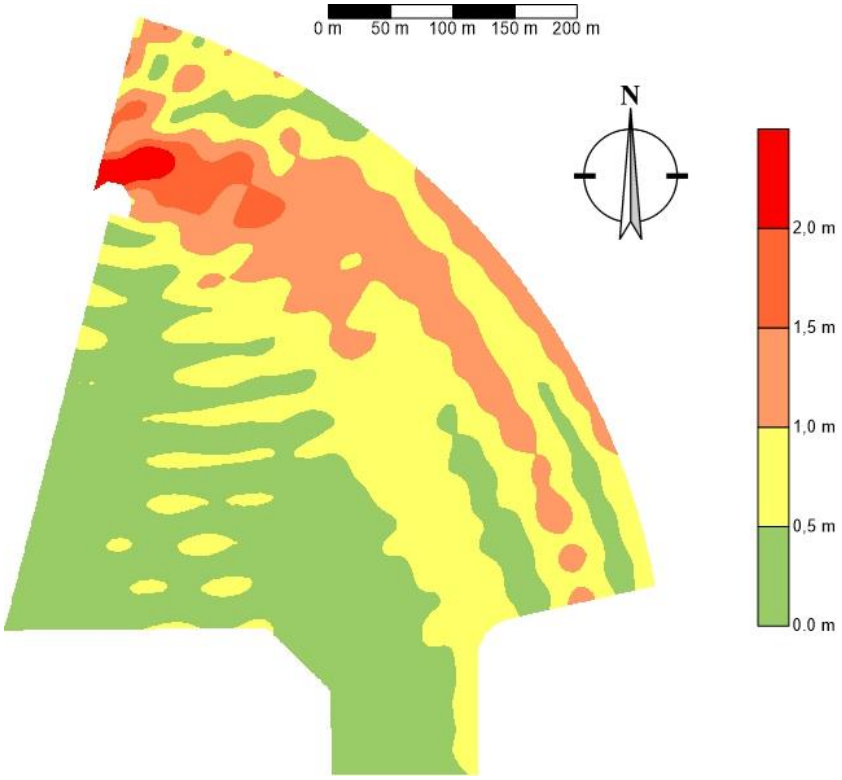
Dla przyjętych warunków sztormowych przeprowadzono obliczenia falowania w akwenach portów osłonowych dla trzech rozpatrywanych wariantów długości falochronu wschodniego. Wyniki w formie graficznej określające przestrzenny rozkład wysokości fali znacznej wewnątrz portu pokazano na rys. 4.19÷4.30.



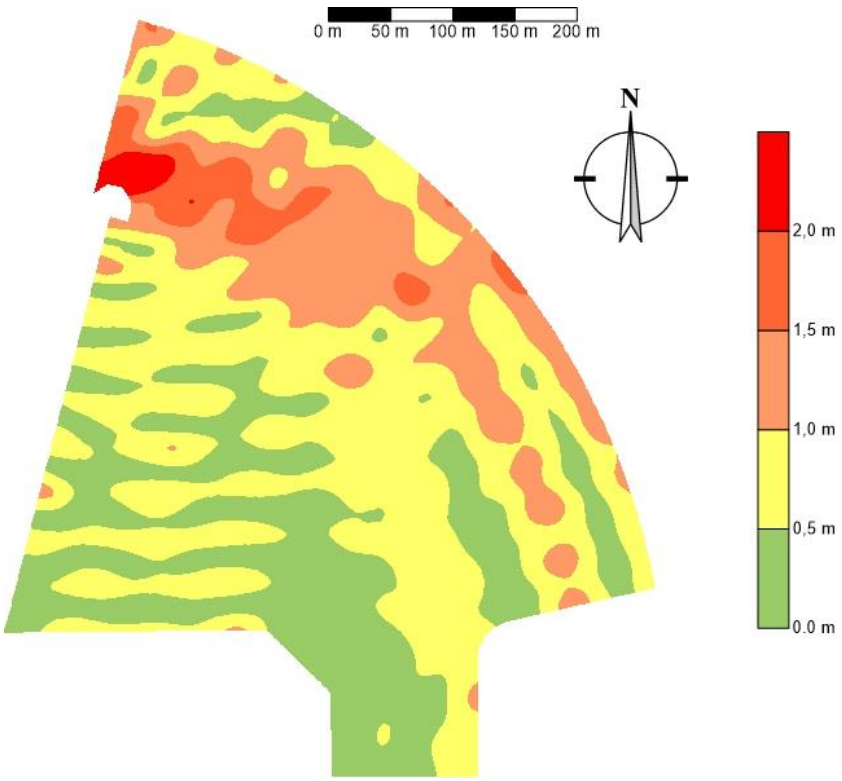
Rys. 4.19 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.33 m, T_p = 9.2 s



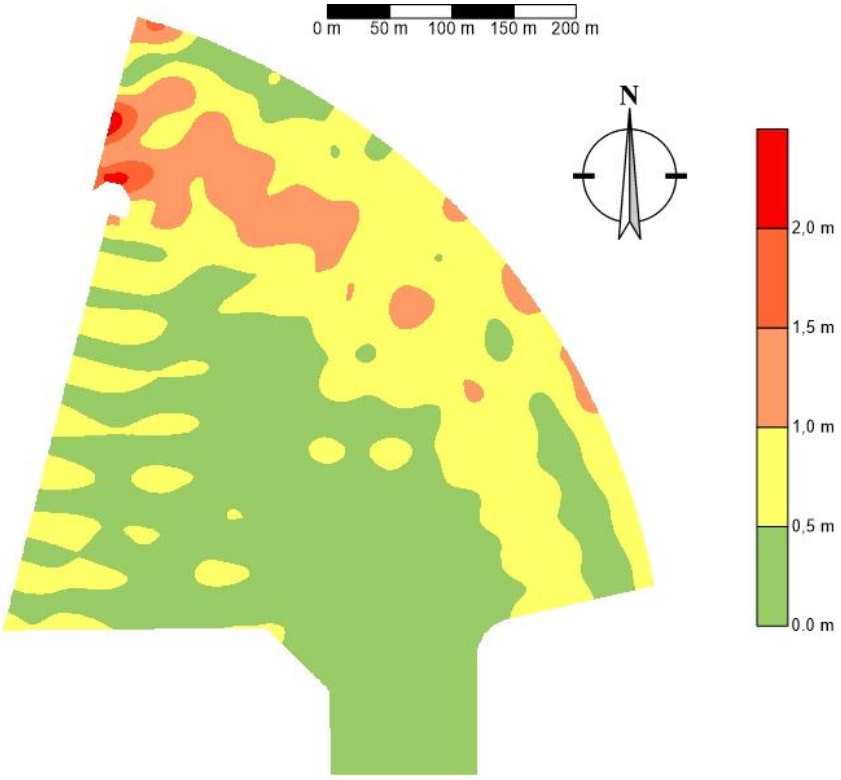
Rys. 4.20 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s



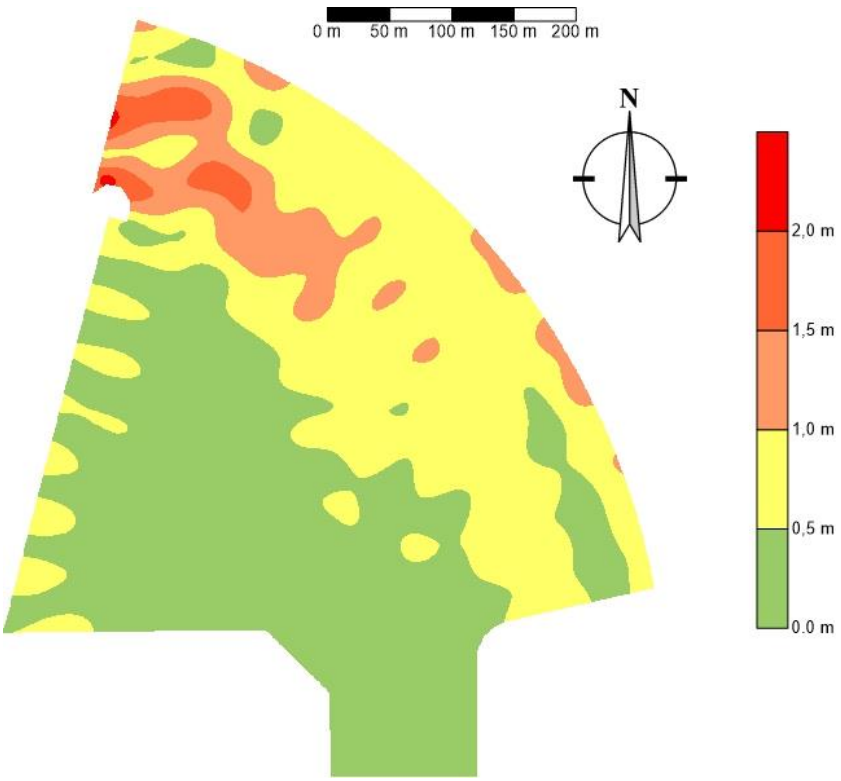
Rys. 4.21 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.35 m, T_p = 7.8 s



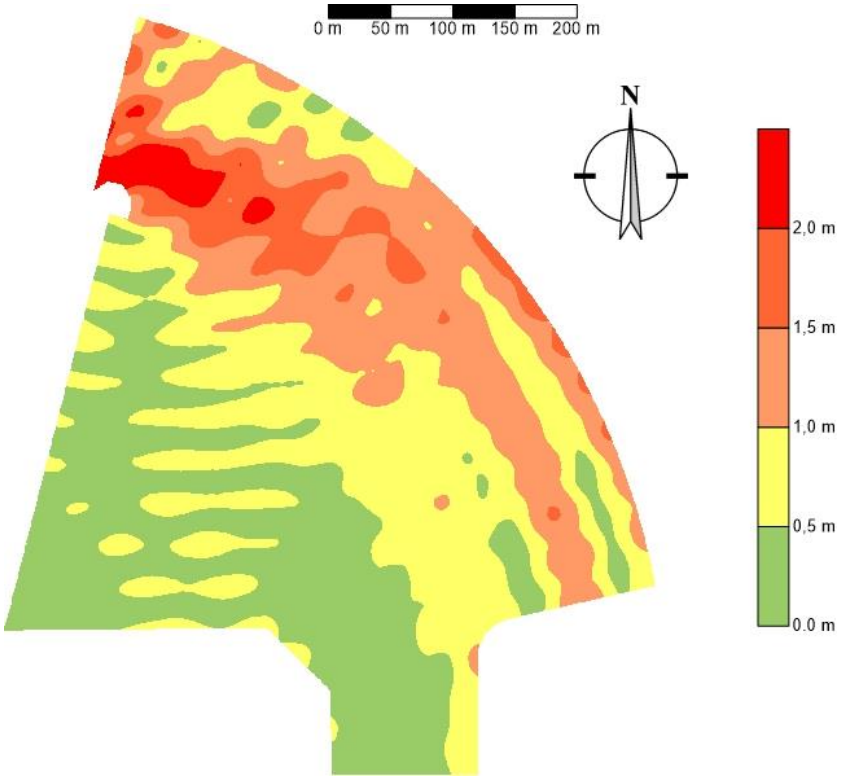
Rys. 4.22 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.63 m, T_p = 8.4 s



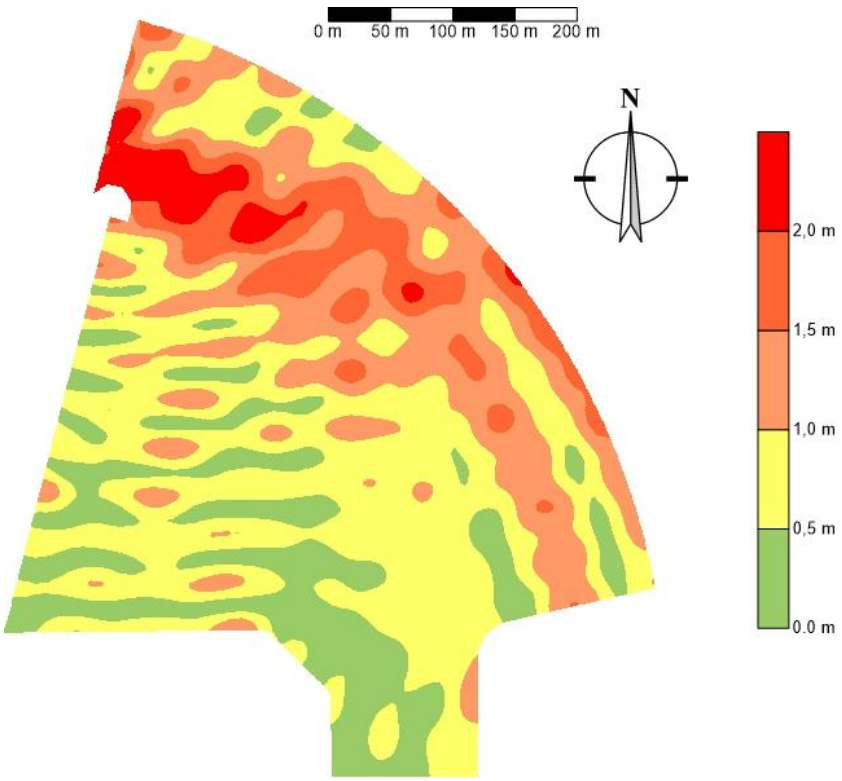
Rys. 4.23 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.33 m, T_p = 9.2 s



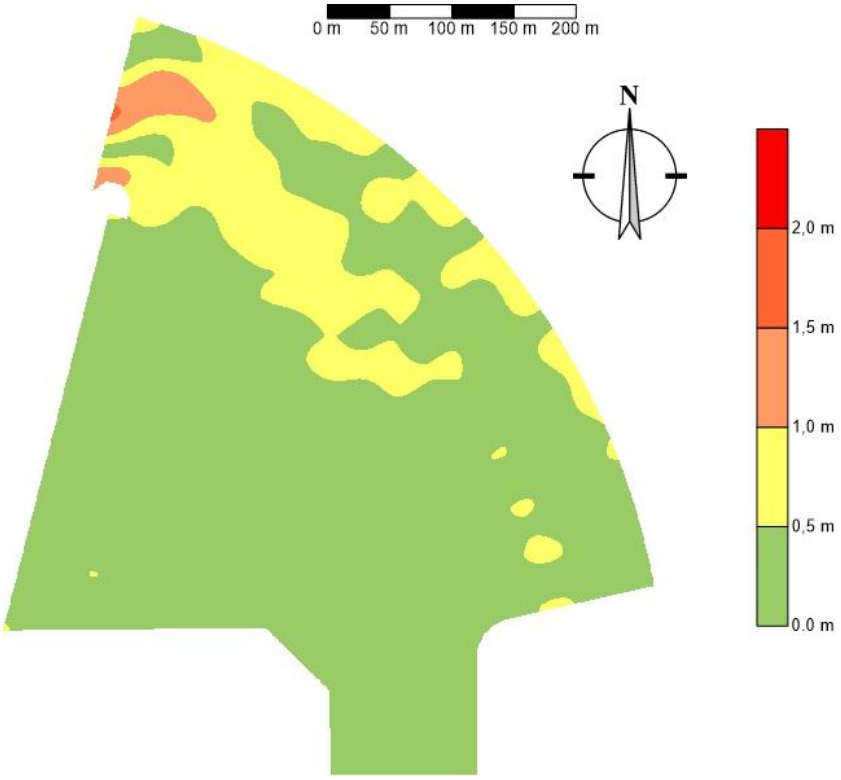
Rys. 4.24 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s



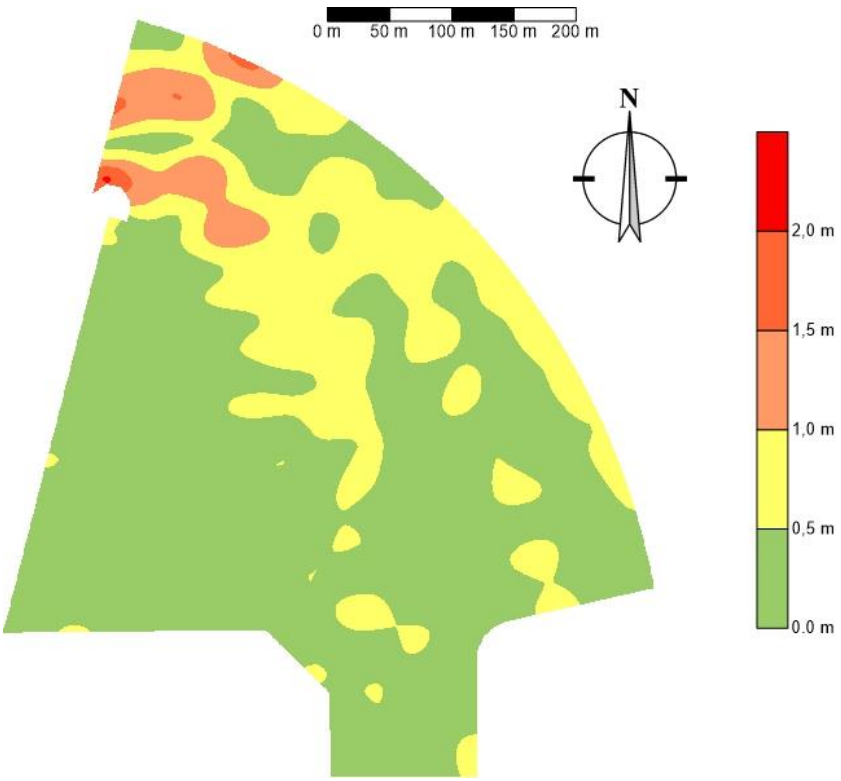
Rys. 4.25 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.35 m, T_p = 7.8 s



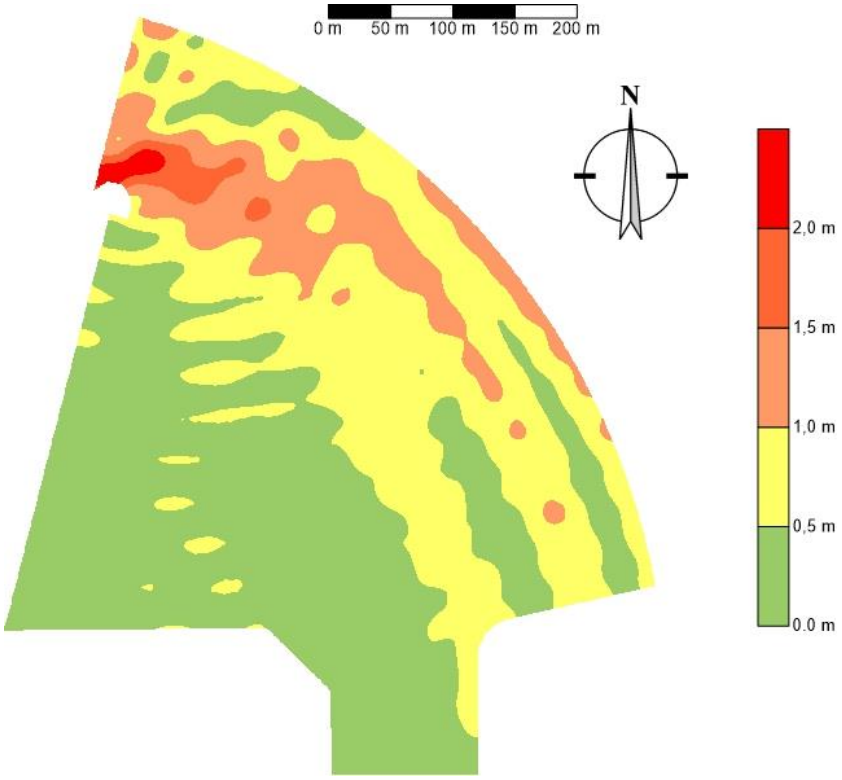
Rys. 4.26 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.63 m, T_p = 8.4 s



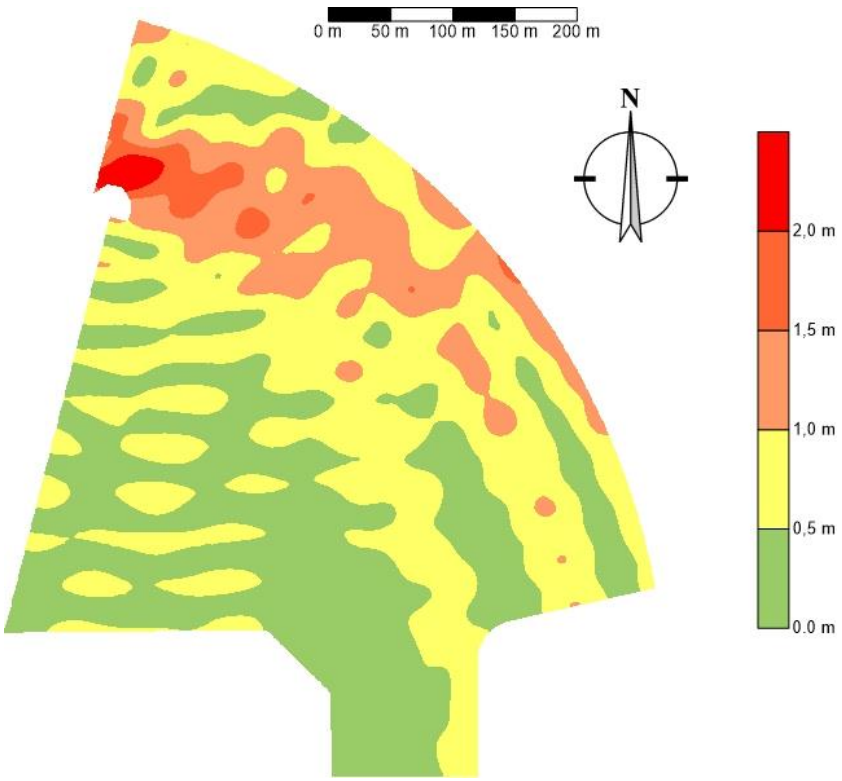
Rys. 4.27 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.33 m, T_p = 9.2 s



Rys. 4.28 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s



Rys. 4.29 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.35 m, T_p = 7.8 s



Rys. 4.30 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 2.63 m, T_p = 8.4 s

Analizę wyników obliczeń wysokości fal dla wybranych sytuacji sztormowych w porcie Nowy Świat dla rozpatrywanych wariantów zabudowy A, B i C przedstawiono poniżej.

Wariant A - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku NW (rys. 4.19 i 4.20)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: w części centralnej wysokości fal rzędu 1.8 m, przy głowicy falochronu zachodniego 2 m, w pozostałym obszarze 0.5 – 1.0 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 0.7 m,

nabrzeże postojowe: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.2 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.3 m, lokalnie przy wschodnim brzegu 0.5 m,

falochron wschodni: wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m.

Wariant A - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku WNW (rys. 4.21 i 4.22)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: generalnie wysokości fal w przedziale 1.0 – 1.5 m, lokalnie przy głowicy falochronu zachodniego ok. 2.8 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 1.0 m,

nabrzeże postojowe: w wyniku odbić średnia wysokość fal rzędu 0.7 m,

kanał żeglugowy: przy zachodnim brzegu wysokości fal ok. 0.1 m, w części centralnej ok. 0.3 m, przy wschodnim brzegu wysokości 0.5 – 0.7 m,

falochron wschodni: dwa obszary wysokości fal z przedziałów 0.5 – 1.0 m i 1.0 – 1.5 m.

Wariant B - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku NW (rys. 4.23 i 4.24)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: w sąsiedztwie głowicy falochronu zachodniego i w części centralnej wysokości fal rzędu 2 m, w pozostałym obszarze wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 1.0 m,

nabrzeże postojowe: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.2 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal w przedziale 0.2 – 0.4 m,

falochron wschodni: na przeważającej długości wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m.

Wariant B - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku WNW (rys. 4.25 i 4.26)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: generalnie wysokości fal w przedziale 1.5 – 2.0 m, lokalnie przy głowicy falochronu zachodniego do 3.2 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 1.2 m,

nabrzeże postojowe: w wyniku odbić wysokości fal zawierają się w przedziale 0.5 – 0.8 m,

kanał żeglugowy: przy zachodnim brzegu wysokości fal w przedziale 0.1 – 0.3 m, w części wschodniej do 0.8 m,

falochron wschodni: na przeważającej długości wysokości fal 1.0 – 1.5 m, lokalnie do 1.8 m.

Wariant C - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku NW (rys. 4.27 i 4.28)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: przy głowicy falochronu zachodniego wysokość fali dochodzi do 2.0 m, w części centralnej wysokości fal rzędu 1.5 m, przy falochronie wschodnim ok. 0.3 m, w pozostałym obszarze w przedziale 0.5 – 1.0 m,

falochron zachodni: generalnie wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.3 m,

nabrzeże postojowe: wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.2 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal w przedziale 0.2 – 0.3 m, przy wschodnim brzegu z przedziału 0.5 – 0.6 m,

falochron wschodni: na przeważającej długości wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m.

