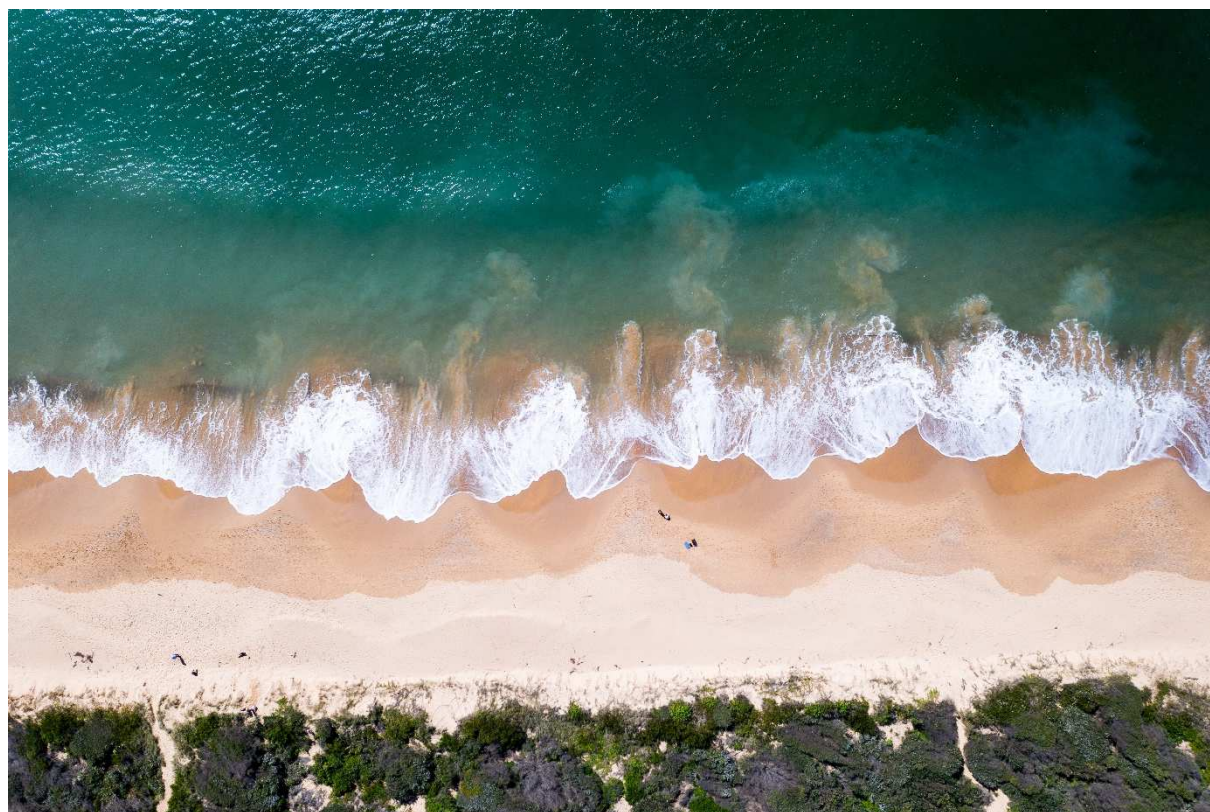


Analizy falowania i ruchu rumowiska wzdłuż portów oraz w portach Rowy i Łeba

Tom I Łeba

Piotr Szmytkiewicz, Marek Szmytkiewicz, Maciej Paprota, Marek Skaja, Magdalena Stella-Bogusz, Krzysztof Piłczyński, Tomasz Marcinkowski



Zamawiający

Urząd Morski w Gdyni

Wykonawca

Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk

Gdańsk, 2022 r.

Informacje o dokumencie

Dokument: Analizy falowania i ruchu rumowiska wzdłuż portów oraz w portach Rowy i Łeba

Zamawiający: Urząd Morski w Gdyni
ul. Chrzanowskiego 10, 81-338 Gdynia

Wykonawca: Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk
ul. Kościerska 7, 80-328 Gdańsk

Kierownik pracy dr inż. Piotr Szmytkiewicz

Autorzy: dr inż. Piotr Szmytkiewicz
dr hab. inż. Marek Szmytkiewicz, prof. IBW PAN
dr hab. inż. Maciej Paprota, prof. IBW PAN
dr Magdalena Stella-Bogusz
inż. Marek Skaja
mgr Krzysztof Piłczyński
dr inż. Tomasz Marcinkowski

