



Analiza falowania w projektowanej przystani w Krynicy Morskiej – Basen III – Nowa Karczma wraz z oceną procesów litodynamicznych

T. Marcinkowski, T. Olszewski,
M. Skaja, M. Szmytkiewicz



Gdańsk, wrzesień 2016

Spis treści

| | |
|--|-----------|
| 1. WSTĘP | 3 |
| 2. OPIS PRZYSTANI | 4 |
| 2.1 Stan istniejący..... | 4 |
| 3. WARUNKI HYDRO-METEOROLOGICZNE NA ZALEWIE WIŚLANYM..... | 13 |
| 3.1 Poziomy wody..... | 13 |
| 3.2 Wiatry..... | 14 |
| 3.3 Wyznaczanie falowania na przedpolu portu | 16 |
| 4. OBLICZENIE FALOWANIA W AKWENACH PORTOWYCH | 18 |
| 4.1 Scenariusze obliczeniowe..... | 18 |
| 4.2 Obliczenia wstępne Etap I..... | 18 |
| 4.2.1 Porównanie wysokości fal w porcie dla obecnego układu geometrycznego oraz wariantu I budowy przystani | 18 |
| 4.2.2 Porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu I oraz II budowy przystani | 20 |
| 4.2.3 Porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu I oraz IB budowy przystani..... | 21 |
| 4.2.4 Porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu I oraz III budowy przystani | 22 |
| 4.2.5 Porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu III oraz IV budowy przystani..... | 22 |
| 4.3 Wnioski wynikające z Etapu I obliczeń | 22 |
| 4.4 Etap II zasadniczych obliczeń – porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu I oraz wariantu III budowy przystani | 23 |
| 4.4.1 Falowanie o prawdopodobieństwie wystąpienia $T_R = 20$ lat | 23 |
| 4.4.2 Falowanie o prawdopodobieństwie wystąpienia $T_R = 100$ lat | 24 |
| 4.5 Wnioski z przeprowadzonych obliczeń falowania w porcie | 25 |
| 5. OBLICZENIE TRANSPORTU RUMOWISKA W ŚREDNIM ROKU STATYSTYCZNYM..... | 27 |
| 5.1 Transport wzdłużbrzegowy generowany falowaniem..... | 27 |
| 5.2 Transport rumowiska generowany prądami wiatrowymi i gradientowymi | 31 |
| 6. OCENA ODDZIAŁYWANIA PROJEKTOWANYCH FALOCHRONÓW NA SĄSIADUJĄCE BRZEGI | 35 |
| 7. OSZACOWANIE TEMPZA ZAPIASZCZANIA TORU PODEJŚCIOWEGO | 37 |
| 8. PODSUMOWANIE..... | 40 |
| SPIS LITERATURY | 42 |
| ZAŁĄCZNIK..... | 43 |

1. WSTĘP

Prezentowany raport wykonano wspólnie w Instytucie Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk (IBW PAN) w Gdańsku oraz w Instytucie Morskim (IM) w Gdańsku na zlecenie Pracowni Projektowej Budownictwa Hydrotechnicznego AQUAPROJEKT Sp. z o.o. w Gdańsku. Prezentowany raport dotyczy analizy falowania w projektowanej przystani oraz procesów litodynamicznych w strefie brzegowej w rejonie planowanej inwestycji.

Zgodnie z umową zakres prac obejmował:

- analizy statystyczne poziomów wody,
- analizy statystyczne wiatrów,
- wyznaczenie parametrów falowania na przedpolu portu dla potrzeb modelowania falowania w porcie,
- obliczenie falowania w porcie dla:
 - stanu istniejącego,
 - dwóch wariantów układu falochronów dla projektowanej przystani,
- obliczenia rocznego transportu rumowiska w rejonie Nowej Karczmy,
- ocenę oddziaływania projektowanych falochronów na przebudowę brzegu,
- ocenę stopnia zapiaszczania toru wodnego prowadzącego do projektowanej przystani.

Obliczenia wysokości falowania w porcie zarówno dla stanu istniejącego jak i dla projektowanych układów falochronów, wykonano dla następujących scenariuszy:

- najbardziej niekorzystnych kierunków wiatru generujących najwyższe fale przenikające do wnętrza, tj. SSE ($\theta=157.5^0$), SE ($\theta=135.0^0$) oraz E ($\theta=90.0^0$),
- dla każdego z kierunków wiatru obliczenia zrealizowano dla dwóch jego prędkości:
 - prędkości wiatru o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 20 lat,
 - prędkości wiatru o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 lat.

W trakcie realizacji obliczeń dotyczących falowania uznano za celowe przeanalizowanie dodatkowych wariantów nie objętych umową, tj.:

- wariantu IB - wariant I bez falochronu wschodniego,
- wariantu III - falochron wschodni usytuowany na przedłużeniu wschodniej krawędzi obecnego basenu portowego,
- wariantu IV – przesunięty falochron wschodni, zmiana układu toru podejściowego.

Dla potrzeb realizacji wymaganych obliczeń Zamawiający dostarczył następujące materiały wyjściowe:

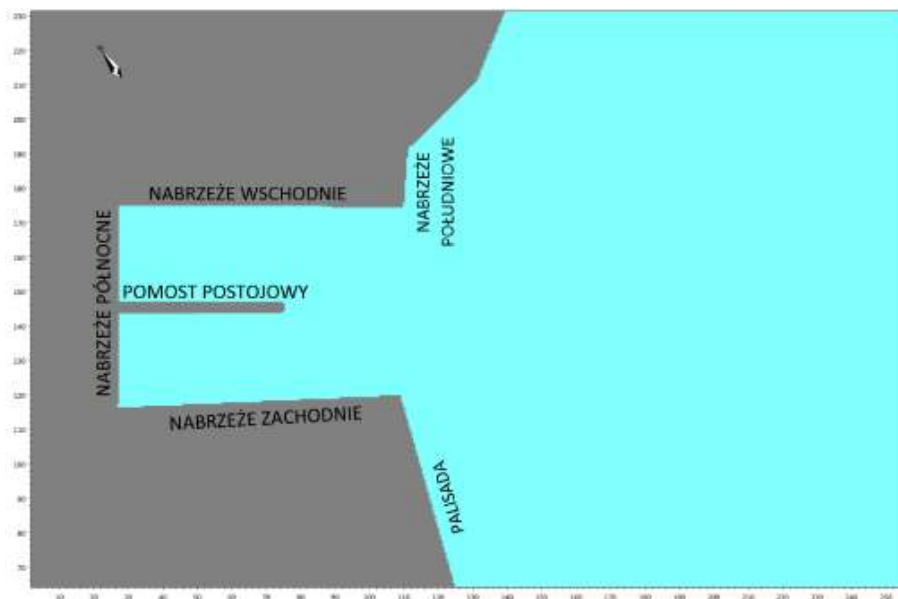
- obecny i projektowane plany portu (wariant I i II),
- plan batymetryczny portu i toru podejściowego.

Batymetrię strefy brzegowej Zalewu w rejonie portu, w celu budowy modeli numerycznych, uzyskano z map oraz zasobów własnych.

2. Opis przystani

2.1 Stan istniejący

Przystań w Nowej Karczmie w oficjalnej nomenklaturze Urzędu Morskiego nosi nazwę Basen nr III portu Krynica Morska. Składa się on z dwóch basenów (wschodniego i zachodniego), oddzielonych od siebie pomostem postojowym (nazywanym także pirssem postojowym), na którym stoi dolny znak nabieżnika prowadzącego do portu. Obecny (sierpień 2016 r.) układ geometryczny przystani pokazano na rys. 1. Teren przystani ma powierzchnię 1.4 ha i jest własnością Skarbu Państwa, administrowaną przez Urząd Morski w Gdyni.



Rys. 1. Obecny (sierpień 2016) układ geometryczny przystani w Nowej Karczmie

W latach 2010-2015 trwał remont portu. W jego ramach między innymi wykonano:

- przebudowę Nabrzeża Północnego – polegała ona na wymianie starych, zużytych elementów mających po kilkadziesiąt lat, dostosowaniu nabrzeża do wymogów bezpieczeństwa, zmodernizowaniu linii cumowniczo-odbojowej umożliwiającej bezpieczne cumowanie, załadunek i wyładunek jednostek rybackich,
- rozbiórkę starego i budowę nowego Pirsu Postojowego,
- budowę slipu ze stalową ramą do wodowania jednostek rybackich,
- przebudowę wjazdu do przystani wraz z remontem placu nabrzeżowego.

Stan istniejący konstrukcji (opis na podstawie dokumentacji archiwalnych)

Nabrzeże Zachodnie – konstrukcja oczepowa z żelbetową ścianką szczelną z brusew 16 x 60 cm o długości $l = 6.0$ m, kotwioną co 3.0 m stalowymi ściągam do żelbetowych tarcz. Nabrzeże wyposażone jest w drewnianą ramę odbojową i stalowe pachy cumownicze oraz nawierzchnię betonową, rys. 2.

- długość linii cumowniczej 83.0 m.
- rzędna korony nabrzeża +1.20 m (K),
- rzędna dna -2.0 m (K),
- obciążenie użytkowe naziomu – 5 kN/m².



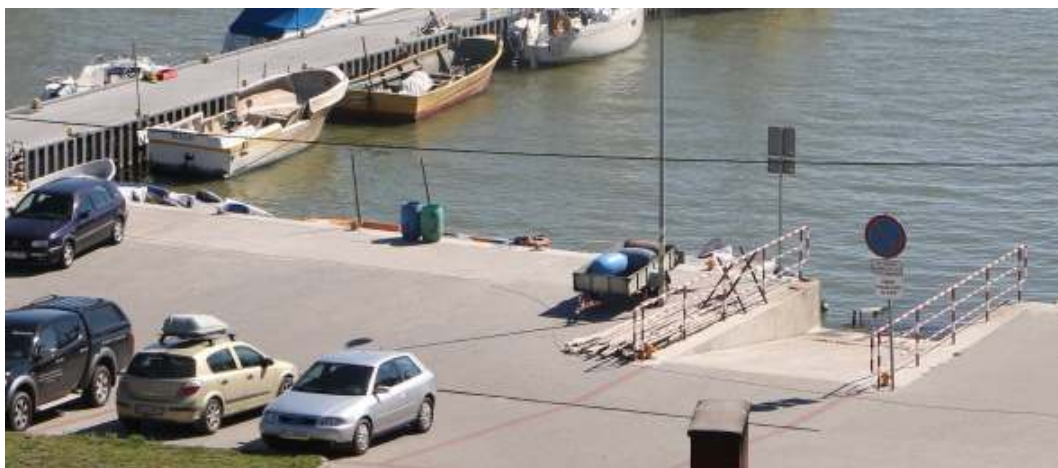
Rys. 2. Nabrzeże Zachodnie

Nabrzeże Północne – konstrukcja oczepowa ze stalową ścianką szczelną z brusów PU12 o długości $l = 11.7$ m, kotwioną co 4.8 m kotwami mikropalowymi. Nabrzeże wyposażone jest w ramę odbojową z tworzyw sztucznych i stalowe pachyły cumownicze oraz nawierzchnię betonową, rys. 3.

- długość linii cumowniczej 68.89 m,
- rzędna korony nabrzeża +1.20 m(K),
- rzędna dna -2.0 m(K),
- obciążenie użytkowe naziomu -10 kN/m².

Na nabrzeżu znajduje się slip szerokości 4.10 m do wodowania jednostek rybackich, oraz przyczółek Pomostu Postojowego szerokości 3.30 m.

W narożniku nabrzeża Zachodniego i Północnego znajduje się kolejny slip (5.5 x 8.65 m) z rampą stalową (3.75 x 10.84 m) do wodowania jednostek rybackich. Slip zbudowano na ścianie szczelnej PU-12. Rampa oparta jest na czterech stalowych palach rurowych 406/22 mm.



Rys. 3. Nabrzeże Północne z widocznym slipem i fragmentem Pomostu Postojowego

Nabrzeże Wschodnie – konstrukcja oczepowa z żelbetową ścianką szczelną, kotwioną co (prawdopodobnie) 3.0 m stalowymi ściągamami do żelbetowych tarcz. Nabrzeże wyposażone jest w drewnianą ramę odbojową i stalowe pachoły cumownicze oraz nawierzchnię, rys. 4.

- długość nabrzeża 84.2 m,
- rzędna korony nabrzeża +1.20 m(K),
- rzędna dna -1.0 m(K),
- rzędna wbicia ścianki szczelnej -3.90 m(K),
- obciążenie użytkowe naziomu -5 kN/m².

Na nabrzeżu znajduje się pochylnia do wyciągania sieci rybackich (dawny slip dla łodzi rybackich).



Rys. 4. Nabrzeże Wschodnie

Nabrzeże Południowe – nabrzeże o konstrukcji analogicznej jak nabrzeże Wschodnie, o długości 16.3 m, rys. 5. Jest ono na pewnej długości obrośnięte trzcina, użytkowane jako składowisko starego sprzętu rybackiego.

Pomost Postojowy (Pirs Postojowy) – konstrukcja pomostowa o długości 49.1 m i szerokości 3.3 m, usytuowana w połowie długości nabrzeża Północnego. Pomost dzieli akwen portu na baseny: Zachodni i Wschodni, rys. 6.

Konstrukcja pomostu to trzy żelbetowe dźwigary oparte co 8.0 m na podporach palowych z dwóch rur stalowych 457/12 mm i długości $l = 14.0$ m. Do dźwigarów przymocowane są legary z tworzyw sztucznych, które podpierają deski pokładu z tego samego materiału. Pomost zakończony jest głowicą – żelbetową monolityczną konstrukcją opartą na trzech palach o konstrukcji j.w. Pomost wyposażony jest w dwie drabinki, 22 pachołki o nośności 62 kN oraz odbojnice z belek z tworzyw sztucznych.

Palisady – po obu stronach Portu Piaski (Nowa Karczma), w celu ochrony brzegu Zalewu, wykonane są palisady z pali drewnianych. Palisada zachodnia ma długość 79 m i jest częściowo zniszczona.

Opaska brzegowa – na zachód od portu, w odległości około 600 m wybudowana została opaska brzegowa o aktualnej długości około 950 m. Opaska ta zgodnie z projektem ochrony brzegów Zalewu ma zostać rozbudowana. Wykonana została w postaci drewnianej palisady kleszczonej poziomymi belkami drewnianymi i obrzucona od strony Zalewu narzutem kamiennym ułożonym na geowłókninie, rys. 8.

Brzeg – po obu stronach portu brzeg jest obrośnięty trzcina, której szerokość waha się od 20 do 50 m, rys. 9.



Rys. 5. Nabrzeże Południowe



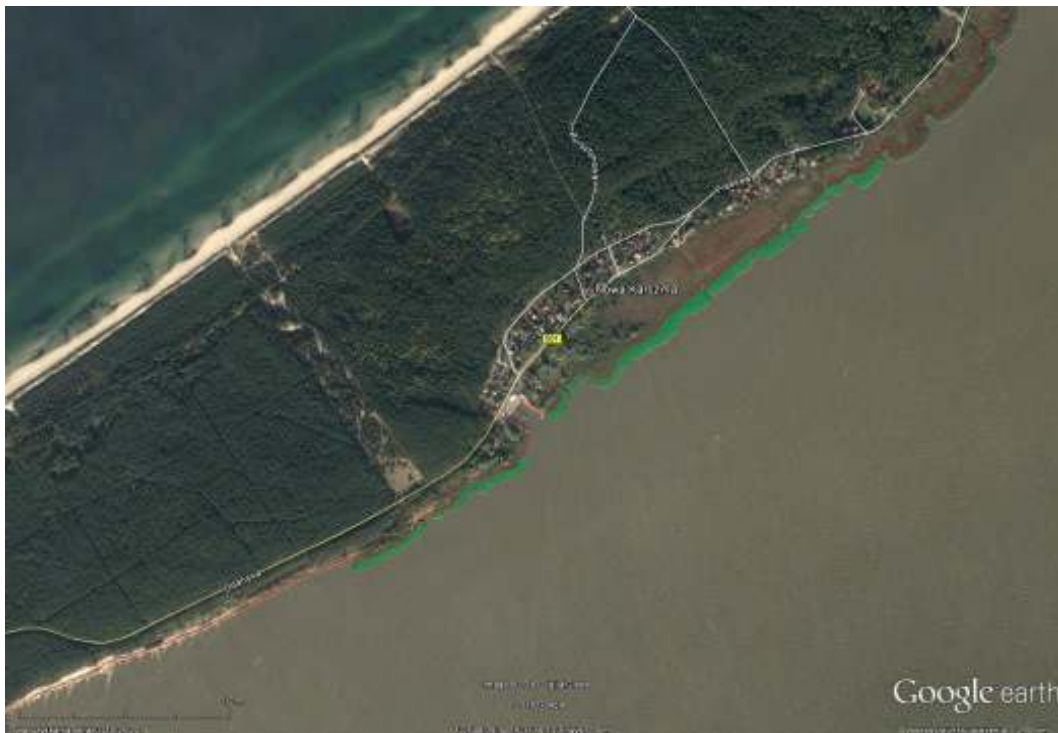
Rys. 6. Pomost Postojowy z widocznym nabieżnikiem



Rys. 7. Częściowo zniszczona palisada drewniana po zachodniej stronie portu



Rys. 8. Opaska brzegowa usytuowana na zachód od portu



Rys. 9. Brzegi Zalewu obrośnięte trzcina w sąsiedztwie przystani w Nowej Karczmie

Niebezpieczeństwa:

- głębokości na torze podejściowym są stale zmienne, spłycenia mogą nastąpić po każdym większym sztormie, jacht o zanurzeniu powyżej 50 cm wchodzący do portu musi ściśle trzymać się toru,
- baseny portowe nie są dobrze osłonięte przed falowaniem przy silnych wiatrach od strony Zalewu, zdarza się, że z pokładu jachtów wyrwane są knagi.

Prace pogłębiarskie – wg informacji Urzędu Morskiego w Gdyni pogłębianie portu wykonano:

- rok 2004 – roboty podczyszczeniowe w basenie portowym i na torze podejściowym w ilości około 15 600 m³,
- rok 2011 – roboty podczyszczeniowe na torze podejściowym w ilości około 7 000 m³.

2.2 Projektowana rozbudowa przystani

W Pracowni Projektowej Budownictwa Hydrotechnicznego AQUAPROJEKT w Gdańsku, opracowano kilka wstępnych propozycji układu falochronów dla projektowanej przystani. Po wstępnych dyskusjach w Urzędzie Morskim w Gdyni, podjęto decyzję o wykonaniu projektów dwóch wariantów budowy.

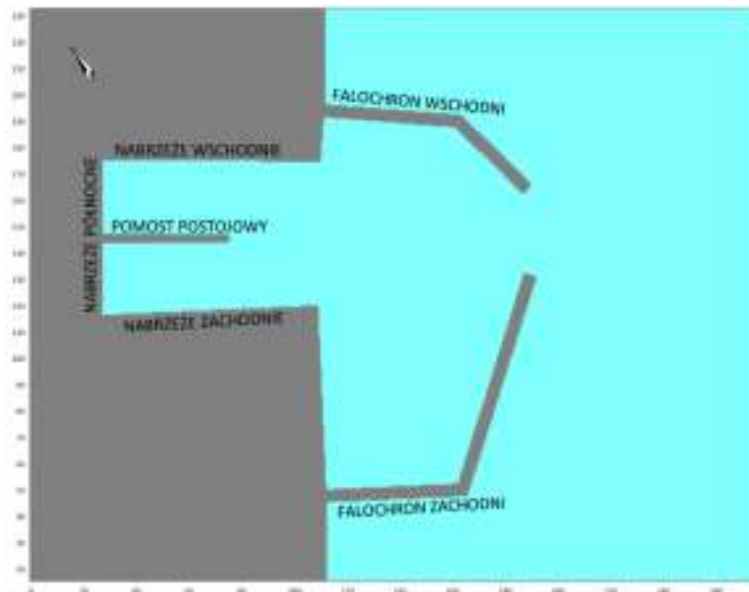
W trakcie wykonywania obliczeń falowania w akwenach położonych wewnątrz projektowanych falochronów dla wariantu I i II, uznano za celowe rozpatrzenie dodatkowych trzech wariantów, nazwanych odpowiednio wariantem IB, wariantem III, wariantem IV.

Wariant I

Położenie głowic falochronów w odległości 80 m od istniejącej linii brzegowej. Szerokość wejścia 30 m, usytuowanego na wprost istniejącego toru podejściowego.

W tym wariantcie zasadnicze miejsca postojowe dla jachtów przewidziano w tzw. „kieszeni” położonej w obszarze chronionym falochronem zachodnim. W sąsiedztwie falochronu

wschodniego przewidziano także wykonanie „kieszeni”, ale o znacznie mniejszej powierzchni. Geometryczny układ projektowanych falochronów pokazano na rys. 10.

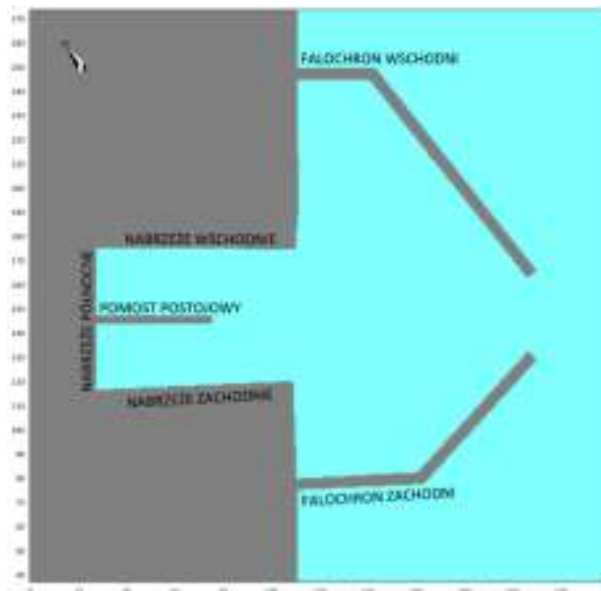


Rys. 10. Układ projektowanych falochronów dla wariantu I

Wariant II

Położenie główic falochronów w odległości 100 m od istniejącej linii brzegowej. Szerokość wejścia 30 m, usytuowanego na wprost istniejącego toru podejściowego.

W tym wariantcie układ projektowanych falochronów zapewnia zasadnicze miejsca postojowe dla jachtów w „kieszeni” położonej w sąsiedztwie falochronu wschodniego. Natomiast w sąsiedztwie falochronu zachodniego przewidziano wykonanie „kieszeni” o znacznie mniejszej powierzchni. Geometryczny układ projektowanych falochronów pokazano na rys. 11.

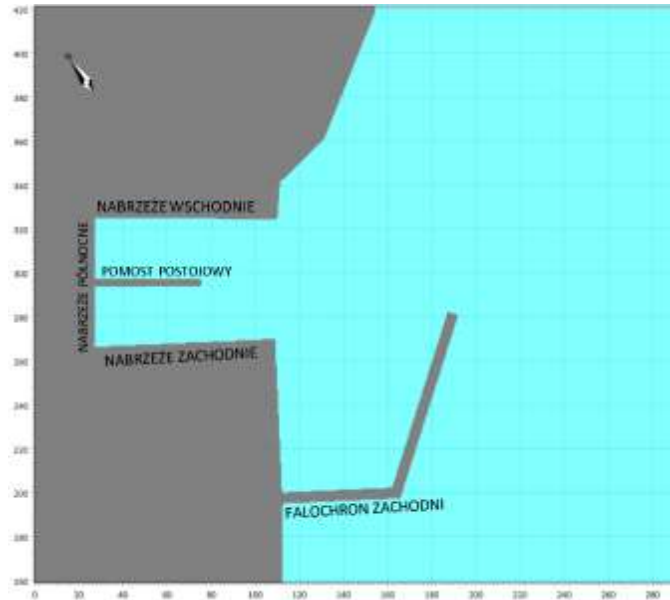


Rys. 11. Układ projektowanych falochronów dla wariantu II

Wariant IB

Położenie głowicy falochronu zachodniego w odległości 80 m od istniejącej linii brzegowej. Szerokość wejścia do portu limituje szerokość toru podejściowego.

W tym wariantcie przewiduje się tylko budowę falochronu zachodniego, o identycznym układzie geometrycznym jak w pierwszym wariantcie. Miejsca postojowe dla jednostek przewidziano w „kieszce” położonej w sąsiedztwie tego falochronu. Układ falochronu pokazano na rys. 12.

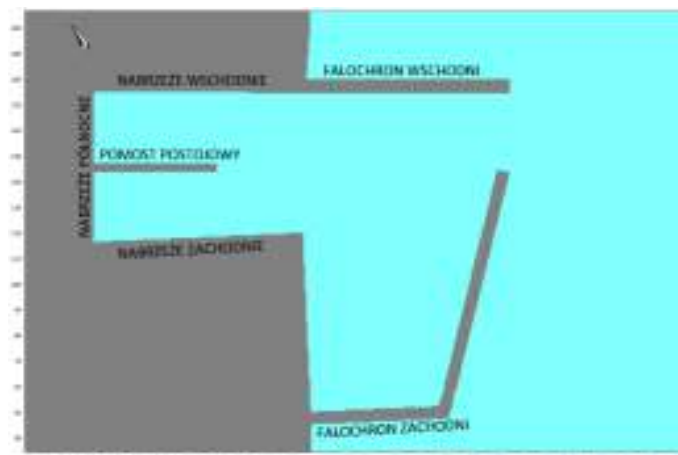


Rys. 12. Układ projektowanego falochronu zachodniego dla wariantu IB

Wariant III

Położenie głowic falochronów w odległości 80 m od istniejącej linii brzegowej. Szerokość wejścia 30 m, usytuowanego w świetle istniejącego toru podejściowego.

W tym wariantcie projektowany falochron wschodni wykonywany jest jako przedłużenie istniejącego wschodniego nabrzeża przystani. Kształt geometryczny falochronu zachodniego jest podobny jak w wariantcie pierwszym. Nowe miejsca postojowe dla jednostek znajdują się tylko w „kieszce” położonej w obszarze osłoniętym tym falochronem. W sąsiedztwie falochronu wschodniego możliwe stanowisko postojowe dla białej floty. Geometryczny układ projektowanych falochronów pokazano na rys. 13.