Wariant C - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku WNW (rys. 4.29 i 4.30)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: wysokości fal zmienne, w rejonie głowicy falochronu zachodniego ok 2.4 m, w części centralnej 1.5 – 2.0 m, przy falochronie wschodnim 0.5 – 1.0 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 1.0 m,

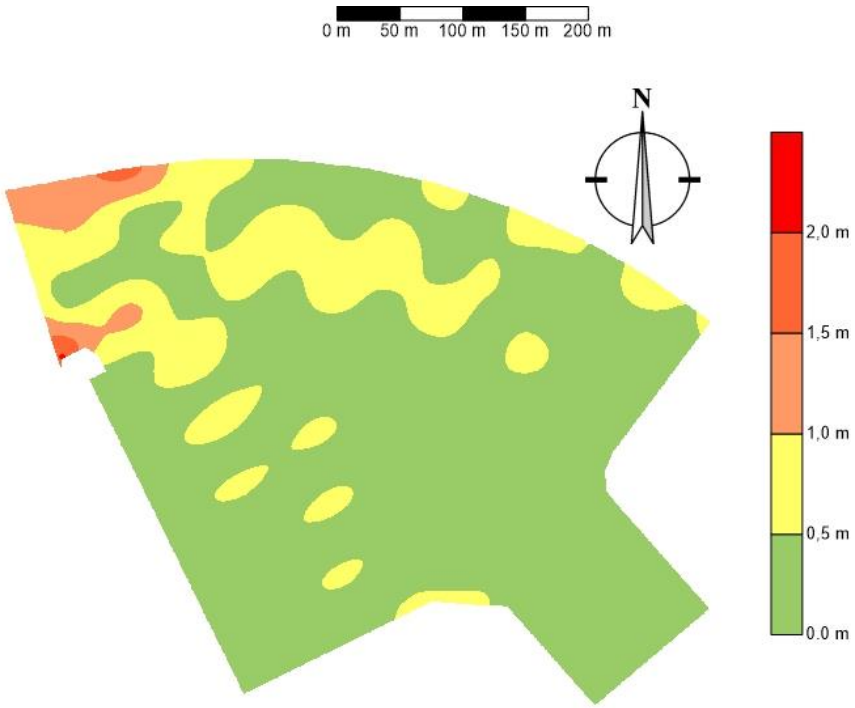
nabrzeże postojowe: w wyniku odbić średnia wysokość fal rzędu 0.5 – 0.8 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal z przedziału 0.1 – 0.3 m w części zachodniej i środkowej, przy brzegu wschodnim w przedziale 0.5 – 0.6 m,

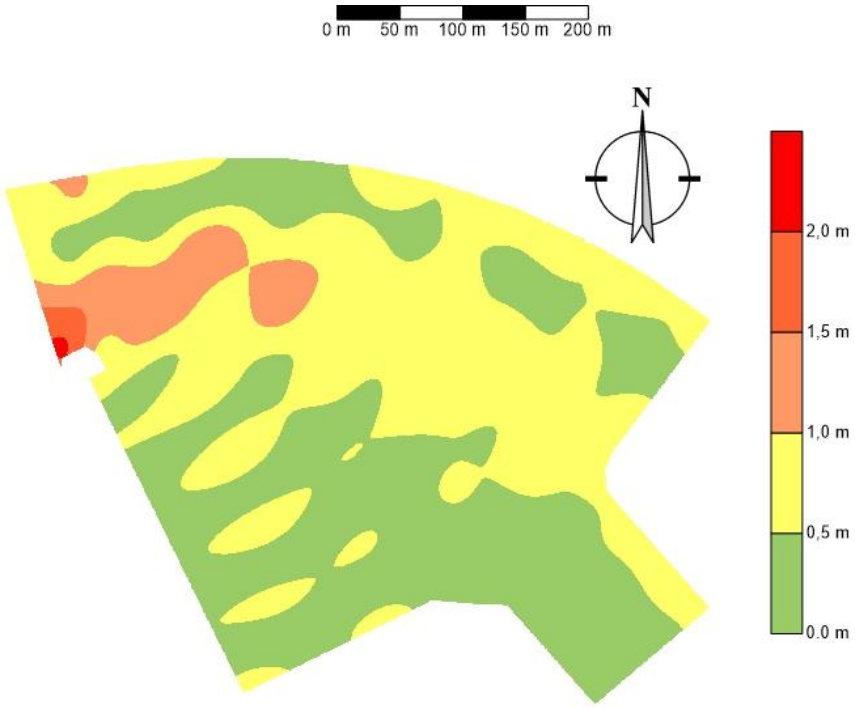
falochron wschodni: występowanie dwóch obszarów o wysokościach fal z przedziałów 0.5 – 1.0 m i 1.0 – 1.5 m.

4.3.3 Piaski

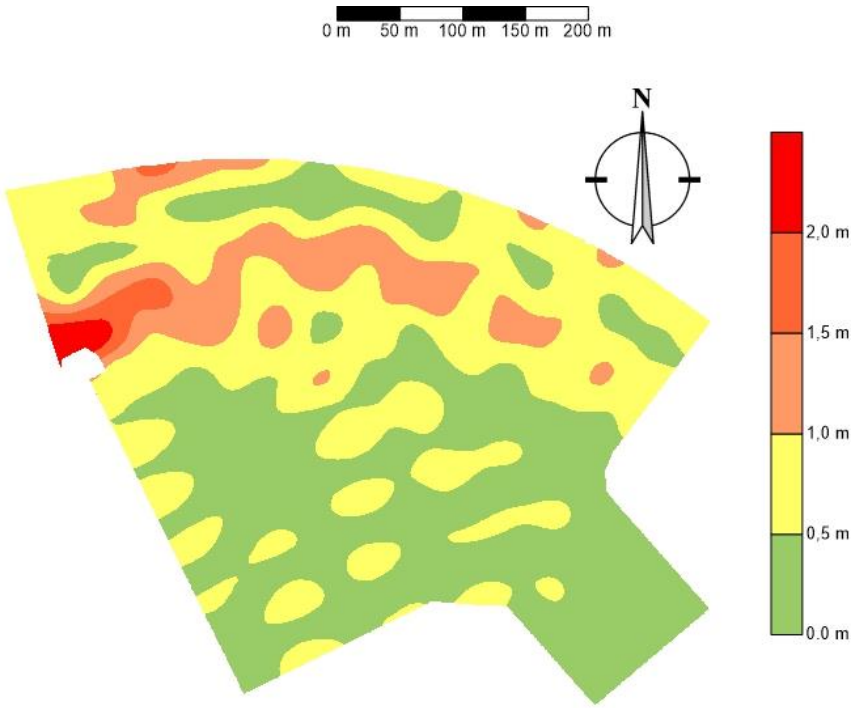
Dla przyjętych warunków sztormowych przeprowadzono obliczenia falowania w akwenach portów osłonowych dla trzech rozpatrywanych wariantów długości falochronu wschodniego. Wyniki w formie graficznej określające przestrzenny rozkład wysokości fali znacznej wewnątrz portu pokazano na rys. 4.31÷4.42.



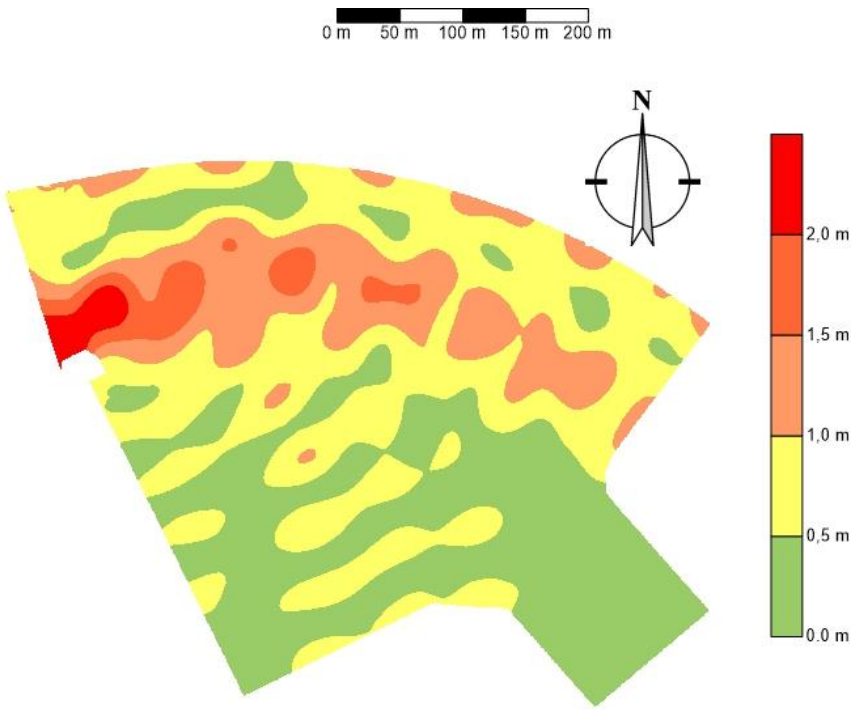
Rys. 4.31 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 4.06 m, T_p = 11.0 s



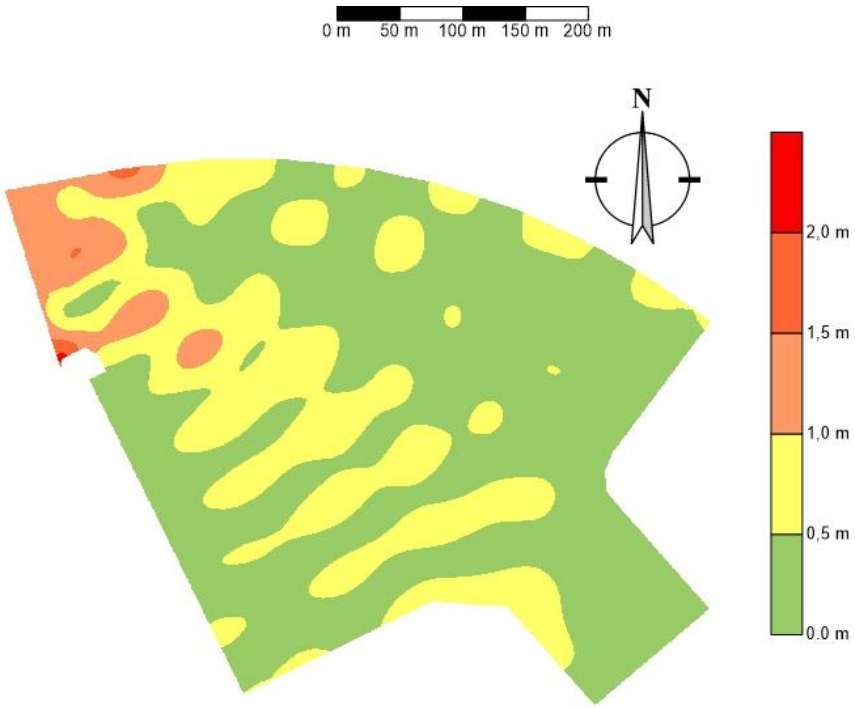
Rys. 4.32 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 4.36 m, T_p = 12.2 s



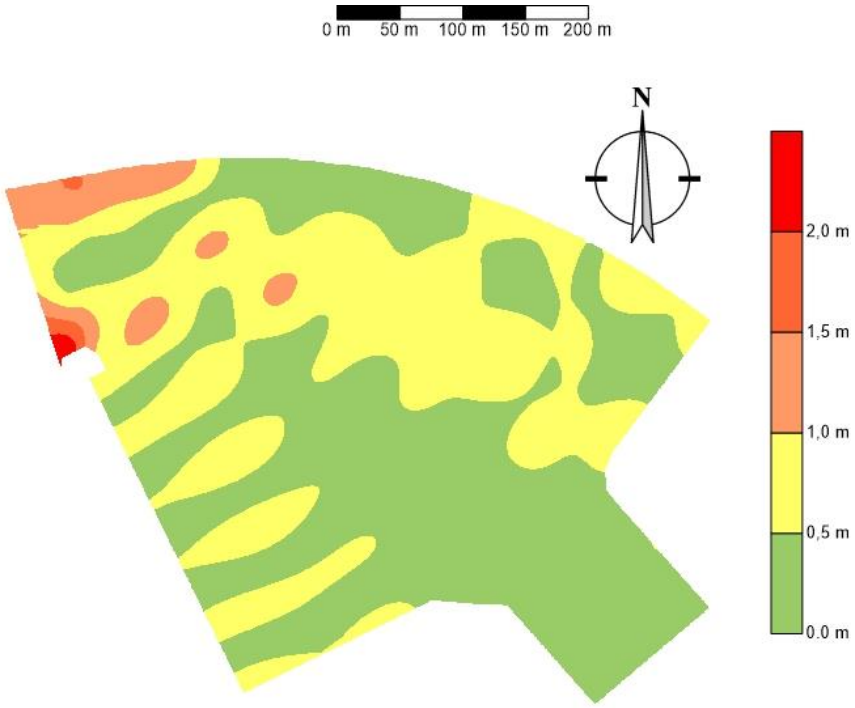
Rys. 4.33 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 3.48 m, T_p = 9.5 s



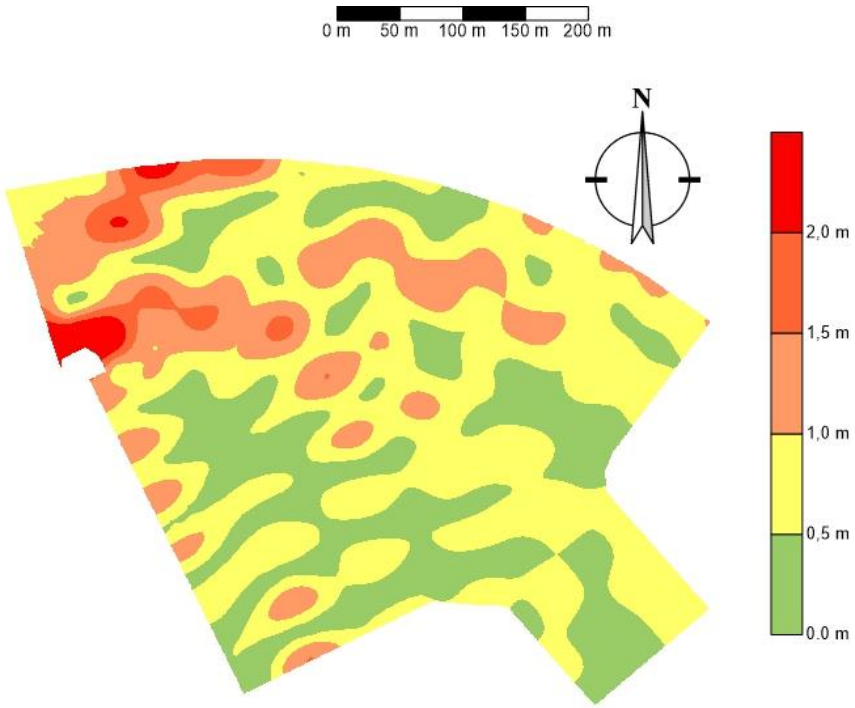
Rys. 4.34 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 3.76 m, T_p = 10.2 s



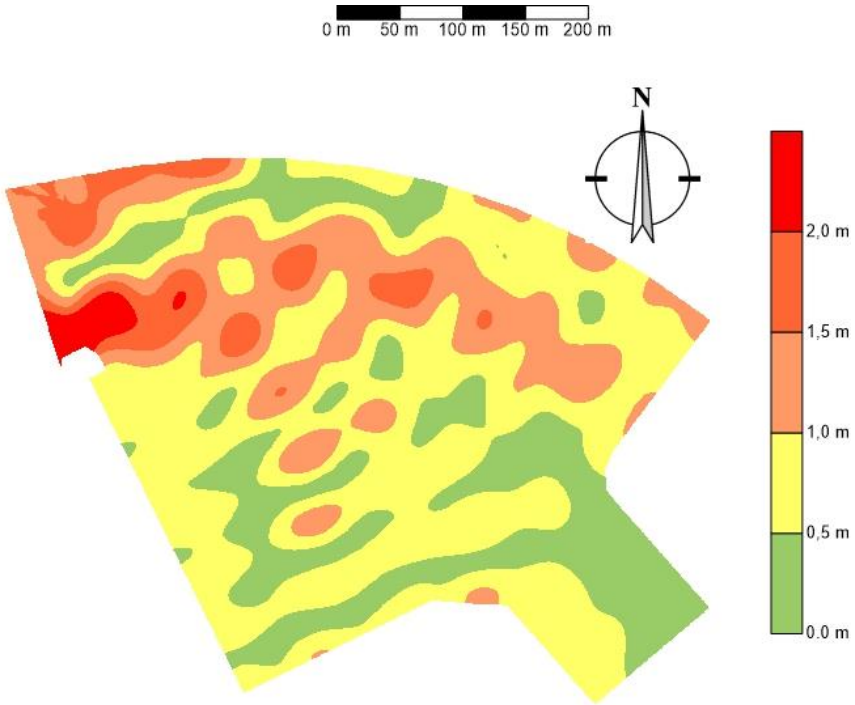
Rys. 4.35 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 4.06 m, T_p = 11.0 s



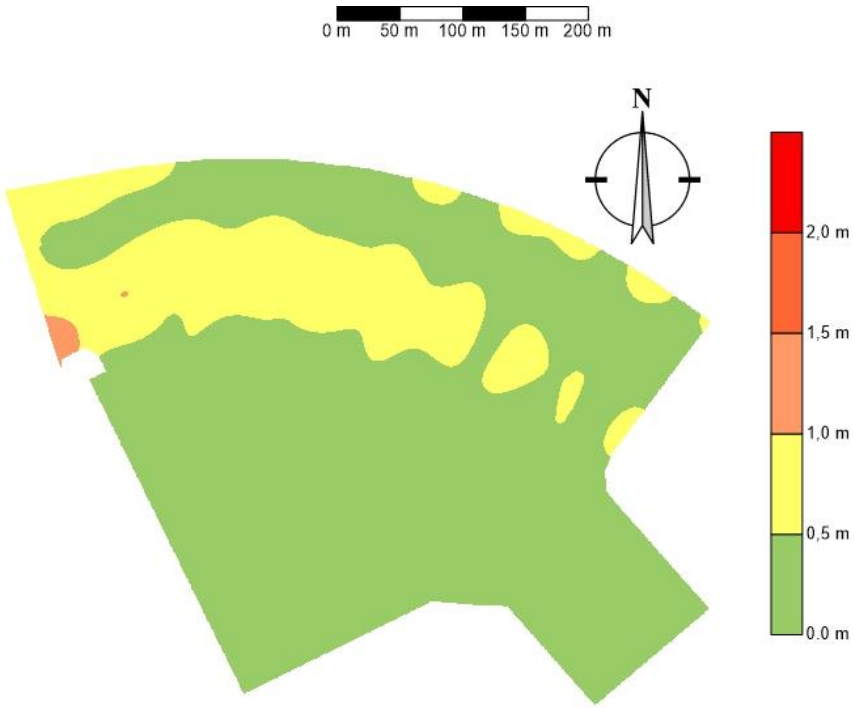
Rys. 4.36 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 4.36 m, T_p = 12.2 s



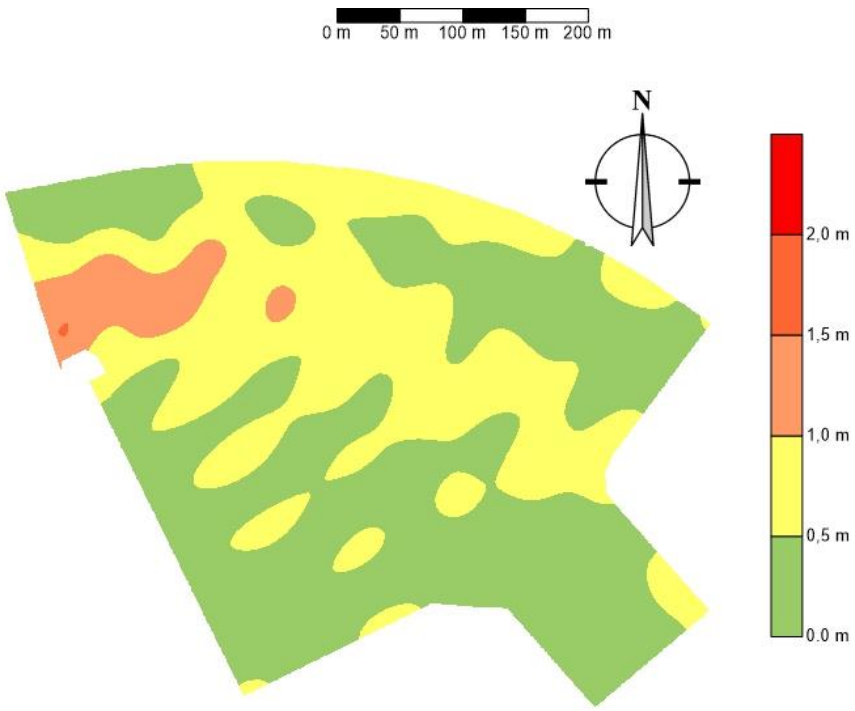
Rys. 4.37 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 3.48 m, T_p = 9.5 s



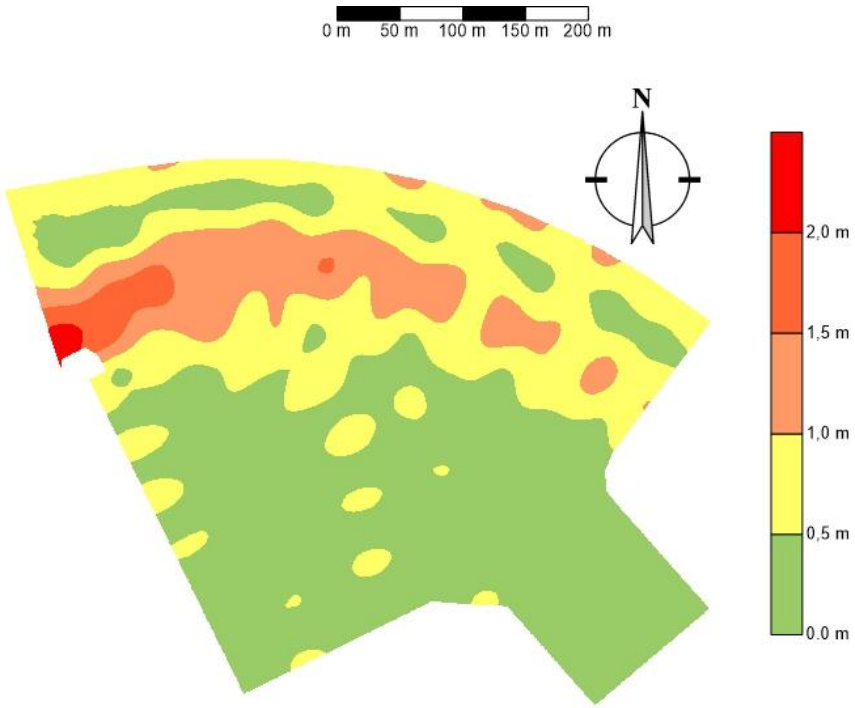
Rys. 4.38 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 3.76 m, T_p = 10.2 s



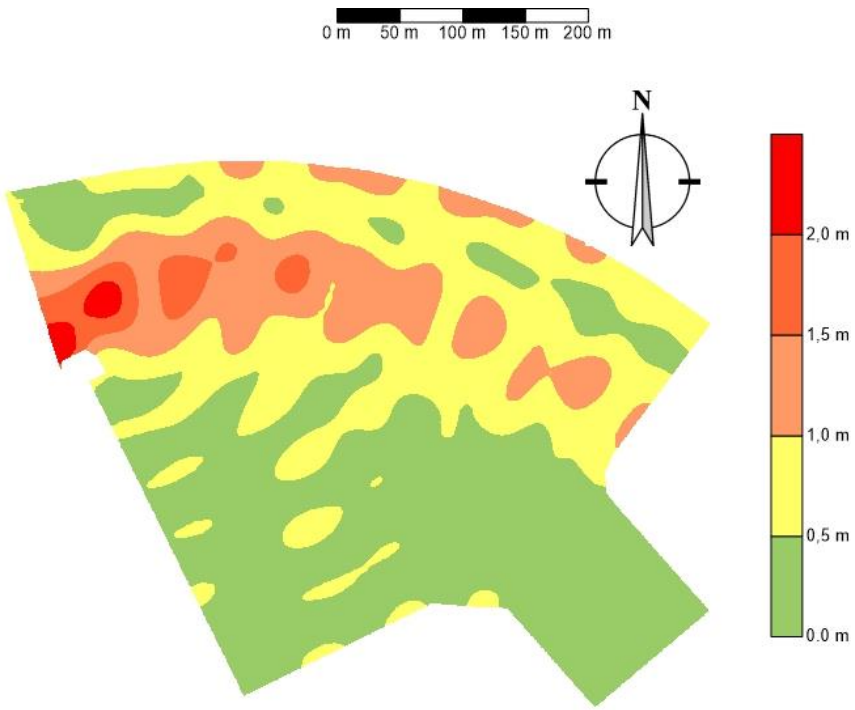
Rys. 4.39 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 4.06 m, T_p = 11.0 s



Rys. 4.40 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW
Parametry fali: H_s = 4.36 m, T_p = 12.2 s



Rys. 4.41 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 3.48 m, T_p = 9.5 s



Rys. 4.42 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW
Parametry fali: H_s = 3.76 m, T_p = 10.2 s

Analizę wyników obliczeń wysokości fal dla wybranych sytuacji sztormowych w porcie Piaski dla rozpatrywanych wariantów zabudowy A, B i C przedstawiono poniżej.