Dyrektor IBW PAN: prof. dr hab. inż. Waldemar Świdziński

Kierownik Zakładu: prof. dr hab. inż. Rafał Ostrowski

Spis treści

Spis rysunków.....	4
Spis tabel.....	6
1. Podstawa formalna.....	7
2. Poziomy morza	7
2.1 Projektowy poziom wody maksymalnej	10
3. Falowanie – Łeba.....	11
3.1 Dane falowe.....	11
3.2 Średni falowy rok statystyczny	12
3.3 Fale projektowe	16
4. Transport rumowiska w Łebie	18
5. Zapiaszczanie wejścia do portu w Łebie.....	25
6. Jednostka CTV do obsługi farm wiatrowych.....	27
7. Koncepcje przebudowy portu w Łebie	32
8. Obliczenia falowania w porcie.....	35
8.1 Analiza falowania dla dwóch koncepcji przebudowy portu w Łebie. Wyniki obliczeń 36	
9. Wnioski.....	44
10. Podsumowanie	45
Literatura.....	46
Załącznik 1.....	48

Spis rysunków

Rys. 2.1 Zarejestrowane poziomy morza w Łebie w okresie od 10.2012 do 11.2021 r. Współrzędne stacji pomiarowej: 54,76° N, 17,55° E	7
Rys. 3.1 Lokalizacja punktu prognostycznego falowania z bazy danych Copernicus współrzędne punktu: 54046.494' N, 17032.484' E, odległość od brzegu ~10000 m, h≈25 m (źródło mapy: GoogleEarth).....	12
Rys. 3.2 Wartości wysokości fal znacznych Hs z lat 1993-2020 w punkcie prognostycznym 54046.494' N, 17032.484' E w rejonie Łeby, odległość od brzegu ~10000 m, h≈25 m.....	12
Rys. 3.3 Róża falowania w średnim roku statystycznym w punkcie prognostycznym 54046.494' N, 17032.484' E w rejonie Łeby h≈25 m, odległość od brzegu ~10000 m 27.5-letni okres danych (01.01.1993 – 01.07.2020)	15
Rys. 3.4 Obliczony łączny rozkład wysokości fal znacznych dla wszystkich odmorskich kierunków podchodzenia fali do brzegu 27.5-letni okres danych (01.01.1993 – 01.07.2020).....	18
Rys. 4.1 Położenie batymetrycznych profili obliczeniowych (KM 182, KM 182,5, KM 183,5 i KM 184)	19
Rys. 4.2 Pomierzone w 2005 roku głębokości w rejonie Łeby w profilach: KM 182.0, KM 182.5, KM 183.5 i KM 184.0	20
Rys. 4.3 Obliczony roczny rozkład wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu w kierunku wschodnim, zachodnim i wypadkowy w profilu batymetrycznym KM 182,0.....	22
Rys. 4.4 Obliczony roczny rozkład wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu w kierunku wschodnim, zachodnim i wypadkowy w profilu batymetrycznym KM 182.5.....	23
Rys. 4.5 Obliczony roczny rozkład wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu w kierunku wschodnim, zachodnim i wypadkowy w profilu batymetrycznym KM 183.5.....	24
Rys. 4.6 Obliczony roczny rozkład wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu w kierunku wschodnim, zachodnim i wypadkowy w profilu batymetrycznym KM 184.0.....	24
Rys. 8.1 Przykładowy statek do budowy farm wiatrowych, typu jack-up (https://www.offshorewind.biz/2019/04/05/jan-de-nul-orders-mega-jack-up/)	28
Rys. 8.2 Przykładowy statek typu SOV do ciągłej obsługi farmy wiatrowej ([3] https://ulstein.com/references/windea-jules-verne)	28
Rys. 8.3 Statek typu CTV – widok z boku (https://n-o-s.eu/the-fleet/).....	29
Rys. 8.4 Statek typu CTV – widok z góry (https://n-o-s.eu/the-fleet/)	29
Rys. 8.5 A – widok na port Eemshaven w Holandii służący do budowy i obsługi farm wiatrowych na morzu Północnym. B – widok na nabrzeże przystosowane dla statków typu CTV.....	30
Rys. 8.6 A – widok na port Ramsgate w Anglii służący do obsługi farm wiatrowych na morzu Północnym. B – widok na nabrzeże przystosowane dla statków typu CTV	31
Rys. 11.1 Przebudowa portu w Łebie. Koncepcja 1. Budowa nowego basenu portowego.....	33
Rys. 11.2 Przebudowa portu w Łebie. Koncepcja 2. Budowa nowych nabrzeży i nowego falochronu wschodniego.....	34
Rys. 11.3 Przebudowa portu w Łebie. Koncepcja 3. Budowa nowych nabrzeży i nowego falochronu wschodniego.....	34
Rys. 11.4 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Koncepcji 1.	37
Rys. 11.5 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Koncepcja 1) względem aktualnie istniejącej zabudowy.	37
Rys. 11.6 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Koncepcji 1.	38
Rys. 11.7 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Koncepcja 1) względem aktualnie istniejącej zabudowy.	38
Rys. 11.8 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Koncepcji 1.	39
Rys. 11.9 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Koncepcja 1) względem aktualnie istniejącej zabudowy.	39
Rys. 11.10 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Koncepcji 3.	40
Rys. 11.11 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Koncepcja 1) względem aktualnie istniejącej zabudowy.	40