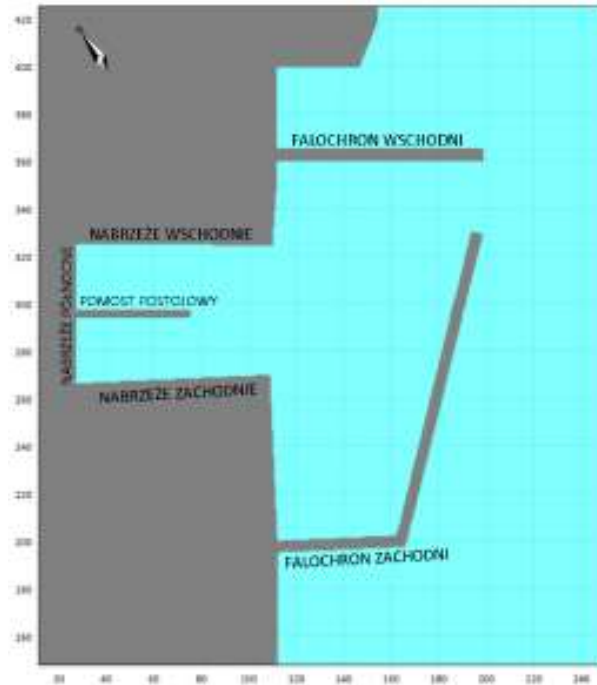
Rys. 13. Układ projektowanych falochronów dla wariantu III

Wariant IV

Położenie głowic falochronów w odległości 90 m od istniejącej linii brzegowej.

Szerokość wejścia 30 m, natomiast jest ono przesunięte na wschód od istniejącego toru podejściowego o około 30 m.

W tym wariantcie projektowany falochron wschodni przesunięty jest w kierunku północno-wschodnim o około 30 m. Brzeg położony pomiędzy nasadą falochronu wschodniego a krawędzią Nabrzeża Wschodniego wykonany w postaci skarpy narzutowej, celem minimalizacji odbicia fal od konstrukcji. Układ kątowy falochronu zachodniego jest podobny jak w wariantcie pierwszym i trzecim, jednak jest on przedłużony w kierunku wschodnim, zapewniając szerokość wejścia równą 30 m. Nowe miejsca postojowe dla jednostek znajdują się tylko w „kieszce” położonej w obszarze osłoniętym tym falochronem. W sąsiedztwie falochronu wschodniego możliwe stanowisko postojowe dla białej floty. Geometryczny układ projektowanych falochronów pokazano na rys. 14.



Rys. 14. Układ projektowanych falochronów dla wariantu IV

3. Warunki hydro-meteorologiczne na Zalewie Wiślanym

3.1 Poziomy wody

Zalew Wiślany jest zbiornikiem płytkim. Średnie głębokości wynoszą od 2 do 3 m. Ze względu na małą pojemność Zalewu, duży wpływ na dynamikę wód mają spiętrzenia sztormowe, wymiana wód pomiędzy morzem a Zalewem przez Cieśninę Pilawską oraz dopływy rzeczne, Łomniewski (1958).

- Spiętrzenia sztormowe – w wyniku działania wiatrów z kierunków NW, N oraz NE w Zalewie Wiślanym powstają bardzo wysokie stany wody w jego południowo-zachodniej części. Dobowe wahania poziomu wody w Zalewie mogą osiągać od 1 do 1.5 m, amplituda tych wahań osiąga największe wartości w południowo-zachodniej części Zalewu, czyli w największej odległości od Rynny Bałtyjskiej. W różnych rejonach zmiany poziomu wody są różne pod względem wielkości i znaku.
- Wymiana wód przez Rynną Bałtyjską (Pilawską) – przy wiatrach z kierunków W, NW i N następuje przedostawanie się wód bałtyckich do Zalewu, natomiast sytuacja odwrotna ma miejsce przy wiatrach z E, SE i S. Wielkość wymiany wód przez Cieśninę Pilawską szacuje się na 17-20 km³ rocznie, a maksymalny wzrost lub obniżenie poziomu wody może wynosić około 0.8÷1.0 m/dobę. Zależy on od prędkości, kierunku i czasu trwania wiatru oraz od spiętrzeń wód Bałtyku.
- Dopływy wód rzecznych – średnie roczne natężenia dopływów wód do Zalewu wynosi około 100 m³/s, przy chwilowych przepływach zawartych w przedziale od około 40 do około 1300 m³/s. Maksymalne zmiany poziomu wody w Zalewie wywołane tymi dopływami nie przekraczają 0.1 m/dobę.

Z wymienionych czynników trzeci jest najmniej istotny. Wywołuje on bowiem zmiany stanu wody w Zalewie z prędkością co najwyżej 0.1 m/dobę. Pozostałe czynniki mogą (każdy z osobna) wywołać ponad 10-krotnie większe zmiany poziomu wód w Zalewie.

Na podstawie wieloletnich notowań stanów wody IMGW określił prawdopodobieństwa wystąpienia wysokich stanów wody w południowo-zachodniej części Zalewu, tab. 1.

Tab. 1. 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 |

Dla brzegu w rejonie Nowej Karczmy, tj. odcinka brzegu usytuowanego mniej więcej w połowie długości Mierzei, przedstawione w tab. 1 stany wody są zawyżone. Dla tego rejonu nie prowadzono systematycznych obserwacji poziomów wody, dlatego też maksymalnie możliwe stany wody w tym rejonie określono na podstawie obliczeń. Obliczenia te wykonano dla wiatru z kierunku NE o prędkości 15 m/s, tj. kierunku najbardziej niekorzystnego, wiejącego wzdłuż podłużnej osi Zalewu.

Z obliczeń tych wynika, że na linii łączącej Krynicę Morską z Tolkmickiem poziom ten wynosił 626 cm, a na południowo-zachodnim krańcu Zalewu 654 cm. Obliczony stan 654 cm dość dobrze koresponduje ze stanem wody stuletniej (661 cm) określonym przez IMGW.

Ponieważ wyniki obliczeń numerycznych dla krańca południowo-wschodniego Zalewu dają wartości nieco niższe od poziomu wody stuletniej podawanej przez IMGW, bezpieczniej jest przyjąć dla rejonu Nowej Karczmy, podobnie jak dla Krynicy Morskiej, poziom wody stuletniej

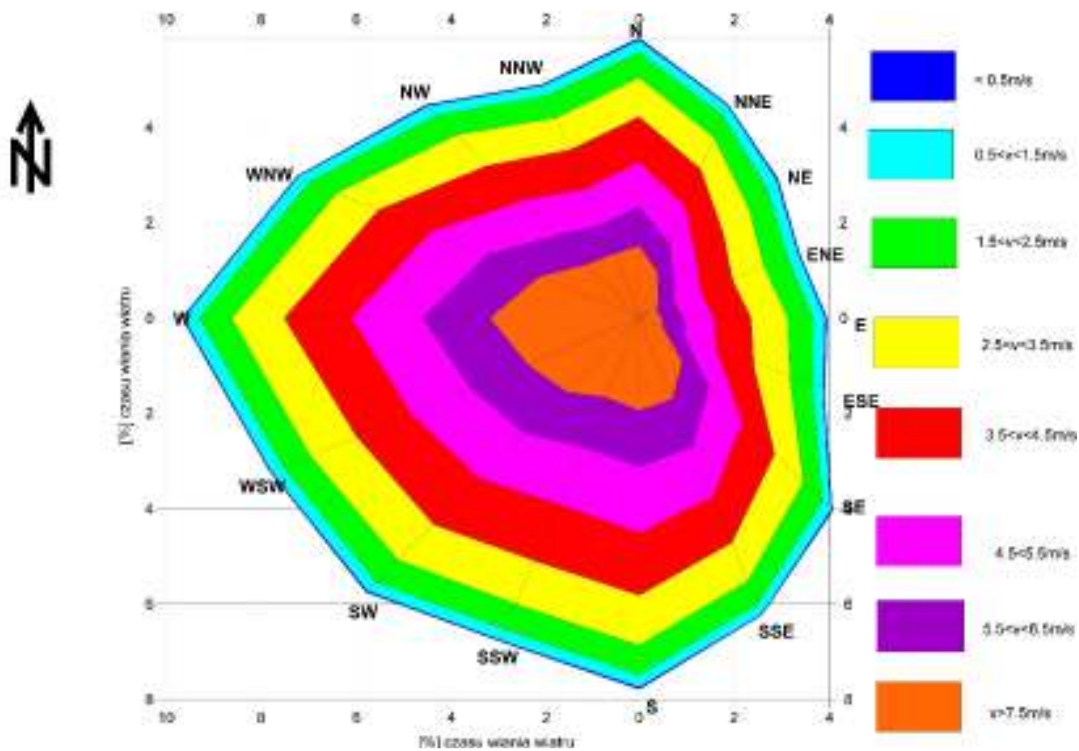
niej równy 630 cm. Z kolei dobowe wahania poziomu wody mogą osiągać wartości od 1 do 1.5 m.

3.2 Wiatry

Na Zalewie Wiślanym w rejonie Nowej Karczmy nie prowadzono systematycznych pomiarów prędkości i kierunków wiatru. Dane te z kolei są niezbędne do określenia parametrów falowania wiatrowego występującego na tym obszarze. Dla potrzeb niniejszej pracy 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 parametrów wiatrów, wybrano punkt o współrzędnych $54^{\circ}29,982' N$ i $19^{\circ}35,202' E$, położony po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej na głębokości około 50 m.

Otrzymane dane wiatrowe zostały przeanalizowane oddzielnie dla szesnastokierunkowej róży wiatrów, rys. 15.



Rys. 15. Częstotliwościowo-kierunkowa róża wiatrów wyznaczona na podstawie znajomości pól barycznych zarejestrowanych nad Bałtykiem w okresie 44 lat (1958÷2001), w punkcie o współrzędnych: $54^{\circ}29,982' N$ i $19^{\circ}35,202' E$, położonym po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej

Dla przystani w Nowej Karczmy wiatry z kierunku SSE, SE, ESE i E generują najwyższe fale przenikające do jego wnętrza. Z analizy danych zamieszczonych na rys. 14 wynika, że w średnim roku statystycznym częstości i prędkości wiatrów dla tych dwóch kierunków są następujące:

- wiatry z kierunku SSE
 - występują łącznie przez około 7% czasu w ciągu roku,

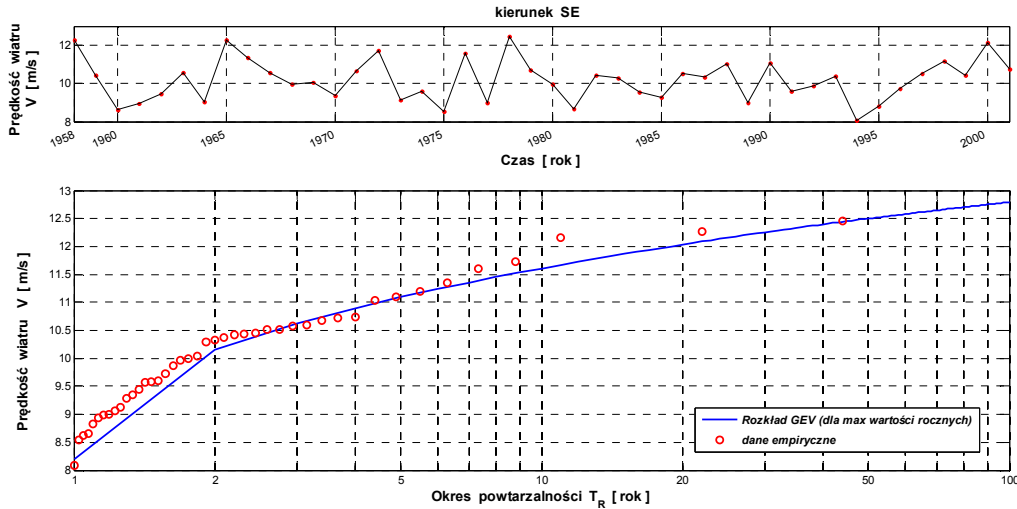
- wiatry o prędkościach przekraczających 10 m/s występują łącznie przez około 20 godz. w roku,
- maksymalna prędkość wiatru w okresie 1958-2001 wynosiła 12.8 m/s,
- wiatry z kierunku SE
 - występują łącznie przez około 6% czasu w ciągu roku,
 - wiatry o prędkościach przekraczających 10 m/s występują łącznie przez około 12 godz. w roku,
 - maksymalna prędkość wiatru w okresie 1958-2001 wynosiła 12.5 m/s,
- wiatry z kierunku ESE
 - występują łącznie przez około 4% czasu w ciągu roku,
 - wiatry o prędkościach przekraczających 10 m/s występują łącznie przez około 4 godz. w roku,
 - maksymalna prędkość wiatru w okresie 1958-2001 wynosiła 11.9 m/s,
- wiatry z kierunku E
 - występują łącznie przez około 4% czasu w ciągu roku,
 - wiatry o prędkościach przekraczających 10 m/s występują łącznie przez około 3 godz. w roku,
 - maksymalna prędkość wiatru w okresie 1958-2001 wynosiła 11.4 m/s.

Prędkości wiatrów o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 20 i 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. Wartości tak wyznaczonych prędkości wiatrów zamieszczono w tab. 2.

Tab. 2. Obliczone prędkości wiatrów o okresie powtarzalności $T_R = 20$ i $T_R = 100$ lat

| Kierunek wiatru | Prędkość wiatru [m/s] | |
|-----------------|-----------------------|-----------------|
| | $T_R = 20$ lat | $T_R = 100$ lat |
| SSE | 12.53 | 13.40 |
| SE | 12.03 | 12.79 |
| ESE | 10.75 | 11.58 |
| E | 10.70 | 11.53 |

Na rys. 16, pokazano, przykładowo dla kierunku wiatru SE, zarówno maksymalne roczne prędkości wiatrów (górna część rysunku), jak i obliczone rozkładem GEV, prędkości wiatrów o określonym prawdopodobieństwie wystąpienia (dolna część rysunku).



20 lat = 12.03 m/s

50 lat = 12.50 m/s

100 lat = 12.79 m/s

Rys. 16. Obliczony rozkładem GEV dla kierunku SE prędkości wiatrów o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na T_R lat

3.3 Wyznaczanie falowania na przedpolu portu

Na Zalewie nie były prowadzone systematyczne pomiary falowania wiatrowego. Jedynie w latach 1950-51 wykonywano sezonowe pomiary przy użyciu tyczki wolnoptywającej ze skalą. Wyniki pomiarów zostały przedstawione w pracy Łomniewskiego (1958). Jak podaje Autor, przy wiatrach o prędkościach około 10 m/s utrzymujących się przez okres 3-4 godzin, stan Zalewu można ocenić na 3 w skali Beauforta. Uogólnione wyniki obserwacji tylko z dwóch rejsów badawczych przedstawiono w tab. 3.

Przy większych prędkościach wiatru pomiarów nie dokonywano. Według cytowanego autora, okres fali bywa tak zmienny, że bez obszernych badań nie można ich ująć w sposób tabelaryczny. Na podstawie obserwacji fali z pokładu statku, długość fal wynosiła 3.5-4.0 m przy stanie Zalewu 2, natomiast przy stanie 3 dochodziła do 4.5 m. Przy najgwałtowniejszych sztormach autor określał stan Zalewu na 5-6 stopni.

Tab.3. Zestawienie prędkości wiatru i stanu Zalewu na podstawie pomiarów w latach 1950-51 (Łomniewski 1958)

| Prędkość wiatru [m/s] | Wysokość fali [m] | Stan Zalewu |
|-----------------------|-------------------|-------------|
| ≥ 4 | 0.2-0.3 | 1 |
| 5 - 9 | 0.3-0.5 | 2 |
| ≥ 10 | 0.5-1.0 | 3 |

Z uwagi na brak wiarygodnych, długoterminowych pomierzonych parametrów falowania wiatrowego na Zalewie Wiślanym, wielkości te obliczono z modeli prognostycznych dla wiatrów z kierunku S i SSE generujących najwyższe fale przenikające do wnętrza przystani w Piaskach. Obliczenia te dla prędkości wiatrów o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 20 i raz na 100 lat (tab. 2), wykonano czterema niezależnymi modelami matematycznymi, opisanymi w: CEM (2003), Hasselmann i in. (1973), Young i Verhagen (1996) oraz Young (1997).

Ostatecznie dla czterech kierunków wiatru (SSE, SE, ESE i E) przyjęto następujące parametry fal projektowych, tab. 4:

Tab.4. Przyjęte parametry fal projektowych dla analizowanych kierunków podchodzenia falowania do portu

| Kierunek podchodzenia falowania SSE | | |
|---|--------------------|----------------|
| Okres powtarzalności | Wys. fali znacznej | Okres fali |
| $T_R = 20$ lat | $H_s = 0.64$ m | $T_p = 3.15$ s |
| $T_R = 100$ lat | $H_s = 0.70$ m | $T_p = 3.30$ s |
| Kierunek podchodzenia falowania SE i ESE | | |
| Okres powtarzalności | Wys. fali znacznej | Okres fali |
| $T_R = 20$ lat | $H_s = 0.58$ m | $T_p = 2.92$ s |
| $T_R = 100$ lat | $H_s = 0.60$ m | $T_p = 2.97$ s |
| Kierunek podchodzenia falowania E | | |
| Okres powtarzalności | Wys. fali znacznej | Okres fali |
| $T_R = 20$ lat | $H_s = 0.54$ m | $T_p = 2.45$ s |
| $T_R = 100$ lat | $H_s = 0.58$ m | $T_p = 2.55$ s |

Dla falowania podchodzącego z kierunków SE i ESE parametry fal projektowych są identyczne. Również z uwagi na procesy refrakcji, fale podchodzące z tych kierunków przenikają do wnętrza portu prawie pod tym samym kątem. W rezultacie także i falowanie powstające w porcie dla obu tych kierunków jest takie samo. Z tych też względów obliczenia falowania w porcie wykonano dla kierunków SSE, SE i E. Kierunek SE reprezentuje falowanie podchodzące w przybliżeniu wzdłuż toru podejściowego. Pozostałe dwa kierunki reprezentują falowanie ukośne do toru, w znacznym stopniu przenikające do wnętrza portu.

4. Obliczenie falowania w akwenach portowych

Obliczenia rozprzestrzeniania się falowania, prowadzące do wyznaczenia pól falowych w akwenach portowych, wykonano przy wykorzystaniu modułu falowego BW (*Boussinesq Wave*).

Dane batymetryczne niezbędne do wykonania obliczeń zostały dostarczone przez Pracownię Projektową Budownictwa Hydrotechnicznego AQUAPROJEKT w Gdańsku. Obszar modelowania obejmował wnętrze portu z uwzględnieniem wszystkich konstrukcji hydrotechnicznych (falochrony, nabrzeża), toru podejściowego oraz strefy brzegowej Zalewu w rejonie awanportu.

Na odmorskiej krawędzi siatki numerycznej przyjęto funkcje gęstości widmowych, których charakterystyczne parametry zostały przedstawione w tab. 4, a na krawędziach bocznych obszaru przyjęto granice zamknięte (ograniczające model) oraz zastosowano warunek tłumienia falowania w obszarach, które nie mają wpływu na falowanie w porcie. Granica lądowa rozpatrywanego akwenu została odwzorowana geometrycznym układem budowli (falochrony, nabrzeża, pirsy).

Przy obliczaniu falowania przyjęto następujące wartości współczynników odbicia K_R :

- zewnętrzne krawędzie projektowanych falochronów $\rightarrow K_R = 0.50$,
- wewnętrzne krawędzie projektowanych falochronów $\rightarrow K_R = 0.95$,
- Nabrzeże Północne, Wschodnie i Południowe $\rightarrow K_R = 0.95$,
- Pomost Postojowy $\rightarrow K_R = 0.20$.

4.1 Scenariusze obliczeniowe

Obliczenia falowania w porcie podzielono na dwa następujące etapy:

- obliczenia wstępne Etap I – wykonanie obliczeń dla wszystkich rozpatrywanych wariantów (I, IB, II, III i IV) tylko dla okresu powtarzalności $T_R = 100$ lat i niektórych kierunków podchodzenia falowania w celu wybrania optymalnych rozwiązań do obliczeń zasadniczych,
- obliczenia zasadnicze Etap II – wykonanie pełnych obliczeń (wszystkie kierunki podchodzenia falowania, tj. SSE, SE i E, oba okresy powtarzalności $T_R = 20$ i 100 lat) dla wybranych wariantów.

Rysunki pokazujące obliczone wysokości falowania w akwenach portowych dla obu etapów obliczeń, zamieszczono w Załączniku „Obliczone wysokości fal znacznych w projektowanej przystani w Nowej Karczmie”.

4.2 Obliczenia wstępne Etap I

4.2.1 Porównanie wysokości fal w porcie dla obecnego układu geometrycznego oraz wariantu I budowy przystani

Kierunek podchodzenia SSE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s

Rys. Z1 Rys. Z1a), obecny układ geometryczny basenów i aktualne głębokości.

Falowanie przenika do basenów przystani całą szerokością wejścia. W basenie wschodnim wysokości fal są generalnie zawarte w przedziale 0.60-0.75 m, a w basenie zachodnim, nieco mniejsze, o wartościach 0.50-0.65 m. Na przedpolu Pomostu Postojowego przeważają fale znaczne o wysokościach z przedziału 0.65-0.75 m.

Rys. Z1b) Wariant I budowy przystani i aktualne głębokości

Wysokości fal znacznych w basenie wschodnim zawarte są w przedziale od 0.35 do 0.45 m, natomiast w basenie zachodnim są nieco niższe, rzędu 0.35-0.40 m. Na przedpolu Pomostu Postojowego są większe, o wartościach około 0.4 m. W akwenu położonym w tzw. kieszeni chronionej projektowanym zachodnim falochronem, wysokości fal nie przekraczają wartości 0.35 m. Natomiast w rejonie wejścia portowego i w akwenu położonym w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego, wysokości fal są znacznie większe, zawarte w przedziale 0.50-0.65 m.

Rys. Z1c) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

Wysokości fal znacznych w obu basenach przystani oraz na przedpolu Pomostu Postojowego są generalnie rzędu 0.40-0.50 m. W akwenu położonym w kieszeni chronionej projektowanym zachodnim falochronem, wysokości fal są rzędu 0.45 m. Natomiast w rejonie wejścia portowego i w akwenu położonym w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego, wysokości fal są większe, zawarte w przedziale 0.65-0.75 m.

Kierunek podchodzenia SE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.60$ m, $T_p = 2.97$ s, rys. Z2*Rys. Z2a) Obecny układ geometryczny basenów i aktualne głębokości*

W obu basenach portowych oraz na przedpolu Pomostu Postojowego wysokości fal są generalnie zawarte w przedziale 0.40-0.50 m.

Rys. Z2b) Wariant I budowy przystani i aktualne głębokości

W basenie zachodnim przystani wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.20-0.35 m, a basenie wschodnim w przedziale 0.30-0.40 m. W akwenu położonym w kieszeni chronionej projektowanym zachodnim falochronem wysokości fal są zawarte w przedziale 0.20-0.30 m. Natomiast w rejonie wejścia portowego i w akwenu położonym w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego wysokości fal są większe, zawarte w przedziale 0.40-0.50 m.

Kierunek podchodzenia E, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.55$ s, rys. Z3*Rys. Z3a) Obecny układ geometryczny basenów i aktualne głębokości*

W basenie wschodnim i na przedpolu Pomostu Postojowego wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.40-0.45 m. W basenie zachodnim są nieco większe, zawarte w przedziale 0.40-0.50 m, a lokalnie osiągają wysokości rzędu 0.55 m.

Rys. Z3b) Wariant I budowy przystani i aktualne głębokości

W basenie wschodnim wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.15-0.30 m, a basenie zachodnim w przedziale 0.30-0.40 m. W akwenu położonym w kieszeni chronionej projektowanym zachodnim falochronem jak i w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego, wysokości fal są zawarte w przedziale 0.20-0.35 m. W rejonie wejścia portowego wysokości fal są większe, zawarte w przedziale 0.40-0.50 m.

Podsumowanie

Dla aktualnego układu przystani w zależności od kąta podchodzenia falowania, wysokości fal znacznych o prawdopodobieństwie pojawienia się raz na 100 lat w istniejących basenach, zawarte są generalnie w przedziałach 0.60-0.75 m dla falowania podchodzącego z kierunku SSE oraz w przedziale 0.40-0.50 m dla kierunków SE i E.

Dla układu geometrycznego planowanych falochronów wg wariantu I i aktualnych głębokości, wysokości falowania w istniejących basenach ulegają znacznemu zmniejszeniu. Maksymalne wysokości fal znacznych nie przekraczają wartości 0.5 m.

Z kolei dla układu falochronów wg wariantu I i projektowanych głębokości rzędu $h \approx 2$ m, co pokazano przykładowo dla kierunku SSE (rys. Z1), w istniejących basenach przystani, wysokości fal znacznych będą zawarte w przedziale od 0.40 do 0.50 m. W akwenu położonym w kieszeni chronionej projektowanym zachodnim falochronem, wysokości fal będą generalnie rzędu 0.4 m. Natomiast w akwenu położonym w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego, wysokości fal znacznych będą zawarte w przedziałach: 0.65-0.75 m.

Efekt osłaniającego działania projektowanych falochronów na baseny portowe zobrazowany został w postaci porównania falowania dla stanu aktualnego i wariantu I przy istniejącej głębokości. Natomiast projektowane pogłębienie akwenów portowych powoduje pewne zwiększenie wysokości fal w tych obszarach, co zostało przedstawione na rys. Z1.

4.2.2 Porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu I oraz II budowy przystani

Kierunek podchodzenia SSE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, rys. Z4

Dla wariantu I budowy falochronów zasadnicze miejsce postojowe dla jachtów jest przewidziane w kieszeni chronionej projektowanym zachodnim falochronem. W akwenu tym obliczone wysokości fal znacznych są rzędu 0.4 m. Natomiast w dodatkowym miejscu cumowania jachtów, tj. w akwenu położonym w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego, wysokości fal znacznych są większe, zawarte w przedziale 0.65-0.75 m.

Dla wariantu II budowy falochronów główne miejsce postojowe zaprojektowano w kieszeni chronionej falochronem wschodnim. W akwenu tym obliczone wysokości fal wynoszą od 0.65 do 0.75 m.

Dla obu wariantów układu falochronów wysokości fal znacznych w istniejących basenach przystani są takie same i wynoszą około 0.5 m.

Kierunek podchodzenia SE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.60$ m, $T_p = 2.97$ s, rys. Z5

Dla wariantu I układu falochronów w akwenu położonym w kieszeni chronionej projektowanym zachodnim falochronem, wysokości fal znacznych są, podobnie jak dla kierunku SSE podchodzenia falowania, rzędu 0.4 m, a w akwenu położonym w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego, zawarte w przedziale 0.40-0.50 m.