Wariant A - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku NW (rys. 4.31 i 4.32)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: przy głowicy falochronu zachodniego wysokości fal ok. 2.0 m, w części centralnej 1.0 – 1.5 m, przy falochronie wschodnim 0.5 – 1.0 m,

falochron zachodni: wysokości fal zawarte w przedziale 0.0 – 0.5 m, lokalnie do 0.6 m,

nabrzeże postojowe: wysokości fal w przedziale 0.3 – 0.6 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal w przedziale 0.1 – 0.3 m, przy wschodnim brzegu z przedziału 0.4 – 0.6 m,

falochron wschodni: wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m.

Wariant A - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku WNW (rys. 4.33 i 4.34)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: przy falochronie wschodnim wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m, w części centralnej 1.0 – 1.5 m, lokalnie przy głowicy falochronu zachodniego ok. 2.8 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.4 – 0.6 m,

nabrzeże postojowe: w wyniku odbić średnia wysokość fal rzędu 0.7 m,

kanał żeglugowy: na całej szerokości kanału wysokości fal w przedziale 0.2 – 0.3 m,

falochron wschodni: wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m, lokalnie 1.2 – 1.3 m.

Wariant B - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku NW (rys. 4.35 i 4.36)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: w sąsiedztwie głowicy falochronu zachodniego wysokości fal ok. 2.3 m, w części centralnej 0.5 – 1.0 m, przy falochronie wschodnim 1.0 – 1.5 m,

falochron zachodni: w wyniku odbicia od falochronu wschodniego występują przemiennie obszary o wysokościach z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 0.7 m,

nabrzeże postojowe: wysokości fal w przedziale 0.6 – 0.7 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal w przedziale 0.1 – 0.3 m,

falochron wschodni: występowanie dwóch obszarów o wysokościach fal z przedziałów 0.0 – 0.5 m i 0.5 – 1.0 m.

Wariant B - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku WNW (rys. 4.37 i 4.38)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: generalnie wysokości fal w przedziale 1.0 – 1.5 m, lokalnie przy głowicy falochronu zachodniego do 3.5 m,

falochron zachodni: na przeważającej długości wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m,

nabrzeże postojowe: wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m, średnio 0.8 m,

kanał żeglugowy: przy zachodnim brzegu wysokości fal rzędu 0.5 m, w części centralnej i wschodniej w przedziale 0.3 – 0.4 m,

falochron wschodni: na przeważającej długości 0.5 – 1.0 m, lokalnie do 1.3 m.

Wariant C - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku NW (rys. 4.39 i 4.40)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: w rejonie głowicy falochronu zachodniego wysokość fal zawierają się w przedziale 1.0 – 1.5 m, w części centralnej wysokości 0.5 – 1.0 m, przy falochronie wschodnim nie przekraczają 0.5 m,

falochron zachodni: generalnie wysokości fal w przedziale 0.0 – 0.5 m, średnio 0.3 m,

nabrzeże postojowe: średnia wysokość fali 0.3 m, lokalnie do 0.6 m,

kanał żeglugowy: wysokości fal w przedziale 0.2 – 0.3 m, przy wschodnim brzegu z przedziału 0.5 – 0.6 m,

falochron wschodni: na przeważającej długości wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m.

Wariant C - sztorm o okresie powtarzalności raz na 20 i 100 lat z kierunku WNW (rys. 4.41 i 4.42)

Wysokości fali znacznej w poszczególnych akwenach portowych:

rejon wejścia: wysokości fal zmienne, w rejonie głowicy falochronu zachodniego ok 2.2 m, w części centralnej 1.0 – 1.5 m, przy falochronie wschodnim 0.5 – 1.0 m,

falochron zachodni: wysokości fal zawierają się w przedziale 0.2 – 0.5 m,

nabrzeże postojowe: średnia wysokość fal rzędu 0.3, lokalnie do 0.6 m,

kanał żeglugowy: na całej szerokości wysokości fal z przedziału 0.2 – 0.3 m,

falochron wschodni: na przeważającej długości wysokości fal w przedziale 0.5 – 1.0 m, lokalnie do 1.2 m.

4.4 Podsumowanie

Analiza falowania została przeprowadzona dla trzech lokalizacji projektowanych portów osłonowych. Dla wszystkich lokalizacji zaproponowano usytuowanie wejść portowych w kierunku zbliżonym do zachodniego.

Rozpatrywano trzy warianty układu geometrycznego falochronów:

- wariant A – wariant wyjściowy,
- wariantu B – skrócenie falochronu wschodniego o 50 m względem wariantu A,
- wariantu C – wydłużenie falochronu wschodniego o 50 m względem wariantu A.

Dla wszystkich rozpatrywanych lokalizacji otrzymano:

- skrócenie falochronu wschodniego o 50 m powoduje wzrost wysokości falowania w akwenach portowych w zależności od kierunku podchodzenia fali (NW i WNW) od 10 do 15%,

- wydłużenie falochronu wschodniego o 50 m powoduje zmniejszenie wysokości falowania w akwenach portowych w zależności od kierunku podchodzenia fali (NW i WNW) od 10 do 15%.

Dla wszystkich lokalizacji oraz wariantów układu geometrycznego falochronów obliczone wysokości fal znacznych w akwenach portowych są podobne, tj.:

- najwyższe fale wystąpią głównie wzdłuż falochronu wschodniego,
- wygaszacz falowania usytuowany między wejściem do kanału żeglugowego a falochronem wschodnim znacznie redukuje wysokości fal odbitych,
- wysokości fal w kanale żeglugowym, w rejonie odmorskich wrót śluzy nie przekraczają 0.5 m, jedynie przy jego wschodniej krawędzi lokalnie dochodzą do 0.7 m,
- przy nabrzeżu postojowym średnie wysokości fal znacznych zawarte są w przedziale 0.0÷0.5 m, lokalnie osiągają wysokości rzędu 0.7 m.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że należy przyjąć układ geometryczny falochronów w wersji podstawowej (wariant A), gdyż korzyści wynikające z wydłużenia falochronu wschodniego (wariant C) są niewielkie.

5. Transport osadów po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej

5.1 Opis naturalnych procesów lito- i morfodynamicznych

Mierzeja Wiślana ma około 90 km długości i 1÷2 km szerokości. Rozciąga się ona od Bałtyjska (Cieśniny Pilawskiej) do Wyspy Sobieszewskiej. Polska część Mierzei, zgodnie z kilometrażem Urzędu Morskiego, obejmuje odcinek brzegu na wschód od miejscowości Piaski, tj. od km 0.0 do km 48.5. Jak podaje Basiński (2007) ta część Mierzei charakteryzuje się dobrze rozbudowanym nadbrzeżnym wałem wydmowym sięgającym do wysokości rzędu 7÷12 m i szerokości 50÷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.

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.

Dubrawski i inni (2006) podają, że odmorskie brzegi polskiej części Mierzei Wiślanej można według kryteriów przyjętych w strategii ochrony brzegów morskich zakwalifikować do brzegów o dużej, a nawet bardzo dużej odporności na procesy erozyjne generowane falowaniem
i wysokimi poziomami wody. W okresie 1875÷1979 odnotowano tu przyrosty linii brzegowej wynoszące średnio około 0.15 m/rok. Do stabilności, a nawet akumulacji na tym odcinku brzegu przyczynia się pełne nasycenie wzdłużbrzegowego strumienia osadów materiałem przenoszonym i odkładanym w stożku ujściowym Wisły pod Świbnem.

Również Basiński (2007) zaliczył polską część Mierzei Wiślanej do obszarów nie zagrożonych, pomimo braku technicznych umocnień brzegu. Lokalna erozja wydmy na niektórych odcinkach bywa zjawiskiem przejściowym, a brzeg ulega ponownej samoczynnej odbudowie. Brzegi Mierzei Wiślanej są zaliczane do brzegów akumulacyjnych. Jak podaje Zawadzka-Kahlau (1999) równowaga w brzegu i dnie (w latach 1961÷1971) udokumentowana została dla rejonu Piasków, Krynicy Morskiej i Kątów Rybackich, a bilans rumowiska do głębokości 6 m wykazywał niewielkie zmiany objętości warstwy dynamicznej. Średnie zmiany brzegowe na odcinku od granicy państwowej (km 0.0) do Kątów Rybackich (km 30.0) były w ubiegłym wieku następujące:

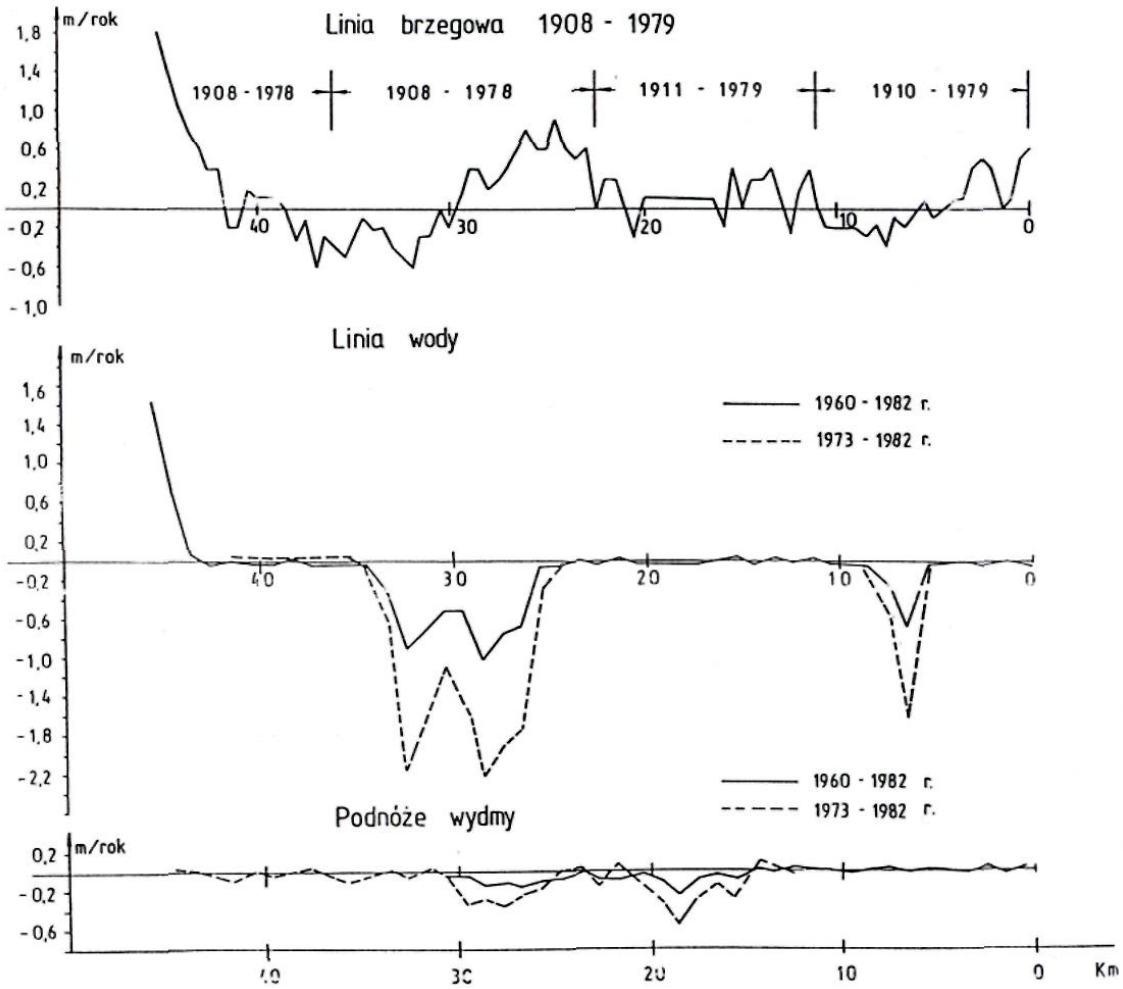
linia brzegowa

lata 1911÷1979 → akumulacja +0.15 m/rok,
lata 1960÷1983 → erozja -0.15 m/rok,
lata 1971÷1983 → erozja -0.37 m/rok,

podstawa wydmy

lata 1960÷1983 → erozja -0.06 m/rok,
lata 1971÷1983 → rozja -0.26 m/rok.

Szczegółowe zmiany położenia linii brzegowej w latach 1908÷1982 oraz podstawy wydmy w latach 1960÷1982 na pierwszych 40 km polskiego brzegu (od granicy do ujścia Wisły pod Świbnem) pokazano na rys. 5.1.



Rys. 5.1 Pomierzone zmiany położenia linii brzegowej i podstawy wydmy po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej (Jednorał 1996)
(*Piaski km 2.6÷4.2, Krynica Morska km 14.2÷14.8, Skowronki km 27.1, Kąty Rybackie km 28.12÷28.5)*

Pokazane w górnej części rys. 5.1 zmiany położenia linii brzegowej w latach 1908÷1979 otrzymano z analizy map topograficznych w skali 1:25 000, natomiast zamieszczone w części środkowej i dolnej na tym rysunku zmiany położenia brzegu i podstawy wydmy w latach 1960÷1982 oraz 1973÷1982 otrzymano z analiz map pasa technicznego Urzędu Morskiego w Gdyni w skali 1:2 500.

Z rysunku tego widać, że wzdłuż brzegów Mierzei występują tylko dwa odcinki w których obserwowane jest cofanie się linii brzegowej. Pierwszy z nich występuje w rejonie km 8 (pomiędzy Piaskami i Krynicą Morską), drugi zaś pomiędzy Kątami Rybackimi i Mikoszewem (od km 25 do km 35). Średnie roczne cofanie się brzegu w latach 1960÷1982 i 1973÷1982 w obu tych miejscach nie przekraczało odpowiednio 1.0 i 2.0 m. Natomiast prędkość erozji podstawy wydmy w tych samych okresach była znacznie mniejsza i wynosiła odpowiednio 0.1 i 0.2 m/rok.

Na podstawie wieloletnich obserwacji odmorskich brzegów Mierzei Wiślanej generalnie przyjmuje się, że współczesne zmiany brzegowe są związane z osadami transportowanymi z rejonu stożka Wisły oraz z rejonu Sambii, w warunkach wielokrotnej zmiany wypadkowego kierunku przemieszczania się rumowiska. W rezultacie brzegi te charakteryzują się naprzemiennie występującymi odcinkami abrazyjnymi i akumulacyjnymi. Wzrost prędkości

abrazji brzegów obserwowany w ostatnich dziesięcioleciach związane są głównie z podnoszeniem się poziomu morza oraz zwiększającą się liczbą spiętrzeń sztormowych.

W obrębie Zatoki Gdańskiej stwierdzono wielokrotną zmienność wypadkowych tendencji kierunków przemieszczania się rumowiska. Według Zawadzkiej-Kahlau (1999) w rejonie Krynicy Morskiej kierunek transportu zmienia się z zachodniego na wschodni, w rejonie Kątów Rybackich ze wschodniego na zachodni, a w rejonie ujścia Wisły na wschodni.

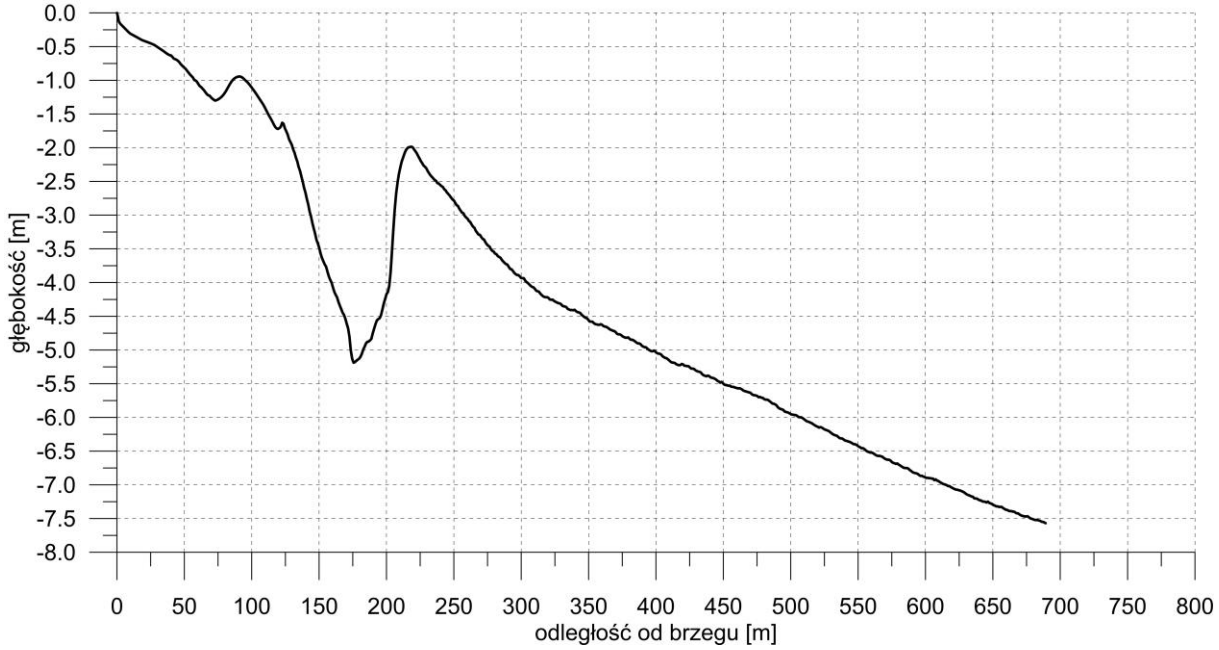
Uogólniając można stwierdzić, że brzegi Mierzei Wiślanej charakteryzują się słabymi procesami litodynamicznymi, powolnymi zmianami konfiguracji dna, występowaniem stref dywergencji (zmiany wypadkowego kierunku przemieszczania się osadów), a co za tym idzie niewielkim natężeniem wypadkowego transportu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

Dno strefy przybrzeżnej Zatoki Gdańskiej w rejonie planowanego przekopu przez Mierzeję Wiślaną zbudowane jest z osadów niespoistych (piasków) o cechach granulometrycznych zróżnicowanych wzdłuż profilu poprzecznego brzegu. W większej odległości od brzegu, na głębokościach 5÷9 m, występuje piasek drobny (charakteryzujący się medianą średnicy ziaren d_{50} z przedziału 0.12÷0.15 mm), zaś w strefie przybrzeżnej – na głębokościach 1÷4 m stwierdza się przeważnie obecność nieco grubszych osadów (d_{50}=0.17÷0.25 mm). W bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej i na plaży występują piaski o zmiennym uziarnieniu, z medianą d_{50}=0.21÷0.38 mm.

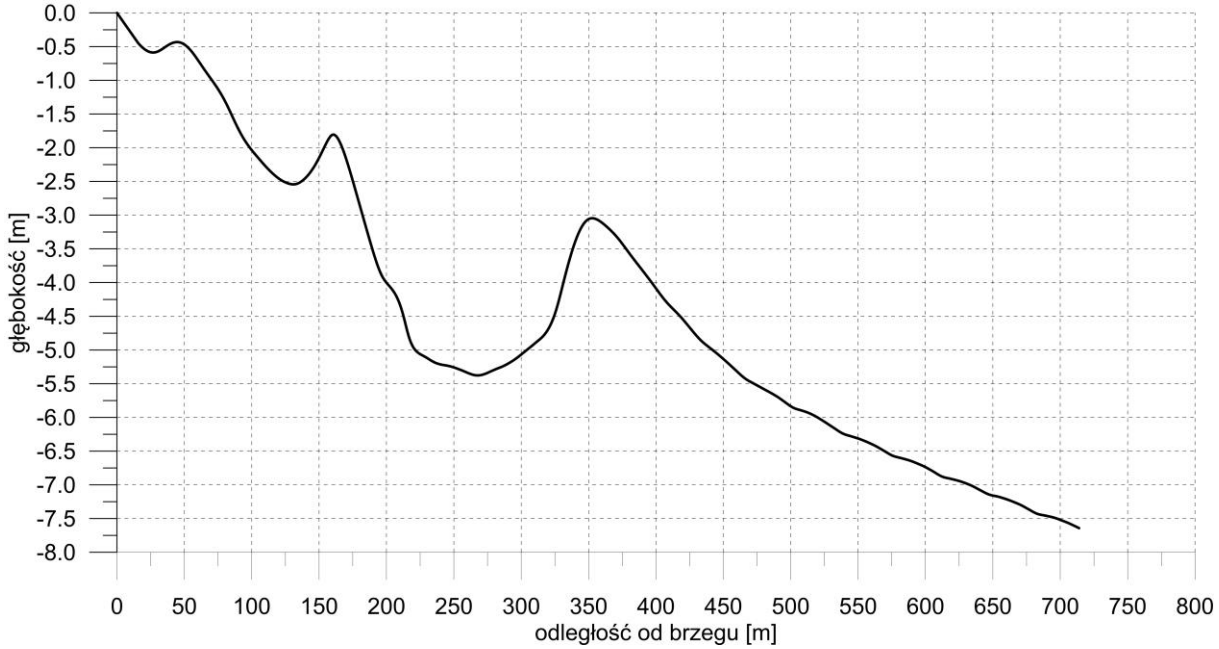
5.2 Obliczenie natężenia wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w sąsiedztwie trzech lokalizacji planowanego kanału żeglugowego

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 zawieszonej wskutek oddziaływania przydennych naprężeń ścinających).

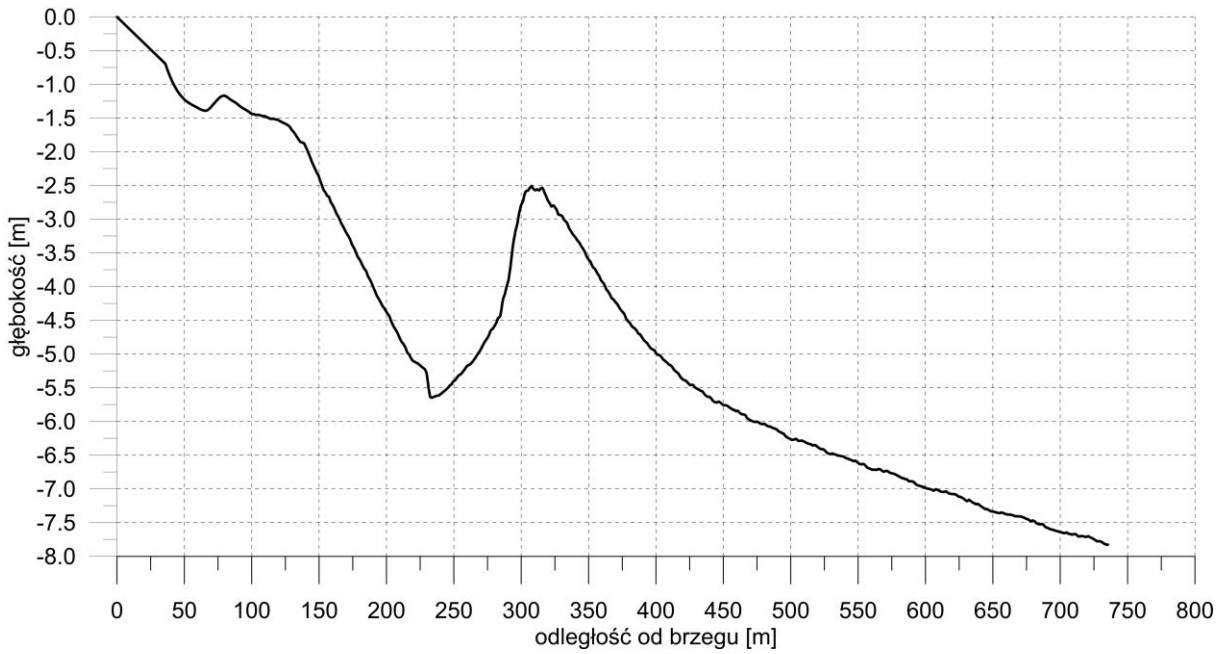
Obliczenia transportu osadów wykonano wzdłuż odmorskich brzegów Mierzei w profilach batymetrycznych położonych w rejonie Skowronek na km 27.0, w rejonie Nowego Świata na km 24.0 i w rejonie Piasków na km 2.0. W obliczeniach tych wykorzystano dostarczone przez Zamawiającego pomiary batymetryczne wykonane w marcu 2017 roku. Dla każdego z rozpatrywanych rejonów obejmowały one około 500-metrowy odcinek brzegu i sięgały w głąb morza do głębokości około 7.5 m. Profile te zostały przedłużone do odległości odpowiadającej położeniom punktom prognostycznym falowania. W tym celu poszczególne profile uzupełniono punktami głębokościowymi uzyskanymi z mapy nawigacyjnej Zatoki Gdańskiej. Na rys. 5.2÷5.4 pokazano profile batymetryczne pomierzone w 2017 roku odpowiednio na km 27.0, 24.0 i 2.0.