Rys. 11.12 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Konceptji 3.	41
Rys. 11.13 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Konceptja 3) względem aktualnie istniejącej zabudowy.	41
Rys. 11.14 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Konceptji 3.	42
Rys. 11.15 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Konceptja 3) względem aktualnie istniejącej zabudowy.	42

Spis tabel

Tab. 2.1 Charakterystyczne poziomy wody w Łebie wyznaczone dla okresu 2012–2021	7
Tab. 2.2 Obliczone poziomy wody w Łebie dla zadanych okresów powtarzalności TR wyznaczone na podstawie pomiarów w Łebie z lat 2012-2021	8
Tab. 2.3 Charakterystyczne poziomy wody w Ustce (IMGW)	8
Tab. 2.4 Poziomy wody dla zadanych okresów powtarzalności TR wyznaczone na podstawie pomiarów w porcie w Ustce i Władysławowie z lat 1948-2006 (Wiśniewski, Wolski 2009)	9
Tab. 2.5 Obliczone poziomy wody w Łebie dla zadanych okresów powtarzalności wyznaczone na podstawie pomiarów w porcie w Ustce i Władysławowie z lat 1948-2006	10
Tab. 3.1 Parametry falowania w średnim roku statystycznym w punkcie 2 54046.494' N, 17032.484' E w rejonie Łeby, odległość od brzegu ~10000 m, $h \approx 25$ m, 27.5-letni okres danych (01.01.1993 – 01.07.2020).....	13
Tab. 3.2 Obliczone maksymalne wysokości fal znacznych w rejonie Łeby o okresach powtarzalności $T_R = 10, 20, 50$ i 100 lat, 27.5-letni okres danych falowych.....	16
Tab. 3.3 Obliczone maksymalne okresy fal znacznych w rejonie Łeby o okresach powtarzalności $T_R = 10, 20, 50$ i 100 lat 27.5-letni okres danych falowych.....	17
Tab. 4.1 Obliczony transport roczny dla każdego kierunku odmorskiego oddzielnie oraz łącznie dla całkowitego transportu skierowanego z zachodu na wschód, ze wschodu na zachód oraz transport wypadkowy na wschód od portu w Łebie (KM 182.0 i KM 182.50 i na zachód od portu w Łebie (KM 183.5 i KM 184.0)21	
Tab. 6.1 Data, miejsce poboru urobku i ilość pobieranego urobku w Łebie	26

1. Podstawa formalna

Przedmiotem pracy było wykonanie pracy naukowo-technicznej dotyczącej „Analizy falowania i analizy ruchu rumowiska wzdłuż portów oraz w portach Rowy i Łeba”. Opracowanie zostało wykonane przez Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku na zamówienie Urzędu Morskiego w Gdyni, na podstawie umowy z dnia 18.12.2021 r.

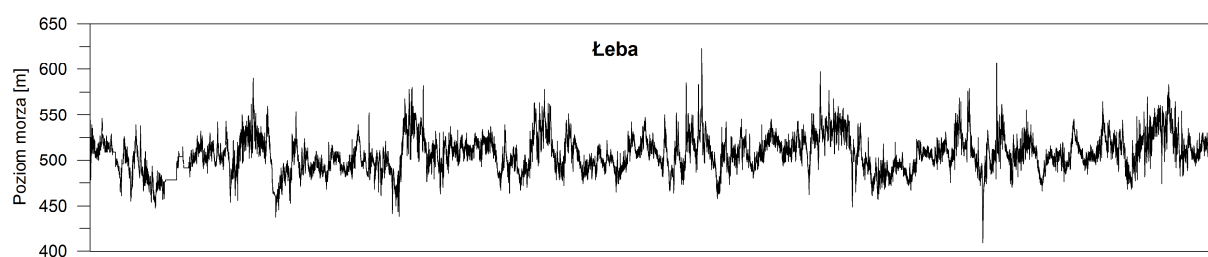
Zakres pracy obejmował analizę warunków hydrodynamicznych (poziomów wody, falowania), litodynamicznych i zapiaszczania wejścia do portów. W pracy przedstawiono koncepcje przebudowy portów w Rowach i Łebie, które zminimalizowałyby falowanie wewnątrz portów i ograniczałyby zapiaszczanie na wejściu do portów.

Z uwagi na znaczny zakres tematyczny pracę podzielono na dwie części. Tom I obejmuje swoim zakresem port w Łebie, a tom II port w Rowach.