Dla wariantu II układu falochronów w całym akwenu projektowanej przystani, przeważają wysokości fal znacznych z przedziału 0.40-0.50 m.

W wejściu portowym, dla obu wariantów, wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale od 0.5 do 0.65 m, a w obu istniejących basenach przystani nie przekraczają wysokości 0.5 m.

Kierunek podchodzenia E, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.55$ s, rys. Z6

Dla wariantu I układu falochronów w akwenu położonym w kieszeni chronionej projektowanym zachodnim falochronem, wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.40-0.45 m. Natomiast w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego, wysokości fal są mniejsze, zawarte w przedziale 0.30-0.40 m.

Dla wariantu II układu falochronów w miejscu planowanego cumowania jachtów, tj. w kieszeni wschodniej, obliczone wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.30-0.40 m, a w sąsiedztwie falochronu zachodniego wysokości te wynoszą od 0.4 do 0.55 m.

Niezależnie od wariantu układu falochronów w rejonie wejścia portowego, wysokości fal znacznych są generalnie rzędu 0.5 m, ale lokalnie osiągają wartości dochodzące do 0.6 m.

W istniejących basenach przystani wysokości fal znacznych nie przekraczają wartości 0.4 m.

Podsumowanie

Dla kierunków podchodzenia falowania z kierunków SSE i SE preferowany jest układ falochronów wg wariantu I. Wariant ten zapewnia w miarę spokojny postój jachtów w kieszeni chronionej falochronem zachodnim. Natomiast dla falowania podchodzącego z kierunku E, lepsze warunki postojowe występują dla wariantu II układu falochronów, tj. w kieszeni chronionej falochronem wschodnim.

Biorąc pod uwagę, że w średnim roku statystycznym wiatry z kierunków SSE i SE występują łącznie przez około 46 dni w roku, a z kierunku E tylko przez 14 dni należy uznać, że z punktu bezpieczeństwa postoju jachtów w projektowanej przystani wariant I zdecydowanie przewyższa wariant II układu falochronów. Na korzyść wyboru wariantu I przemawia również fakt, iż parametry falowania wiatrowego z kierunku SSE są wyższe niż dla kierunku E. Z tych też względów odrzucono wariant II w dalszych obliczeniach.

4.2.3 Porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu I oraz IB budowy przystani

Kierunek podchodzenia SSE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, rys. Z7

Dla wariantu I układu falochronów, jak opisano to w podpunkcie 4.2.1, w kieszeni zachodniej obliczone wysokości fal znacznych są rzędu 0.45 m, a w sąsiedztwie falochronu wschodniego fale te są większe, zawarte w przedziale 0.65-0.75 m. Wysokości fal znacznych w obu basenach przystani oraz na przedpolu Pomostu Postojowego są generalnie rzędu 0.40-0.50 m.

Dla wariantu IB, tj. budowy tylko falochronu zachodniego, przy falowaniu podchodzącym z kierunku SSE w kieszeni usytuowanej w sąsiedztwie tego falochronu wysokości fal są zawarte w przedziale 0.2-0.3 m, w istniejących basenach przystani, odpowiednio do 0.3 m w basenie zachodnim i od 0.3 do 0.4 m w basenie wschodnim. Na otwartym akwenu, który w wariantcie I byłby osłonięty falochronem wschodnim, wysokości fal znacznych są rzędu 0.4 m.

Podsumowanie

Podobne do opisanego powyżej rozkładu wysokości fal znacznych w projektowanej przystani pojawią się również przy falowaniu podchodzącym z kierunku SE. Wynika to z faktu, iż dla tych kierunków podchodzenia falowania nie będzie następowało odbicie fal od falochronu wschodniego i w rezultacie przenikanie do kieszeni usytuowanej przy falochronie zachodnim. Dla tych kierunków podchodzące fale będą swobodnie przemieszczały się w kierunku brzegu, gdzie będą całkowicie tłumione w istniejących tam trzecinowiskach.

Natomiast przy falowaniu podchodzącym z kierunku E, miejsca postojowe jachtów w kieszeni położonej przy projektowanym falochronie zachodnim będą całkowicie otwarte na fale z tego kierunku. Oznacza to, że w akwenu tym należy się spodziewać wysokości fal znacznych z przedziału 0.5-0.6 m.

Przy rezygnacji z budowy falochronu wschodniego, cały akwen projektowanej przystani będzie ulegał szybkiemu spłycaaniu z uwagi na transport rumowiska ze wschodu na zachód. Utrzymanie projektowych głębokości będzie wymagało częstych prac pogłębiarskich.

4.2.4 Porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu I oraz III budowy przystani

Kierunek podchodzenia SSE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, rys. Z8

Dla wariantu I układu falochronów przy tym kierunku podchodzenia falowania, jak opisano to w podpunkcie 4.2.1, w kieszeni zachodniej, obliczone wysokości fal znacznych są rzędu 0.45 m, a w sąsiedztwie falochronu wschodniego fale te są większe, zawarte w przedziale 0.65-0.75 m. Wysokości fal znacznych w obu basenach przystani oraz na przedpolu Pomostu Postojowego są generalnie rzędu 0.40-0.50 m.

Dla wariantu III układu falochronów w kieszeni zachodniej obliczone wysokości fal znacznych są rzędu 0.45 m, w sąsiedztwie falochronu wschodniego zawarte w przedziale 0.5-0.6 m. Wysokości fal znacznych w istniejącym basenie zachodnim przystani wynoszą od 0.4 do 0.5 m, a w basenie wschodnim są rzędu 0.4 m.

Podsumowanie

Dla obu wariantów układu falochronów obliczone wysokości fal znacznych, zarówno w istniejących basenach przystani jak i w projektowanej przystani, są podobne. Argumentem przemawiającym na korzyść wariantu III są przede wszystkim mniejsze koszty realizacji inwestycji, a także prostsza realizacja budowy. Wzdłuż falochronu wschodniego można przewidzieć miejsce postojowe dla statków białej floty, które są na tyle duże, żeby nie odczuwać uciążliwości związanych z występowaniem w warunkach sztormowych stosunkowo wysokich fal, osiagających w warunkach ekstremalnych wartości rzędu 0.6 m.

4.2.5 Porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu III oraz IV budowy przystani

Kierunek podchodzenia SSE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, rys. Z9

Dla wariantu III układu falochronów, opisanego w podpunkcie 4.2.5, w kieszeni zachodniej, obliczone wysokości fal znacznych są rzędu 0.45 m, w sąsiedztwie falochronu wschodniego zawarte w przedziale 0.5-0.6 m. Wysokości fal znacznych w istniejącym basenie zachodnim przystani, wynoszą od 0.4 do 0.5 m, a w basenie wschodnim są rzędu 0.4 m.

Dla wariantu IV układu falochronów w kieszeni zachodniej, tj. w zasadniczym miejscu przewidzianym na postój jachtów, wysokości fal znacznych są mniejsze, zawarte w przedziale 0.3-0.4 m. W kieszeni wschodniej, przewidzianej głównie dla statków białej floty, wysokości fal znacznych wynoszą od 0.4 do 0.5 m. W obu istniejących basenach przystani, obliczone wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.3-0.4 m.

Podsumowanie

Układ falochronów wg wariantu IV, zapewnia znacznie bezpieczniejszy postój jachtów zarówno w kieszeni chronionej falochronem zachodnim jak i w istniejących basenach przystani w porównaniu do wariantu I i III. Jest to jednak najdroższy wariant wykonania przystani. Oprócz budowy falochronów wymaga on bowiem także przełożenia toru podejściowego prowadzącego do portu.

4.3 Wnioski wynikające z Etapu I obliczeń

Na podstawie przeprowadzonych wstępnych obliczeń stwierdzono:

- Wariant I – zapewnia w miarę bezpieczny postój jachtów w kieszeni chronionej falochronem zachodnim. Dla falowania o okresie powtarzalności $T_R = 100$ lat w akwencie tym, wysokości fal znacznych będą generalnie rzędu 0.45 m. W akwencie położonym w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego, wysokości fal znacznych bę-

dą znacznie wyższe, zawarte w przedziale 0.65-0.75 m. W istniejących basenach przystani, wysokości fal znacznych będą zawarte w przedziale od 0.40 do 0.50 m.

- Wariant IB – zapewnia bezpieczny postój jachtów w kieszeni chronionej falochronem zachodnim przy falowaniu podchodzących z kierunków SSE i SE. Natomiast dla falowania podchodzącego z kierunku E kieszeń ta będzie całkowicie otwarta na fale z tego kierunku. Akwen ten z uwagi na transport rumowiska ze wschodu na zachód będzie ulegał szybkiemu spłycaaniu. Utrzymanie projektowych głębokości będzie wymagało częstych prac pogłębiarskich.
- Wariant II – nie zapewnia bezpiecznego cumowania jachtów w kieszeni chronionej falochronem wschodnim dla falowania podchodzącego z kierunków SSE i SE. Wariant ten zapewnia bezpieczny postój jachtów tylko dla falowania podchodzącego z kierunku E. Biorąc pod uwagę, że w średnim roku statystycznym wiatry z kierunków SSE i SE występują łącznie przez około 46 dni w roku, a z kierunku E tylko przez 14 dni należy uznać, że z punktu bezpieczeństwa postoju jachtów w projektowanej marini wariant I zdecydowanie przewyższa wariant II układu falochronów.
- Wariant III, podobnie jak wariant I – zapewnia w miarę bezpieczny postój jachtów w kieszeni chronionej falochronem zachodnim. Dla falowania o okresie powtarzalności $T_R = 100$ lat, wysokości fal znacznych dla wszystkich kierunków podchodzenia falowania do portu nie przekraczają generalnie, wysokości 0.45 m. Argumentem przemawiającym na korzyść wariantu III są przede wszystkim mniejsze koszty realizacji inwestycji, a także prostsza realizacja budowy. Wzdłuż falochronu wschodniego można przewidzieć miejsce postojowe dla statków białej floty.
- Wariant IV – zapewnia bezpieczny postój jachtów w kieszeni chronionej falochronem zachodnim. Dla falowania o okresie powtarzalności $T_R = 100$ lat, wysokości fal znacznych dla wszystkich kierunków podchodzenia falowania do portu są zawarte w przedziale 0.3-0.4 m. Jest to najdroższy wariant konstrukcji przystani. Oprócz budowy falochronów wymaga on bowiem także przełożenia toru podejściowego prowadzącego do portu.
- Z przeprowadzonych wstępnych obliczeń wynika, że wariant I i III układu falochronów zapewniają podobne warunki postoju jachtów zarówno w projektowanej przystani jak i w istniejących basenach przystani. Wariant IV układu falochronów zapewnia lepsze warunki postojowe jachtów, jednak z uwagi na znacznie większe koszty realizacji inwestycji, a w szczególności na konieczność wykonania nowego toru podejściowego prowadzącego do portu wybór tego wariantu wydaje się mało prawdopodobny. Do dalszych szczegółowych obliczeń w zasadniczym etapie wybrano wariant I i wariant III.

4.4 Etap II zasadniczych obliczeń – porównanie wysokości fal w porcie dla wariantu I oraz wariantu III budowy przystani

4.4.1 Falowanie o prawdopodobieństwie wystąpienia $T_R = 20$ lat

Kierunek podchodzenia SSE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.64$ m, $T_p = 3.15$ s, rys. Z10

Zarówno dla wariantu I jak III rozkład wysokości fal w akwenach portowych jest prawie identyczny. W istniejących basenach przystani (wschodniej i zachodniej) wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.40-0.50 m. W kieszeni zachodniej, w sąsiedztwie projektowanego falochronu zachodniego, obliczone wysokości fal znacznych zmieniają się od 0.30 do 0.50 m. Natomiast w kieszeni wschodniej dla wariantu I jak i w sąsiedztwie falochro-

nu wschodniego dla wariantu III, obliczone wysokości fal znacznych są znacznie wyższe i wynoszą 0.55-0.65 m.

Kierunek podchodzenia SE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.92$ s, rys. Z11

Dla wariantu I w obu istniejących basenach przystani, wysokości fal są zawarte w przedziale 0.40-0.50 m. W kieszeni zachodniej, tj. w sąsiedztwie falochronu zachodniego, wysokości fal znacznych wynoszą 0.30-0.40 m, natomiast w kieszeni wschodniej wartości te zmieniają się od 0.40 do 0.55 m.

Dla wariantu III układu falochronów przy tym kącie podchodzenia falowania do portu, wysokości fal są mniejsze, szczególnie w kieszeni zachodniej. Obliczone wysokości fal znacznych dla poszczególnych akwenów są zawarte w następujących przedziałach: istniejący basen zachodni – 0.40-0.55 m, istniejący basen wschodni – 0.30-0.50 m, kieszeń zachodnia – 0.20-0.30 m, sąsiedztwo falochronu wschodniego – 0.40-0.55 m.

Kierunek podchodzenia E, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.54$ m, $T_p = 2.45$ s, rys. Z12

Zarówno dla wariantu I jak i III w obu istniejących basenach przystani obliczone wysokości fal znacznych są takie same, zawarte w przedziale 0.20-0.40 m. Dla kieszeni zachodniej i wariantu I, wysokości fal znacznych wynoszą 0.30-0.45 m, a dla wariantu III są nieco mniejsze, nie przekraczają wysokości 0.40 m. Dla wariantu I w kieszeni wschodniej wysokości fal znacznych zmieniają się od 0.25 do 0.40 m. Natomiast w wariantcie III układu falochronów, wysokości fal znacznych w sąsiedztwie falochronu wschodniego wynoszą 0.35-0.50 m.

Podsumowanie

Dla obu wariantów układu falochronów w istniejących basenach przystani wysokości fal znacznych są podobne, rzędu 0.4-0.5 m dla falowania podchodzącego z kierunków SSE i SE oraz rzędu 0.2-0.4 m dla kierunku E.

Dla kieszeni usytuowanej w sąsiedztwie falochronu zachodniego wysokości fal znacznych dla wariantu III są nieco mniejsze niż dla wariantu I, szczególnie dla falowania podchodzącego z kierunku SE.

W akwencie położonym w sąsiedztwie falochronu wschodniego, dla obu wariantów układu falochronów wysokości fal znacznych są podobne, osiągające w zależności od kierunku podchodzenia falowania wartości od 0.4 do 0.65 m.

4.4.2 Falowanie o prawdopodobieństwie wystąpienia $T_R = 100$ lat

Kierunek podchodzenia SSE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, rys. Z13

Również w przypadku podchodzenia do portu falowania o prawdopodobieństwie wystąpienia raz na 100 lat obliczone wysokości fal znacznych zarówno dla wariantu I jak III są prawie identyczne, podobne do ich odpowiedników dla falowania o prawdopodobieństwie pojawienia się raz na 20 lat. Oznacza to, że w istniejących basenach przystani wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.40-0.50 m. W kieszeni zachodniej obliczone wysokości fal znacznych zmieniają się od 0.40 do 0.50 m. Natomiast w akwencie położonym w sąsiedztwie falochronu wschodniego wysokości tych fal wynoszą od 0.60 do 0.70 m.

Kierunek podchodzenia SE, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.60$ m, $T_p = 2.97$ s, rys. Z14

Również i w tym przypadku obliczone wysokości fal znacznych są prawie identyczne jak wyznaczone dla falowania podchodzącego do portu o okresie powtarzalności $T_R = 20$ lat.

Dla wariantu I w obu istniejących basenach przystani wysokości fal są zawarte w przedziale 0.40-0.50 m, w kieszeni zachodniej wynoszą one 0.30-0.40 m, a w kieszeni wschodniej od 0.40 do 0.60 m.

Dla wariantu III układu falochronów w istniejącym basenie zachodnim wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.35-0.45 m, w basenie wschodnim odpowiednio 0.40-0.50 m. W kieszeni zachodniej wysokości fal znacznych są rzędu 0.20-0.30 m, a w sąsiedztwie falochronu wschodniego 0.40-0.50 m.

Kierunek podchodzenia E, parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.55$ s, rys. Z15

Dla wariantu I w basenie wschodnim przystani wysokości fal znacznych są zawarte w przedziale 0.25-0.30 m, w basenie zachodnim wysokości fal są podobne, jedynie wzdłuż nabrzeża wschodniego wysokości te są wyższe, zawarte w przedziale 0.40-0.45 m. W akwenu położonym w kieszeni chronionej projektowanym zachodnim falochronem, wysokości fal wynoszą od 0.40 do 0.50 m, a w sąsiedztwie projektowanego falochronu wschodniego wysokości fal są mniejsze, zawarte w przedziale 0.30-0.40 m.

Dla wariantu III w obu istniejących basenach przystani obliczone wysokości fal znacznych są takie same, zawarte w przedziale 0.20-0.40 m. Dla kieszeni zachodniej wysokości fal znacznych są nieco mniejsze niż dla wariantu I i wynoszą 0.20-0.35 m. W akwenu położonym w sąsiedztwie falochronu wschodniego wysokości fal znacznych wynoszą 0.40-0.50 m.

Podsumowanie

Z uwagi na niewielkie różnice w parametrach fal wiatrowych podchodzących do portu dla okresu powtarzalności $T_R = 20$ i 100 lat również i obliczone wysokości fal znacznych w akwenach portowych są podobne.

Dla obu wariantów układu falochronów w istniejących basenach przystani wysokości fal znacznych są podobne, rzędu 0.4-0.5 m dla falowania podchodzącego z kierunków SSE i SE oraz rzędu 0.2-0.4 m dla kierunku E.

Dla kieszeni usytuowanej w sąsiedztwie falochronu zachodniego wysokości fal znacznych dla wariantu III są nieco mniejsze niż dla wariantu I, szczególnie dla falowania podchodzącego z kierunków SSE i SE.

W akwenu położonym w sąsiedztwie falochronu wschodniego, dla obu wariantów układu falochronów wysokości fal znacznych są podobne, osiągające w zależności od kierunku podchodzenia falowania wartości od 0.4 do 0.65 m.

4.5 Wnioski z przeprowadzonych obliczeń falowania w porcie

- Wstępne obliczenia przeprowadzono dla pięciu wariantów układu falochronów portowych, tj.: wariantów I, IB, II, III, i IV.
- Na podstawie przeprowadzonych wstępnych obliczeń odrzucono następujące warianty:
 - wariant IB – przy falowania podchodzącym z kierunku E kieszeń zachodnia, przewidziana jako główne miejsce postoju jachtów, będzie całkowicie otwarta na fale z tego kierunku, ponadto akwen ten z uwagi na transport rumowiska ze wschodu na zachód będzie ulegał szybkiemu spłycaaniu,
 - wariant II – nie zapewnia bezpiecznego cumowania jachtów w kieszeni chronionej falochronem wschodnim dla falowania podchodzącego z kierunków SSE i SE,

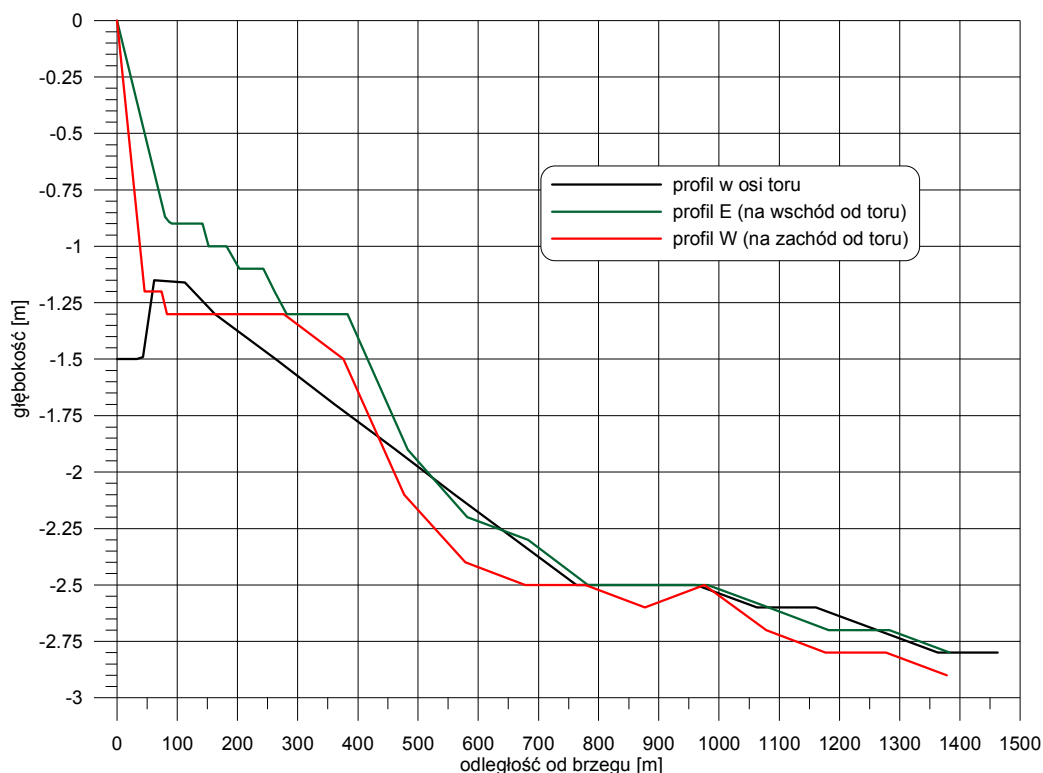
- wariant IV – zapewnia wprawdzie bezpieczny postój jachtów w kieszeni chronionej falochronem zachodnim, jednak jest to najdroższy wariant konstrukcji przystani, który oprócz budowy falochronów wymaga także przełożenia toru podejściowego prowadzącego do portu,
- Obliczenia zasadnicze wykonano dla wariantu I i III. Na ich podstawie stwierdzono:
 - wariant I i III układu falochronów zapewniają podobne warunki postoju jachtów zarówno w projektowanej przystani jak i w istniejących basenach przystani,
 - z uwagi na niewielkie różnice w parametrach fal wiatrowych podchodzących do portu dla okresu powtarzalności $T_R = 20$ i 100 lat, obliczone wysokości fal znacznych w akwenach portowych są podobne,
 - dla wariantu I wysokości fal znacznych w poszczególnych akwenach portu są następujące: istniejący basen zachodni przystani – 0.30-0.50 m, istniejący basen wschodni przystani – 0.20-0.50 m, kieszeń zachodnia projektowanej maryny – 0.30-0.50 m, kieszeń wschodnia projektowanej przystani – 0.30-0.70 m,
 - dla wariantu III, dla tych samych akwenów, wysokości fal znacznych są zawarte w przedziałach: basen zachodni przystani – 0.20-0.50 m, basen wschodni przystani – 0.20-0.50 m, kieszeń zachodnia projektowanej przystani – 0.20-0.50 m, akwen chroniony falochronem wschodnim projektowanej przystani 0.40-0.70 m,
 - przyjmując, że zasadnicze miejsca postojowe dla jachtów będą usytuowane w kieszeni zachodniej, wysokości fal znacznych H_s dla tego akwenu w zależności od kierunku wiatru i wariantu układu falochronów, są następujące:
 - kierunek SSE → wariant I: $H_s = 0.40-0.50$ m, wariant III: $H_s = 0.40-0.50$ m,
 - kierunek SE → wariant I: $H_s = 0.30-0.40$ m, wariant III: $H_s = 0.20-0.30$ m,
 - kierunek E → wariant I: $H_s = 0.40-0.50$ m, wariant III: $H_s = 0.20-0.35$ m,
- Przy założeniu, że większość jachtów użytkowanych na Zalewie Wiślanym nie przekracza długości 12 m, oba warianty mogą być rozważane w dalszych pracach projektowych.

5. Obliczenie transportu rumowiska w średnim roku statystycznym

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

5.1 Transport wzdłużbrzegowy generowany falowaniem

Obliczenia transportu osadów wykonano wzdłuż dwóch profili batymetrycznych usytuowanych odpowiednio po zachodniej i wschodniej stronie osi toru wodnego prowadzącego do przystani, nazwanych odpowiednio: profilem W i profilem E. Pomiary batymetryczne toru podejściowego prowadzącego do przystani w Nowej Karczmie otrzymano od Zamawiającego. Sondaż ten został wykonany przez Urząd Morski w Gdyni 27.05.2016. Rozkład głębokości w profilach W i E oraz w osi toru pokazano na rys. 17.



Rys. 17. Rozkład głębokości w profilach batymetrycznych W i E oraz w osi toru (sondaż wykonany przez Urząd Morski w Gdyni w dniu 27.05.2016)

Brzegi po obu stronach przystani, jak pokazano to na rys. 9, są obrośnięte trzcina. W konsekwencji oznacza to, że pomiary głębokości kończyły się na linii początku występowania trzcin. Na planie sondażowym te ostatnie pomierzone punkty głębokości łączono linią prostą z linią brzegową. Z przedstawionych na rys. 17 zmian głębokości widać, że w profilu W ostatni pomierzony punkt znajdował się w odległości około 50 m od brzegu, a w profilu E w odległości około 80 m od brzegu.

Niezbędne do wyznaczenia wielkości transportu osadów parametry falowania (wysokość fali znacznej H_s , okres piku T_p , kąt podchodzenia fali do brzegu θ oraz czasy trwania) zostały obliczone na podstawie wyznaczonych uprzednio prędkości i kierunków wiatru z okresu 44 lat

(1958÷2001) w punkcie o współrzędnych $54^{\circ}29,982'$ N i $19^{\circ}35,202'$ E położonym po odmorskiej stronie Mierzei Wiślanej. Dla tych 44-letnich danych wiatrowych wyznaczono parametry wiatrów występujące w średnim roku statystycznym (prędkości i kierunki) oraz czasy ich trwania. Następnie obliczono parametry falowania generowane wiatrami z kierunków SSW, S, SSE, SE, ESE, E, ENE, i NE o prędkościach od 1 m/s do maksymalnej prędkości dla każdego kierunku czterema niezależnymi modelami matematycznymi, opisanymi w: CEM (2003), Hasselmann i in. (1973), Young i Verhagen (1996) oraz Young (1997) (podobnie jak przy wyznaczaniu parametrów fal projektowych, zob. rozdz. 3).

Wyznaczony w ten sposób klimat falowy stanowił z kolei punkt wyjścia do obliczenia kolejno: transformacji falowania w strefie brzegowej, prądów wzdłużbrzegowych oraz natężenia wzdłużbrzegowego transportu osadów w dwóch profilach batymetrycznych, tj. profilu W i profilu E.

Natężenie wzdłużbrzegowego transportu rumowiska obliczono modelem van Rijna (1993). Z dotychczasowych doświadczeń Autorów pracy wynika, że model ten w klasie tzw. „*engineering models*” uznawany jest jako jeden z dających najbardziej poprawne wyniki.