Rys. 5.2 Profil batymetryczny pomierzony w marcu 2017 roku
w rejonie Skowronek na km 27.0 (azymut profilu $A_{z,S}$=351.40°)



Rys. 5.3 Profil batymetryczny pomierzony w marcu 2017 roku
w rejonie Nowego Świata na km 24.0 (azymut profilu $A_{z,NŚ}$ =347.97°)



Rys. 5.4 Profil batymetryczny pomierzony w marcu 2017 roku
w rejonie Piasków na km 2.0 (azymut profilu $A_{z,P}$=321.70°)

Z rysunków tych widać, że kształty profili batymetrycznych dla rejonu Skowronek, Nowego Świata i Piasków są podobne. Profile te charakteryzują się występowaniem dwóch wyraźnych rew oraz głęboką doliną między nimi o maksymalnych głębokościach wynoszących w Skowronkach 5 m, w Nowym Świecie 5.5 m i w Piaskach 5.5 m. We wszystkich tych strefach brzegowych w odległości około 700 m od brzegu głębokości wynoszą 7.5 m. W całej polskiej części Mierzei i części rosyjskiej sięgającej do Bałtyjska średnie nachylenie dna wynosi około 0.01.

Przedstawione w rozdz. 3.2 dla obu punktów prognostycznych parametry falowania (tab. 3.1 dla Skowronek i Nowego Świata oraz tab. 3.2 dla Piasków) występujące w średnim roku statystycznym stanowiły punkt wyjścia do obliczenia kolejno transformacji falowania, prądów wzdłużbrzegowych oraz natężenia wzdłużbrzegowego transportu osadów w strefie brzegowej morza. Obliczenia te wykonano wzdłuż pokazanych na rys. 5.2÷5.4 profili batymetrycznych prostopadłych do brzegu i przedłużonych do odległości odpowiadającej położeniom punktom prognostycznym falowania.

Obliczenia wielkości transportu osadów wykonano licencyjnym, holenderskim programem numerycznym *UNIBEST-LT* (wersja 4.0) wchodzącym w skład pakietu numerycznego *UNIBEST*. W programie UNIBEST-LT obliczenia wielkości wzdłużbrzegowego transportu mogą być wykonywane pięcioma różnymi modelami, tj.: wg Bailarda (1981), Bijkera (1971), CERC (2004, Shore Protection Manual), Engelunda-Hansena (1967) oraz van Rijna (1993). W prezentowanej pracy nie dyskutuje się różnorodnych metod obliczania natężenia transportu rumowiska, ani też zalet i ograniczeń poszczególnych formuł. Z dotychczasowych doświadczeń Autorów pracy wynika, że przy korzystaniu z pakietu numerycznego UNIBEST dla warunków hydro- i litodynamicznych występujących w strefie brzegowej Bałtyku najbardziej uniwersalne i najczęściej wykorzystywane są formuły obliczeniowe van Rijna. Model ten w klasie tzw. „*engineering models*” uznawany jest obecnie jako jeden z dających najbardziej poprawne wyniki.

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

W przeprowadzonych obliczeniach założono, że osady piaszczyste w strefie brzegowej są w przybliżeniu jednorodne i zgodnie z danymi zamieszczonymi w pracy Ostrowskiego i innych (2010) jako charakterystyczne średnice ziaren osadów przyjęto:

- dla rejonu Skowronek i Nowego Świata → d_{50} = 0.22 mm, d_{90} = 0.30 mm,
- dla rejonu Piasków → d_{50} = 0.24 mm, d_{90} = 0.28 mm.

5.2.1 Transport rumowiska w rejonie Skowronek

Obliczone sumaryczne wielkości wzdłużbrzegowego transportu rumowiska dla poszczególnych kierunków podchodzenia falowania do brzegu oraz wypadkowy roczny transport w ciągu roku zamieszczono w tab. 5.1. W tabeli tej pokazano także czasy występowania tych transportów.

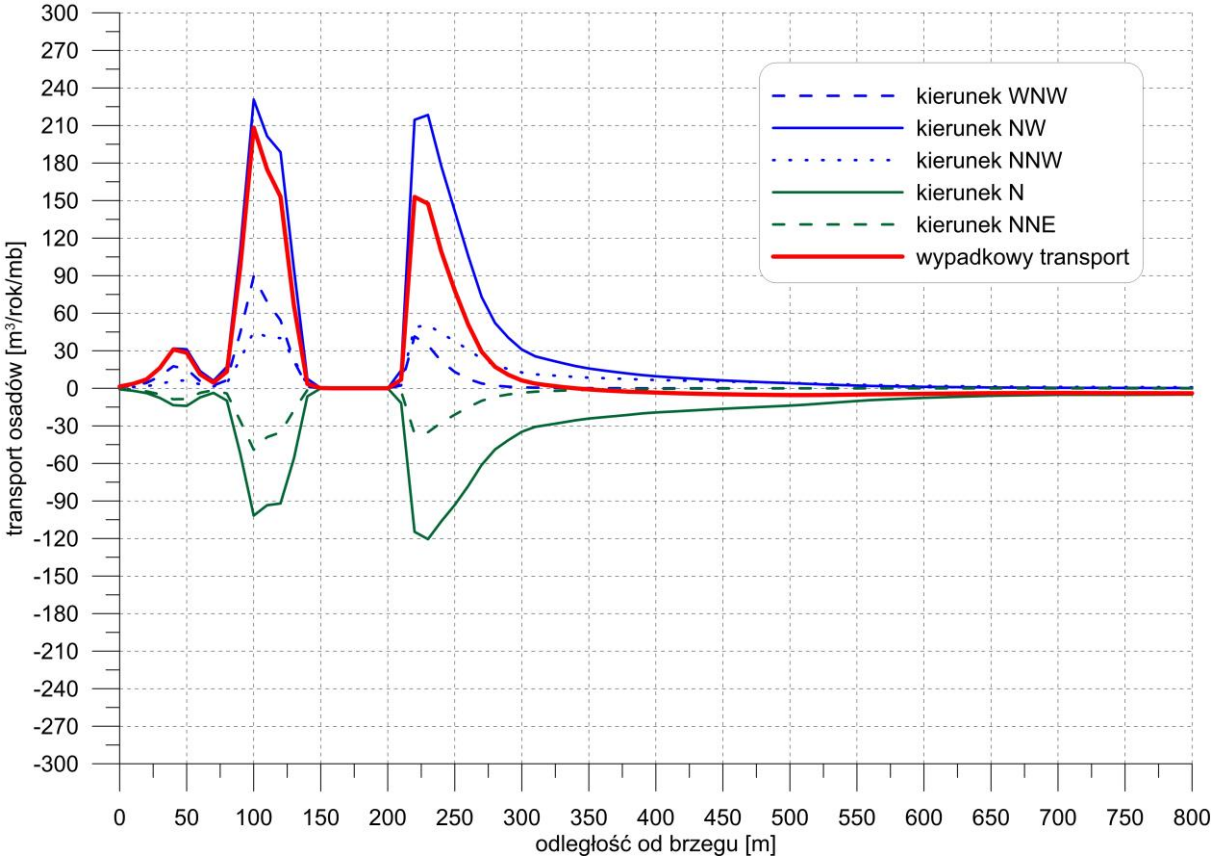
Tab. 5.1 Obliczone wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów i czasy ich występowania w średnim roku statystycznym w rejonie Skowronek

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	-19 000	104.0
WNW	5 000	25,6	NNE	-4 000	32.6
NW	23 000	79.1	NE	0*	11.6
NNW	7 000	44.3	ENE	0*	5.4
Suma	35 000	157.8	Suma	-23 000	153.6
Transport wypadkowy: 12 000 m^3/rok Łączny czas w roku 311.4 doby					

0* - transport poniżej 1000 m^3/rok

W programie UNIBEST minimalny czas trwania falowania niezbędny do obliczenia natężenia transportu osadów wynosi 0.1 doby (2.4 godziny). Występowanie falowania o czasie krótszym od 2.4 godziny w ciągu roku nie zostało zatem uwzględnione w powyższej tabeli.

Z kolei na rys. 5.5 pokazano obliczone rozkłady transportu rumowiska dla poszczególnych kierunków podchodzenia fali do brzegu w funkcji odległości od brzegu oraz roczny transport wypadkowy.



Rys. 5.5 Obliczone rozkłady wzdłużbrzegowego transportu osadów w funkcji odległości od brzegu dla poszczególnych kierunków podchodzenia fali oraz roczny transport wypadkowy dla rejonu Skowronek.

Z przedstawionych w tab. 5.1 obliczonych wielkości transportu osadów oraz pokazanych na rys. 5.5 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 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. m^3/rok, a w kierunku ze wschodu na zachód –23 tys. m^3/rok,
- wypadkowy roczny transport w średnim roku statystycznym jest niewielki wynoszący 12 tys. m^3/rok i skierowany z zachodu na wschód,
- w średnim roku statystycznym przez 50.7% czasu transport jest skierowany z zachodu na wschód a przez 49.3% czasu ze wschodu na zachód; taki zrównoważony rozkład występowania transportu wzdłużbrzegowego rumowiska w obu kierunkach oznacza, że w poszczególnych latach wypadkowy transport osadów może być skierowany bądź z zachodu na wschód, bądź też w kierunku przeciwnym,
- porównując obliczone rozkłady transportu rumowiska z kształtem profilu batymetrycznego widać, że można wyróżnić trzy strumienie przemieszczającego się rumowiska. Pierwszy, stosunkowo niewielki, występuje w bezpośrednim sąsiedztwie brzegu w pasie o szerokości 50 m, drugi, najsilniejszy, zlokalizowany na odmorskim

skłonie pierwszej odlądowej rewy i wreszcie trzeci, nieco mniejszy, występujący na odmorskim skłonie drugiej rewy,

- transport rumowiska odbywa się głównie w pasie o szerokości do około 350 m liczonym od linii brzegowej.

5.2.2 Transport rumowiska w rejonie Nowego Świata

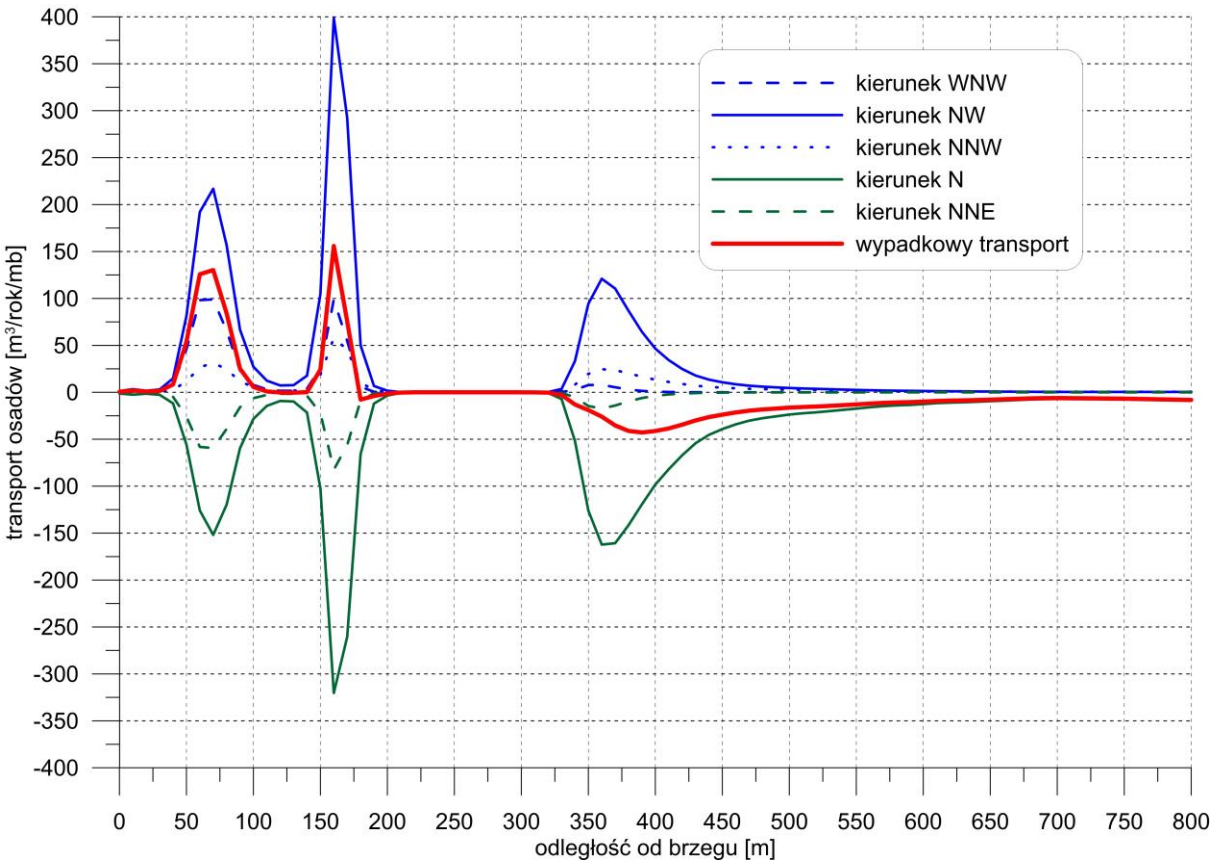
Obliczone sumaryczne wielkości wzdłużbrzegowego transportu rumowiska dla poszczególnych kierunków podchodzenia falowania do brzegu oraz wypadkowy roczny transport w ciągu roku łącznie z czasami ich występowania pokazano w tab. 5.2.

Tab. 5.2 Obliczone wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów i czasy ich występowania w średnim roku statystycznym w rejonie Nowego Świata

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 m^3/rok

Przy obliczaniu transportu rumowiska w rejonie Nowego Świata przyjęto na granicy odmorskiej profilu batymetrycznego parametry falowania z tego samego punktu prognostycznego jak dla Skowronek. W rezultacie także czasy trwania falowania z poszczególnych kierunków są identyczne jak dla Skowronek. Jednak z uwagi na inny azymut profilu batymetrycznego jak i inne głębokości w tym profilu obliczone wielkości transportu rumowiska jak i ich rozkłady w funkcji odległości od brzegu, pokazane na rys. 5.6, różnią się od ich odpowiedników wyznaczonych dla rejonu Skowronek.



Rys. 5.6 Obliczone rozkłady wzdłużbrzegowego transportu osadów w funkcji odległości od brzegu dla poszczególnych kierunków podchodzenia fali oraz roczny transport wypadkowy dla rejonu Nowego Świata.

Z pokazanych w tab. 5.2 obliczonych wielkości transportu osadów oraz ich rozkładów w funkcji odległości od brzegu zamieszczonych na rys. 5.6 wynika, że:

- podobnie jak dla rejonu Skowronek największy transport osadów z zachodu na wschód występuje przy falowaniu podchodzącego z kierunku NW, a ze wschodu na zachód przy falowaniu podchodzącego z kierunku N,
- również 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. m^3/rok, a w kierunku ze wschodu na zachód –38 tys. m^3/rok,
- wypadkowy roczny transport w średnim roku statystycznym jest minimalny wynoszący 3 tys. m^3/rok i skierowany ze wschodu na zachód,
- mimo, że czasy występowania falowania podchodzącego z kierunków zachodnich i wschodnich są takie same jak dla Skowronek, to głównie z uwagi na łukowe wygięcie brzegów Mierzei Wiślanej azymuty profili batymetrycznych stopniowo maleją (Skowronki $A_{z,S}$=351.40°, Nowy Świat $A_{z,N\acute{S}}$ =347.97°), co w efekcie skutkuje zmianą wypadkowego rocznego kierunku transportu rumowiska,
- podobnie jak dla Skowronek taki zrównoważony rozkład występowania transportu wzdłużbrzegowego rumowiska w obu kierunkach oznacza, że w poszczególnych latach wypadkowy transport osadów może być skierowany bądź z zachodu na wschód, bądź też w kierunku przeciwnym,

- porównując obliczone rozkłady transportu rumowiska z kształtem profilu batymetrycznego widać, że również w tym przypadku można wyróżnić trzy strumienie przemieszczającego się rumowiska. Pierwszy, znacznie większy niż w rejonie Skowronek, występuje w bezpośrednim sąsiedztwie brzegu w odległości 50÷100 m od brzegu, drugi, najsilniejszy, zlokalizowany na odmorskim skłonie pierwszej odlądowej rewy w odległości 150÷200 od brzegu i wreszcie trzeci, najmniejszy, występujący na odmorskim skłonie drugiej rewy w odległości 350÷400 m od brzegu,
- wypadkowy roczny transport rumowiska charakteryzuje się dwukierunkowością, pierwsze dwa strumienie do odległości około 200 m od brzegu są skierowane z zachodu na wschód, czyli podobnie jak w Skowronkach, natomiast trzeci strumień, tj. dla odległości większej od 350 m jest skierowany ze wschodu na zachód,
- transport rumowiska odbywa się głównie w pasie o szerokości do około 450 m liczonym od linii brzegowej.

5.2.3 Transport rumowiska w rejonie Piasków

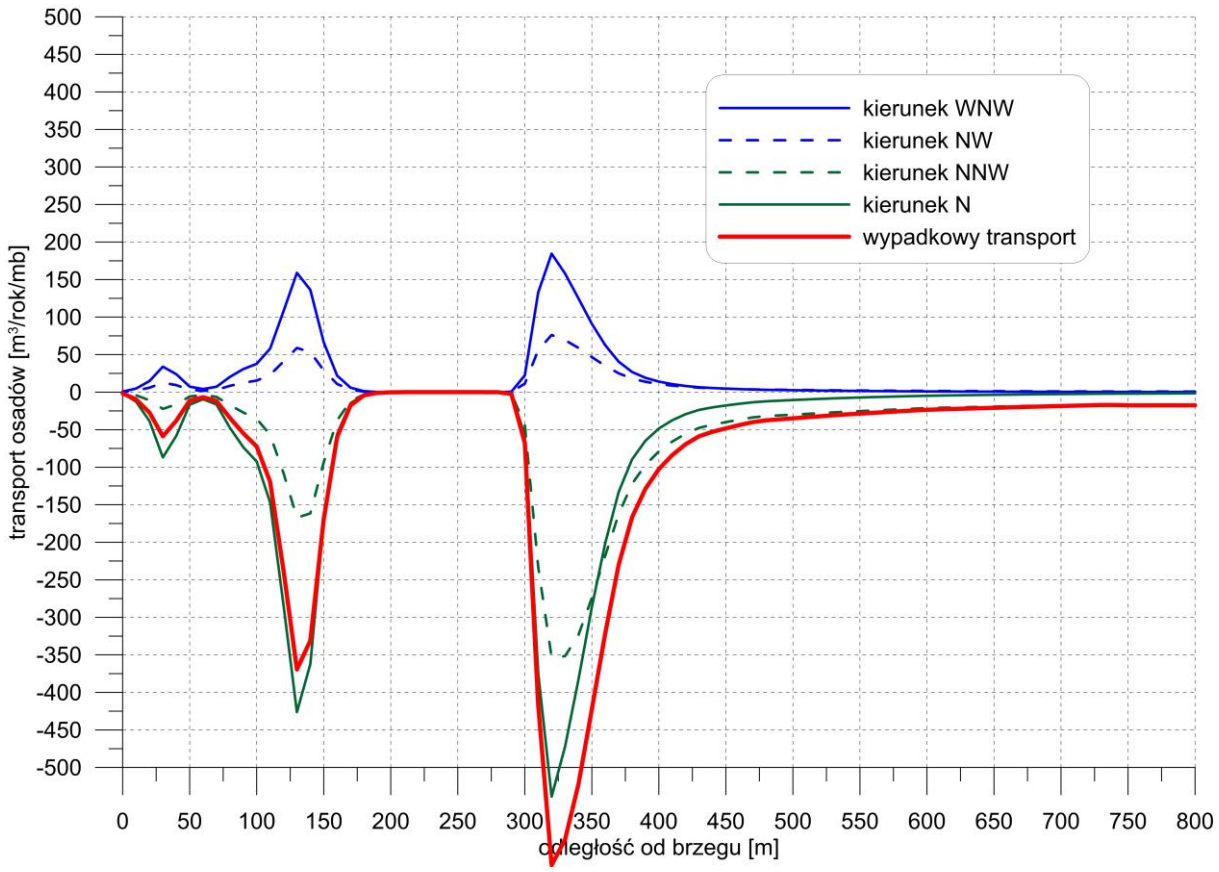
Obliczone wielkości wzdłużbrzegowego transportu rumowiska dla poszczególnych kierunków podchodzenia falowania do brzegu oraz wypadkowy roczny transport w ciągu roku łącznie z czasami ich występowania pokazano w tab. 5.3.

Tab. 5.3 Obliczone wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów i czasy ich występowania w średnim roku statystycznym w rejonie Piasków

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	1 000	12.5	NNW	-46 000	44.5
WNW	17 000	45.9	N	-49 000	90.5
NW	8 000	77.2	NNE	-1 000	18.4
			NE	0*	8.0
Suma	26 000	135.6	Suma	-96 000	161.4
Transport wypadkowy: -70 000 m^3/rok Łączny czas w roku 297.0 doby					

0* - transport poniżej 1000 m^3/rok

Natomiast na rys. 5.7 przedstawiono obliczone rozkłady transportu rumowiska dla poszczególnych kierunków podchodzenia fali do brzegu w funkcji odległości od brzegu oraz roczny transport wypadkowy.



Rys. 5.7 Obliczone rozkłady wzdłużbrzegowego transportu osadów w funkcji odległości od brzegu dla poszczególnych kierunków podchodzenia fali oraz roczny transport wypadkowy dla rejonu Piasków

Z zamieszczonych w tab. 5.3 obliczonych wielkości transportu osadów oraz pokazanych na rys. 5.7 ich rozkładów w funkcji odległości od brzegu wynika, że:

- transporty rumowiska ze wschodu na zachód są zdecydowanie większe niż w przeciwnym kierunku,
- największy transport osadów z zachodu na wschód występuje przy falowaniu podchodzącego z kierunku WNW, a ze wschodu na zachód, podobnie jak dla rejonu Skowronek i Nowego Świata, przy falowaniu podchodzącego z kierunku N,
- przy falowaniu podchodzącym z kierunków W, NNE i NE transporty osadów są minimalne,
- łączny transport rumowiska przemieszczający się z zachodu na wschód wynosi 26 tys. m^3/rok, a w kierunku ze wschodu na zachód –96 tys. m^3/rok,
- wypadkowy roczny transport rumowiska w średnim roku statystycznym jest znaczny, wynoszący 70 tys. m^3/rok, i skierowany ze wschodu na zachód,
- łączny czas występowania falowania w ciągu roku podchodzącego z kierunków zachodnich wynosi 45.7%, a z kierunków wschodnich 54.3%, co oznacza około 9% przewagę falowania podchodzącego z kierunków wschodnich,
- podobnie jak dla Skowronek i Nowego Świata również w rejonie Piasków występują trzy strumienie przemieszczającego się rumowiska. Pierwszy, niewielki, występuje w bezpośrednim sąsiedztwie brzegu w odległości 20÷50 m od brzegu, drugi,

silniejszy, zlokalizowany na odmorskim skłonie pierwszej odlądowej rewy w odległości 100÷150 m od brzegu i wreszcie trzeci, najsilniejszy, usytuowany na odmorskim skłonie drugiej rewy w odległości 300÷350 m od brzegu,

- transport rumowiska odbywa się głównie w pasie o szerokości do około 450 m liczonym od linii brzegowej.

5.2.4 Podsumowanie

- Polskie 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 rocznego transportu rumowiska.
- Zróżnicowanie zarówno intensywności transportu rumowiska jak i jego kierunku wzdłuż brzegów Mierzei Wiślanej jest głównie wynikiem łukowego wygięcia linii brzegowej, a co za tym idzie zmieniającej się ekspozycji brzegu na docierające do niego pole falowe w ciągu roku.
- Obliczenia wielkości transportu osadów wg modelu van Rijna wykonano licencyjnym, holenderskim programem numerycznym *UNIBEST-LT* (wersja 4.0) wchodzącym w skład pakietu numerycznego *UNIBEST*. Obliczenia te zrealizowano w reprezentatywnych profilach batymetrycznych usytuowanych w rejonie Skowronek na km 27.0, w rejonie Nowego Świata na km 24.0 i w rejonie Piasków na km 2.0.
- Obliczenia wykonano dla aktualnych danych batymetrycznych pomierzonych w marcu 2017 roku i dostarczonych prze Zamawiającego. Dla każdego z rozpatrywanych rejonów pomiary obejmowały około 500-metrowy odcinek brzegu i sięgały w głąb morza do głębokości około 7.5 m. Dla potrzeb obliczeniowych profile te zostały przedłużone do odległości odpowiadającej położeniom punktom prognostycznym falowania. W tym celu poszczególne profile uzupełniono punktami głębokościowymi uzyskanymi z mapy nawigacyjnej Zatoki Gdańskiej.
- Profile batymetryczne charakteryzują się występowaniem dwóch dobrze rozbudowanych rew, rozdzielonych głęboką doliną między nimi o maksymalnych głębokościach wynoszących 5 m w Skowronkach, 5.5 m w Nowym Świecie i 5.5 m w Piaskach. We wszystkich tych obszarach w odległości około 700 m od brzegu głębokości wynoszą 7.5 m.
- W celu wyznaczenia parametrów falowania głębokowodnego przeanalizowano otrzymane z rekonstrukcji falowania na Bałtyku w okresie 44 lat (1958÷2001) zbiory falowe punktów prognostycznych położonych w obrębie Zatoki Gdańskiej, możliwie blisko rozpatrywanych miejsc lokalizacji kanału żeglugowego. Dla Skowronek i Nowego Świata kryterium to spełniał punkt prognostyczny o współrzędnych: 54°25’00” N, 19°18’00” E, głębokości $h \approx 45$ m, usytuowany w odległości około 6 km od brzegu, a dla Piasków punkt prognostyczny o współrzędnych 54°29’59” N, 19°35’12” E, głębokość $h \approx 50$ m, położony w odległości około 6.5 km od brzegu.
- Konieczne do wykonania obliczeń natężenia transportu osadów parametry falowania w średnim roku statystycznym wyznaczono w obu punktach prognostycznych

z 44-letnich zbiorów falowych. W celu wyznaczenia czasów trwania określonych wysokości falowania dla poszczególnych kierunków przyjęto przedziały wysokości fali co 0.5 m i dla każdego z nich obliczono średnie wysokości fal znacznych H_s, średnie okresy piku T_p, średnie azymuty promieni fali A_z oraz czasy trwania.

- W rejonie Skowronek w średnim roku statystycznym wypadkowy roczny transport rumowiska jest niewielki, wynosi 12 tys. m^3/rok i skierowany jest z zachodu na wschód. Wyróżnić można trzy strumienie przemieszczającego się rumowiska, odpowiednio na skłonie brzegowym, oraz na odmorskich stokach pierwszej i drugiej rewy. Szerokość strefy brzegowej w której odbywa się główny transport osadów wynosi około 350 m liczonej od linii brzegowej.
- W rejonie Nowego Świata w średnim roku statystycznym wypadkowy roczny transport rumowiska jest minimalny, wynosi 3 tys. m^3/rok i skierowany jest ze wschodu na zachód. Podobnie jak dla Skowronek wyróżnić można trzy strumienie przemieszczającego się rumowiska, odpowiednio na skłonie brzegowym, oraz na odmorskich stokach pierwszej i drugiej rewy. Główny transport osadów odbywa w strefie brzegowej o szerokości do około 450 m od brzegu.
- W rejonie Piasków w średnim roku statystycznym wypadkowy roczny transport rumowiska jest znaczny, wynosi 70 tys. m^3/rok i skierowany jest ze wschodu na zachód. Również i dla tego rejonu wyróżnić można trzy strumienie przemieszczającego się rumowiska, odpowiednio na skłonie brzegowym, oraz na odmorskich stokach pierwszej i drugiej rewy. Szerokość strefy brzegowej w której odbywa się główny transport osadów nie przekracza odległości 450 m od brzegu.

Otrzymane rezultaty dobrze zgadzają się z przedstawionymi w pracy Ostrowskiego i innych (2010) wynikami obliczonych wielkości transportu rumowiska zarówno w polskiej (w rejonie Jantaru, Kątów Rybackich, Krynicy Morskiej i Piasków) jak i części rosyjskiej (Bałtyjska) Mierzei Wiślanej. Z obliczeń tych wynikało, że:

- u nasady Mierzei Wiślanej (Jantar) transport wypadkowy potoku rumowiska jest skierowany na zachód, na wysokości Kątów Rybackich jest on skierowany na wschód, a począwszy od rejonu Krynicy Morskiej aż do rejonu Bałtyjska jest on ponownie skierowany na zachód,
- pomiędzy Jantarem a Kątami Rybackimi oraz między Kątami Rybackimi a Krynicą Morską następują zmiany kierunku wypadkowego transportu osadów, w dalszej części Mierzei kierunek wypadkowy przemieszczania się rumowiska jest stały,
- w polskiej części Mierzei natężenie wypadkowego strumienia rumowiska jest niewielkie, nieprzekraczające wartości 18 tys. m^3/rok, dopiero w rejonie Piasków, w wyniku łukowego wygięcia brzegów Mierzei, zaczyna rosnąć,
- po rosyjskiej stronie granicy transport osadów jest zdecydowanie większy, osiągający w rejonie Jantarnego maksymalne wartości przekraczające 300 tys. m^3/rok i skierowany ze wschodu na zachód (a ściśle rzecz ujmując – z uwagi na położenie linii brzegowej w tym rejonie – z północy na południe).

Przedstawione wyniki obliczeń natężenia transportu osadów wzdłuż odmorskich brzegów Mierzei przedstawione zarówno w pracy Ostrowskiego i innych (2010) jak i w prezentowanym raporcie są zgodne z ogólną oceną intensywności procesów litodynamicznych przedstawioną w pracy Zawadzkiej-Kahlau (1999). Autorka 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. Również z porównania planów batymetrycznych, Jednorał (1996) dla rejonu Kątów Rybackich (km 28.0÷28.5) z 1961, 1971 i 1991 roku wynika, że zmiany głębokości obserwuje się głównie w rejonie pierwszej i drugiej rewy. Dla głębokości większych od 5 m układ dna jest stabilny.

6. Oddziaływanie planowanych falochronów na odmorskie brzegi Mierzei Wiślanej

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 wówczas 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 z uwagi na ułatwione warunki opływu konstrukcji przez rumowisko niż przy falochronach prostopadłych do brzegu. Ten ograniczony wpływ kształtu falochronów oznacza, że przy wyznaczaniu wielkości przebudowy brzegu w ich sąsiedztwie można zastąpić je budowlami prostopadłymi do brzegu.

W przeprowadzonych obliczeniach przyjęto falochrony prostopadłe do brzegu, tj. 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 przegrodzonymi falochronami przyjęto prostopadłe odległości, od głowic falochronów w kierunku brzegu odczytane z rys. 4.1 dla Skowronek, z rys. 4.2 dla Nowego Świata i z rys. 4.3 dla Piasków. Symulacje komputerowe określające wielkość przebudowy brzegu po obu stronach projektowanych falochronów wykonano licencyjnym, holenderskim programem numerycznym UNIBEST-CL (wersja 4.0) wchodzącym w skład pakietu numerycznego UNIBEST. Obliczenia zmian położenia linii brzegowej wykonano dla okresu 10 lat od wybudowania falochronów. Położenia linii brzegowej w poszczególnych lokalizacjach kanału żeglugowego przyjęto ze skaningu brzegów Mierzei Wiślanej wykonanego na zlecenie Urzędu Morskiego w Gdyni w okresie od 12.11 do 22.11. 2016 roku.

6.1 Ocena oddziaływania falochronów na brzegi Mierzei w rejonie Skowronek

Współrzędne geograficzne osi kanału od strony Zatoki Gdańskiej:

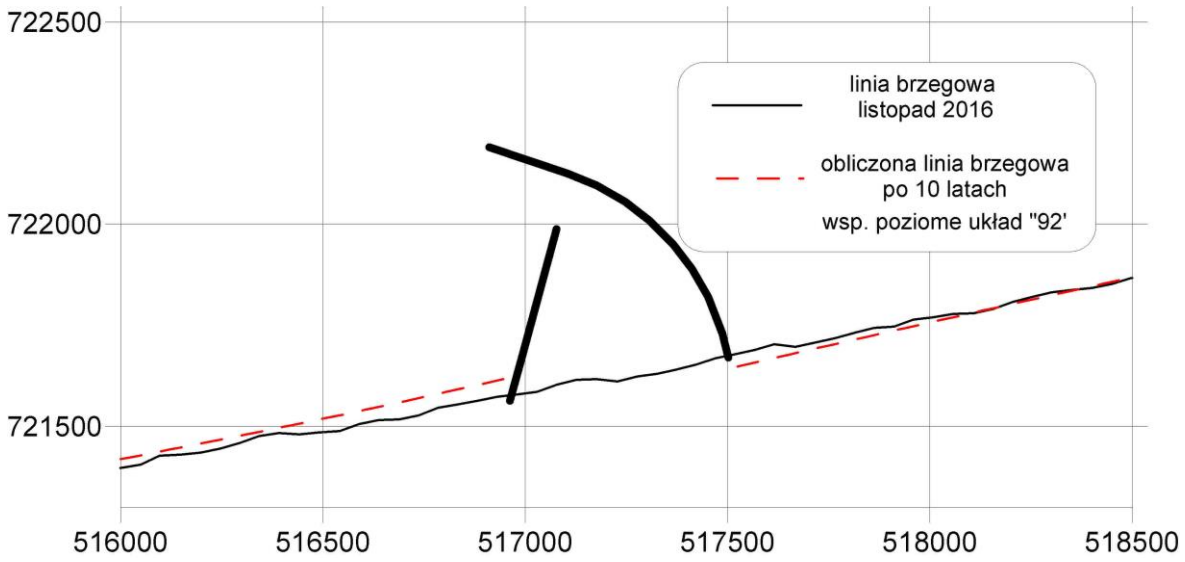
54°21'29.36" N, 19°18'00.56" E, co odpowiada około 27.0 km brzegu.

W przeprowadzonych obliczeniach przyjęto:

- rzeczywisty układ falochronów zastąpiono falochronami modelowymi prostopadłymi do brzegu,
- długość modelowych falochronów wyznaczono jako prostopadłą odległość głowic falochronów od brzegu odczytaną z rys. 4.1,
- długość falochronu wschodniego: 640 m, zachodniego: 390 m,

- odwzorowanie położenia linii brzegowej na wschód i zachód od projektowanych falochronów do odległości 2.5 km,
- całkowite blokowanie transportu rumowiska przez falochrony.

Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach po wybudowaniu falochronów pokazano na rys. 6.1. Dodatkowo w tab. 6.1 zamieszczono maksymalne przyrosty i ubytki brzegu w bezpośrednim sąsiedztwie falochronów oraz maksymalny zasięg zmian brzegowych po wschodniej i zachodniej stronie falochronów.



Rys. 6.1 Obliczone zmiany położenia linii brzegowej w Skowronkach po 10 latach

Tab. 6.1 Oszacowane zmiany brzegu w sąsiedztwie falochronów w Skowronkach po 10 latach.

Zmiany brzegowe w sąsiedztwie falochronów		Wzdłużbrzegowy zasięg zmian	
Strona zachodnia	Strona wschodnia	Strona zachodnia	Strona wschodnia
Przyrost ~20 m	Ubytek ~10 m	~500 m	~300 m

6.2 Ocena oddziaływania falochronów na brzegi Mierzei w rejonie Nowego Świata

Współrzędne geograficzne osi kanału od strony Zatoki Gdańskiej:

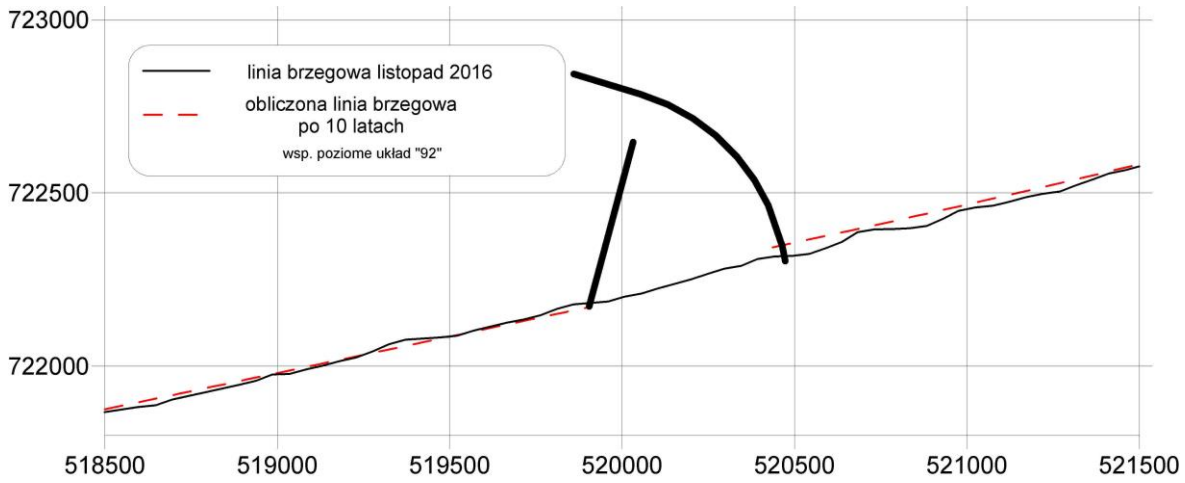
54°21’47.93” N, 19°18’00.56” E, co odpowiada około 24.0 km brzegu.

W przeprowadzonych obliczeniach przyjęto:

- rzeczywisty układ falochronów zastąpiono falochronami modelowymi prostopadłymi do brzegu,
- długość modelowych falochronów wyznaczono jako prostopadłą odległość głowic falochronów od brzegu odczytaną z rys. 4.2,
- długość falochronu wschodniego: 670 m, zachodniego: 435 m,

- odwzorowanie położenia linii brzegowej na wschód i zachód od projektowanych falochronów do odległości 2.5 km,
- całkowite blokowanie transportu rumowiska przez falochrony.

Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach po wybudowaniu falochronów pokazano na rys. 6.2. Dodatkowo w tab. 6.2 zamieszczono maksymalne przyrosty i ubytki brzegu w bezpośrednim sąsiedztwie falochronów oraz maksymalny zasięg zmian brzegowych po wschodniej i zachodniej stronie falochronów.



Rys. 6.2 Obliczone zmiany położenia linii brzegowej w Nowym Świecie po 10 latach

Tab. 6.2 Oszacowane zmiany brzegu w sąsiedztwie falochronów w Nowym Świecie po 10 latach.

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

6.3 Ocena oddziaływania falochronów na brzegi Mierzei w rejonie Piasków

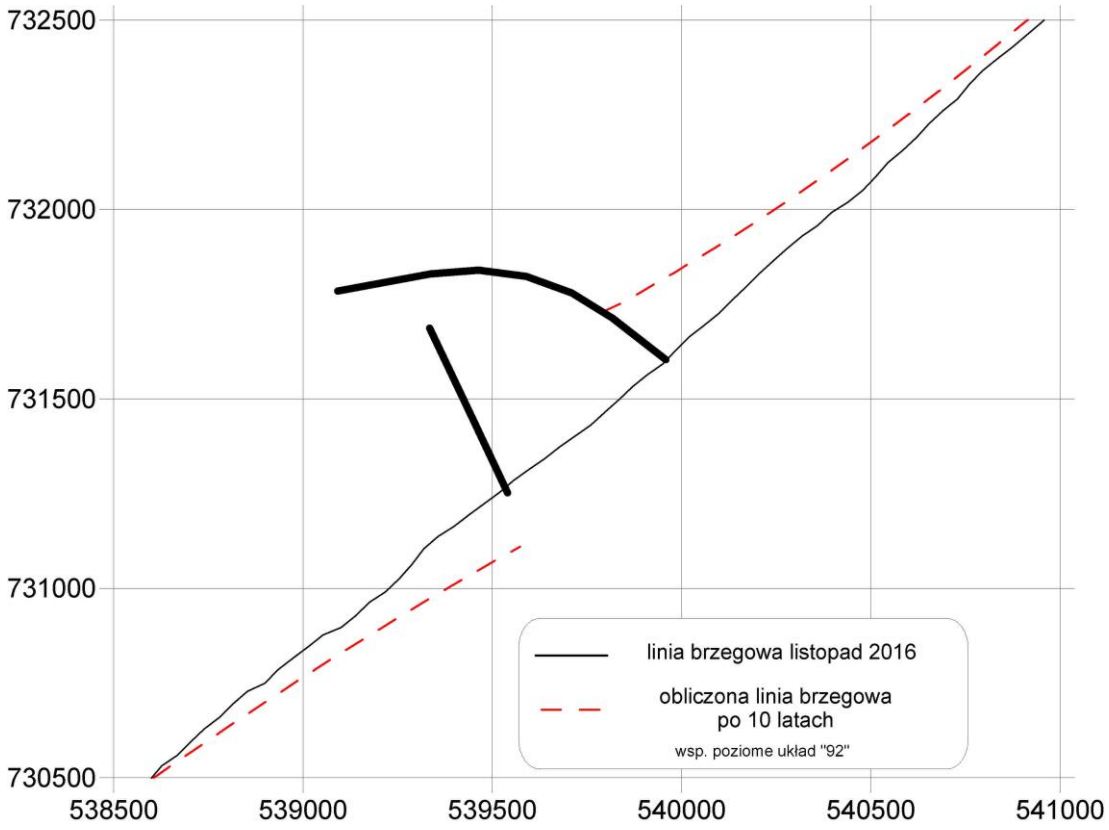
Współrzędne geograficzne osi kanału od strony Zatoki Gdańskiej:

54°26’43.48” N, 19°36’48.22” E, co odpowiada około 2.0 km brzegu.

W przeprowadzonych obliczeniach przyjęto:

- rzeczywisty układ falochronów zastąpiono falochronami modelowymi prostopadłymi do brzegu,
- długość modelowych falochronów wyznaczono jako prostopadłą odległość głowic falochronów od brzegu odczytaną z rys. 4.3,
- długość falochronu wschodniego: 690 m, zachodniego: 455 m,
- odwzorowanie położenia linii brzegowej na wschód i zachód od projektowanych falochronów do odległości 2.5 km,
- całkowite blokowanie transportu rumowiska przez falochrony.

Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach po wybudowaniu falochronów pokazano na rys. 6.3. Dodatkowo w tab. 6.3 zamieszczono maksymalne przyrosty i ubytki brzegu w bezpośrednim sąsiedztwie falochronów oraz maksymalny zasięg zmian brzegowych po wschodniej i zachodnie stronie falochronów.



Rys. 6.3 Obliczone zmiany położenia linii brzegowej w Piaskach po 10 latach

Tab. 6.3 Oszacowane zmiany brzegu w sąsiedztwie falochronów w Piaskach po 10 latach.

Zmiany brzegowe w sąsiedztwie falochronów		Wzdłużbrzegowy zasięg zmian	
Strona zachodnia	Strona wschodnia	Strona zachodnia	Strona wschodnia
Ubytek ~150 m	Przyrost ~170 m	~1800 m	~2000 m

6.4 Podsumowanie

- Najmniejsze oddziaływanie falochronów na odmorskie brzegi Mierzei Wiślanej będzie miało miejsce dla lokalizacji kanału żeglugowego w Nowym Świecie. Po 10 latach od wybudowania falochronów można oczekiwać niewielkiej erozji po stronie zachodniej falochronów, rzędu 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. Z uwagi bowiem na niewielki wypadkowy transport osadów zmiany brzegowe po obu stronach falochronów będą powolne i zmienne. 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.
- Po wybudowaniu falochronów osłaniających wejście do kanału żeglugowego w Skowronkach nastąpi akumulacja brzegu po stronie zachodniej falochronów i erozja brzegu po stronie wschodniej falochronów. Spodziewany przyrost brzegu po 10 latach w sąsiedztwie falochronu zachodniego wyniesie około 20 m i cofnięcie brzegu w sąsiedztwie falochronu wschodniego około 10 m. Zasięg wzdłużbrzegowych zmian po 10 latach od wybudowania falochronów wyniesie około 500 m w kierunku zachodnim i około 300 m w kierunku wschodnim.
- W Skowronkach, w odróżnieniu od Nowego Świata, zmiany brzegowe w sąsiedztwie falochronów będą trwałe.
- Zmiany brzegowe po wybudowaniu falochronów osłonowych w Piaskach będą duże. Nastąpi akumulacja brzegu po stronie wschodniej falochronów i erozja brzegu po stronie zachodniej falochronów. Spodziewane przyrosty linii brzegowej po 10 latach od wybudowania falochronów w bezpośrednim sąsiedztwie falochronu wschodniego wyniosą około 170 m i ubytki linii brzegowej po zachodniej stronie falochronów około 150 m. Zasięg wzdłużbrzegowych zmian po 10 latach od wybudowania falochronów wyniesie około 1800 m w kierunku zachodnim i około 2000 m w kierunku wschodnim.
- Przyjmując jako kryterium wyboru miejsca lokalizacji kanału żeglugowego przez Mierzeję tylko oddziaływanie falochronów osłaniających kanał na przebudowę brzegu w ich sąsiedztwie najlepszą lokalizacją jest Nowy Świat z uwagi na lokalny zasięg zmian brzegowych, które w zależności od rzeczywistych rozkładów pól falowych będą charakteryzowały się występowaniem naprzemiennych obszarów erozji i akumulacji brzegów po obu stronach falochronów.
- W przypadku wyboru lokalizacji kanału w Skowronkach należy się liczyć z ewentualną koniecznością ograniczenia erozji po stronie wschodniej falochronów. Wielkość tej erozji można ograniczyć poprzez:
  - wykorzystanie urobku pochodzącego z okresowych podczyszczeń toru podejściowego i odkładanie go na brzegu po wschodniej stronie falochronów,
  - stworzenie po wschodniej stronie falochronów „magazynu” rumowiska pochodzącego z budowy kanału żeglugowego.
- Budowa kanału żeglugowego w Piaskach z uwagi na znaczne oddziaływanie falochronów osłonowych na brzegi jest niecelowa.

7. Oszacowanie tempa zapiaszczania akwenu położonego w sąsiedztwie głowic falochronów osłaniających wejście do projektowanego kanału

O ile przy ocenie oddziaływania falochronów na brzegi morskie sprawą kluczową jest szerokość strefy brzegowej przegrodzonej falochronami, to przy określaniu tempa zapiaszczania wejść portowych sprawą równie ważną są także kształty tych falochronów oraz usytuowanie wejść portowych, tj. ich odległość od brzegu i głębokości pomiędzy głowicami falochronów. Zapiaszczanie torów podejściowych i wejść do portu jest tym mniejsze, im falochrony wyprowadzone są na większe głębokości.

W opracowaniu Mioduszewskiego i innych (2007) zamieszczono, określone przez Zarząd Portu Morskiego w Elblągu, wymiary geometryczne statku projektowego. Są one następujące: długość maksymalna 100 m, szerokość maksymalna 20 m, zanurzenie maksymalne 4 m. Dla takich parametrów statku przyjęto szerokość kanału żeglugowego 60 m i docelową głębokość użytkową równą 5 m. Z kolei w Studium Wykonalności (2007/2008) przyjęto, że tor podejściowy do kanału żeglugowego od strony morza powinien mieć głębokość 5.5 m oraz szerokość w dnie 60 m.

7.1 Szacunkowa ocena zapiaszczania wejścia portowego prowadzącego do kanału żeglugowego w Skowronkach

Naturalne głębokości w rejonie wejścia portowego i odległości od brzegu (rys. 5.1):

- głębokości przy głowicy falochronu zachodniego → 5.0 m,
- głębokości przy głowicy falochronu wschodniego → 7.0 m,
- głębokości w osi toru wodnego → 6.0 m,
- prostopadła odległość głowicy falochronu zachodniego od brzegu → 390 m,
- prostopadła odległość głowicy falochronu wschodniego od brzegu → 640 m.

Falochron wschodni ma kształt wydłużonego łuku osłaniającego wejście portowe przed falowaniem podchodzącym z kierunków od NNW przez N do całego zakresu kierunków wschodnich. Falochron zachodni prosty, odchylony pod kątem około 20° od kierunku prostopadłego do brzegu w kierunku wschodnim, osłania akwen portowy przed falowaniem podchodzącym z kierunków zachodnich.

Z przeprowadzonych obliczeń wielkości i rozkładów transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu oraz obliczonych oddziaływań projektowanych falochronów na zmiany położenia linii brzegowej wynika, że:

- do wnętrza portu może przenikać rumowisko przenoszone przez falowanie podchodzące z kierunków: WNW, NW i NNW,
- szerokość wejścia przez które będą wchodziły osady można oszacować jako równe różnicy prostopadłych do brzegu odległości głowicy falochronu zachodniego i wschodniego, tj.: B= 640 – 390 = 250 m,
- przyrost brzegu po zachodniej stronie falochronu zachodniego po 10 latach po wybudowaniu falochronów wyniesie około 20 m,
- przyrost brzegu spowoduje podobne przesunięcie całego profilu batymetrycznego w kierunku morza, skąd korona drugiej rewy przesunie się także o około 20 m w kierunku głowicy falochronu zachodniego,

- przy prostopadłej odległości głowicy falochronu zachodniego od brzegu równej 390 m druga rewa nie dotrze w pobliże głowicy falochronu zachodniego w ciągu 10 lat od wybudowania falochronów.