Przy korzystaniu z formuł van Rijna koniecznym jest określenie charakterystycznych średnic ziaren osadu D_{50} i D_{90} , prędkości ich opadania w toni wodnej w_s , oraz porowatości osadu p_s zalegającego na dnie zbiornika. Parametry te zostały wyznaczone na podstawie pobranego w 2016 roku w rejonie Nowej Karczmy rdzeni osadu z dna zalewu (Hac i in. 2016). Przykładowy rdzeń pobrany w punkcie o współrzędnych $54^{\circ}25'$ N, $19^{\circ}35'$ E, z głębokości akwenu 1 m przedstawia rysunek. Długość rdzenia wynosiła 0.59 m. Punkt poboru był położony na przedłużeniu zachodniej krawędzi istniejącego Nabrzeża Zachodniego przystani w Nowej Karczmie, w odległości około 30 m od brzegu. Zawartość materii organicznej w pobranych osadach powierzchniowych wynosiła 0.36%. Opis makroskopowy rdzenia pokazano na rys. 18.

Do obliczeń transportu osadów przyjęto:

- charakterystyczne średnice ziaren $\rightarrow D_{50} = 0.10$ mm, $D_{90} = 0.08$ mm,
- prędkość opadania ziaren $\rightarrow w_s = 0.71$ cm/s,
- porowatość osadu $p_s = 0.40$.

Przy obliczaniu transportu osadów w strefie brzegowej uwzględniono wpływ trzcin porastających brzegi Zalewu w rejonie Nowej Karczmy na redukcję wysokości falowania i prędkości przepływu wody.

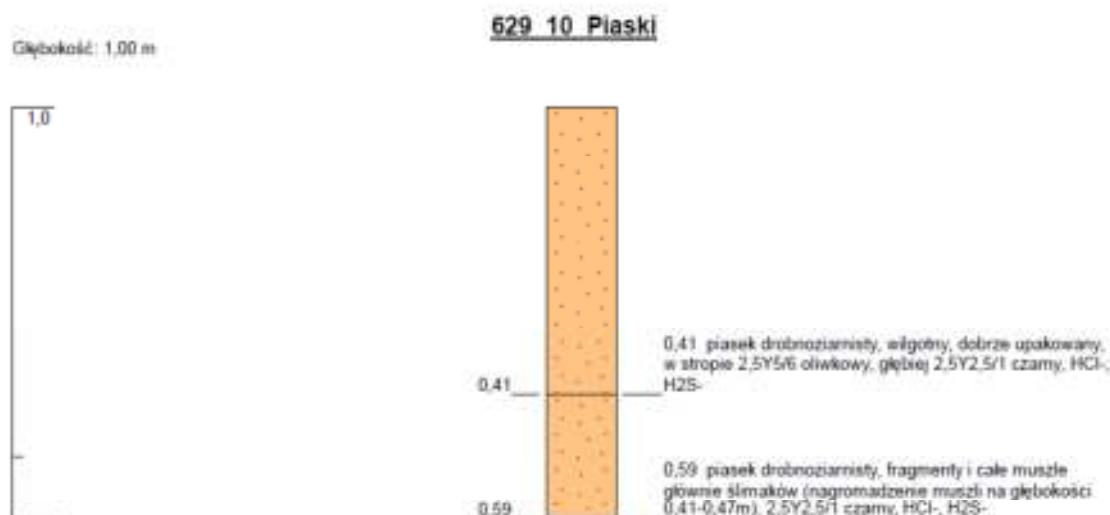
W pracy Anderson i in. (2011) na podstawie pomiarów falowania w strefach brzegowych porośniętych różnego typu roślinnością wyznaczono empiryczne współczynniki redukcji wysokości falowania. Dla trzciny wodnej współczynnik ten wynosi 4-5% na każdy metr szerokości trzciny. Oznacza to, że zmniejszanie się wysokości fal zależy od szerokości pasa przybrzeżnego porośniętego trzciną. Przyjmując współczynnik redukcji równy 4% dla każdego 1 metrowego pasa szerokości trzcin otrzymamy:

- po przejściu fali przez pas o szerokości 10 m \rightarrow redukcja wysokości fali wyniesie 35%,
- po przejściu fali przez pas o szerokości 20 m \rightarrow redukcja wysokości fali wyniesie 57%,
- po przejściu fali przez pas o szerokości 30 m \rightarrow redukcja wysokości fali wyniesie 70%,
- po przejściu fali przez pas o szerokości 40 m \rightarrow redukcja wysokości fali wyniesie 80%,
- po przejściu fali przez pas o szerokości 50 m \rightarrow redukcja wysokości fali wyniesie 89%.

Chcąc uniknąć uciążliwych obliczeń redukcji wysokości fal dla każdego kolejnego 1 metra szerokości pasa przybrzeżnego porośniętego trzcina, a następnie powtarzać obliczenia prędkości przepływu wody i wielkości natężenia transportu rumowiska w tych pasach przyjęto następujące założenia upraszczające:

- szerokość strefy przybrzeżnej porośniętej trzcina po obu stronach przystani jest taka sama, równa 50 m,
- przyjęto uśredniony współczynnik redukcji wysokości fal, który dla 50-metrowego przybrzeżnego pasa zarośniętego trzcina wynosi 59%,
- dla obliczonych wielkości natężenia transportu rumowiska przyjęto tę samą wartość współczynnika redukcji.

Przy tych założeniach wartości liczbowe wypadkowych rocznych zredukowanych wielkości transportu osadów pokazano w tab. 5. Natomiast na rys. 19 i 20 przedstawiono obliczone rozkłady transportu wzdłużbrzegowego w funkcji odległości od brzegu w obu profilach batymetrycznych położonych odpowiednio po zachodniej i wschodniej krawędzi toru wodnego prowadzącego do przystani w Nowej Karczmie bez uwzględnienia tłumiącego oddziaływania porastającego brzegu trzcinowiska na wysokości falowania.

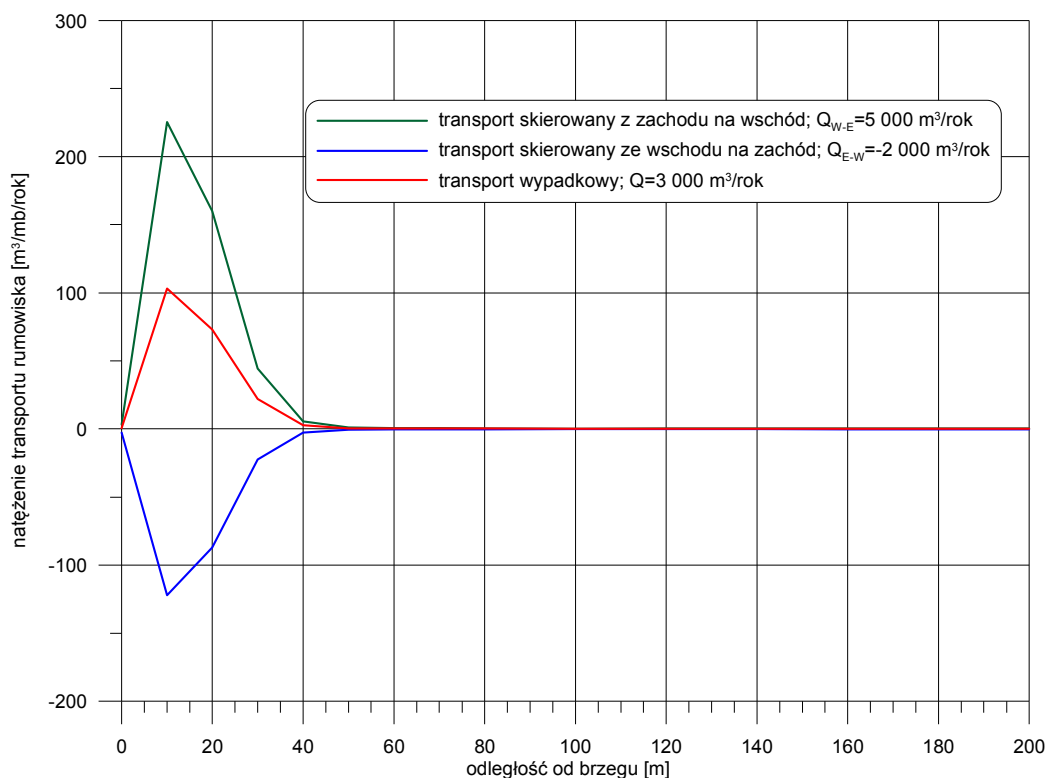


Rys. 18. Opis makroskopowy rdzenia pobranego w rejonie Nowej Karczmy w 2016 r. (Hac i in. 2016)

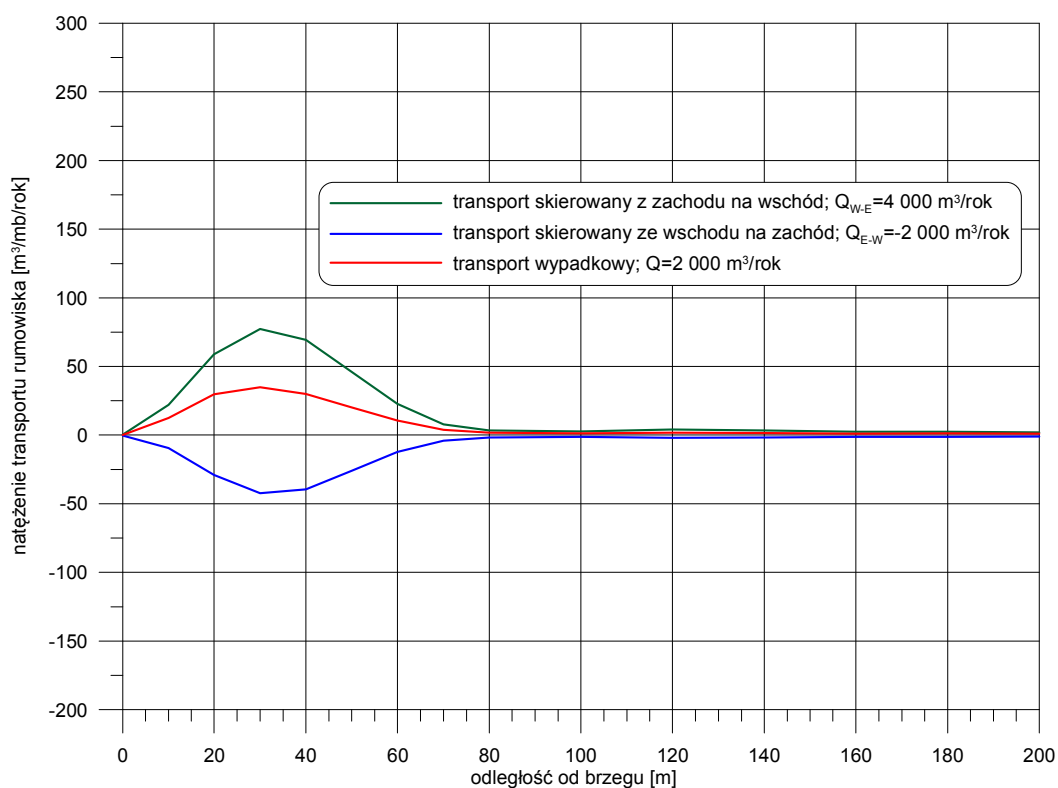
Tab.5. Wypadkowe roczne wielkości transportu rumowiska obliczone wg van Rijna (1993) w rejonie przystani w Nowej Karczmie przy uwzględnieniu obecności trzcinowisk

| Kierunek transportu | Profil W (zachodni) | Profil E (wschodni) |
|----------------------|------------------------------|------------------------------|
| z zachodu na wschód | ~ 2100 m ³ /rok | ~ 1200 m ³ /rok |
| ze wschodu na zachód | ~ (-800) m ³ /rok | ~ (-400) m ³ /rok |
| Roczny wypadkowy | ~ 1300 m ³ /rok | ~ 800 m ³ /rok |

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



Rys. 19. Obliczony rozkład transportu wzdłużbrzegowego wg van Rijna (1993) w średnim roku statystycznym w profilu batymetrycznym położonym na zachód od krawędzi toru wodnego prowadzącego do przystani w Nowej Karczmie bez uwzględnienia porastających brzegi trzciniowisk



Rys. 20. Obliczony rozkład transportu wzdłużbrzegowego wg van Rijna (1993) w średnim roku statystycznym w profilu batymetrycznym położonym na wschód od krawędzi toru wodnego prowadzącego do przystani w Nowej Karczmie bez uwzględnienia porastających brzegi trzciniowisk

Z przeprowadzonych obliczeń wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów wynika, że:

- wypadkowy roczny transport osadów jest niewielki, rzędu $1000 \text{ m}^3/\text{rok}$,
- wypadkowy roczny transport jest w obu profilach batymetrycznych skierowany z zachodu na wschód,
- w profilu batymetrycznym W (zachodnim) transport odbywa się w strefie brzegowej w pasie o szerokości nie przekraczającej 40 m,
- w profilu batymetrycznym E (wschodnim) transport odbywa się w pasie brzegowym o szerokości wynoszącej około 80 m.

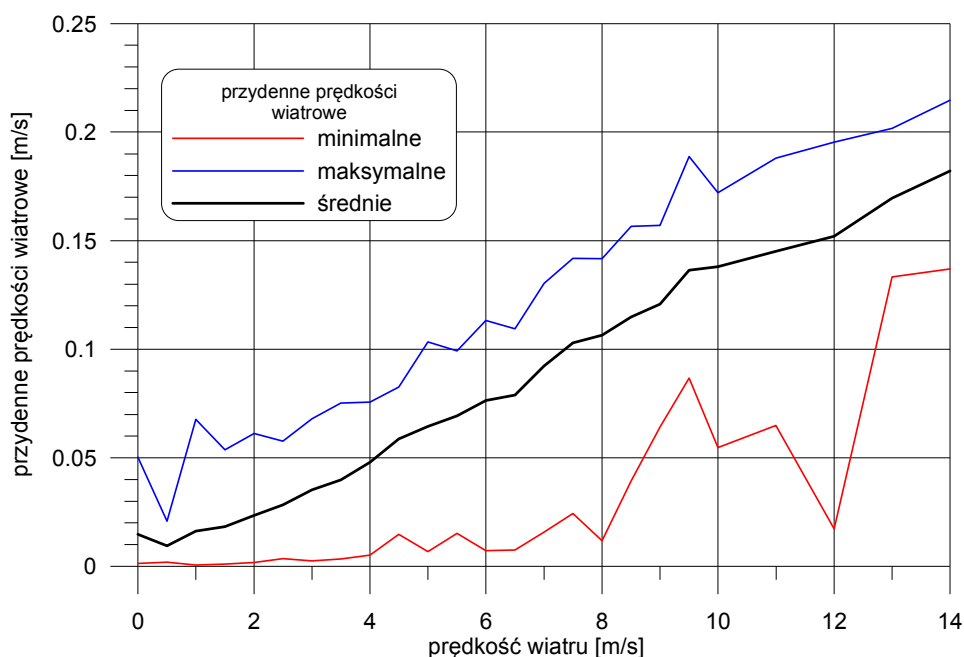
5.2 Transport rumowiska generowany prądami wiatrowymi i gradientowymi

W rozdziale tym wykorzystano cząstkowe wyniki obliczeń wykonywanych w ramach projektu Bonus EEIG A Systems Approach Framework for Coastal Research and Management in the Baltic (BaltCoast) realizowanego w IBW PAN w latach 2015-2018. Zasadniczym celem tych obliczeń jest modelowanie procesów spływania wybranych odcinków torów wodnych usytuowanych na Zalewie Wiślanym.

Prądy pochodzenia wiatrowego

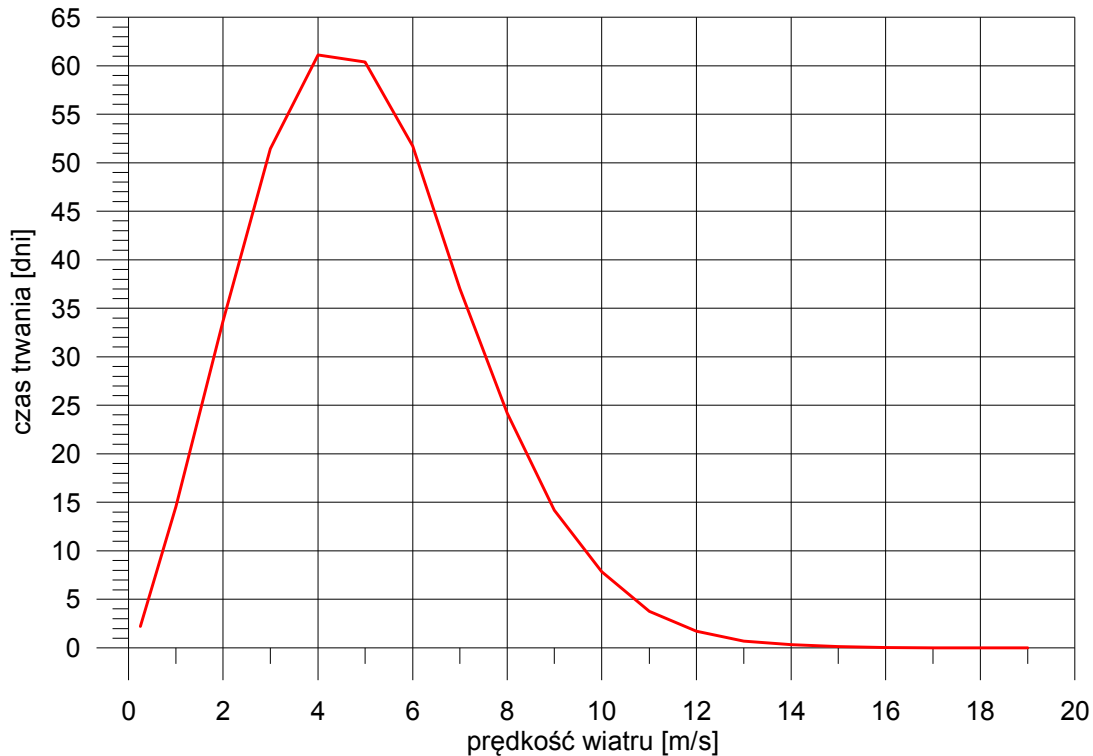
Dla strefy przybrzeżnej w rejonie Nowej Karczmy pokazano obliczone przydenne wartości prądów generowanych wiatrem (prądy wiatrowe) i zmieniającymi się poziomami wody (prądy gradientowe) w punkcie położonym w odległości około 300 m od brzegu i w odległości około 400 m na zachód od toru. Prędkości przydenne są to średnie prędkości z warstwy położonej bezpośrednio przy dnie o grubości równej 2% głębokości ($0.02 \cdot h$), co przy głębokościach akwenu 1-2 m oznacza przydenną warstwę o grubości 2-4 cm.

Na rys. 21 pokazano obliczone przydenne wartości prądów wiatrowych w strefie przybrzeżnej w rejonie Nowej Karczmy. Obliczenia te wykonano dla wszystkich kierunków wiatrów. Na rysunku zamieszczono wartości prędkości średnich, maksymalnych i minimalnych bez różniczenia zarówno kierunków wiatrów jak i kierunków wektorów prędkości tych prądów.



Rys. 21. Obliczone przydenne wartości prądów wiatrowych w strefie przybrzeżnej w rejonie Nowej Karczmy

Z kolei na rys. 22 pokazano łączny czas trwania wiatru w średnim roku statystycznym o zadanej prędkości na podstawie znajomości pól barycznych zarejestrowanych nad Bałtykiem w okresie 44 lat (1958÷2001) w punkcie o współrzędnych $54^{\circ}29,982' N$ i $19^{\circ}35,202' E$.



Rys. 22. Czasy trwania poszczególnych prędkości wiatrów w średnim roku statystycznym wyznaczone na podstawie znajomości pól barycznych zarejestrowanych nad Bałtykiem w okresie 44 lat (1958÷2001) w punkcie o współrzędnych $54^{\circ}29,982' N$ i $19^{\circ}35,202' E$

Z rys. 22 widać, że najczęściej występującymi w ciągu roku są wiatry o prędkościach zawartych w przedziale 2-7 m/s. Wiatry te, jak widać to na rys. 21, generują prądy, które w warstwie bezpośrednio przylegającej do dna charakteryzują się średnimi prędkościami od 0.02 do 0.1 m/s. Przy wiatrach o prędkości 10 m/s, występujących łącznie w ciągu roku przez około 7 dni, przydenne prądy wiatrowe osiągają prędkości około 0.14 m/s.

Dla piasków drobnoziarnistych o średnicy $D_{50} = 0.10$ mm w zależności od ukształtowania dna wymagane teoretyczne prędkości krytyczne powodujące początek ruchu ziaren osadu wynoszą:

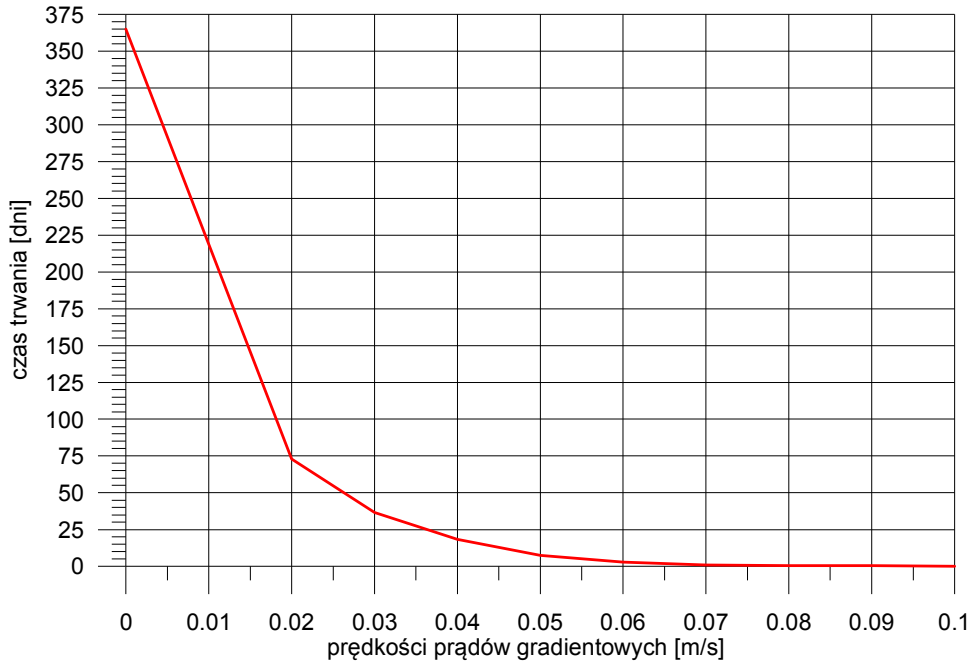
- dla dna gładkiego $\rightarrow V_{krt} \approx (0.16-0.18)$ m/s,
- dla dna o wysokościach zmarszczek rzędu 0.01 m $\rightarrow V_{krt} \approx (0.06-0.08)$ m/s.

Zakładając, że w rejonie Nowej Karczmy wysokości zmarszczek nie przekraczają wysokości kilku milimetrów można przyjąć krytyczną prędkość jako w przybliżeniu równą $V_{krt} \approx 0.1$ m/s.

Rys. 21 pokazuje, że przydenne prądy wiatrowe o prędkościach 0.1 m/s są generowane przez wiatry o prędkościach 7 m/s. Natomiast z rys. 22 można odczytać, że wiatry o prędkościach 7 m/s i większych występują łącznie przez około 90 dni w roku. Innymi słowy łącznie przez 90 dni w średnim statystycznym roku w strefie przybrzeżnej w rejonie Nowej Karczmy występują prędkości przepływu wody generowane wiatrami pozwalającymi na transport osadów.

Prądy gradientowe

Obliczone przydenne prędkości prądów gradientowych w rejonie Nowej Karczmy (w tym samym punkcie co prądy wiatrowe), przy założeniu, że poziom wody podnosi się od poziomu średniego (500 cm) do poziomu 570 cm w ciągu 12 godzin, nie przekraczały wartości 0.1 m/s ($V_{grad} \leq 0.1$ m/s).



Rys. 23. Czasy trwania określonych przydennych prędkości prądów gradientowych w strefie przybrzeżnej w rejonie Nowej Karczmy

Z rys. 23 widać, że prądy gradientowe o prędkościach 0.1 m/s i wyższych, tj. przekraczających prędkość krytyczną V_{krt} występują zaledwie przez około 0.1 doby (2.4 godz.) w ciągu roku).

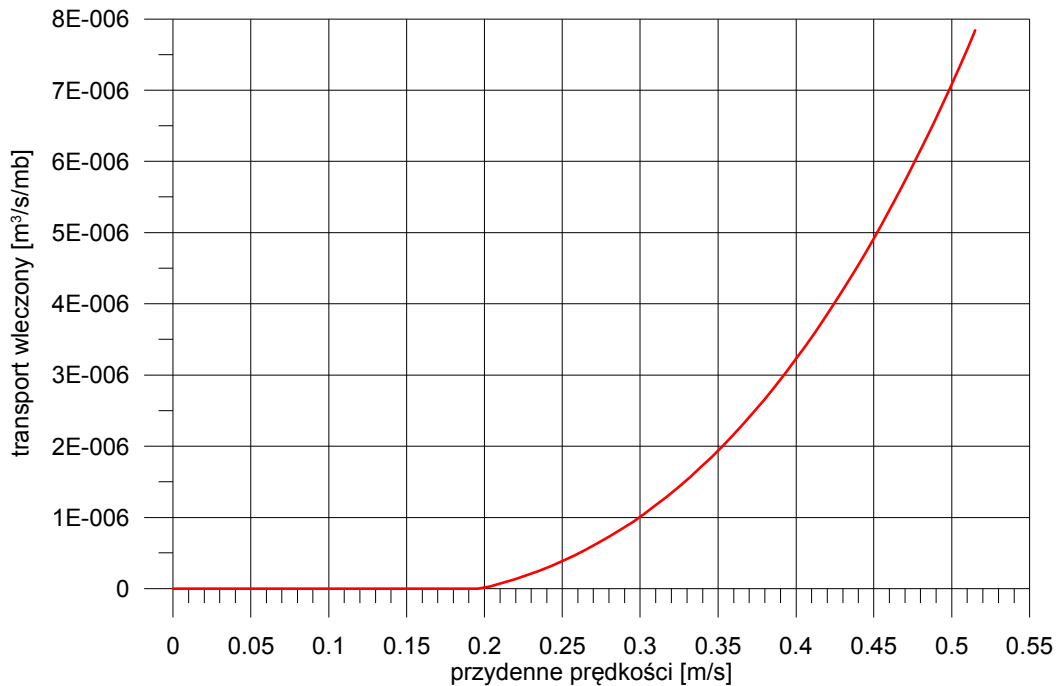
Występowanie prądów gradientowych jest zawsze opóźnione w stosunku do prądów wiatrowych, które są bezpośrednio związane z wiatrem. Również kierunki wektorów tych prędkości są z reguły różne. Przeprowadzone do tej pory obliczenia numeryczne wykonywane w ramach projektu BaltCoast pokazują co najwyżej nieznaczną korelację między tymi dwoma zjawiskami, pozwalające, z pewnym przybliżeniem, traktować te procesy jako statystycznie od siebie niezależne.