W tab. 7.1 zamieszczono obliczone kubatury rumowiska przenikającego do wnętrza portu oraz oszacowane na ich podstawie roczne spłycenia akwenu portowego. W obliczeniach tych założono, że transport rumowiska odkłada się w miarę równomiernie na całej szerokości toru wodnego i sięga w głąb portu na odległość 100÷200 m liczoną od umownej prostej łączącej głowice falochronów.

Tab. 7.1 Oszacowane roczne spłycenia akwenu portowego w Skowronkach

Szerokość wejścia B [m]	Obliczony transport osadów wchodzący do portu [m^3/rok]				Szerokość toru wodnego [m]	Zasięg odkładania rumowiska w porcie [m]	Powierzchnia odkładu [m^2]	Wielkość spłycenia [m]
	Kierunki			Łączny				
	WNW	NW	NNW					
250	1	977	894	1872	120 120	100 200	12000 24000	0.16 0.08

Przy falochronach rozciągających się na odległość co najmniej 390 m od brzegu (falochron zachodni), tj. do naturalnych głębokości 5 m, znika konieczność budowy toru podejściowego Przenikający do wnętrza portu transport osadów spowoduje spłycenie akwenu położonego w rejonie wejścia portowego rzędu 0.08÷0.16 m rocznie. Problemy ze spłycaniem wejścia do portu rozpoczną się dopiero po dostatecznie dużym przybliżeniu się drugiej rewy w jego sąsiedztwo. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że problemy z udrażnianiem wejścia portowego nie powinny wystąpić w pierwszych 10 latach eksploatacji portu.

7.2 Szacunkowa ocena zapiaszczania wejścia portowego prowadzącego do kanału żeglugowego w Nowym Świecie

Naturalne głębokości w rejonie wejścia portowego i odległości od brzegu (rys. 4.2):

- głębokości przy głowicy falochronu zachodniego → 4.5 m,
- głębokości przy głowicy falochronu wschodniego → 7.5 m,
- głębokości w osi toru wodnego → 6.0 m,
- prostopadła odległość głowicy falochronu zachodniego od brzegu → 435 m,
- prostopadła odległość głowicy falochronu wschodniego od brzegu → 670 m.

Falochron wschodni, podobnie jak w Skowronkach, ma kształt wydłużonego łuku osłaniającego wejście portowe przed falowaniem podchodzącym z kierunków od NNW przez N do całego zakresu kierunków wschodnich. Falochron zachodni prosty, odchylony pod kątem około 20° od kierunku prostopadłego do brzegu w kierunku wschodnim, osłania akwen portowy przed falowaniem podchodzącym z kierunków zachodnich.

Z przeprowadzonych obliczeń wielkości i rozkładów transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu oraz obliczonych oddziaływań projektowanych falochronów na zmiany położenia linii brzegowej wynika, że:

- do wnętrza portu może przenikać rumowisko przenoszone przez falowanie podchodzące z kierunków: WNW, NW i NNW,

- szerokość wejścia przez które będą wchodziły osady można oszacować jako równe różnicy prostopadłych do brzegu odległości głowicy falochronu zachodniego i wschodniego, tj.: *B*= 670 – 435 = 235 m,
- ubytek brzegu po zachodniej stronie falochronu zachodniego po 10 latach po wybudowaniu falochronów wyniesie około 5 m,
- cofnięcie brzegu będzie na tyle małe, że nie spowoduje zmian w obecnym położeniu obu rew, tj. korona pierwszej rewy będzie położona w odległości około 160 m od brzegu, a korona drugiej rewy w odległości około 350 m od brzegu,
- w ciągu 10 lat od wybudowania falochronów druga rewa nie przemieści się w pobliże głowicy falochronu zachodniego.

W tab. 7.2 zamieszczono obliczone kubatury rumowiska przenikającego do wnętrza portu oraz oszacowane na ich podstawie roczne spłycenia akwenu portowego. W obliczeniach tych założono, że transport rumowiska odkłada się w miarę równomiernie na całej szerokości toru wodnego równego 120 m i sięga w głąb portu na odległość 100÷200 m liczoną od umownej prostej łączącej głowice falochronów.

Tab. 7.2 Oszacowane roczne spłycenia akwenu portowego w Nowym Świecie

Szerokość wejścia B [m]	Obliczony transport osadów wchodzący do portu [m^3/rok]				Szerokość toru wodnego [m]	Zasięg odkładania rumowiska w porcie [m]	Po-wierzchnia odkładu [m^2]	Wielkość spłycenia [m]
	Kierunki			Łączny				
	WNW	NW	NNW					
235	2	1054	604	1660	120 120	100 200	12000 24000	0.14 0.07

Przy falochronie zachodnim sięgającym do odległości 435 m od brzegu, tj. do naturalnych głębokości 4.5 m koniecznym będzie pogłębienie skraju toru wodnego przy tej głowicy. Przenikający do wnętrza portu transport osadów spowoduje spłycenie akwenu położonego w rejonie wejścia portowego rzędu 0.07÷0.14 m rocznie. Z uwagi na niewielką tendencję do cofania się brzegu po stronie zachodniej falochronów położenie drugiej rewy nie powinno ulec zmianie, a tym samym nie istnieje niebezpieczeństwo, że rewa ta dotrze w pobliże głowicy falochronu zachodniego. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że problemy z udrażnianiem wejścia portowego nie wystąpią w pierwszych 10 latach eksploatacji portu.

7.3 Szacunkowa ocena zapiaszczania wejścia portowego prowadzącego do kanału żeglugowego w Piaskach

Naturalne głębokości w rejonie wejścia portowego i odległości od brzegu (rys. 4.3):

- głębokości przy głowicy falochronu zachodniego → 6.0 m,
- głębokości przy głowicy falochronu wschodniego → 8.0 m,
- głębokości w osi toru wodnego → 6.5 m,
- prostopadła odległość głowicy falochronu zachodniego od brzegu → 455 m,
- prostopadła odległość głowicy falochronu wschodniego od brzegu → 690 m.

Falochron wschodni, podobnie jak dla pozostałych dwóch rozpatrywanych lokalizacji, ma kształt wydłużonego łuku osłaniającego wejście portowe przed falowaniem

podchodzącym z kierunków od NW przez N do całego zakresu kierunków północno-wschodnich. Falochron zachodni prosty, odchylony pod kątem około 15° od kierunku prostopadłego do brzegu w kierunku wschodnim, osłaniający akwen portowy przed falowaniem podchodzącym z kierunków zachodnich.

Z przeprowadzonych obliczeń wielkości i rozkładów transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu oraz obliczonych oddziaływań projektowanych falochronów na zmiany położenia linii brzegowej wynika, że:

- do wnętrza portu może przenikać rumowisko przenoszone przez falowanie podchodzące z kierunków: W, WNW i NW,
- szerokość wejścia przez które będą wchodziły osady można oszacować jako równe różnicy prostopadłych do brzegu odległości głowicy falochronu zachodniego i wschodniego, tj.: B= 690 – 455 = 235 m,
- ubytek brzegu po zachodniej stronie falochronu zachodniego po 10 latach po wybudowaniu falochronów wyniesie około 150 m,
- to cofnięcie brzegu spowoduje podobne przesunięcie całego profilu batymetrycznego w kierunku lądu, co oznacza, że obie rewy będą się przemieszczały wyłącznie w kierunku lądu,
- w rezultacie, niezależnie od długości falochronu zachodniego druga rewa nie ma możliwości przemieszczenia się w pobliże głowicy falochronu zachodniego.

W tab. 7.3 zamieszczono obliczone kubatury rumowiska przenikającego do wnętrza portu oraz oszacowane na ich podstawie roczne spłycenia akwenu portowego. W obliczeniach tych założono, że transport rumowiska odkłada się w miarę równomiernie na całej szerokości toru wodnego równego 120 m i sięgaj w głąb portu na odległość 100÷200 m liczoną od umownej prostej łączącej głowice falochronów.

Tab. 7.3 Oszacowane roczne spłycenia akwenu portowego w Piaskach

Szerokość wejścia B [m]	Obliczony transport osadów wchodzący do portu [m^3/rok]				Szerokość toru wodnego [m]	Zasięg odkładania rumowiska w porcie [m]	Po-wierzchnia odkładu [m^2]	Wielkość spłycenia [m]
	Kierunki			Łączny				
	W	NW	NNW					
235	~0	427	559	986	120 120	100 200	12000 24000	0.08 0.04

Przy falochronie zachodnim sięgającym do odległości 455 m od brzegu, tj. do naturalnych głębokości 6.0 m, nie będzie konieczności wykonania toru podejściowego do portu. Przenikający do wnętrza portu transport osadów spowoduje spłycenie akwenu położonego w rejonie wejścia portowego rzędu 0.04÷0.08 m rocznie. Z uwagi na znaczne cofanie się brzegu po stronie zachodniej falochronów, a tym samym także cofanie się obu rew nie istnieje możliwość, aby druga rewa dotarła w pobliże głowicy falochronu zachodniego. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że problemy z udrażnianiem wejścia portowego nie wystąpią w pierwszych 10 latach eksploatacji portu.

7.4 Podsumowanie

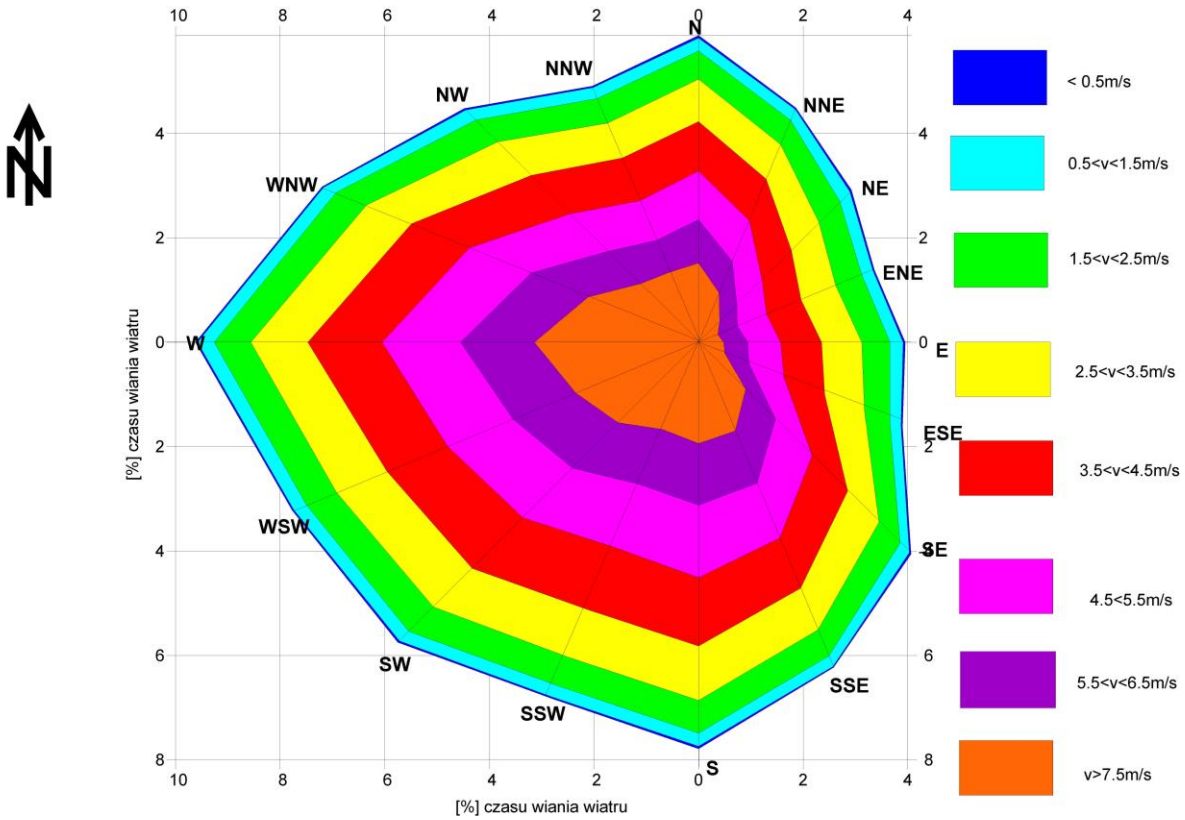
- Skowronki
  - w pierwszych 10 latach po wybudowaniu falochronów nie powinno być problemów związanych z utrzymaniem wymaganych głębokości nawigacyjnych,
  - w pierwszych 10 latach eksploatacji portu nie wystąpią problemy związane z zamykaniem wejścia portowego przez okrążającą zachodni falochron drugą rewę,
  - tempo zasypywania akwenu portowego położonego w rejonie wejścia o długości 100÷200 m przy założonym równomiernym jego rozłożeniu w torze wodnym, oszacowano jako zawarte w przedziale od 0.08 do 0.16 m/rok.
- Nowy Świat
  - w pierwszych 10 latach po wybudowaniu falochronów nie wystąpią problemy związane z utrzymaniem wymaganych głębokości nawigacyjnych,
  - z uwagi na niewielką tendencję do przyrostu brzegu po stronie wschodniej portu nie wystąpią problemy związane z zamykaniem wejścia portowego przez okrążającą zachodni falochron drugą rewę,
  - tempo zasypywania akwenu portowego położonego w rejonie wejścia o długości 100÷200 m przy założonym równomiernym jego rozłożeniu w torze wodnym, określono jako zawarte w przedziale od 0.07 do 0.14 m/rok.
- Piaski
  - w pierwszych 10 latach po wybudowaniu falochronów nie wystąpią problemy związanych z utrzymaniem wymaganych głębokości nawigacyjnych,
  - pomimo znacznego przyrostu brzegu po stronie wschodniej portu w ciągu pierwszych 10 lat nie wystąpią problemy związane z zamykaniem wejścia portowego przez okrążającą wschodni falochron drugą rewę,
  - tempo zasypywania akwenu portowego położonego w rejonie wejścia o długości 100÷200 m przy założonym równomiernym jego rozłożeniu w torze wodnym, określono jako zawarte w przedziale od 0.04 do 0.08 m/rok.

8. Zalew Wiślany

8.1 Wyznaczenie parametrów falowania na Zalewie Wiślanym dla potrzeb projektowania stanowiska postojowego statków oraz sztucznej wyspy

Na Zalewie Wiślanym nie prowadzono systematycznych pomiarów prędkości i kierunków wiatru. Dane te są niezbędne do określenia parametrów falowania wiatrowego występującego na tym obszarze. Dla potrzeb niniejszej pracy, podobnie jak do wyznaczenia falowania na wodach Zatoki Gdańskiej, wykorzystano dane wiatrowe pochodzące z regionalnego modelu atmosferycznego REMO (Regional Climate Model 2001) uzyskane metodą numerycznych symulacji na podstawie znajomości pól barycznych zarejestrowanych nad Bałtykiem w okresie 44 lat (1958÷2001). Obliczenia te zostały wykonane w siatce numerycznej o odległości między węzłami wynoszącymi około 9 km. W wyniku tych obliczeń otrzymano dla każdej kolejnej godziny w każdym roku reprezentatywne prędkości i kierunku wiatrów.

Dla potrzeb niniejszej pracy do statystycznych analiz prędkości wiatrów wybrano reprezentatywny punkt prognostyczny o współrzędnych 54°29’59” N, 19°35’12” E i głębokości $h \approx 50$ m położony po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej. Otrzymane dane wiatrowe zostały przeanalizowane dla szesnastokierunkowej róży wiatrów, rys. 8.1.



Rys. 8.1 Częstotliwościowo-kierunkowa róża wiatrów wyznaczona na podstawie znajomości pól barycznych zarejestrowanych nad Bałtykiem w okresie 44 lat (1958÷2001) w punkcie o współrzędnych 54°29’59” N, 19°35’12” E położonym po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej

Przy stanowiskach postojowych statków (lub na bezpośrednim przedpolu ewentualnych falochronów osłaniających te stanowiska) dla wszystkich rozpatrywanych lokalizacji budowy

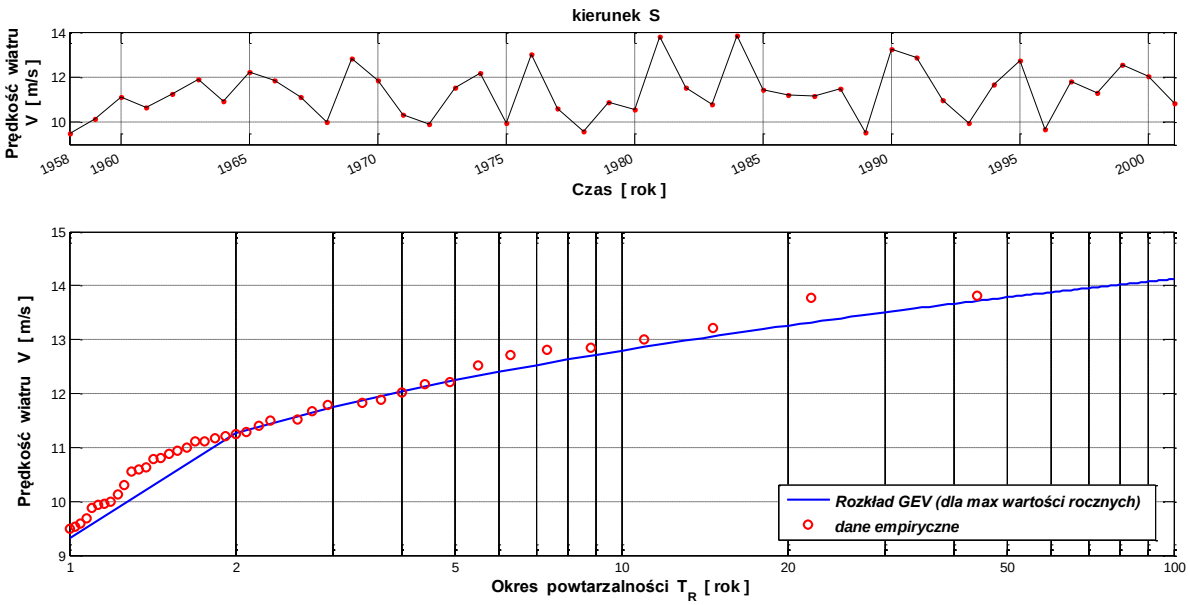
kanału żeglugowego wiatry wiejące z kierunków południowych generują najwyższe fale podchodzące w przybliżeniu prostopadle do zalewowych brzegów Mierzei.

Sztuczna wyspa zbudowana z urobku pochodzącego z robót czerpalnych będzie najbardziej narażona na rozmywanie przez fale wywołane wiatrami wiejącymi z kierunku NE, tj. w przybliżeniu równolegle do osi podłużnej Zalewu. Dla takich warunków najwyższe fale będą generowane w rejonie zachodniego skraju Zalewu Wiślanego z uwagi na największą rozciągłość działania wiatrów.

Z powodu płytkości Zalewu i niewielkich rozciągłości działania wiatru falowanie wiatrowe osiąga swoje maksimum już po upływie 2÷3 godz. od chwili pojawienia się silnego wiatru.

Prędkości wiatrów o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 lat wyznaczono przyjmując dla każdego roku, ze zbioru pól wiatrowych z lat 1958÷2001 ograniczonych do rozpatrywanych kierunków, maksymalną prędkość wiatru V_{max}. Następnie, tak otrzymany 44-elementowy zbiór opisano rozkładem Generalized Extreme Value Distribution (GEV), w rezultacie otrzymując rozkład Weibulla ze względu na wartość parametru kształtu analizowanego zestawu danych.

Przykładowo na rys. 8.2 dla kierunku wiatru S pokazano zarówno maksymalne roczne prędkości wiatrów (góra rysunku), jak i obliczone rozkładem Weibulla prędkości wiatrów o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia (dół rysunku).



Rys. 8.2 Obliczone rozkładem Weibulla dla kierunku S prędkości wiatrów o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na T_R lat

Dla wyznaczonych prędkości wiatrów o okresie powtarzalności T_R = 100 lat obliczono z modeli prognostycznych odpowiadające im parametry falowania. Obliczenia te wykonano czterema niezależnymi modelami matematycznymi, opisanymi w: CEM (2003), Hasselmann i in. (1973), Young i Verhagen (1996) oraz Young (1997). Wyniki tych obliczeń zamieszczono w tab. 8.1.

Dla budowli narzutowych (obudowa sztucznej wyspy, ewentualne falochrony osłonowe stanowisk postojowych) parametry fal znacznych są równoznaczne z parametrami fal projektowych.

Tab. 8.1 Obliczone parametry fal znacznych o prawdopodobieństwie wystąpienia T_R=100 lat w punktach położonych na przedpolach Skowronek, Nowego Świata, Piasków oraz na zachodnim skraju Zalewu Wiślanego

Kierunek wiatru	Prędkość wiatru [m/s]	Lokalizacja								
		Skowronki Nowy Świat			Piaski			zachodni skraj Zalewu		
		H_s	T_p	L	H_s	T_p	L	H_s	T_p	L
NE	16.0							0.86	4.1	20
S	14.1	0.68	3.2	14	0.69	3.2	14			
SSW	15.4	0.63	3.2	13	0.71	3.4	15			

Parametry fali projektowej

- dla stanowisk postojowych na Zalewie:

Skowronki i Nowy Świat → H_s=0.68 m, T_p=3.2 s, L=14.0 m,

Piaski → H_s=0.71 m, T_p=3.4 s, L=15.0 m.

- dla sztucznej wyspy powstałej w wyniku odkładania urobku czerpalnego:

H_s=0.86 m, T_p=4.1 s, L=20 m

8.2 Zlodzenie

W Zalewie Wiślanym panują specyficzne warunki dla występowania zjawisk lodowych. Oprócz klimatycznych, kontynentalnych cech regionu Zalewu, dołączają się jeszcze takie czynniki jak mała głębokość akwenu, jego podłużny kształt i niewielkie zasolenie wód, co w efekcie przyspiesza okres zlodzenia. Pokrywa lodowa może nawet powstać w ciągu jednej mroźnej nocy, Łomniewski (1958).

Na Zalewie Wiślanym lód pojawia się corocznie. Liczba dni z lodem jest różna i waha się od około 30 do około 150 dni, (Miętus i in. 2011). Przeciętna długość sezonu lodowego wynosi około 100 dni. W ciągu ostatnich 100 lat, najwcześniej lód pojawił się w pierwszych dniach listopada, a najpóźniej w trzeciej dekadzie stycznia. Najdłużej lód utrzymywał się w 1996 roku – do 16 kwietnia, tab. 8.2.

Początek okresu zlodzenia na Zalewie Wiślanym waha się średnio pomiędzy 18 listopada a 8 grudnia. Z kolei zakończenie okresu zlodzenia następuje średnio pomiędzy 11 marca a 24 kwietnia. Najwcześniejsze pojawienie się lodu w polskiej części zalewu nastąpiło 10 listopada, a najpóźniejsze jego ustąpienie 22 kwietnia.

Tab. 8.2 Liczba dni z lodem zaobserwowana na zalewie Wiślanym (Miętus i in. 2011)

Lata	Liczba dni z lodem	Lata	Liczba dni z lodem
1984/85	110	1995/96	146
1985/86	110	1996/97	87
1986/87	111	1997/98	44
1987/88	72	1998/99	106
1988/89	31	1999/00	45
1989/90	46	2000/01	54
1990/91	72	2001/02	56
1991/92	38	2002/03	109
1992/93	62	2003/04	84
1993/94	71	2004/05	68
1994/95	44		

Typowe kolejne etapy zamarzania Zalewu są następujące:

- szybkie wychładzanie się lądu przyśpiesza tworzenie się lodu u brzegów południowych,
- następnie w ciągu 3÷4 dni lód pojawia na brzegach zachodnich i północnych,
- po kolejnych 3÷4 dniach lód pojawia się na otwartych wodach Zalewu.

W sąsiedztwie Rynny Bałtyjskiej wlewy cieplejszej wody morskiej utrudniają powstawanie pokrywy lodowej. W tym rejonie nie występuje lód stały.

Grubość lodu

Maksymalna grubość lodu zależy od surowości zimy. W zależności od surowości zimy, po około 50 dniach od daty wystąpienia pierwszego lodu, można przyjąć następujące grubości lodu:

- 25 cm dla zim umiarkowanych,
- 30 cm dla zim surowych
- 50÷60 cm dla zim bardzo surowych.