Oznacza to, że prądy gradientowe są co najwyżej drugorzędym czynnikiem w transporcie rumowiska w rejonie Nowej Karczmy. Wprawdzie w ciągu roku mogą zdarzyć się sytuacje, kiedy wektory prędkości prądu wiatrowego i gradientowego będą zgodne, a ich wypadkowa wartość prędkości przekroczy 0.1 m/s i rozpocznie się transport rumowiska. Sytuacje takie należy jednak zaliczyć do zdarzeń rzadkich i dlatego też w dalszych obliczeniach przyjęto, że prądy te mogą być pominięte przy obliczaniu transportu rumowiska wleczonego rejonie Nowej Karczmy.

Transport rumowiska

Na rys. 24 przedstawiono obliczone modelem van Rijna natężenie transportu rumowiska wleczonego w funkcji prędkości przepływu wody w warstwie przydennej. W obliczeniach tych przyjęto średnią głębokość akwenu równą 1 m oraz średnicę piasków drobnoziarnistych równą $D_{50} = 0.10$ mm. Obliczona średnia wartość transportu wynosi:

$$Q_{\text{śred}} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{mb}$$



Rys. 24. Obliczone natężenie rumowiska wlezonego w funkcji przydennych prędkości przepływu wody w rejonie Nowej Karczmy dla głębokości akwenu rzędu 1 m

Na podstawie czasów trwania poszczególnych prędkości wiatrów w średnim roku statystycznym określono liczbę dni, w których transport jest generalnie skierowany z zachodu na wschód w kierunku toru podejściowego oraz w kierunku ze wschodu na zachód, w kierunku przeciwnym.

Wiatry z kierunków SSW, S, SSE i SE o prędkościach 7 m/s i większych wywołujących prądy pochodzenia wiatrowego o prędkościach przekraczających 0.1 m/s i skierowanych generalnie w kierunku toru podejściowego występują łącznie przez 24.6 doby.

Wiatry z kierunków ESE, E, ENE i NE o prędkościach 7 m/s i większych wywołujących prądy pochodzenia wiatrowego o prędkościach przekraczających 0.1 m/s i skierowanych generalnie w kierunku przeciwnym do toru podejściowego występują łącznie przez 7.3 doby.

Przyjmując w obliczeniach średnią wartość transportu rumowiska ($Q_{\text{śred}} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{mb}$) otrzymano:

- transport skierowany z zachodu na wschód $\rightarrow Q_{W \rightarrow E} = 4.3 \text{ m}^3/\text{rok}/\text{mb}$,
- transport skierowany ze wschodu na zachód $\rightarrow Q_{E \rightarrow W} = 1.3 \text{ m}^3/\text{rok}/\text{mb}$,
- transport wypadkowy skierowany z zachodu na wschód $\rightarrow Q_{\text{wyp}} = 3 \text{ m}^3/\text{rok}/\text{mb}$.

6. Ocena oddziaływania projektowanych falochronów na sąsiadujące brzegi

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 osadów jest skierowany z zachodu na wschód, to po stronie zachodniej falochronów, w wyniku zatrzymania przynajmniej części transportowanych osadów, będzie następował przyrost linii brzegowej, będą występowały procesy akumulacji brzegu. Z kolei po stronie wschodniej, w wyniku pewnego deficytu osadów, wystąpią procesy erozji, brzeg będzie się cofał.

Wielkość i szybkość tych procesów zależą głównie od wielkości wypadkowego natężenia osadów przenoszonych przez fale i prądy wzdłuż brzegu oraz od szerokości strefy brzegowej objętej falochronami. Im transport ten jest większy i im większa jest szerokość strefy brzegowej przegrodzonej falochronami, tym zmiany brzegu po obu stronach falochronów będą większe.

Punktem wyjścia obliczenia przebudowy brzegu po obu stronach projektowanych falochronów, były wyznaczone w poprzednim rozdziale, wielkości natężenia wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w średnim roku statystycznym.

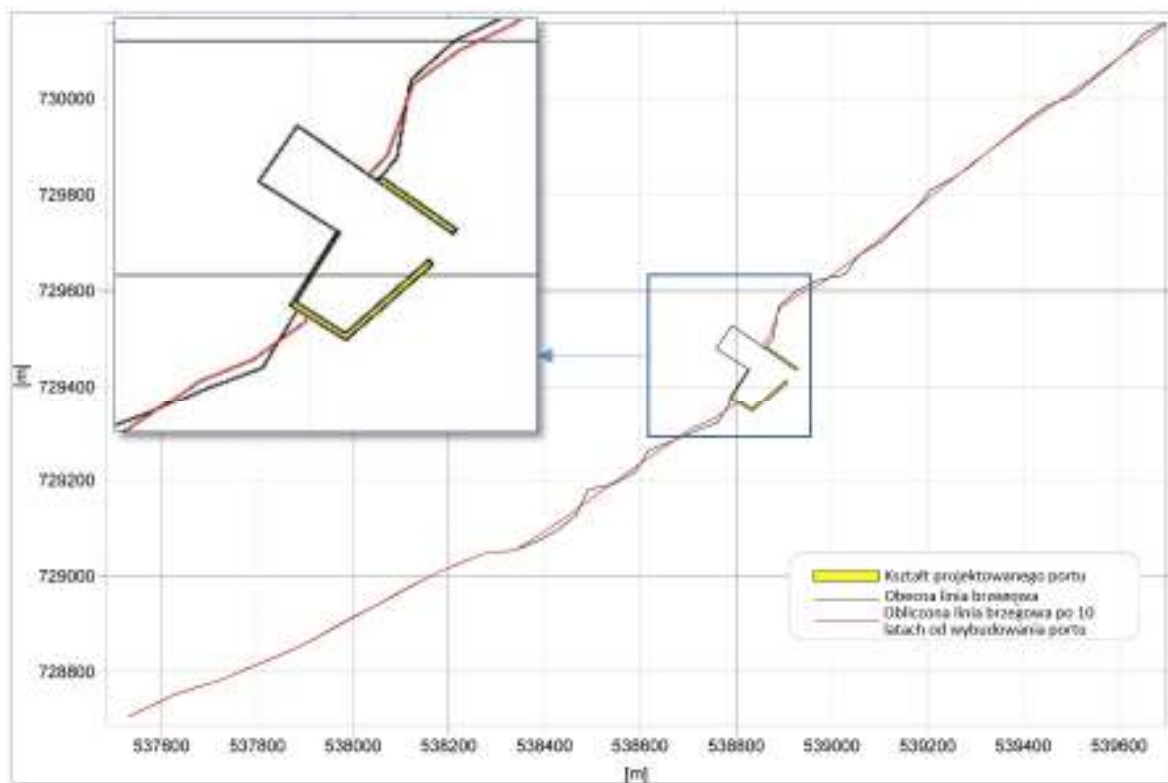
Dla wszystkich rozważanych wariantów budowy przystani, przyjęto odległości główek falochronów od brzegu w granicach 80-90 m. W konsekwencji oznacza to, że praktycznie cała aktywna szerokość strefy brzegowej, w której odbywa się transport rumowiska (por. rys. 19 i 20), zostanie przegrodzona falochronami. W przeprowadzonych obliczeniach założono jednak, że z uwagi na bardzo drobny materiał zalegający na dnie, tylko 90% transportowanych osadów będzie zatrzymywana przez falochrony, a 10% będzie je opływała.

W przypadku przystani w Nowej Karczmie, dodatkowy problem stanowią porastające brzeg trzciniowiska, które redukując wysokości falowania, prędkości prądów wzdłużbrzegowych i natężenia transportowanych osadów, powodują w konsekwencji także zmniejszenie tempa przebudowy brzegu. W obliczeniach założono w przybliżeniu, liniową zależność pomiędzy przyjętym współczynnikiem redukcji wielkości wzdłużbrzegowego transportu a wyznaczaną prędkością przebudowy brzegu.

Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach od wybudowania planowanych falochronów pokazano na rys. 21. Obliczone wielkości tych zmian są następujące:

- zmiany brzegowe po stronie zachodniej projektowanej przystani
 - przyrost brzegu w sąsiedztwie falochronu około 5 m,
 - wzdłużbrzegowy zasięg zmian ograniczony do przyportowego odcinka nieporośniętego trzciniowiskami,
- zmiany brzegowe po stronie wschodniej projektowanej przystani
 - cofnięcie brzegu w sąsiedztwie falochronu około 7 m,
 - wzdłużbrzegowy zasięg zmian ograniczony do przyportowego odcinka nieporośniętego trzciniowiskami.

Obliczone wartości liczbowe zmian brzegowych zamieszczone powyżej oraz pokazane na rys. 21, należy traktować jako średnie statystyczne tendencje zmian położenia linii brzegowej w okresie 10 lat po wybudowaniu przystani. Należy także pamiętać, że przy tego typu symulacjach numerycznych, błędy obliczeniowe wzrastają w miarę wydłużania czasu tych obliczeń.



Rys. 25. Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach po wybudowaniu planowanych falochronów portowych

7. Oszacowanie tempa zapiaszczania toru podejściowego

Typowym osadem pokrywającym dno Zalewu Wiślanego są namuły o znacznej miąższości, z różną zawartością ilów. Wody w Zalewie Wiślanym przez większą część roku (nawet w okresach bardzo słabego falowania) są mętne, z zawartością zawiesiny pylastej o medianie średnicy cząstek $d_{50} \approx 0.015$ mm.

W pracy Sulisz i in. (2009) oceniano stopień zapiaszczania toru wodnego prowadzącego przez Zatokę Elbląską. Na podstawie pobranych prób rdzeniowych stwierdzono, że w powierzchniowej warstwie dna o miąższości 1 m występuje namuł ciemnoszary w stanie płynnym, głębiej, do 3 m poniżej dna, zalegają namuły szaro-zielone i ciemno-szare w stanie miękkoplastycznym. Na głębokości 5.2 m pod dnem występuje przewarstwienie namulem w stanie płynnym. Dla takiej budowy geologicznej dna w pracy Sulisza oceniono, że roczne zamulenie toru wodnego, zasilane osadami w wyniku fizyczno-chemicznego procesu erozji, nie przekroczy 10 cm.

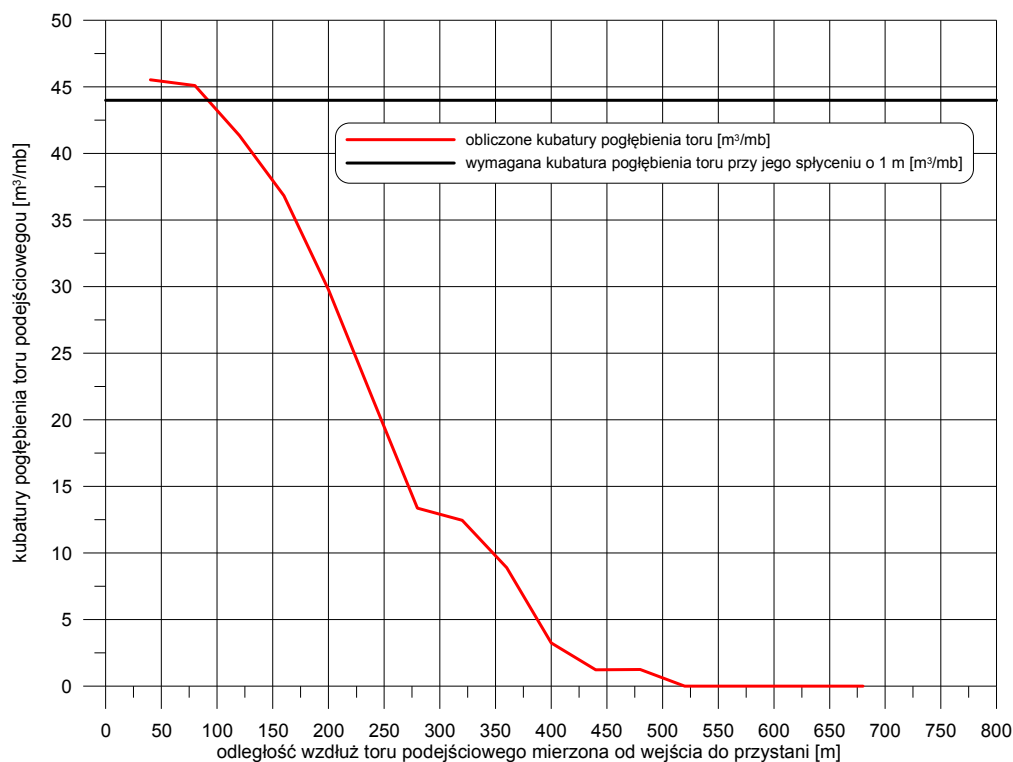
Autorzy tego raportu zastrzegają się jednak, że podaną powyżej wartość, trzeba traktować jako teoretyczne maksimum, ponieważ każdorazowo po osadzeniu się cząstek na dnie, rozpoczyna się bardzo długi (co najmniej kilkunastogodzinny) okres konsolidacji gruntu. Najczęściej konsolidacja nie kończy się przed wystąpieniem kolejnego wymuszenia hydrodynamicznego i rozpoczyna się kolejny cykl erozji warstwy powierzchniowej dna.

W przypadku strefy brzegowej położonej w rejonie Nowej Karczmy, dno jest głównie zbudowane z piasków drobnoziarnistych. W tym przypadku można, bez popełnienia większego błędu, przyjąć, że opisany powyżej mechanizm zamulania toru wodnego jest co najmniej o rząd wielkości mniejszy. W rejonie Nowej Karczmy główną przyczyną zapiaszczania toru wodnego jest dopływ osadów drobnoziarnistych i ilastych pochodzących, jak podaje Cieślak (2006), z rozmywanej szerokiej ławicy akumulacyjnej, erodowanych brzegów i powierzchni dna pozbawionej roślinności.

W roku 2006 w ramach planowego remontu nabrzeży w Nowej Karczmie opracowano dokumentację projektową dotyczącą wyznaczenia kubatury robót pogłębiarskich, zarówno w basenach przystani jak i na torze podejściowym, Cieślak (2006). Podstawą tej dokumentacji był plan batymetryczny wykonany przez Urząd Morski w Gdyni w dniu 20.09.2006. Projektową rzędną dna, zarówno w basenie portowym jak i na torze podejściowym, przyjęto jako równą – 2.0 m. W obliczeniach kubaturowych przyjęto szerokość kanału w dnie równą 40 m z nachyleniem skarp 1:4. Na planie batymetrycznym dla toru wodnego założono 17 poprzecznych przekrojów odległych od siebie o 40 m, a dla przystani 5 przekrojów odległych od siebie o 25 m. Dla każdego z tych przekrojów obliczono wymaganą powierzchnię jego pogłębienia, a następnie mnożąc przez odległość między przekrojami i sumując otrzymano kubaturę projektowanych robót czerpalnych, która, bez uwzględnienia tolerancji na przegłębienia, wyniosła:

- baseny przystani 2538 m³,
- tor podejściowy 11263 m³.

Na rys. 26 pokazano wyznaczone kubatury odkładu w przeliczeniu na 1 mb toru. Naturalne głębokości w sąsiedztwie toru wodnego były rzędu 1 m. Przy założeniu, że tor na całej swojej długości uległ spłyceniu o 1 m, to wówczas, przy przyjętych parametrach technicznych toru, wymagałoby to wydobycia urobku w ilości 44 m³/mb.



Rys. 26. Wymagane kubatury pogłębienia toru podejściowego, celem zapewnienia na torze głębokości nawigacyjnej równej 2 m (Cieślak 2006)

Z rys. 26 widać, że zakres projektowanych robót czerpalnych szybko malał w miarę oddalania się od wejścia do przystani. Tylko na pierwszych 100 m toru wymagał on pełnego zakresu prac. Natomiast dalej np. dla odległości 200, 250 i 350 m wymagał on odpowiednio 68, 45 i 23% zakresu początkowych robót. Dla odległości około 500 m i większych naturalne głębokości na torze wynosiły 2 m.

Mimo, że przedstawiony w pracy Cieślaka (2006) zakres robót pogłębiarskich nie został zrealizowany, to wykonane wówczas pomiary batymetryczne stanowią cenny materiał archiwalny, pokazujący rzeczywisty układ głębokości na torze podejściowym w roku 2006.

Z informacji Urzędu Morskiego w Gdyni wynika, zob. rozdz. 2 pracy, że w rejonie Nowej Karczmy wykonywano w przeszłości wyłącznie roboty podczyszczeniowe w basenie portowym i na torze podejściowym. W roku 2004 wydobyto 15 600 m³, a w roku 2011 około 7 000 m³ urobku. Prace te miały charakter interwencyjny, których celem było usunięcie nadmiernej splecni akwenu, tak, żeby zapewnić bezpieczne wejście/wyjście z przystani łodzi rybackich/jachtów oraz bezpieczny ich postój w przystani. Autorzy raportu nie wiedzą jakie były głębokości na torze przed rozpoczęciem robót czerpalnych, na jakim/jakich odcinkach toru je wykonywano oraz o ile je pogłębiono. Innymi słowy znając tylko kubatury wydobytego urobku w roku 2004 i 2011 nie można na tej podstawie określić tempa zapiaszczania toru wodnego prowadzącego do przystani.

Oszacowanie tempa zapiaszczania toru wodnego prowadzącego do projektowanej przystani oszacowano następująco:

- szerokość strefy brzegowej przegrodzonej falochronami wynosi 80 m,
- projektowany tor wodny prowadzący do przystani ma kształt prostokąta (pominięto nachylenie skarp toru), a jego średnia szerokość wynosi $b = 35$ m,
- transport rumowiska generowany falowaniem w profilu zachodnim w kierunku toru wynosi $Q_W = 2100$ m³/rok,

- transport rumowiska generowany falowaniem w profilu wschodnim w kierunku toru wynosi $Q_E = 400 \text{ m}^3/\text{rok}$,
- transport rumowiska w profilu zachodnim odbywa się w pasie o szerokości $L_W = 40 \text{ m}$, co oznacza że na 1 m szerokości strefy brzegowej przemieszcza się

$$Q_{W/mb} = \frac{Q_W}{L_W} = \frac{2100}{40} = 52.5 \text{ m}^3/\text{mb}/\text{rok}$$

- projektowane falochrony będą zatrzymywały 90% transportowanego osadu,
- pozostałe (10%) rumowisko opływające falochrony w całości będzie wpadać do toru wodnego, skąd przy założeniu jego równomiernego rozkładu w torze wodnym otrzymamy jego spłylenie wynoszące:

$$h_{W\text{splylenie}} = \frac{P_W \cdot Q_{W/mb}}{b} = \frac{0.1 \cdot 52.5}{35} = 0.15 \text{ m}/\text{rok}$$

- transport rumowiska w profilu E odbywa się w pasie o szerokości $L_E = 80 \text{ m}$, a jego ilość w kierunku toru wodnego wynosi $Q_E = 400 \text{ m}^3/\text{rok}$, co oznacza, że na 1 m szerokości strefy brzegowej przemieszcza się w kierunku toru:

$$Q_{E/mb} = \frac{Q_E}{L_E} = \frac{400}{80} = 5 \text{ m}^3/\text{mb}$$

- falochron wschodni zatrzymuje 70% transportowanego osadu,
- pozostałe ($p_E = 0.3$) rumowisko opływające falochron wschodni w całości wpada do toru wodnego, skąd przy założeniu jego równomiernego rozkładu w torze wodnym otrzymamy jego spłylenie wynoszące:

$$h_{E\text{splylenie}} = \frac{p_E \cdot Q_{E/mb}}{b} = \frac{0.3 \cdot 5}{35} = 0.04 \text{ m}/\text{rok}$$

- spłylenie toru spowodowane odkładaniem się w nim rumowiska przynieszonego przez prądy pochodzenia falowego z obu stron przystani wyniesie:

$$h_{\text{splylenie}} = h_{W\text{splylenie}} + h_{E\text{splylenie}} = 0.15 + 0.04 = 0.19 \text{ m}/\text{rok}$$

- transport rumowiska generowanego prądami pochodzenia wiatrowego na 1 mb wynosi:

$$Q_{\text{wiatr}} = 4.3 + 1.3 = 5.6 \text{ m}^3/\text{mb}/\text{rok}$$

- spłylenie toru spowodowane odkładaniem się w nim rumowiska przynieszonego przez prądy pochodzenia wiatrowego z obu stron przystani wyniesie:

$$h_{\text{splylenie2}} = \frac{5.6}{35} = 0.16 \text{ m}/\text{rok}$$

- maksymalny roczny proces zamulania toru po zakończeniu procesu sedymentacji wyniesie:

$$h_{\text{zamulanie}} = 0.01 \text{ m}/\text{rok}$$

- łączne roczne spłylenie toru wyniesie:

$$h = h_{\text{splylenie1}} + h_{\text{splylenie2}} + h_{\text{zamulanie}} = 0.19 + 0.16 + 0.01 = 0.36 \text{ m}/\text{rok}$$

8. Podsumowanie

Falowania w porcie

- Obliczenia wstępne Etap I wykonano dla wszystkich rozpatrywanych wariantów (I, IB, II, III i IV) tylko dla okresu powtarzalności $T_R = 100$ lat i niektórych kierunków podchodzenia falowania.
- Na podstawie wykonanych wstępnych obliczeń do Etapu II wybrano wariant I oraz wariant III układu projektowanych falochronów.
- Układ projektowanych falochronów dla wariantu I został pokazany na rys. 10, a dla wariantu III na rys. 13.
- Dla Etapu II wykonano pełny zakres obliczeń (kierunki podchodzenia falowania: SSE, SE i E, oba okresy powtarzalności $T_R = 20$ i 100 lat) i na ich podstawie stwierdzono:
 - wariant I i III układu falochronów zapewniają podobne warunki postoju jachtów zarówno w projektowanej przystani, jak i w istniejących basenach przystani,
 - dla wariantu I wysokości fal znacznych w poszczególnych akwenach portu są następujące: istniejący basen zachodni przystani – 0.30-0.50 m, istniejący basen wschodni przystani – 0.20-0.50 m, kieszeń zachodnia projektowanej przystani – 0.30-0.50 m, kieszeń wschodnia projektowanej przystani – 0.30-0.70 m,
 - dla wariantu III wysokości fal znacznych są zawarte w przedziałach: basen zachodni przystani – 0.20-0.50 m, basen wschodni przystani – 0.20-0.50 m, kieszeń zachodnia projektowanej przystani – 0.20-0.50 m, akwen chroniony falochronem wschodnim projektowanej przystani – 0.40-0.70 m,
 - przyjmując, że zasadnicze miejsca postojowe dla jachtów będą usytuowane w kieszeni zachodniej, wysokości fal znacznych H_s dla tego akwenu, w zależności od kierunku wiatru i wariantu układu falochronów, są następujące:
 - kierunek SSE → wariant I: $H_s = 0.40-0.50$ m, wariant III: $H_s = 0.40-0.50$ m,
 - kierunek SE → wariant I: $H_s = 0.30-0.40$ m, wariant III: $H_s = 0.20-0.30$ m,
 - kierunek E → wariant I: $H_s = 0.40-0.50$ m, wariant III: $H_s = 0.20-0.35$ m.

Transport rumowiska

- Obliczenia transportu rumowiska wykonano w dwóch profilach batymetrycznych położonych odpowiednio po zachodniej (profil W) i wschodniej (profil E) stronie toru wodnego.
- Przy obliczaniu transportu rumowiska uwzględniono osłabiający wpływ trzciny porastających brzegi Zalewu w rejonie przystani na procesy hydro- i lito dynamiczne w strefie przybrzeżnej.
- Z przeprowadzonych obliczeń wielkości wzdłużbrzegowego transportu osadów wynika, że:
 - wypadkowy roczny transport osadów jest niewielki, rzędu 800 – 1300 m³/rok,
 - wypadkowy roczny transport jest w obu profilach batymetrycznych skierowany z zachodu na wschód,
 - w profilu batymetrycznym zachodnim transport odbywa się w strefie brzegowej w pasie o szerokości nie przekraczającej 40 m,

- w profilu batymetrycznym wschodnim transport odbywa się w pasie brzegowym o szerokości wynoszącej około 80 m.

Oddziaływanie projektowanych falochronów na sąsiadujące brzegi

- Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach od wybudowania falochronów po zachodniej stronie projektowanej przystani:
 - przyrost brzegu w sąsiedztwie falochronu około 5 m,
 - wzdłużbrzegowy zasięg zmian ograniczony do przyportowego odcinka nie porośniętego trzcinowiskami.
- Obliczone zmiany położenia linii brzegowej po 10 latach od wybudowania falochronów po wschodniej stronie projektowanej przystani:
 - cofnięcie brzegu w sąsiedztwie falochronu około 7 m,
 - wzdłużbrzegowy zasięg zmian ograniczony do przyportowego odcinka nie porośniętego trzcinowiskami.

Zapiaszczanie toru podejściowego

- W rejonie Nowej Karczmy główną przyczyną zapiaszczania toru wodnego jest dopływ osadów drobnoziarnistych i ilastych.
- Zamulanie toru wodnego w wyniku sedymentacji namulów jest co najmniej o rząd wielkości mniejsze.
- Roczne spłylenie toru oszacowano na 0.36 m/rok.
- Wybudowanie falochronów, których głowice mają sięgać do 80 m od istniejącej linii brzegowej redukuje ilość rumowiska wchodzącego do obecnych basenów, jednak nie zapewniają ochrony toru podejściowego projektowanej przystani przed zapiaszczaniem.

Spis literatury

Anderson M.E., McKee J., Kyle McKay S. 2011 Wave Dissipation by Vegetation. *US Army Corps of Engineers*.

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

Cieślak P. 2006. Projekt budowlany remontu obiektów hydrotechnicznych w basenie III Nowa Karczma (dawniej Piaski). Roboty podczyszczeniowe, w basenie portowym i torze podejściowym. Dokumentacja Projektowa wykonana przez *Biuro Projektów Budownictwa Morskiego WUPROHYD Sp. z o.o., Gdynia*.

Hac B. (redakcja) 2016. Raport z poboru prób rdzeniowych z Zalewu Wiślanego oraz ich analiz. *Instytut Morski w Gdańsku, Raport 629*.

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 and Walden, H 1973. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *DeutschenHydrographischenZeitschrift, Reihe A (8°), no 12*.

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

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 Engg. Vol 28, pp 47-48*.

Sulisz W. Szmytkiewicz M, Ostrowski R., Paprota M., Skaja M, Różyński G., Staroszczyk R., Chybicki W. Reda A., Biegowski J., Schönhofer J., Szmytkiewicz P. & Piotrowska D. 2009. Analiza falowania i ruchu rumowiska na wejściu do portu Elbląg dla potrzeb zadania pt. „Koncepcja przebudowy wejścia do portu Elbląg wraz z pogłębieniem torów podejściowych do portów Zalewu Wiślanego. *Raport wykonany dla Biura Projektów Budownictwa Morskiego WUPROHYD Sp. z o.o., Gdynia*.

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

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

Załącznik

Obliczone wysokości fal znacznych w projektowanej przystani w Nowej Karczmie

Obliczenia wstępne Etap I

STAN AKTUALNY ORAZ WARIANT I

Rys. Z1. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla stanu aktualnego i wariantu I.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

- a) Obecny układ geometryczny basenów i aktualne głębokości,
- b) Wariant I budowy przystani i aktualne głębokości,
- c) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).

Rys. Z2. Obliczone wysokości fal znacznych.

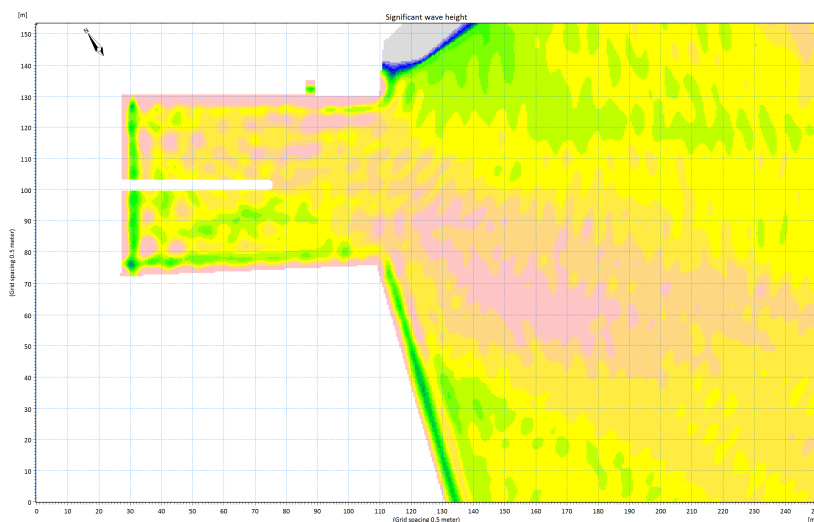
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.60$ m, $T_p = 2.97$ s, kierunek podchodzenia SE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

- a) Obecny układ geometryczny basenów i aktualne głębokości,
- b) Wariant I budowy przystani i aktualne głębokości.

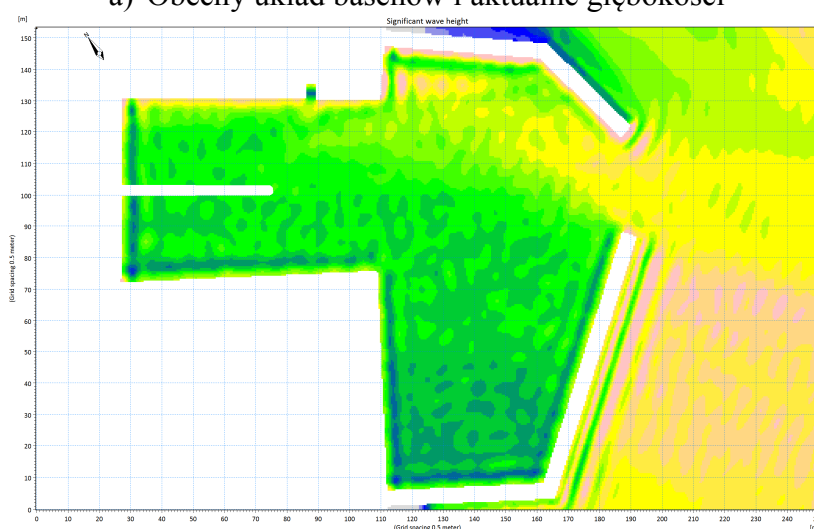
Rys. Z3. Obliczone wysokości fal znacznych.

Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.55$ s, kierunek podchodzenia E, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

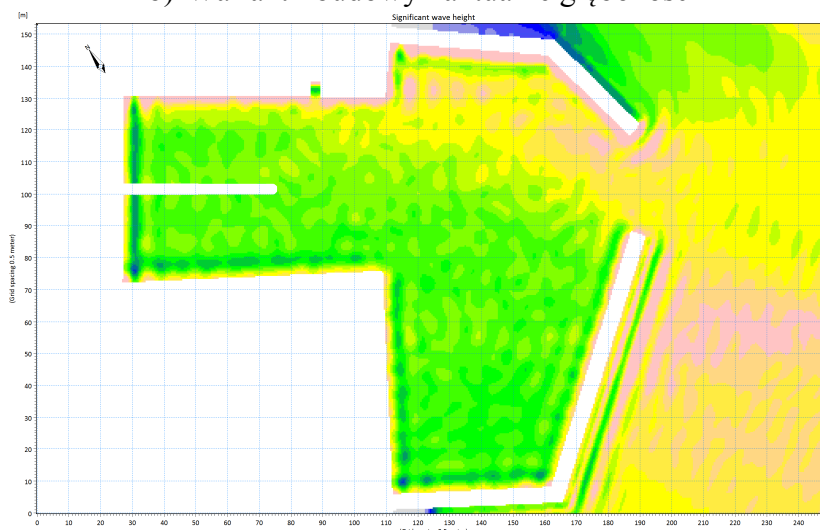
- a) Obecny układ geometryczny basenów i aktualne głębokości,
- b) Wariant I budowy przystani i aktualne głębokości.



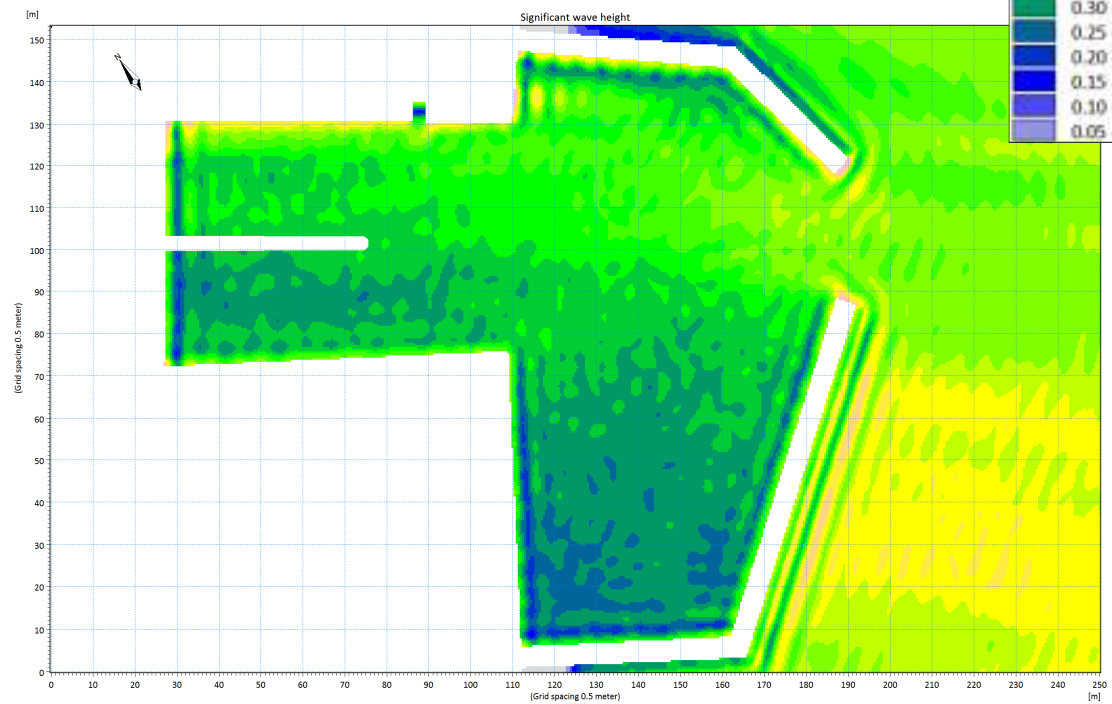
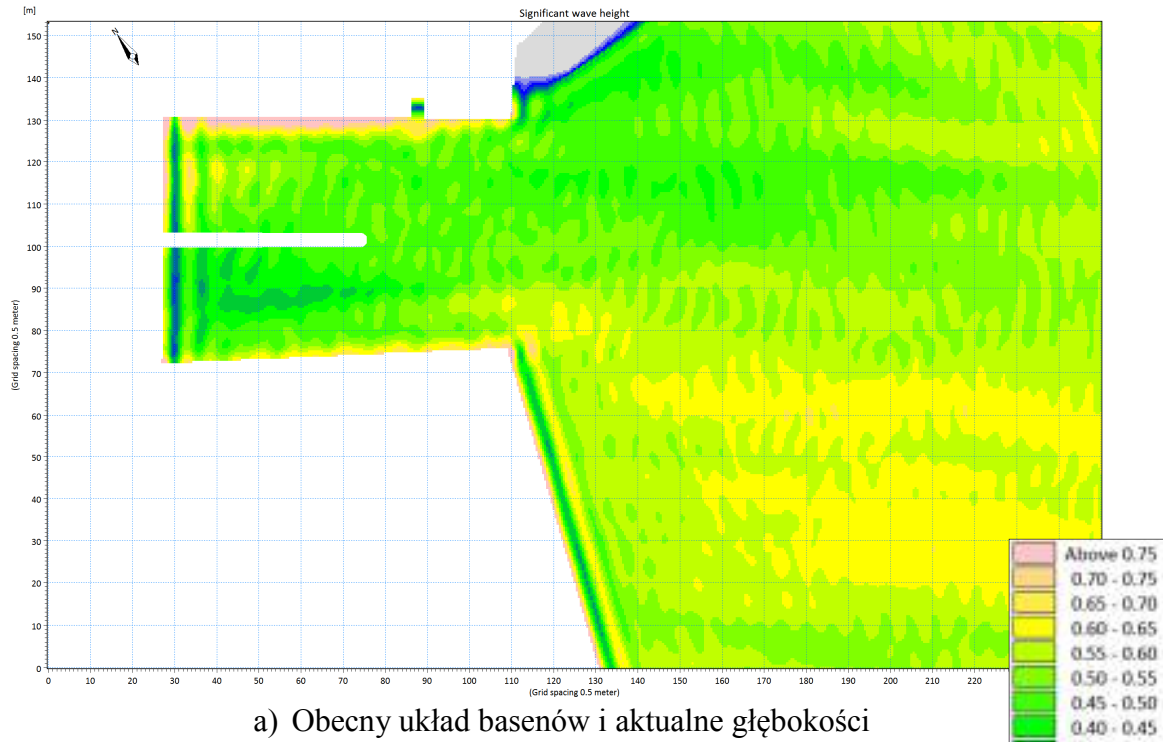
a) Obecny układ basenów i aktualne głębokości



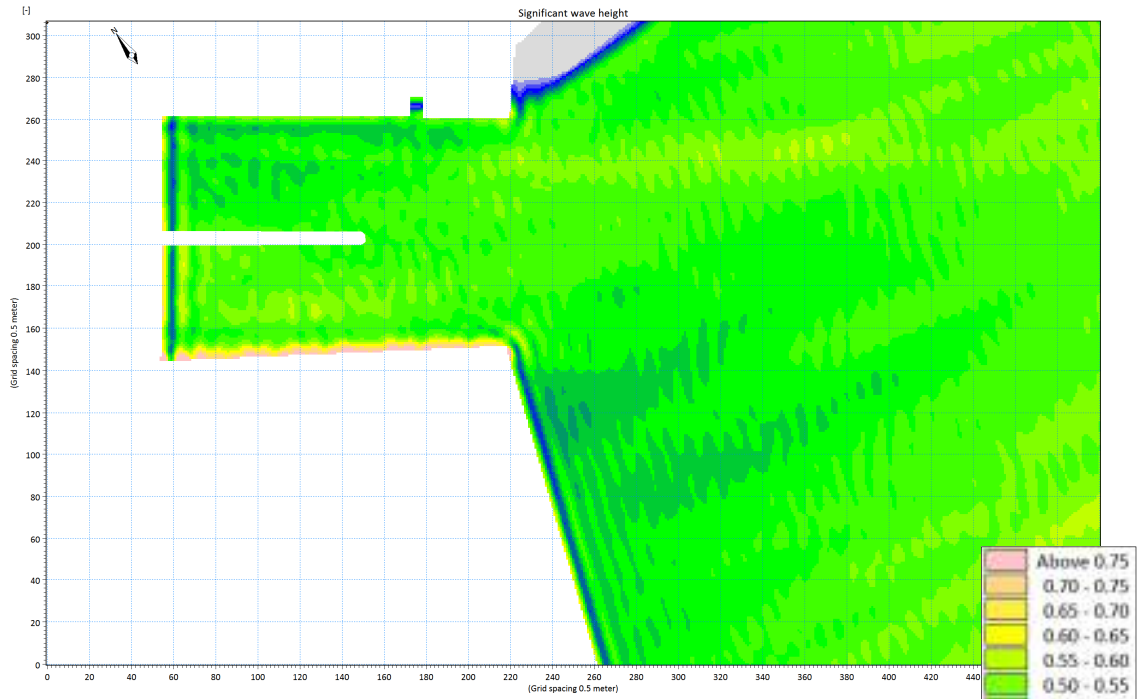
b) Wariant I budowy i aktualne głębokości

c) Wariant I budowy i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

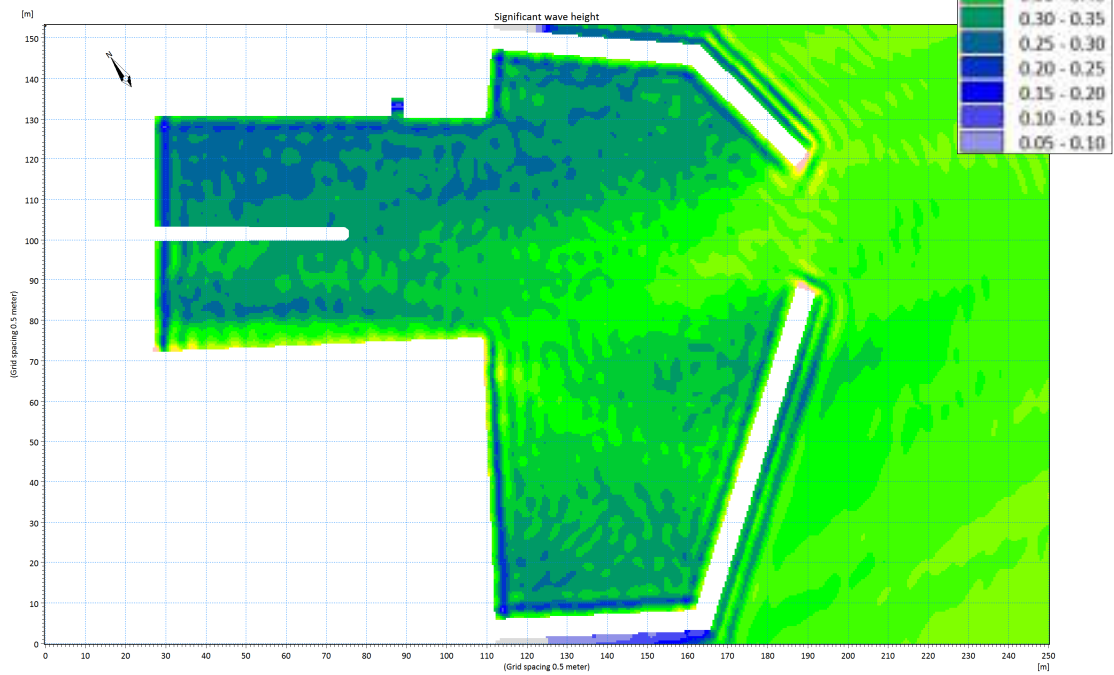
Rys. Z1. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla stanu aktualnego i wariantu I. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.



Rys. Z2. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla stanu aktualnego i wariantu I. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.60$ m, $T_p = 2.97$ s, kierunek podchodzenia SE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.



a) Obecny układ basenów i aktualne głębokości

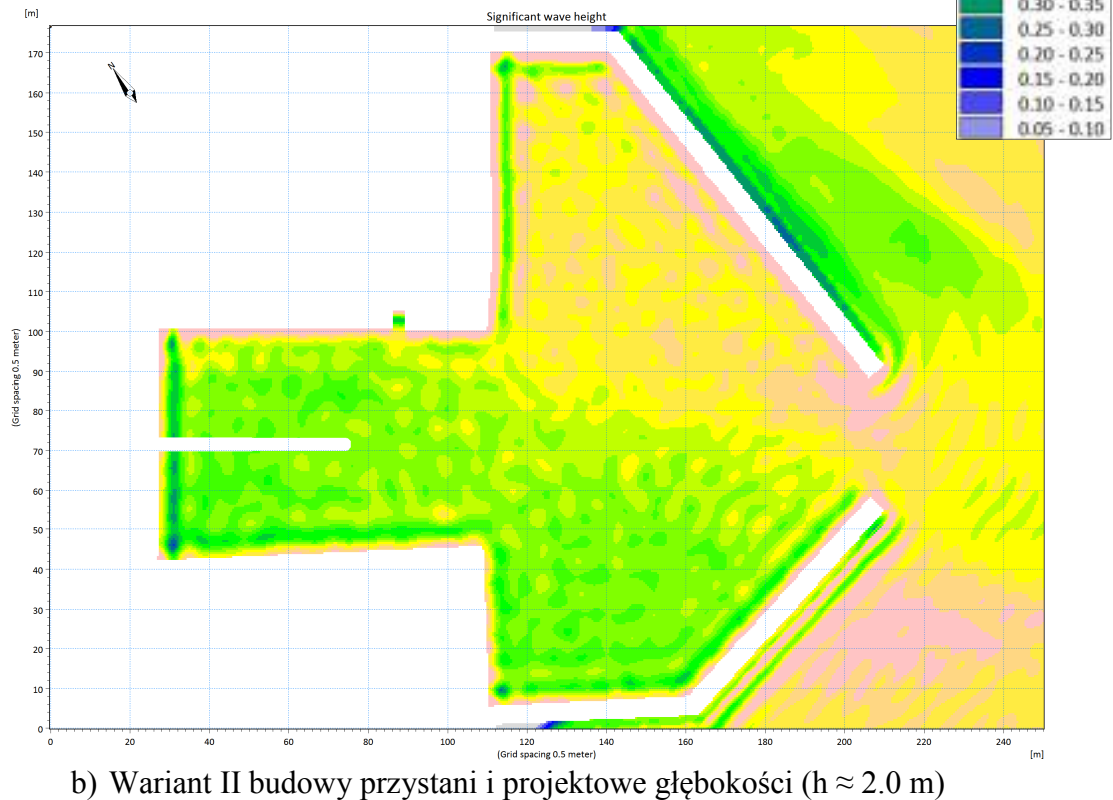
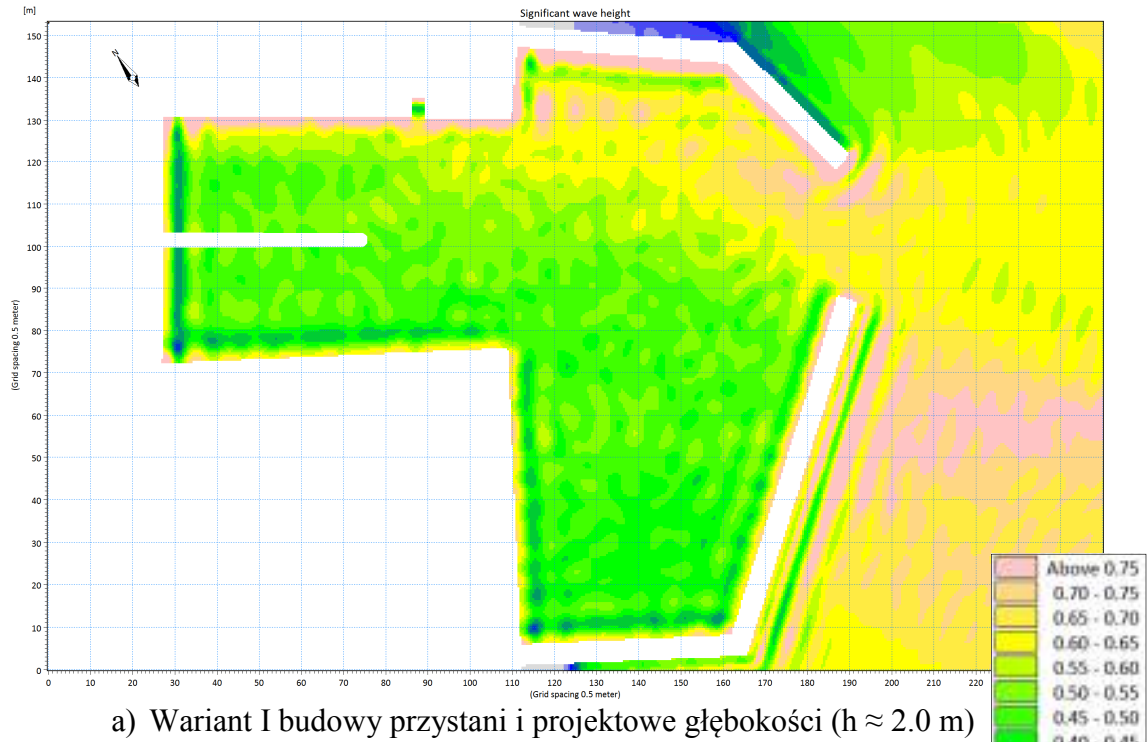


b) Wariant I budowy i aktualne głębokości

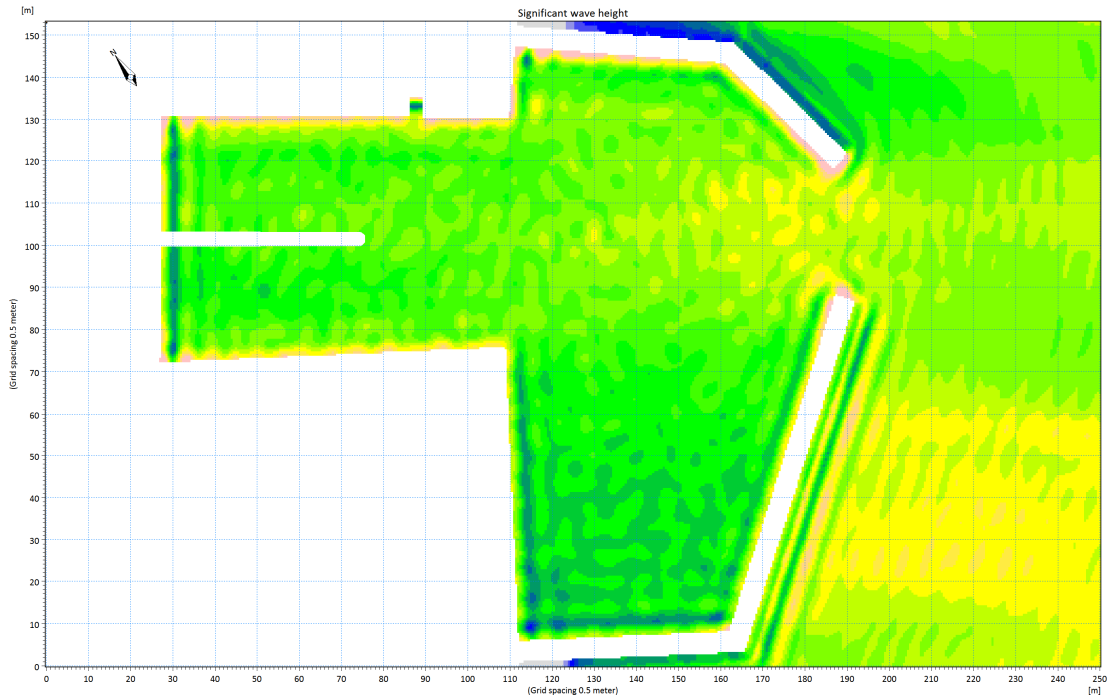
Rys. Z3. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla stanu aktualnego i wariantu I. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.55$ s, kierunek podchodzenia E, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

WARIANT I ORAZ WARIANT II - PORÓWNANIA

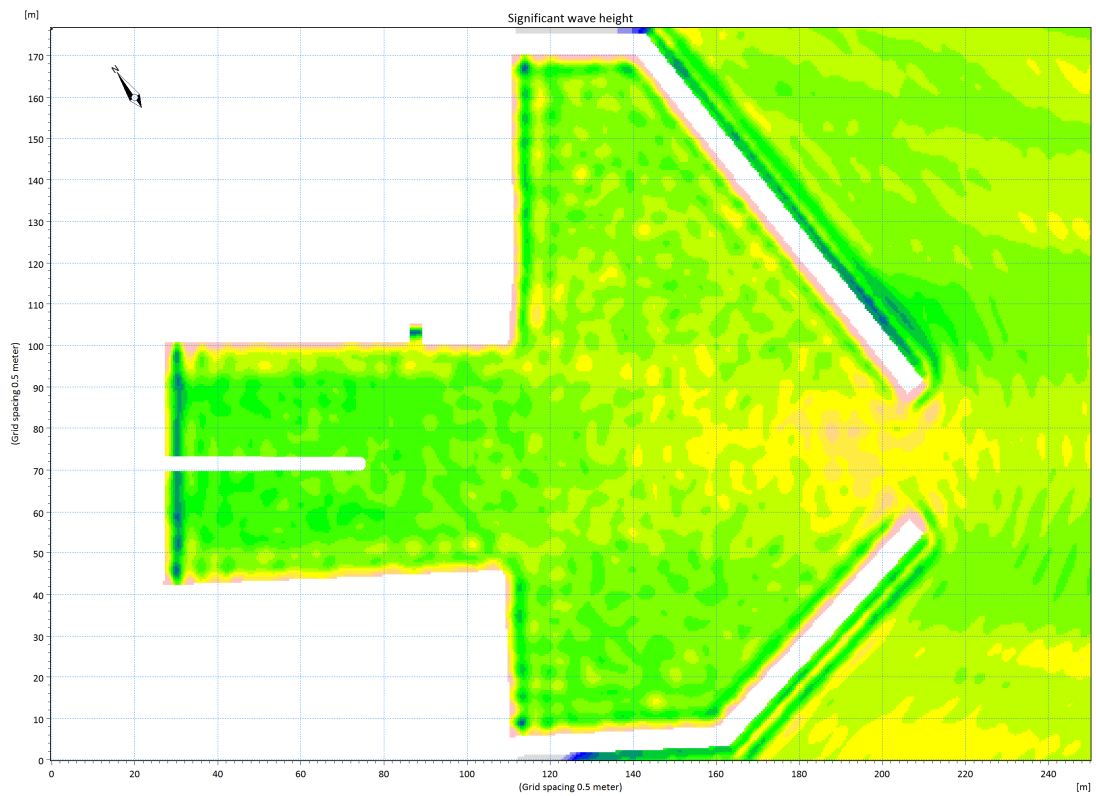
- Rys. Z4. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i II.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.
a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
b) Wariant II budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).
- Rys. Z5. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i II.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.60$ m, $T_p = 2.97$ s, kierunek podchodzenia SE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.
a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
b) Wariant II budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).
- Rys. Z6. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i II.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.55$ s, kierunek podchodzenia E, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.
a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
b) Wariant II budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).