Przebieg topnienia

Najwcześniejszy termin zaniku lodu przypada na połowę lutego, najpóźniejszy – na połowę kwietnia. Średnio można przyjąć (Miętus i in. 2011), że topnienie lodu zaczyna się w końcu lutego lub na początku marca. Rozpad pokrywy lodowej rozpoczyna się zwykle w sąsiedztwie Rynny Bałtyjskiej, a następnie w ujściach rzek. Ważna rolę odgrywa wiatr, który przemieszczając masy lodu przyspiesza proces zaniku lodu w centralnych częściach Zalewu. Ostateczny zanik lodu następuje zazwyczaj w drugiej połowie marca, średnio 10 dni po terminie rozpadu lodu stałego. Końcowy okres dryfującej kry nie trwa przeciętnie dłużej niż 2 dni. W okresie zaniku pokrywy lodowej często utrzymuje się ona jeszcze w sąsiedztwie brzegów w postaci lodu przybrzeżnego. Fale i wiatry wyrzucają krę na brzeg, gdzie tworzą się zwały lodowe osiągające wysokość 2÷3 m, Łomniewski (1958).

8.3 Poziomy wody

Poziomy wody na Zalewie Wiślanym zależą od chwilowych warunków meteorologicznych panujących w obszarze południowego Bałtyku (Zatoka Gdańska) oraz od aktualnego stanu napełnienie zbiornika wynikającego z długookresowych i sezonowych wahań stanów wody w Zatoce Gdańskiej i w Zalewie.

Wysokie stany wody w południowo-zachodniej części Zalewu powstają głównie wskutek wlewów wód Bałtyku po długotrwałym wietrze z sektora zachodniego, połączonego z następującym po nim wietrze z kierunków NW i N. Dla takich warunków występują wówczas największe spiętrzenia wód Bałtyku u jego południowo-wschodnich brzegów. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na stany wód Zalewu są spiętrzenia wiatrowe. Jeżeli po wlewach wód Bałtyku do Zalewu następują spiętrzenia wywołane wiatrami z kierunku NE, tj. wzdłuż podłużnej osi Zalewu, to dochodzi wówczas do katastrofalnie wysokich stanów zagrażających przerwaniem wałów przeciwsztormowych i zagrożeniem terenów depresyjnych na Żuławach Wiślanych.

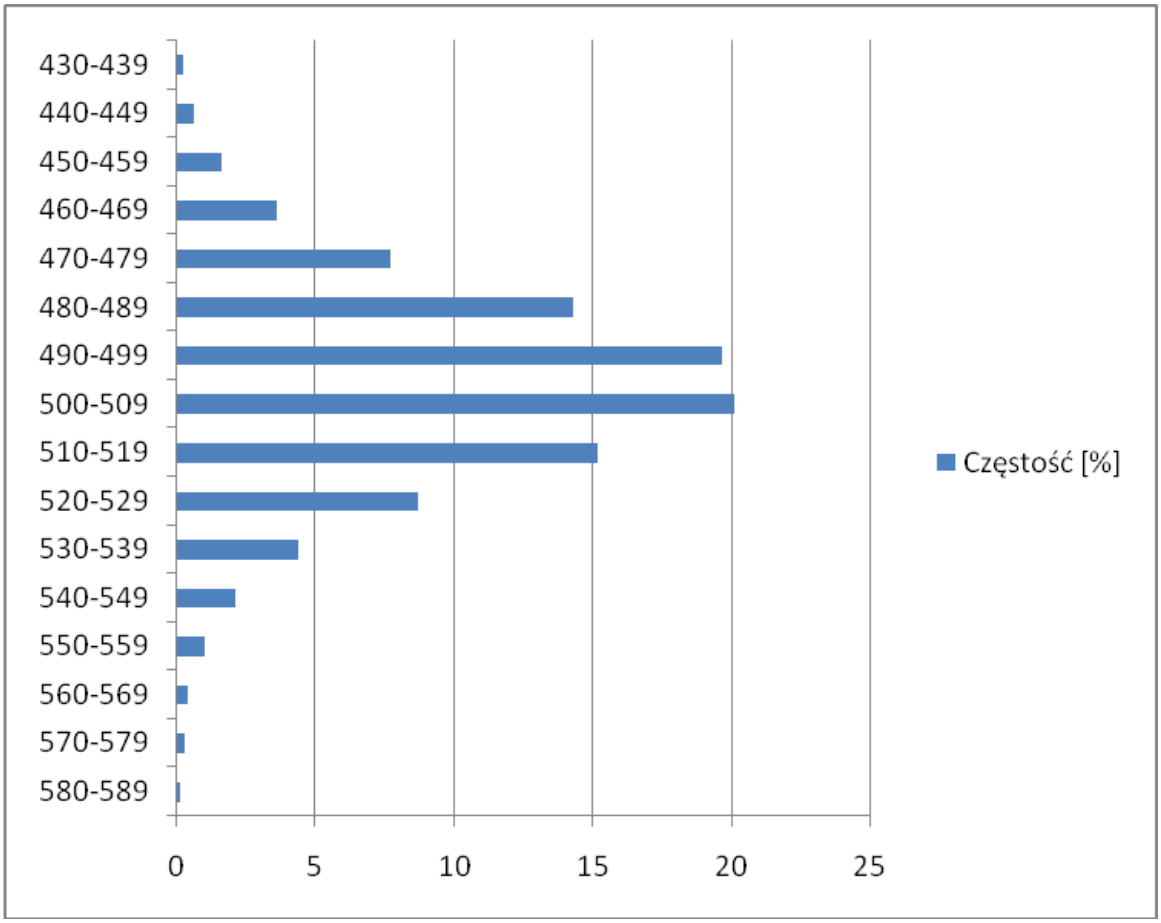
Średnie roczne poziomy wody w Zalewie wykazują liniową zbieżność z przebiegiem wahań poziomów wody w Morzu Bałtyckim. Minimum stanów przypada w rejonie centralnym Zalewu na marzec i kwiecień, po czym następuje systematyczny wzrost poziomu wody do maksimum, które osiągane jest w okresie lipiec-wrzesień.

W tab. 8.3 zamieszczono maksymalne, średnie i minimalne roczne stany wód na Zalewie zanotowane w Tolkmicku w latach 1947÷1956, Łomniewski (1958).

Tab. 8.3 Główne roczne stany wód zanotowane w Tolkmicku w latach 1947-1956, Łomniewski (1958)

Stany wód	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	Średnia 10-lecia
Maksimum	540	636	620	588	595	582	581	573	595	573	594
Minimum	446	420	435	430	434	458	435	417	460	416	435
Średni stan	491	505	506	501	491	503	501	492	504	503	500

Poziomy wody w rejonie centralnym Zalewu oscylują wokół średniego poziomu morza, rys. 8.3, przy czym ponad 78% stanów mieści się w przedziale od -22 do +27 cm.



Rys. 8.3 Częstość stanów wody w Tolkmicku (1951-1970) (Szymkiewicz, 1992)

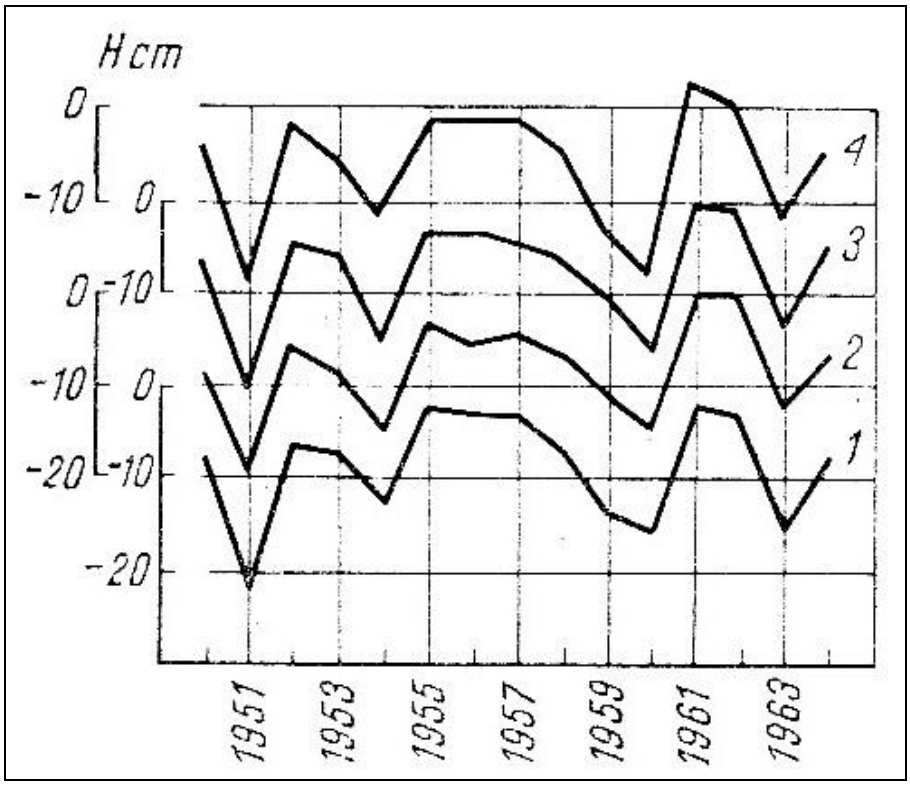
Na podstawie wieloletnich notowań stanów wody IMGW określił prawdopodobieństwa wystąpienia wysokich stanów wody w południowo-zachodniej części Zalewu, tab. 8.4.

Tab. 8.4. Prawdopodobieństwa wystąpienia wysokich stanów wody w południowo-zachodniej części Zalewu Wiślanego wg IMGW

Prawdopodobieństwo [%]	0.1	0.5	1	2
Stan wody [cm]	689	669	661	651

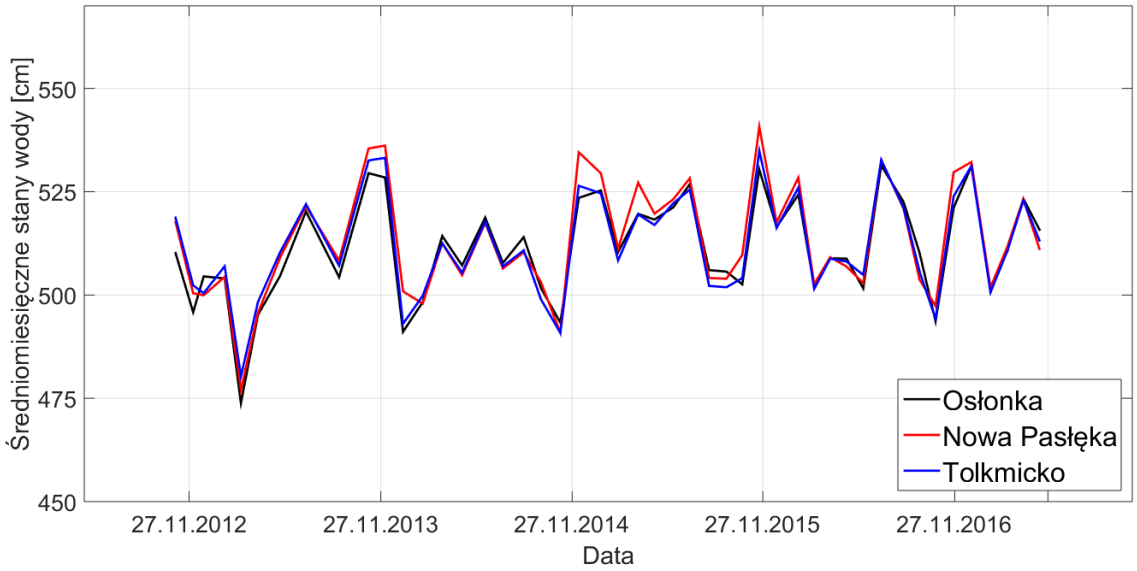
W celu określenia charakterystycznych stanów wody na Zalewie w rozpatrywanych lokalizacjach przekopania Mierzei dokonano przeglądu literatury przedmiotu (m.in. Cieśliński 2001, 2002, Zorina 1975, Dziadziuszko, Zorina 1975, Szymkiewicz 1992) oraz wykonano analizę pomierzonych chwilowych wskazań poziomów wody w Osłonce, Nowej Pasłęce i Tolkmicku.

Wahania średnich rocznych stanów wody w różnych częściach Zalewu Wiślanego pokazano na rys. 8.4. Z rysunku tego widać wyraźną, prawie liniową, zgodność przebiegów poziomów wody w poszczególnych punktach Zalewu.



Rys. 8.4 Wahania średnich rocznych stanów wody
w różnych częściach Zalewu Wiślanego (Zorina, 1975).
1 – rejon Bałtyjska, 2 – Zatoka Elbląska (Nowe Batorowo),
3 – rejon centralny (Tolkmicko), 4 – Zalew Kaliningradzki (Ribaczij)

Z kolei na rys. 8.5 przedstawiono wahania średnich miesięcznych stanów wody pomierzonych w polskiej części Zalewu – w Tolkmicku, Nowej Pasłęce i Osłonce – w latach 2012÷2016. Również i w tym przypadku można mówić o liniowej zależność zmian poziomów wody między poszczególnymi stacjami.

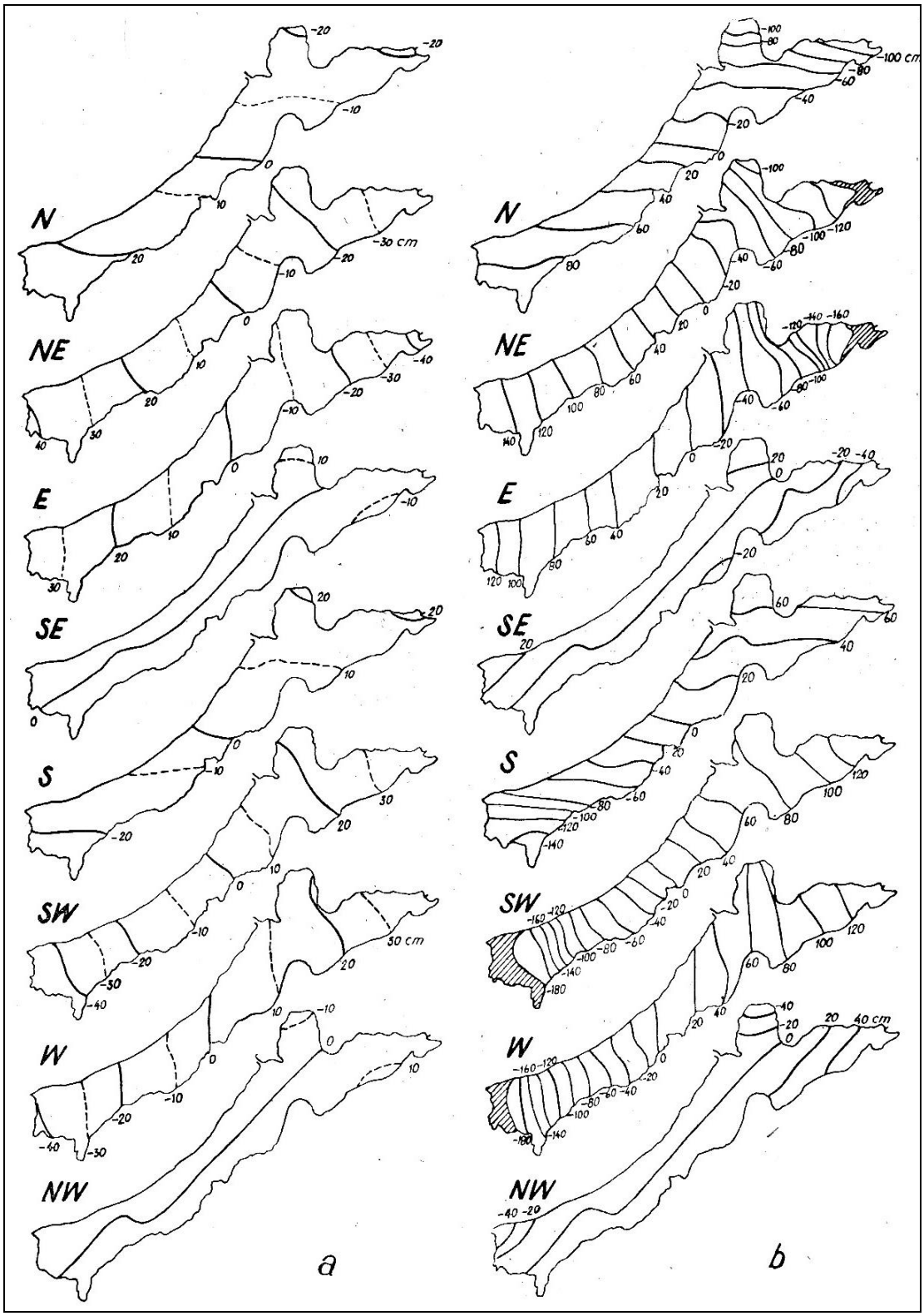


Rys. 8.5 Wahania średniomiesięcznych stanów wody w Tolkmicku, Nowej Pasłęce i Osłonce
w latach 2012÷2016

Orientacja przestrzenna, położenie względem dominujących prędkości i kierunków wiatrów oraz lokalny układ batymetryczny sprawiają, że chwilowe poziomy wody w poszczególnych punktach Zalewu są różne, rys. 8.6. Przy umiarkowanym (10 m/s) wietrze z kierunku SE poziomy wody w miejscach planowanego przekopania Mierzei są o około 20 cm większe, a przy wiatrach z kierunku NW mniejsze także o około 20 cm od poziomów wody notowanych w tym samym czasie w posterunkach Tolkmicko i Nowa Pasłęka. Dla tych samych kierunków przy wietrze sztormowym (20 m/s), różnice w poziomach wody pomiędzy planowanymi miejscami wykonania przekopu a posterunkami Tolkmicko i Nowa Pasłęka są większe/ mniejsze o około 40 cm. Dla pozostałych kierunków wiatru, niezależnie od jego prędkości, poziomy wody na brzegach Mierzei od strony Zalewu i posterunkach w Tolkmicku oraz Nowej Pasłęce są podobne.

Najwyższe stany wody u brzegów Mierzei występują dla wiatrów z kierunków NE, E, S, SW i W. Dla tych kierunków poziomy wody u południowych i północnych brzegów Zalewu są podobne.

Oznacza to, że dla potrzeb projektowania śluz w rozpatrywanych lokalizacjach usytuowania kanału żeglugowego w Skowronkach i Nowym Świecie można jako reprezentatywne przyjmować poziomy mierzone na posterunku mareograficznym w Osłonce, a dla lokalizacji kanału w Piaskach jako reprezentatywne można przyjmować poziomy wody mierzone w Tolkmicku.



Rys. 8.6 Układ powierzchni wody Zalewu Wiślanego przy różnych kierunkach wiatru (Zorina 1975) a – prędkość wiatru 10 m/s, b – prędkość wiatru 20 m/s

Charakterystyczne stany wody dla posterunków pomiarowych w Osłonce i Tolkmicku przedstawiono w tab. 8.5.

Tab. 8.5 Charakterystyczne stany wody w Osłonce i Tolkmicku (IMGW Gdynia)

Stany wody [cm]	Osłonka (1950÷1980) (dla lokalizacji kanału w Skowronkach i Nowym Świecie)	Tolkmicko (1947÷1983) (dla lokalizacji kanału w Piaskach)
WWW	628	645
SWW	570	558
SW	511	505
SNW	450	442
NNW	398	410

Maksymalna różnica poziomów wody pomiędzy Zalewem i Zatoką Gdańską została określona na podstawie chwilowych zapisów poziomów wody w Tolkmicku, Nowej Pasłęce, Osłonce i Gdańsku oraz analiz rozkładu prawdopodobieństwa (Kamphuis, 2010; DNV-OS-J101, 2014). Do opisu rozkładu dystrybuanty różnicy poziomów wody wykorzystano trójparametrowy rozkład Weibulla. Empiryczne funkcja prawdopodobieństwa przewyższenia przyjęto zgodnie z British Code of Standards (2000), Kamphuis (2010) oraz Det Norske Veritas (2014). Wyniki tych obliczeń pokazano w tab. 8.6 i 8.7.

Tab. 8.6 Prawdopodobieństwo różnicy poziomów wody pomiędzy Zatoką Gdańską (poziom wyższy) a Zalewem (poziom niższy) o okresie powtarzalności T_R = 20 i T_R = 100 lat

Okresy powtarzalności	Lokalizacja	
	Skowronki, Nowy Świat	Piaski
T_R = 20 lat	1.2 m	0.9 m
T_R = 100 lat	1.4 m	1.0 m

Tab. 8.7 Prawdopodobieństwo różnicy poziomów wody pomiędzy Zalewem (poziom wyższy) a Zatoką Gdańską (poziom niższy) o okresie powtarzalności T_R = 20 i T_R = 100 lat

Okresy powtarzalności	Lokalizacja	
	Skowronki, Nowy Świat	Piaski
T_R = 20 lat	0.4 m	0.3 m
T_R = 100 lat	0.5 m	0.4 m

9. Podsumowanie końcowe

- ***Projektowy poziom wody***

Zgodnie z obowiązującymi wytycznymi dla falochronów osłaniających wejścia portowe należy przyjmować projektowy poziom wody o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 lat. IPCC zaleca dodatkowo uwzględniać prognozowany wzrost poziomu morza związany z efektem cieplarnianym.

- poziom morza o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 lat → 660 cm,
- prognozowany wzrost poziomu morza w perspektywie 50 lat → 17 cm,

Z_{proj} = 660 + 17 = 677 cm (+1.77 m powyżej średniego poziomu morza).

- ***Fala projektowa na przedpolu rozważanych lokalizacji portów od strony Zatoki Gdańskiej***

Głębokość przy średnim poz. morza [m]	Skowronki			Nowy Świat			Piaski		
	H_s [m]	T_p [s]	L [m]	H_s [m]	T_p [s]	L [m]	H_s [m]	T_p [s]	L [m]
8.0	4.69	13.2	123	4.69	13.2	123	4.59	13.3	124
7.0	4.32	13.2	117	4.32	13.2	117	4.27	13.3	118
6.0	3.98	13.2	110	3.97	13.2	110	3.91	13.3	111
5.0	3.68	13.2	103	3.69	13.2	103	3.65	13.3	104
4.0	3.28	13.2	95	3.31	13.2	95	3.42	13.3	96
3.0	2.89	13.2	86	2.93	13.2	86	2.75	13.3	87
2.0	2.55	13.2	76	2.43	13.2	76	2.72	13.3	77
1.0	2.12	13.2	65	2.07	13.2	65	2.00	13.3	65

- ***Falowanie w porcie***

Po konsultacjach z Zamawiającym i uwzględnieniu analiz falowania w rejonach planowanej budowy falochronów osłonowych i najbardziej prawdopodobnych przyszłych kierunków ruchu statków przyjęto dla wszystkich lokalizacji usytuowanie wejść portowych w kierunku zbliżonym do zachodniego

Obliczenia falowania dla każdej z trzech lokalizacji portu wykonano dla dwóch niebezpiecznych kierunków, tj. WNW i NW. Dla każdego z tych kierunków wykonano obliczenia falowania w akwenach portowych dla parametrów falowania na przedpolach portów o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 lat (silne warunki sztormowe) i raz na 20 lat (przeciętne warunki sztormowe). Dla każdej lokalizacji rozpatrzono trzy warianty układu geometrycznego falochronów.

- wariant A – wariant wyjściowy,
- wariantu B – skrócenie falochronu wschodniego o 50 m względem wariantu A,
- wariantu C – wydłużenie falochronu wschodniego o 50 m względem wariantu A.

Dla wszystkich rozpatrywanych lokalizacji otrzymano:

- skrócenie falochronu wschodniego o 50 m powoduje wzrost wysokości falowania w akwenach portowych w zależności od kierunku podchodzenia fali (NW i WNW) od 10 do 15%,
- wydłużenie falochronu wschodniego o 50 m powoduje zmniejszenie wysokości falowania w akwenach portowych w zależności od kierunku podchodzenia fali (NW i WNW) od 10 do 15%.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że należy przyjąć układ geometryczny falochronów w wersji podstawowej (wariant A), gdyż korzyści wynikające z wydłużenia falochronu wschodniego (wariant C) są niewielkie.

- ***Transport osadów***

Polskie 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 rocznego transportu rumowiska.

Obliczenia wielkości transportu osadów wykonano w reprezentatywnych profilach batymetrycznych usytuowanych w rejonie Skowronek na km 27.0, w rejonie Nowego Świata na km 24.0 i w rejonie Piasków na km 2.0. Z przeprowadzonych obliczeń otrzymano:

Rejon Skowronek

- wypadkowy roczny transport rumowiska w średnim roku statystycznym jest skierowany z zachodu na wschód i wynosi 12 tys. m^3/rok,
- zasięg głównego strumienia rumowiska sięga do odległości około 350 m od linii brzegowej.