Rys. Z4. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i II. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

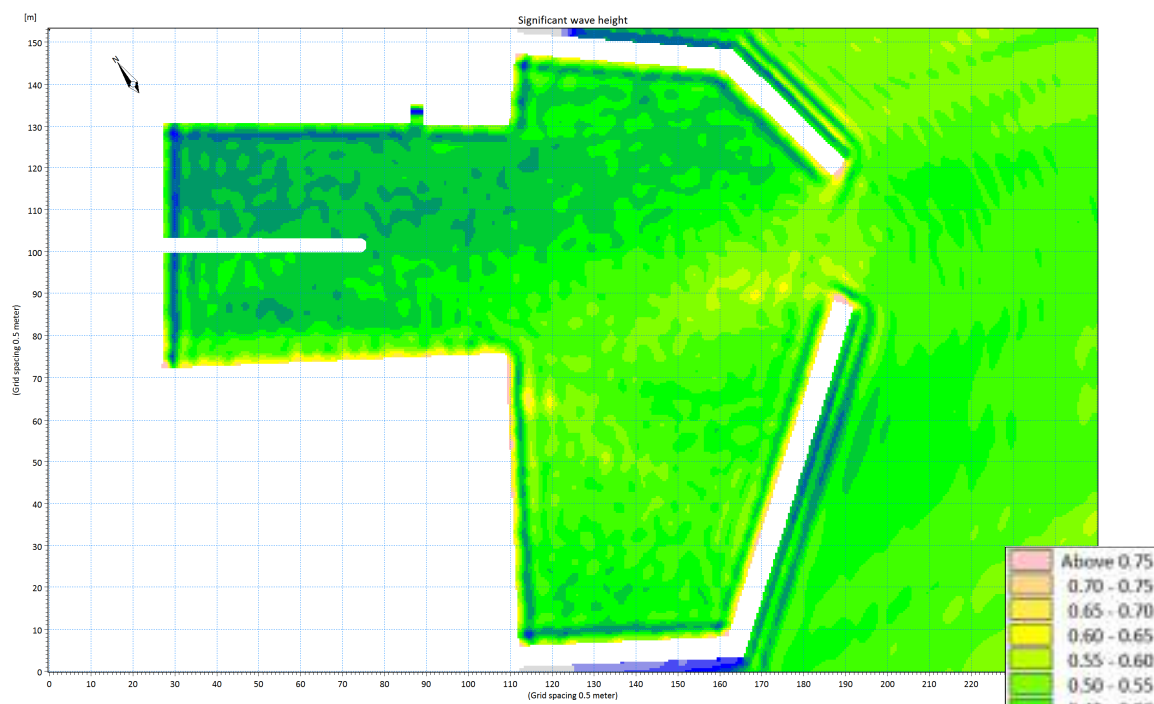


a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

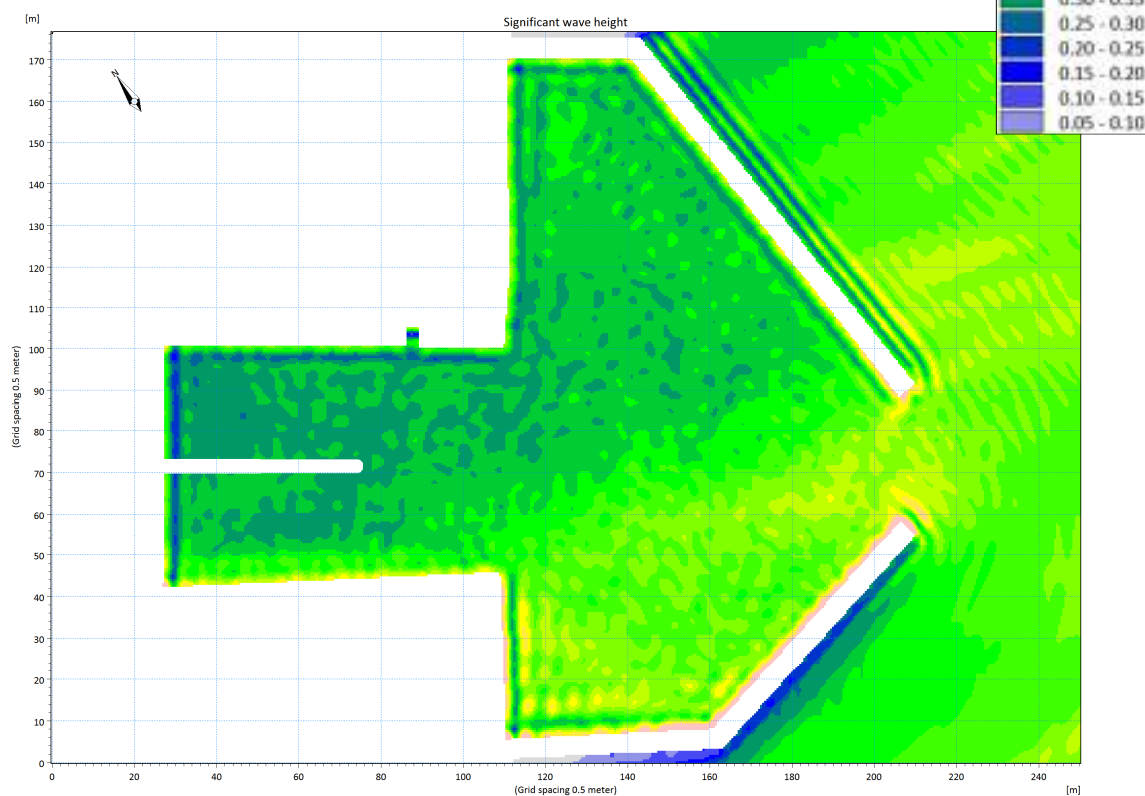


b) Wariant II budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

Rys. Z5. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i II.
 Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.60$ m, $T_p = 2.97$ s, kierunek podchodzenia SE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.



a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

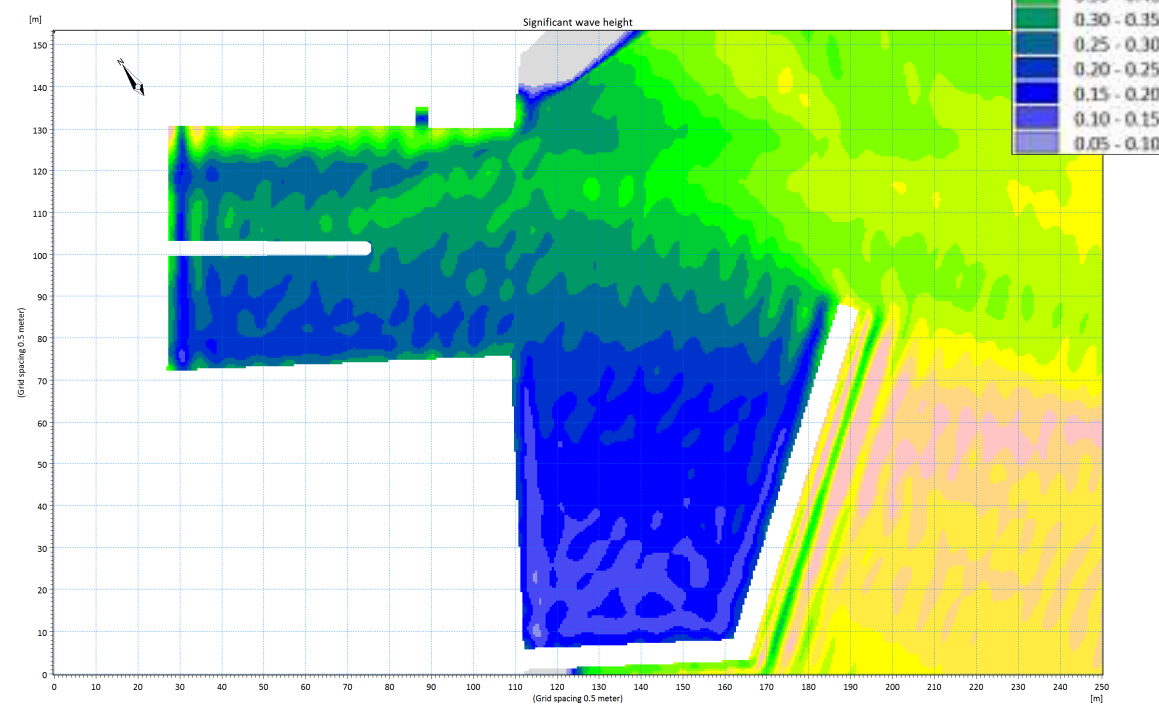
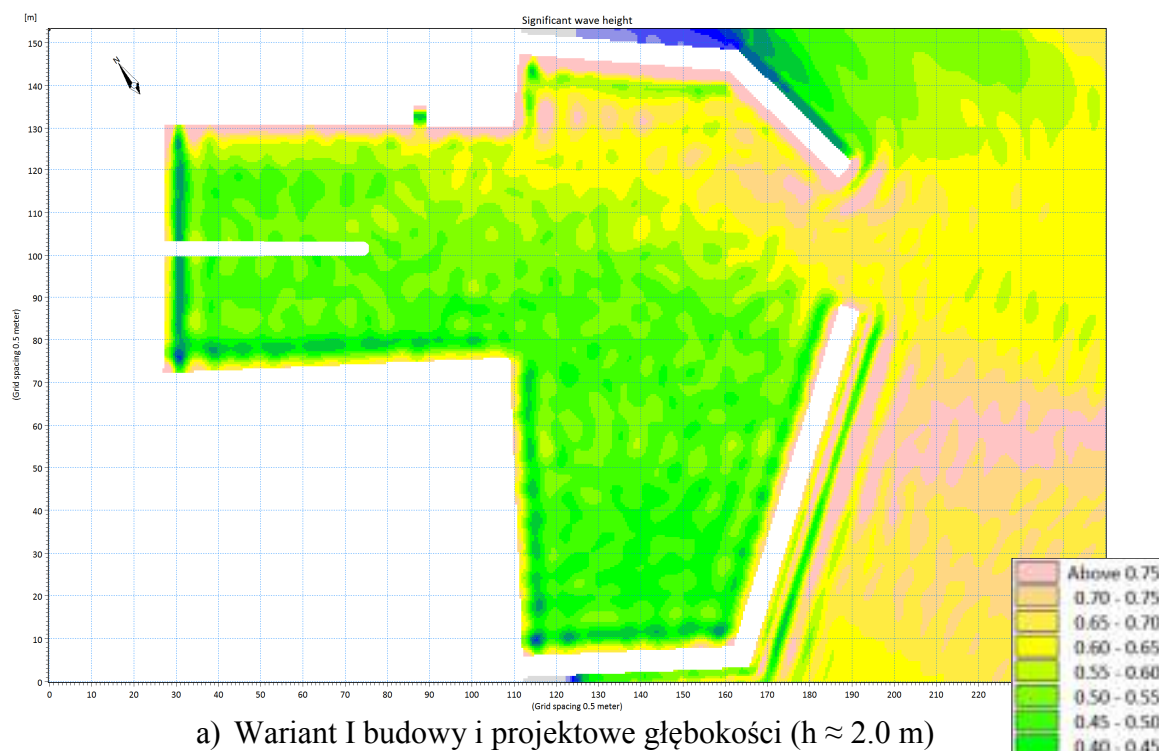


b) Wariant II budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

Rys. Z6. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i II. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.55$ s, kierunek podchodzenia E, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

WARIANT I ORAZ WARIANT IB - PORÓWNANIA

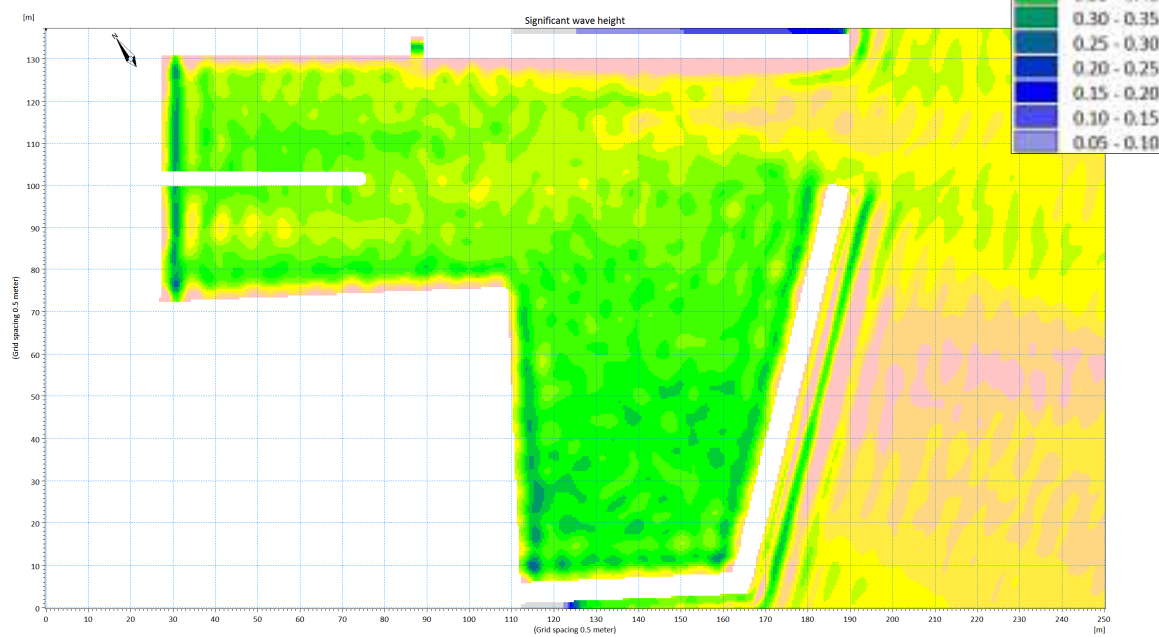
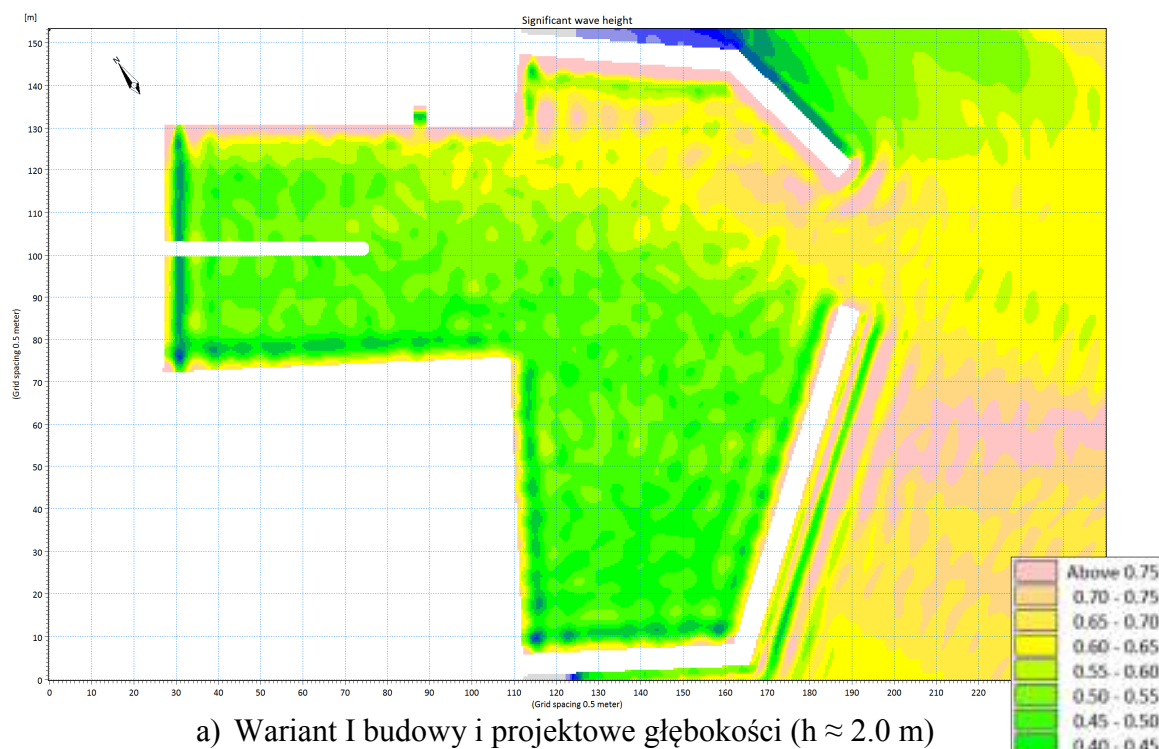
- Rys. Z7. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i IB.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.
- a) Wariantu I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
 - b) Wariant IB budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).



Rys. Z7. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu IB. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

WARIANT I ORAZ WARIANT III - PORÓWNANIA

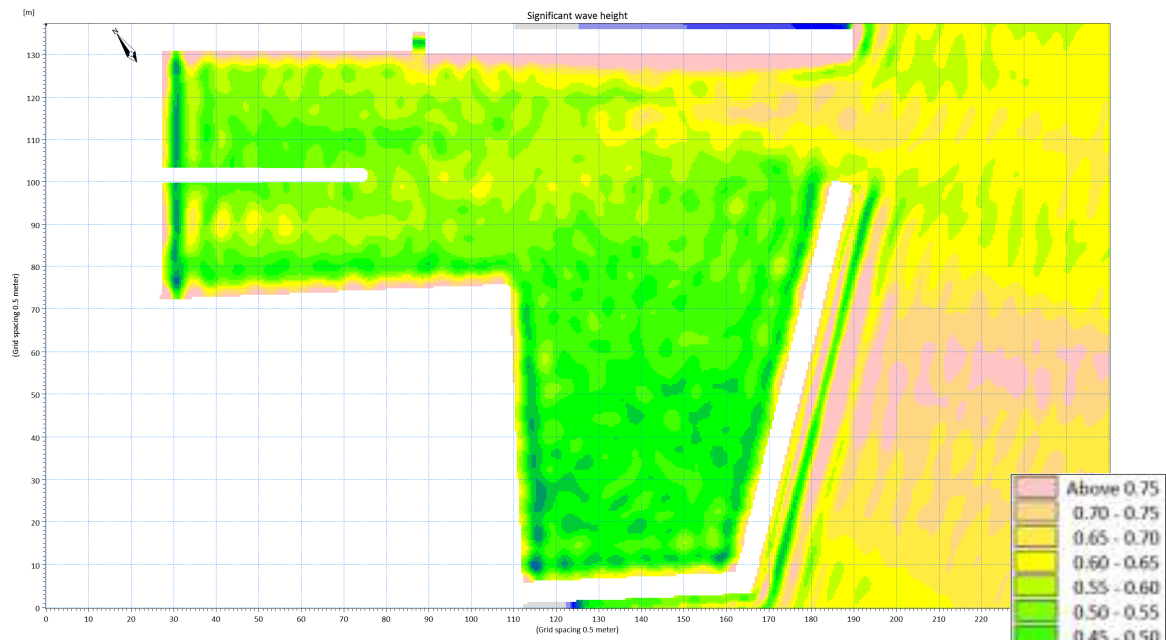
- Rys. Z8. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i III.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE,
prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.
- Wariantu I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
 - Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).



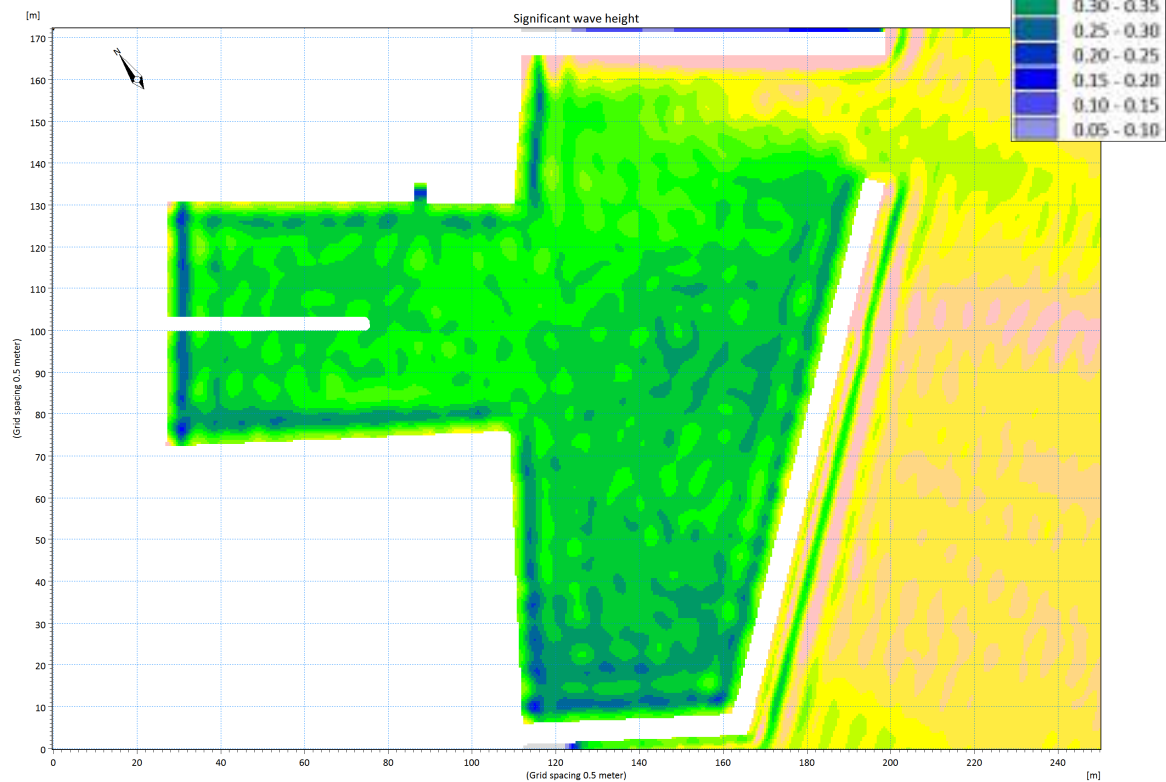
Rys. Z8 Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

WARIANT III ORAZ WARIANT IV - PORÓWNANIA

- Rys. Z9. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu III i IV.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.
- a) Wariantu I budowy mariny i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
 - b) Wariant III budowy mariny i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).



a) Wariant III budowy i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)



b) Wariant IV budowy i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

Rys. Z9. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu III i wariantu IV. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

Obliczenia zasadnicze Etap II

WARUNKI FALOWE WYSTĘPUJĄCE RAZ NA 20 LAT DLA WARIANTU I ORAZ WARIANTU III ROZBUDOWY

Rys. Z10. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.64$ m, $T_p = 3.15$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 20$ lat.

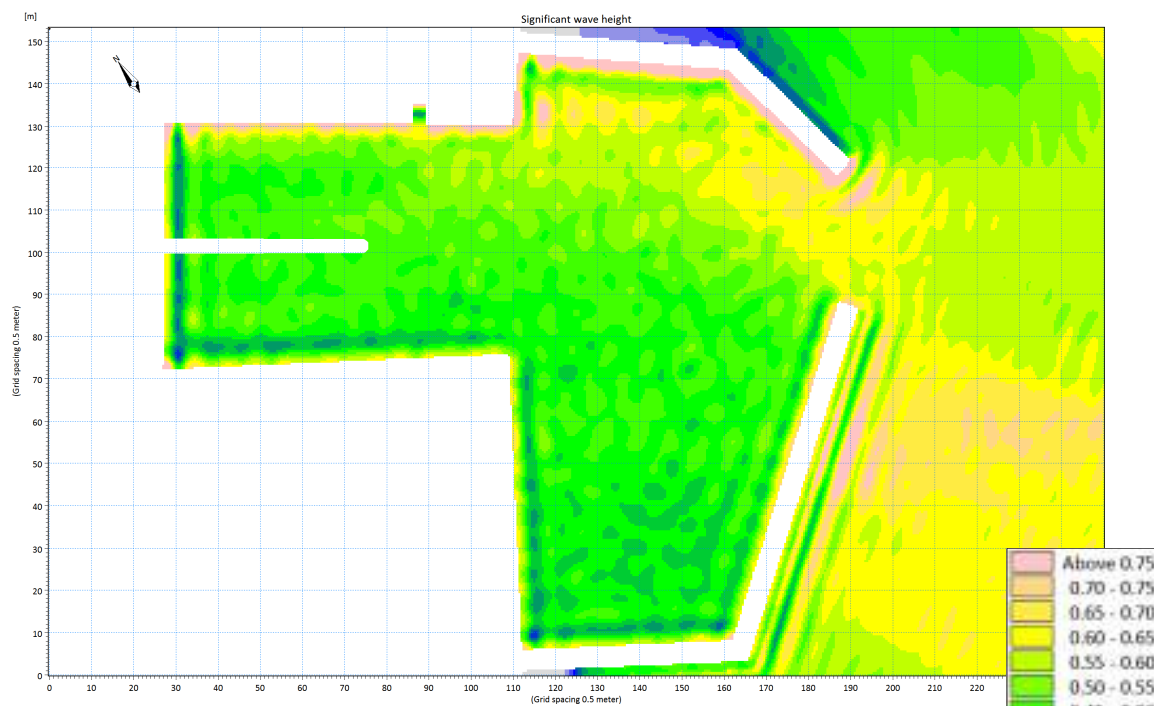
- a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
- b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).