Rejon Nowego Świata

- wypadkowy roczny transport rumowiska w średnim roku statystycznym jest minimalny wynoszący 3 tys. m^3/rok i skierowany ze wschodu na zachód,
- taki zrównoważony rozkład transportu wzdłużbrzegowego rumowiska w obu kierunkach oznacza, że w poszczególnych latach kierunek wypadkowego transportu osadów może być skierowany bądź to z zachodu na wschód, bądź też w kierunku przeciwnym,
- wypadkowy roczny transport rumowiska charakteryzuje się dwukierunkowością, pierwsze dwa strumienie do odległości około 200 m od brzegu są skierowane z zachodu na wschód, czyli podobnie jak w Skowronkach, natomiast trzeci strumień, tj. dla odległości większej od 350 m jest skierowany ze wschodu na zachód,
- transport rumowiska odbywa się głównie w pasie o szerokości do około 450 m liczonym od linii brzegowej.

Rejon Piasków

- wypadkowy roczny transport rumowiska w średnim roku statystycznym jest znaczny, wynoszący 70 tys. m^3/rok, i skierowany ze wschodu na zachód,
- transport rumowiska odbywa się głównie w pasie o szerokości do około 450 m liczonym od linii brzegowej.

- ***Oddziaływanie planowanych falochronów na odmorskie brzegi Mierzei***

Rejon Skowronek

- zmiany brzegowe w sąsiedztwie falochronów: strona zachodnia przyrost brzegu ~20 m, strona wschodnia cofnięcie brzegu ~10 m,
- zasięg wzdłużbrzegowych zmian: strona zachodnia ~500 m, strona wschodnia ~300 m.

Rejon Nowego Świata

- zmiany brzegowe w sąsiedztwie falochronów: strona zachodnia cofnięcie brzegu ~5 m, strona wschodnia przyrost brzegu ~10 m,
- zasięg wzdłużbrzegowych zmian: strona zachodnia ~100 m, strona wschodnia ~200 m.
- zmiany brzegowe będą okresowe w kilkuletniej skali czasowej. Z uwagi bowiem na niewielki wypadkowy transport osadów zmiany brzegowe po obu stronach falochronów będą powolne i zmienne. 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.

Rejon Piasków

- zmiany brzegowe w sąsiedztwie falochronów: strona zachodnia cofnięcie brzegu ~150 m, strona wschodnia przyrost brzegu ~170 m,
- zasięg wzdłużbrzegowych zmian: strona zachodnia ~1800 m, strona wschodnia ~2000 m,
- zmiany brzegowe będą trwałe.

Przyjmując jako kryterium wyboru miejsca lokalizacji kanału żeglugowego przez Mierzeję tylko oddziaływanie falochronów osłaniających kanał na przebudowę brzegu w ich sąsiedztwie najlepszą lokalizacją jest Nowy Świat z uwagi na lokalny zasięg zmian brzegowych, które w zależności od rzeczywistych rozkładów pól falowych będą charakteryzowały się występowaniem naprzemiennych obszarów erozji i akumulacji brzegów po obu stronach falochronów.

W przypadku wyboru lokalizacji kanału w Skowronkach należy się liczyć z ewentualna koniecznością ograniczenia erozji po stronie wschodniej falochronów. Wielkość tej erozji można ograniczyć poprzez:

- wykorzystanie urobku pochodzącego z okresowych podczyszczeń toru podejściowego i odkładanie go na brzegu po wschodniej stronie falochronów,
- stworzenie po wschodniej stronie falochronów „magazynu" rumowiska pochodzącego z budowy kanału żeglugowego.

Budowa kanału żeglugowego w Piaskach z uwagi na znaczne oddziaływanie falochronów osłonowych na brzegi jest niecelowa.

- ***Oszacowanie tempa zapiaszczania akwenu położonego w sąsiedztwie wejść portowych***

Rejon Skowronek

- w pierwszych 10 latach po wybudowaniu falochronów nie powinno być problemów związanych z utrzymaniem wymaganych głębokości nawigacyjnych,

- w pierwszych 10 latach eksploatacji portu nie wystąpią problemy związane z zamykaniem wejścia portowego przez okrążającą zachodni falochron drugą rewą,
- tempo zasypywania akwenu portowego położonego w rejonie wejścia o długości 100÷200 m przy założonym równomiernym jego rozłożeniu w torze wodnym, oszacowano jako zawarte w przedziale od 0.08 do 0.16 m/rok.

Rejon Nowego Świata

- w pierwszych 10 latach po wybudowaniu falochronów nie powinno być problemów związanych z utrzymaniem wymaganych głębokości nawigacyjnych,
- z uwagi na niewielką tendencję do cofania się brzegu po stronie zachodniej portu nie wystąpią problemy związane z zamykaniem wejścia portowego przez okrążającą zachodni falochron drugą rewę,
- tempo zasypywania akwenu portowego położonego w rejonie wejścia o długości 100÷200 m przy założonym równomiernym jego rozłożeniu w torze wodnym, określono jako zawarte w przedziale od 0.07 do 0.14 m/rok.

Rejon Piasków

- w pierwszych 10 latach po wybudowaniu falochronów nie wystąpią problemy związanych z utrzymaniem wymaganych głębokości nawigacyjnych,
- z uwagi na znaczące cofanie się brzegu po stronie zachodniej portu nie wystąpią problemy związane z zamykaniem wejścia portowego przez okrążającą zachodni falochron drugą rewą,
- tempo zasypywania akwenu portowego położonego w rejonie wejścia o długości 100÷200 m przy założonym równomiernym jego rozłożeniu w torze wodnym, określono jako zawarte w przedziale od 0.04 do 0.08 m/rok.

Zalew Wiślany

- Parametry fali projektowej na przedpolu rozważanych lokalizacji miejsc postojowych od strony Zalewu Wiślanego
  - dla falochronów osłaniających stanowiska postojowe na Zalewie:

    Skowronki i Nowy Świat → H_s=0.68 m, T_p=3.2 s, L=14.0 m,

    Piaski → H_s=0.71 m, T_p=3.4 s, L=15.0 m.
  - dla sztucznej wyspy powstającej w wyniku odkładania urobku czerpalnego:

    H_s=0.86 m, T_p=4.1 s, L=20 m
- Maksymalna różnica poziomów wody pomiędzy Zatoką Gdańską a Zalewem dla potrzeb projektowania śluzy

Okresy powtarzalności	Lokalizacja	
	Skowronki, Nowy Świat	Piaski
T_R = 20 lat	1.2 m	0.9 m
T_R = 100 lat	1.4 m	1.0 m

10. Spis rysunków

Rys. 3.1 Rozkład wysokości fal znacznych i czasów ich trwania w średnim roku statystycznym po stronie odmorskiej Mierzei Wiślanej w rejonie Skowronek i Nowego Świata w punkcie o współrzędnych 54°25'00" N, 19°18'00" E, głębokość $h \approx 45$m

Rys. 3.2 Rozkład wysokości fal znacznych i czasów ich trwania w średnim roku statystycznym po stronie odmorskiej Mierzei Wiślanej w rejonie Piasków w punkcie o współrzędnych 54°29'59" N, 19°35'12" E, głębokość $h \approx 50$ m

Rys. 4.1 Schemat geometryczny układu falochronów w Skowronkach z wejściem usytuowanym w przybliżeniu w kierunku zachodnim

Rys. 4.2 Schemat geometryczny układu falochronów w Nowym Świecie z wejściem usytuowanym w przybliżeniu w kierunku zachodnim

Rys. 4.3 Schemat geometryczny układu falochronów w Piaskach z wejściem usytuowanym w kierunku zachodnim

Rys. 4.4 Schemat analizowanych wariantów zabudowy i obszaru wyróżnionego do celów porównawczych dla portu w Skowronkach

Rys. 4.4 Schemat analizowanych wariantów zabudowy i obszaru wyróżnionego do celów porównawczych dla portu w Nowym Świecie

Rys. 4.4 Schemat analizowanych wariantów zabudowy i obszaru wyróżnionego do celów porównawczych dla portu w Piaskach

Rys. 4.7 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.32 m, T_p = 9.2 s

Rys. 4.8 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s

Rys. 4.9 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.29 m, T_p = 7.8 s

Rys. 4.10 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.56 m, T_p = 8.4 s

Rys. 4.11 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.32 m, T_p = 9.2 s

Rys. 4.12 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s

Rys. 4.13 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.29 m, T_p = 7.8 s

Rys. 4.14 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW.

Parametry fali: H_s = 2.56 m, T_p = 8.4 s

Rys. 4.15 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.32 m, T_p = 9.2 s

Rys. 4.16 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s

Rys. 4.17 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.29 m, T_p = 7.8 s

Rys. 4.18 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Skowronki dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.56 m, T_p = 8.4 s

Rys. 4.19 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.33 m, T_p = 9.2 s

Rys. 4.20 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s

Rys. 4.21 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.35 m, T_p = 7.8 s

Rys. 4.22 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.63 m, T_p = 8.4

Rys. 4.23 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.33 m, T_p = 9.2 s

Rys. 4.24 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s

Rys. 4.25 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.35 m, T_p = 7.8 s

Rys. 4.26 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.63 m, T_p = 8.4 s

Rys. 4.27 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.33 m, T_p = 9.2 s

Rys. 4.28 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 3.63 m, T_p = 9.8 s

Rys. 4.29 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.35 m, T_p = 7.8 s

Rys. 4.30 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Nowy Świat dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 2.63 m, T_p = 8.4 s

Rys. 4.31 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 4.06 m, T_p = 11.0 s

Rys. 4.32 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 4.36 m, T_p = 12.2 s

Rys. 4.33 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 3.48 m, T_p = 9.5 s

Rys. 4.34 Wariant A – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 3.76 m, T_p = 10.2

Rys. 4.35 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 4.06 m, T_p = 11.0 s

Rys. 4.36 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 4.36 m, T_p = 12.2 s

Rys. 4.37 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 3.48 m, T_p = 9.5 s

Rys. 4.38 Wariant B – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 3.76 m, T_p = 10.2 s

Rys. 4.39 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 4.06 m, T_p = 11.0 s

Rys. 4.40 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku NW.
Parametry fali: H_s = 4.36 m, T_p = 12.2 s

Rys. 4.41 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 20 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 3.48 m, T_p = 9.5 s

Rys. 4.42 Wariant C – obliczona wysokość falowania w Porcie Piaski dla sztormu o okresie powtarzalności raz na 100 lat z kierunku WNW.
Parametry fali: H_s = 3.76 m, T_p = 10.2 s

Rys. 5.1 Pomierzone zmiany położenia linii brzegowej i podstawy wydmy po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej (Jednorał 1996)

Rys. 5.2 Profil batymetryczny pomierzony w marcu 2017 roku w rejonie Skowronek na km 27.0 (azymut profilu $A_{z,S}$=351.40°)

Rys. 5.3 Profil batymetryczny pomierzony w marcu 2017 roku w rejonie Nowego Świata na km 24.0 (azymut profilu $A_{z,NŚ}$=347.97°)

Rys. 5.4 Profil batymetryczny pomierzony w marcu 2017 roku w rejonie Piasków na km 2.0 (azymut profilu $A_{z,P}$=321.70°)

Rys. 5.5 Obliczone rozkłady wzdłużbrzegowego transportu osadów w funkcji odległości od brzegu dla poszczególnych kierunków podchodzenia fali oraz roczny transport wypadkowy dla rejonu Skowronek

Rys. 5.6 Obliczone rozkłady wzdłużbrzegowego transportu osadów w funkcji odległości od brzegu dla poszczególnych kierunków podchodzenia fali oraz roczny transport wypadkowy dla rejonu Nowego Świata

Rys. 5.7 Obliczone rozkłady wzdłużbrzegowego transportu osadów w funkcji odległości od brzegu dla poszczególnych kierunków podchodzenia fali oraz roczny transport wypadkowy dla rejonu Piasków

Rys. 6.1 Oszacowane zmiany brzegu w sąsiedztwie falochronów w Skowronkach po 10 latach

Rys. 6.2 Oszacowane zmiany brzegu w sąsiedztwie falochronów w Nowym Świecie po 10 latach

Rys. 6.3 Oszacowane zmiany brzegu w sąsiedztwie falochronów w Piaskach po 10 latach

Rys. 8.1 Częstotliwościowo-kierunkowa róża wiatrów wyznaczona na podstawie znajomości pól barycznych zarejestrowanych nad Bałtykiem w okresie 44 lat (1958÷2001) w punkcie o współrzędnych 54°29’59” N, 19°35’12” E położonym po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej

Rys. 8.2 Obliczony rozkładem Weibulla dla kierunku S prędkości wiatrów o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na T_R lat

Rys. 8.3 Częstość stanów wody w Tolkmicku (1951-1970) (Szymkiewicz, 1992)

Rys. 8.4 Wahania średnich rocznych stanów wody w różnych częściach Zalewu Wiślanego (Zorina, 1975). 1 – rejon Bałtyjska, 2 – Zatoka Elbląska (Nowe Batorowo), 3 – rejon centralny (Tolkmicko), 4 – Zalew Kaliningradzki (Ribaczij)

Rys. 8.5 Wahania średniomiesięcznych stanów wody w Tolkmicku, Nowej Pasłęce i Osłonce w latach 2012÷2016

Rys. 8.6 Układ powierzchni wody Zalewu Wiślanego przy różnych kierunkach wiatru (Zorina 1975) a – prędkość wiatru 10 m/s, b – prędkość wiatru 20 m/s

11. Spis tablic

Tab. 2.1. Prawdopodobieństwa występowania i okresy powtarzalności maksymalnych poziomów morza w Gdańsku wg Wiśniewskiego i Wolskiego (2009) oraz Wróblewskiego(1992)

Tab. 3.1 Głębokowodne parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej w rejonie Skowronek i Nowego Świata w punkcie prognostycznym o współrzędnych 54°25'00" N, 19°18'00" E i głębokości $h \approx 45$ m o okresach powtarzalności T_R=20 i Tr=100 lat

Tab. 3.2 Głębokowodne parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej w rejonie Piasków w punkcie prognostycznym o współrzędnych 54°29'59" N, 19°35'12" i głębokości $h \approx 50$ m o okresach powtarzalności T_R = 20 i T_R =100 lat

Tab. 3.3 Parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej na przedpolu Skowronek na głębokości h_{650}=8.0+1.5=9.5 m o okresach powtarzalności T_R = 20 i 100 lat

Tab. 3.4 Parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej na przedpolu Nowego Świata na głębokości h_{650}=8.0+1.5=9.5 m o okresach powtarzalności T_R = 20 i 100 lat

Tab. 3.5 Parametry falowania po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej na przedpolu Piasków na głębokości h_{650}=8.0+1.5=9.5 m o okresach powtarzalności T_R = 20 i 100 lat

Tab. 3.6 Parametry fal projektowych na różnych głębokościach dla Skowronek, Nowego Świata i Piasków

Tab. 5.1 Obliczone wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów i czasy ich występowania w średnim roku statystycznym w rejonie Skowronek

Tab. 5.2 Obliczone wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów i czasy ich występowania w średnim roku statystycznym w rejonie Nowego Świata

Tab. 5.3 Obliczone wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów i czasy ich występowania w średnim roku statystycznym w rejonie Piasków

Tab. 6.1 Obliczone zmiany brzegu w sąsiedztwie falochronów oraz zasięg zmian brzegowych po obu ich stronach w Skowronkach

Tab. 6.2 Obliczone zmiany brzegu w sąsiedztwie falochronów oraz zasięg zmian brzegowych po obu ich stronach w Nowym Świecie

Tab. 6.3 Obliczone zmiany brzegu w sąsiedztwie falochronów oraz zasięg zmian brzegowych po obu ich stronach w Piaskach

Tab. 7.1 Oszacowane roczne spłycenia akwenu portowego w Skowronkach

Tab. 7.2 Oszacowane roczne spłycenia akwenu portowego w Nowym Świecie

Tab. 7.3 Oszacowane roczne spłycenia akwenu portowego w Piaskach

Tab. 8.1 Obliczone parametry fal znacznych o prawdopodobieństwie wystąpienia T_R=100 lat w punktach położonych na przedpolach Skowronek, Nowego Świata, Piasków oraz na zachodnim skraju Zalewu Wiślanego

Tab. 8.2 Liczba dni z lodem zaobserwowana na zalewie Wiślanym (Miętus i in. 2011)

Tab. 8.3 Główne roczne stany wód zanotowane w Tolkmicku w latach 1947-1956, Łomniewski (1958)

Tab. 8.4. Prawdopodobieństwa wystąpienia wysokich stanów wody w południowo-zachodniej części Zalewu Wiślanego wg IMGW

Tab. 8.5 Charakterystyczne stany wody w Osłonce i Tolkmicku (IMGW Gdynia)

Tab. 8.6 Prawdopodobieństwo różnicy poziomów wody pomiędzy Zatoką Gdańską (poziom wyższy) a Zalewem (poziom niższy) o okresie powtarzalności T_R = 20 i T_R = 100 lat

Tab. 8.7 Prawdopodobieństwo różnicy poziomów wody pomiędzy Zalewem (poziom wyższy) a Zatoką Gdańską (poziom niższy) o okresie powtarzalności T_R = 20 i T_R = 100 lat

12. Spis literatury

Bailard J.A. 1981. An energetics total load sediment transport model for a plane sloping beach. *Journal of Geophysical Research, Vol. 86, No. C11*.

Basiński T. 2007. 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*.

Bijker E.W. 1971. Longshore Transport Computations. Journal of Waterways, Harbour and Coastal Engineering, Vol. 99, WW4, 687-701.

British Standard Code of practice for Maritime Structures. Part 1. General criteria. 2000. *BS 6349: Part 1*.

CEM Coastal Engineering Manual 2003. Department of the Army U.S. Army Corp of Engineers Washington, DC 20314-1000.

Cieślak A. 2001. Zarys strategii ochrony brzegów morskich. *Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 2, 65-73*.

Cieśliński R. 2001. Wpływ morza na stan jakości wód jeziora Druzno. Praca doktorska wykonana w Katedrze Hydrologii Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk (maszynopis).

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*.

Cyberski J., Mikulski Z. 1976. Stosunki hydrologiczne. w: Żuławy Wiślane pod red. B. Augustowskiego, GTN, Gdańsk.

Det Norske Veritas 2014. DNV-OS-J101 Offshore Standard, Design of Offshore Wind Turbine Structures.

Dubrawski R., Zawadzka-Kahlau E. (redakcja) 2006. Przyszłość ochrony polskich brzegów morskich. *Wyd. Instytut Morski, Gdańsk*.

Dziadziuszko Z., Zorina W.A. 1975. Stany wody. w: N. N. Łazarienko i A. Majewski (red.), Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego, WKiŁ Warszawa.

Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej Nr 101, Warszawa dnia 6 sierpnia 1988 r.

Hasselmann, K, Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E., Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W., Walden, H. 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *DeutschenHydrographischen-Zeitschrift, Reihe A (8°), no 12*.

Jednorał T. (redakcja) 1996. Dynamika morza i strefy brzegowej w Zatoce Gdańskiej. Wpływ planowanego kanału żeglugowego w polskiej części Mierzei Wiślanej na zmiany morskich procesów hydrodynamicznych po odmorskiej stronie strefy brzegowej Mierzei Wiślanej. *Zakład Wydawnictw Naukowych Instytutu Morskiego, Gdańsk*.

Kaczmarek L. M., Biegowski J., Gaca K., Gąsiorowski D., Kaźmierski J., Ostrowski R., Perfumowicz T., Pruszak Z., Schönhofer J., Skaja M., Szmytkiewicz M., Szmytkiewicz P. 2008. Analiza procesów hydro- i litodynamicznych w rejonie planowanego przekopu przez Mierzeję 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 dla Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Kamphuis J.W. 2010. Introduction to Coastal Engineering and Management. *Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 30, World Scientific Press*.

Łomniewski K. 1958. Zalew Wiślany. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, 1-106.

Mazurkiewicz B. (redakcja) 2006. Morskie Budowle Hydrotechniczne; Zalecenia do projektowania i wykonywania, Wydanie IV. Zespół Roboczy Zasad Projektowania Budowli Morskich pod redakcją B. Mazurkiewicza. *Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk*.

Miętus M., Sztobryn M. 2011. Stan środowiska polskiej strefy przybrzeżnej Bałtyku w latach 1986-2005. *Wybrane zagadnienia. IMGW PIB, Warszawa 2011*.

Mioduszewski K. i inni 2007. BUDOWA KANAŁU ŻEGLUGOWEGO PRZEZ MIERZEJĘ WIŚLANĄ Koncepcja techniczna i kosztowa kanału żeglugowego wraz z niezbędnymi budowlami hydrotechnicznymi. *PRZEDSIĘBIORSTWO GEOSYNTEX Spółka z o. o. Gdynia*.

Ostrowski R., Biegowski J., Kaczmarek L. M., Kapiński J., Piotrowska D., Pruszak Z., Różyński G., Schönhofer J., Skaja M., Swerpel B., Szmytkiewicz M., Szmytkiewicz P. 2010. Raport z realizacji projektu badawczego pt. „Zmienność procesów hydrodynamicznych i litodynamicznych w strefie brzegowej wschodniej części Zatoki Gdańskiej" *Raport dla Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Departamentu Badań Naukowych*.

Stramska M., Chudziak N. 2013. Recent multiyear trends in the Baltic Sea level. *Oceanologia, 55, 319-337*.

Studium Wykonalności Budowy Kanału Żeglugowego przez Mierzeję Wiślaną 2007/2008.

Sulisz W. 1985. Wave reflection and transmission at permeable breakwaters of arbitrary cross-section. *Coastal Engineering, 9, 4, 371-386*.

Sulisz W. 1987. Application of local co-ordinate systems to the solution of integral equations referred to plane fluid flow problems, *International Journal for Numerical Methods in Fluids, 7, 353-370*.

Sulisz W., McDougal W.G., Sollitt C.K. 1989. Water wave interaction with rubble toe protection. *Ocean Engineering, 16, 5/6, 463-473*.

Sulisz W. 1994. Stability analysis for multilayered rubble bases. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, ASCE, 120, 3, 269-282.

Sulisz W. 1995a. Zbadanie zjawiska falowania w obszarze portu Łeba, jako skutku zamierzonej budowy portu jachtowego w tym obszarze. *Praca wewnętrzna IBW PAN, Gdańsk 1995a*.

Sulisz W. 1995b. Koncepcja przebudowy wejścia do Portu Kołobrzeg. *Praca wewnętrzna IBW PAN, Gdańsk.*

Sulisz W. 1995c. Zmiany warunków falowych w Porcie Darłowo dla wybranych zmian w zabudowie hydrotechnicznej portu. *Praca wewnętrzna IBW PAN, Gdańsk.*

Sulisz W. 1995d. Zmiany warunków falowych w Porcie Gdańsk po przebudowie nabrzeży w rejonie wejściowym do portu. *Praca wewnętrzna IBW PAN, Gdańsk*.

Sulisz W. 1997. Wave loads on caisson founded on multilayered rubble base. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, 123, 3, 91-101.

Sulisz W. 1999. Engineering design study for the Mangaf Resort Hotel Project. *Raport, Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait*.

Sulisz W. 2002. Diffraction of nonlinear waves by horizontal rectangular cylinder founded on low rubble base. *Applied Ocean Research, 24(4), 235-245.*

Sulisz W., Paprota M. 2007. Badania falowania w Porcie Gdynia dla projektowanych zmian w zabudowie hydrotechnicznej portu. *Praca wewnętrzna IBW PAN, Gdańsk.*

Sulisz W., Paprota M. 2008. Badanie falowania w Porcie Gdynia po przebudowie falochronu głównego. *Praca wewnętrzna IBW PAN, Gdańsk.*

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

UNIBEST-LT Version 4.0 1993. User's manual MS-DOS PC-program. *Delft Hydraulics, The Netherlands*.

UNIBEST-CL Version 4.0 1993. User's manual MS-DOS PC-program. *Delft Hydraulics, The Netherlands*.

Van Rijn L.C. 1993. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. *Aqua Publications, the Netherlands*.

Wiśniewski B. Wolski T. 2009. Katalogi wezbrań i obniżeń sztormowych poziomów morza oraz ekstremalne poziomy wód na polskim wybrzeżu. *Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej, Szczecin*.

Wróblewski A. 1992. Analysis and forecast of long-term sea level changes along the Polish Baltic Sea coast. Part I. Annual sea level maxima. *Oceanologia, no. 33*.

Young, I.R. and Verhagen, L.A. 1996. The growth of fetch-limited waves in water of finite depth. Part 1: total energy and peak frequency. *Coastal Engng. Vol. 28, pp 47-48*.

Young, I.R. 1997. The growth rate of finite depth wind-generated waves. *Coastal Engng, Vol. 32, no 2-3, pp 181-195*.

Zawadzka-Kahlau E. 1999. Tendencje rozwojowe polskich brzegów Bałtyku południowego. *Wyd. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk*.

Zorina W.A., 1975. Falowanie, [w:] N. N. Łazarenko i A. Majewski (red.), Hydrometeorologiczny ustrój Zalewu Wiślanego, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.