Rys. Z11. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.92$ s, kierunek podchodzenia SE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 20$ lat.

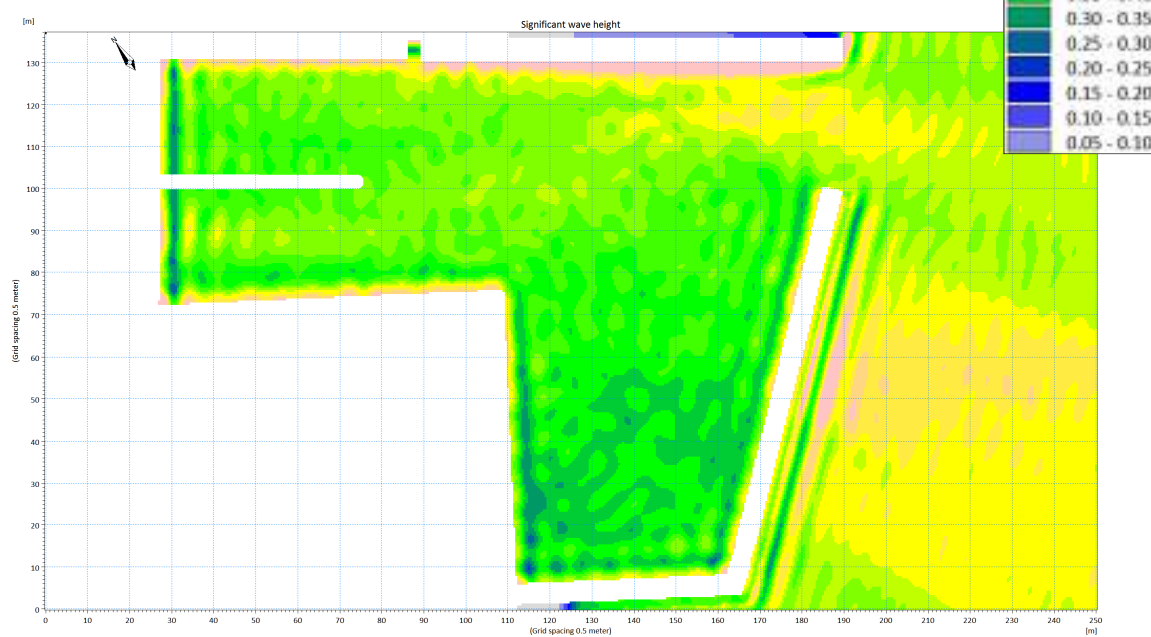
- a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
- b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).

Rys. Z12. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.54$ m, $T_p = 2.45$ s, kierunek podchodzenia E, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 20$ lat.

- a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
- b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).

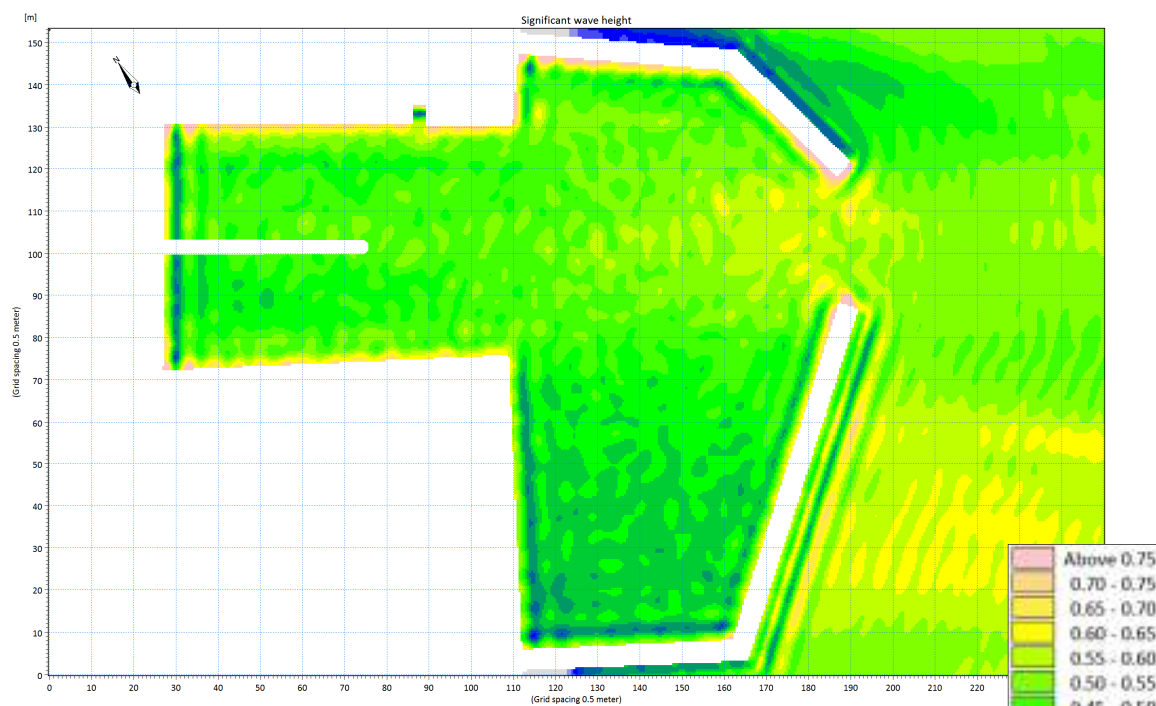


a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

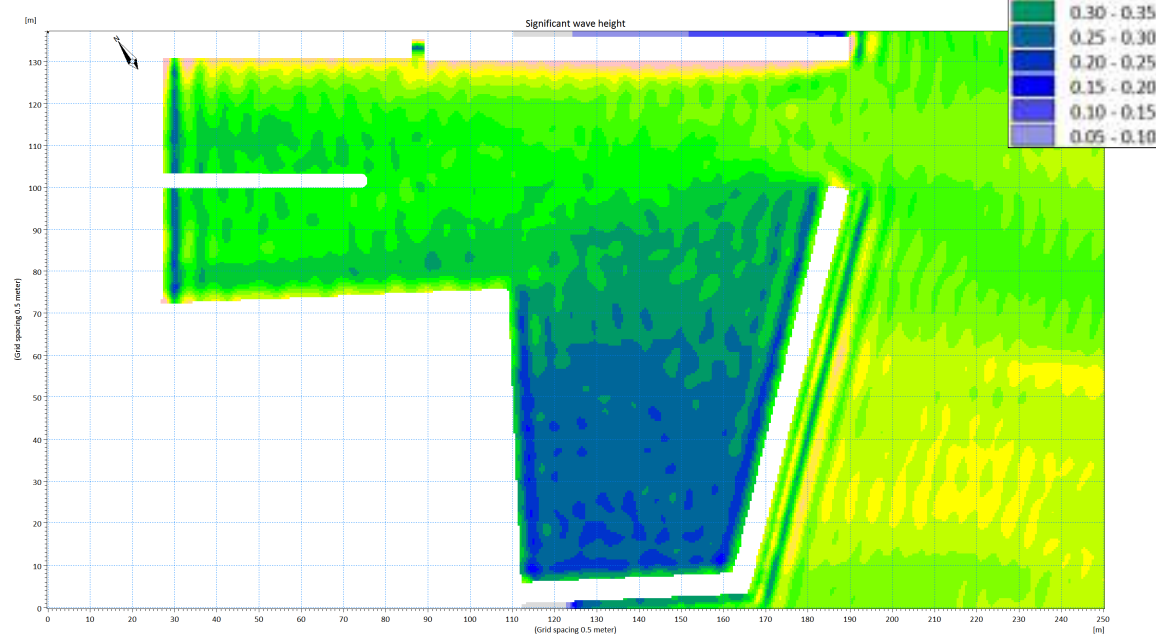


b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

Rys. Z10. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.64$ m, $T_p = 3.15$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 20$ lat.

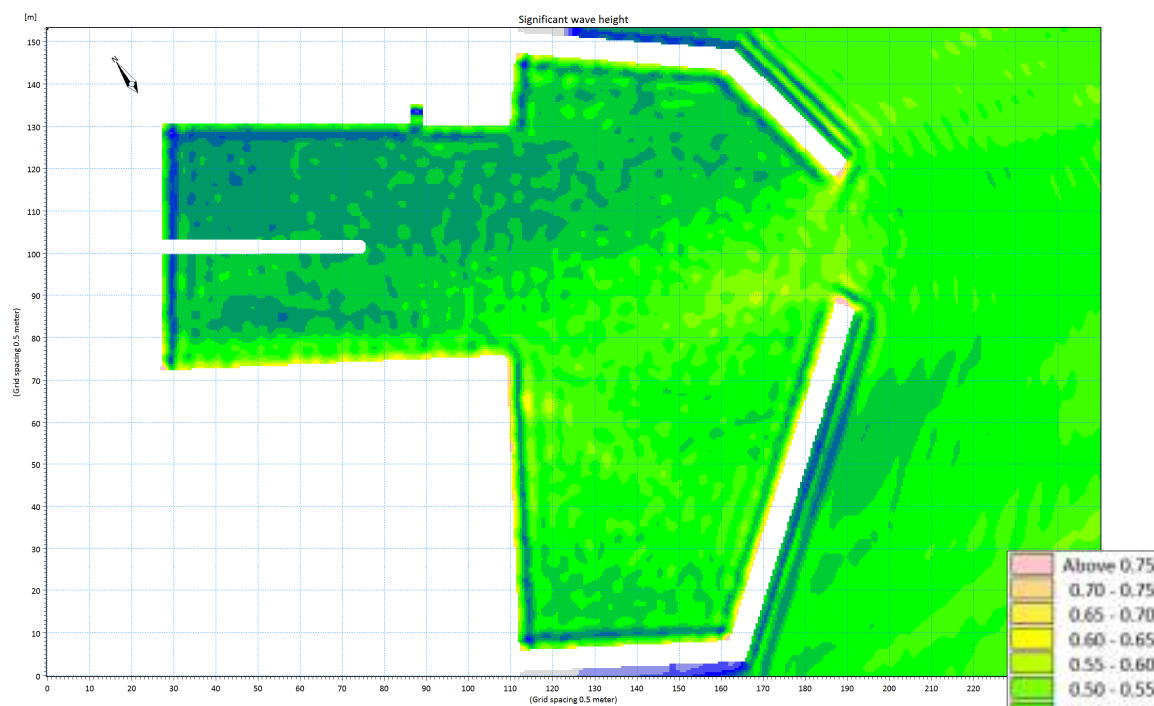


a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

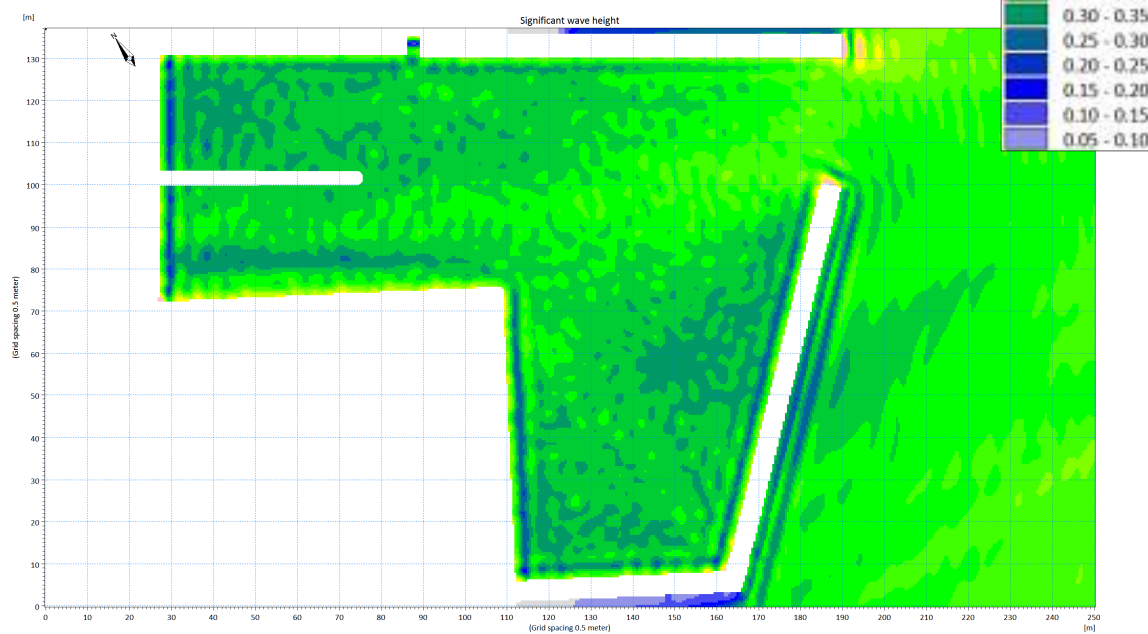


b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

Rys. Z11. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.92$ s, kierunek podchodzenia SE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 20$ lat.



a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

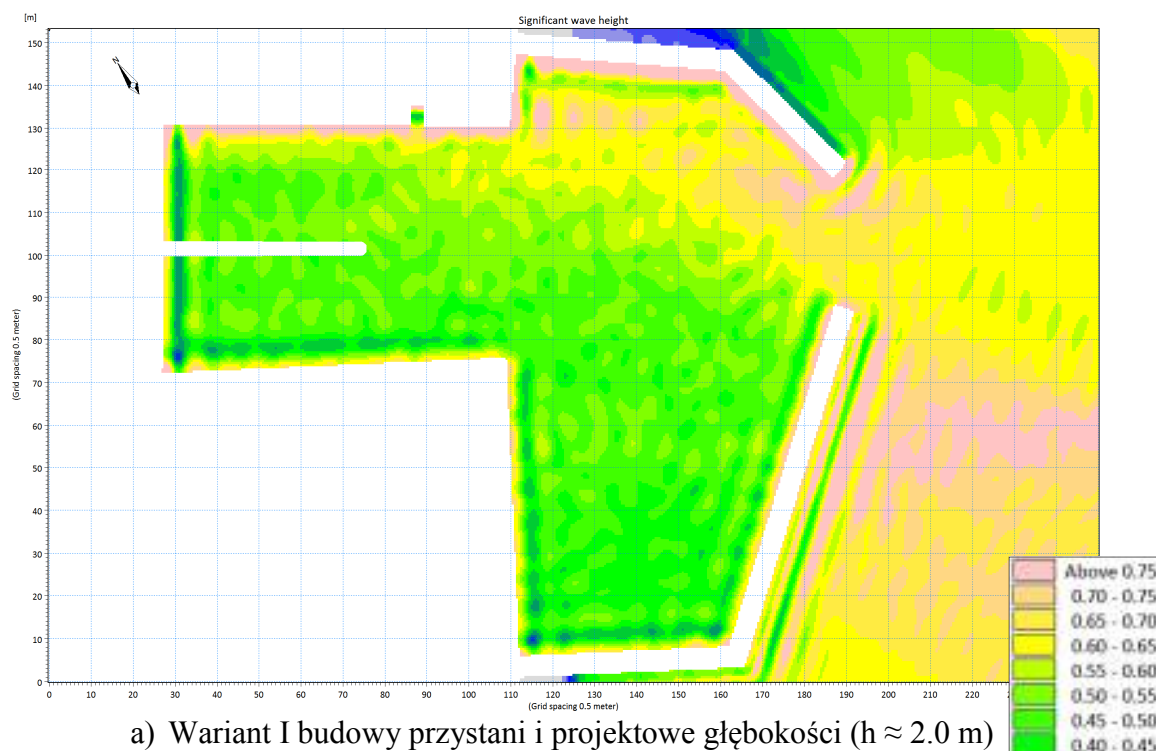


b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

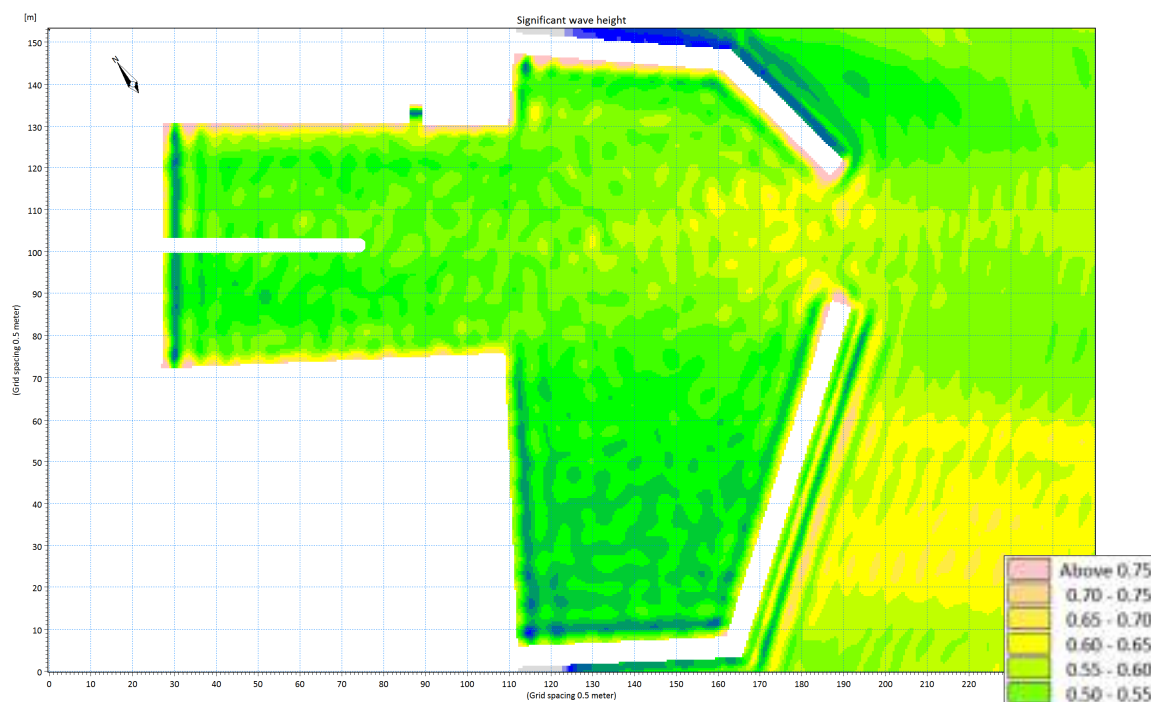
Rys. Z12. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.54$ m, $T_p = 2.45$ s, kierunek podchodzenia E, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 20$ lat.

**WARUNKI FALOWE WYSTĘPUJĄCE RAZ NA 100 LAT DLA WARIANTU I ORAZ
WARIANTU III ROZBUDOWY**

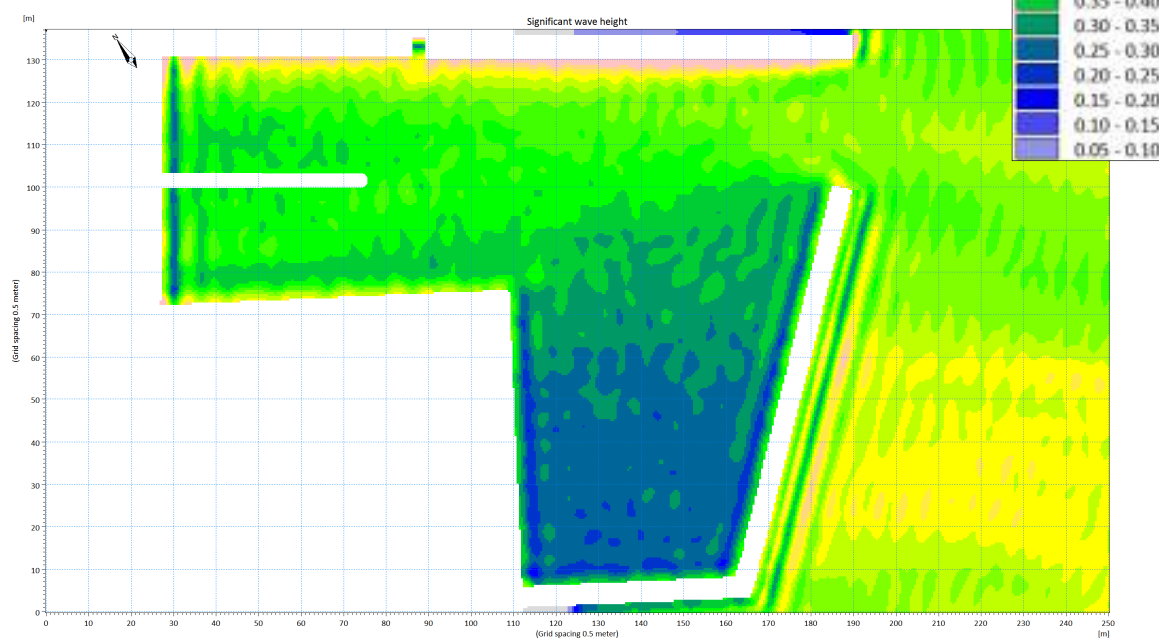
- Rys. Z13. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.
a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).
- Rys. Z14. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.60$ m, $T_p = 2.97$ s, kierunek podchodzenia SE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.
a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).
- Rys. Z15. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III.
Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.55$ s, kierunek podchodzenia E, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.
a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m),
b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m).



Rys. Z13. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.70$ m, $T_p = 3.30$ s, kierunek podchodzenia SSE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.

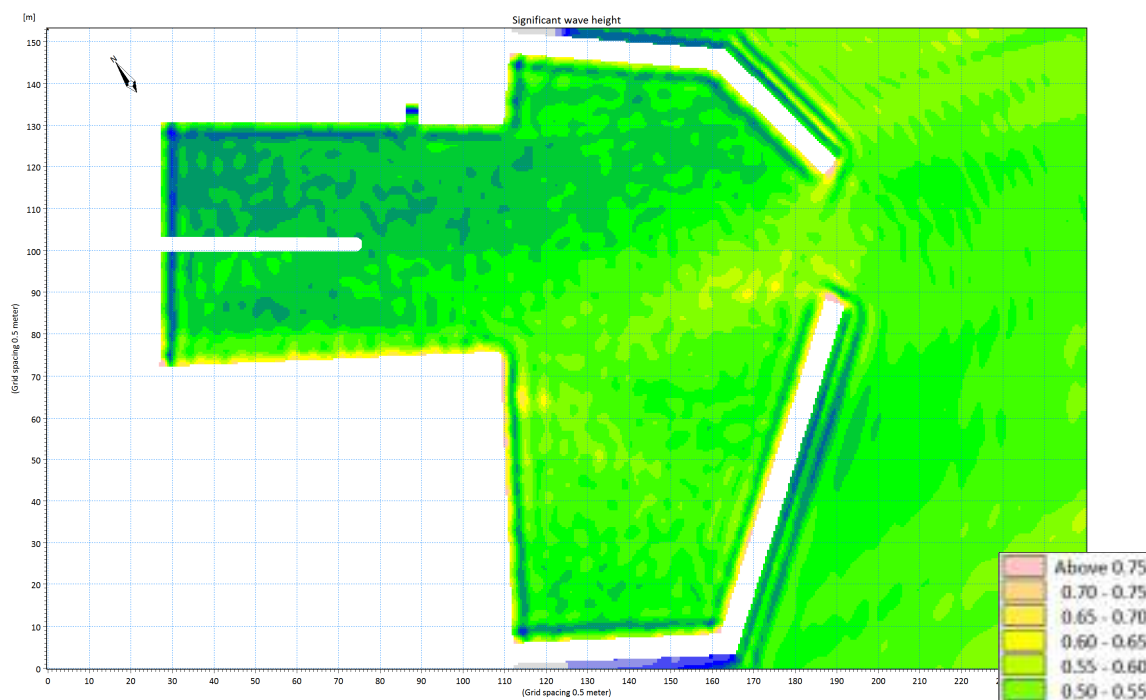


a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

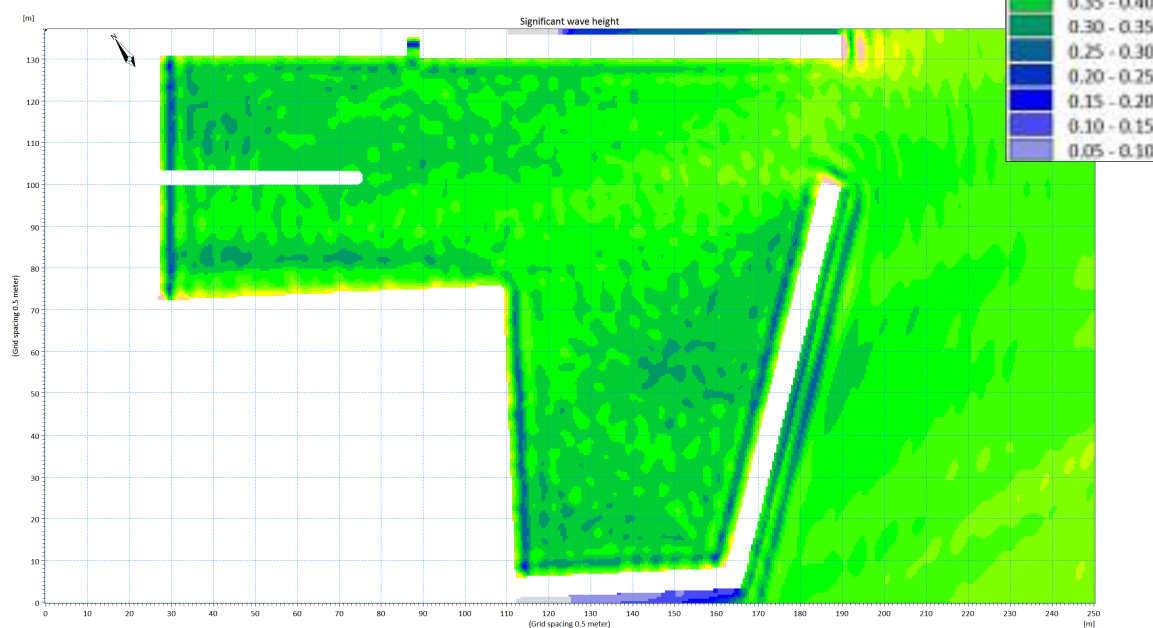


b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

Rys. Z14. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.60$ m, $T_p = 2.97$ s, kierunek podchodzenia SE, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.



a) Wariant I budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)



b) Wariant III budowy przystani i projektowe głębokości ($h \approx 2.0$ m)

Rys. Z15. Porównanie obliczonych wysokości fal znacznych dla wariantu I i wariantu III. Parametry fal wejściowych: $H_s = 0.58$ m, $T_p = 2.55$ s, kierunek podchodzenia E, prawdopodobieństwo wystąpienia $T_R = 100$ lat.