2. Poziomy morza

W porcie w Łebie nie ma stacji mareograficznej. Poziomy wody są odczytywane z łaty wodowskazowej usytuowanej w Basenie Gospodarczym. Łocja Bałtyku (2016) podaje, że średni poziom wody dla portu wynosi 509 cm. W zależności od kierunku wiatru waha się od 0,2 poniżej do 0,4 m powyżej poziomu średniego. Podczas sztormów z kierunków SW przez N do E poziom wody podnosi się, a przy wiatrach z S do SW opada. Długotrwałe i silne sztormy mogą powodować obniżenie poziomu wody o 0.7 m lub podwyższenie o 1 m w stosunku do poziomu średniego.

Dla potrzeb niniejszej pracy poziomy morza dla Łeby pozyskano ze strony internetowej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW–PIB), obejmujące okres obserwacji od 10.2012 do 11.2021 roku, Rys. 2.1.



Rys. 2.1 Zarejestrowane poziomy morza w Łebie w okresie od 10.2012 do 11.2021 r. Współrzędne stacji pomiarowej: 54,76° N, 17,55° E

Wyznaczone dla tego okresu charakterystyczne poziomy wody zamieszczono w Tab. 2.1.

Tab. 2.1 Charakterystyczne poziomy wody w Łebie wyznaczone dla okresu 2012–2021

Poziomy morza	Stan [cm]
WWW	623
SWW	582
SW	507
SNW	451

Natomiast w Tab. 2.2 dla tego samego okresu obserwacji przedstawiono wyznaczone poziomy morza w Łebie o zadanych okresach powtarzalności T_R .

Tab. 2.2 Obliczone poziomy wody w Łebie dla zadanych okresów powtarzalności T_R wyznaczone na podstawie pomiarów w Łebie z lat 2012-2021

Okres powtarzalności T_R [lata]	Poziom morza [cm]
1	546
10	617
50	622
100	623

Z uwagi na krótki, około 9-letni, okres pomiarów (10.2012–11.2021) otrzymane z analiz charakterystyczne poziomy morza porównano z długookresowymi pomiarami poziomów wody w Ustce. Poziomy wody w Ustce są mierzone od 1873 roku. Charakterystyczne poziomy morza, według danych IMGW, zamieszczono w Tab. 2.3.

Tab. 2.3 Charakterystyczne poziomy wody w Ustce (IMGW)

Poziomy morza	Stan [cm]	Data pomiaru	Okres obserwacji
Maksymalny	667	5.12.1883	od 1873
WWW	625	-	1982–2001
SWW	547	-	1982–2001
SW	508	-	1982–2001
SNW	469	-	1982–2001
NNW	420	-	1982–2001
Najniższy	396	10.02.1897	Od 1873

Porównując zamieszczone w Tab. 2.1 poziomy wody wyznaczone dla okresu 2012–2021, z wartościami poziomów wody zamieszczonymi w Tab. 2.3 wyznaczonymi dla okresu 1982–2001 widać, że poziomy te są podobne. Jedynie dla poziomu SWW są one nieco wyższe, o około 6%.

Miętusa i Sztobryn (2011) na podstawie analiz danych pomiarowych poziomów morza wzdłuż polskiego brzegu w latach 1986–2005 stwierdzili, że daje się zauważyć podobieństwo w przebiegu wieloletnim rocznych maksimów i minimów między stacjami Świnoujście i Ustka oraz Hel i Gdańsk. Na wszystkich stacjach pomiarowych rozkłady częstości w latach 1986–2005 wykazują wzrost liczby obserwowanych poziomów wody w przedziałach od 490 cm do 520 cm oraz zmniejszenie występowania poziomów morza poniżej 500 cm w porównaniu do okresu 1971–2000. Średni poziom wody z tego okresu w Ustce wynosił 504 cm. Natomiast w pracy

Dziadziuszko i Jednorął (1988) średni poziom morza wyznaczony z obserwacji z lat 1901–1985, wynosi 497.9 cm \pm 0.5 cm.

Biorąc pod uwagę podobieństwo w przebiegu poziomów morza mierzonych w poszczególnych stacjach mareograficznych można było porównać wyznaczone dla Łeby poziomy morza o zadanych okresach powtarzalności T_R z krótkiego około 9-letniego zestawu danych pomiarowych (10.2012–11.2021) z ich odpowiednikami wyznaczonymi dla długookresowych pomiarów w Ustce i we Władysławowie.

Obecnie najnowszym zwartym opracowaniem w którym zamieszczono obliczone maksymalne poziomy morza o zadanych okresach powtarzalności jest praca Wiśniewskiego i Wolskiego, (2009). W pracy tej przedstawiono m. innymi tabelarycznie teoretyczne maksymalne poziomy morza wraz z ich prawdopodobieństwem wystąpienia dla portu w Ustce i we Władysławowie z okresu 1948–2006. Wartości te wyznaczone rozkładem Pearsona metodą największej wiarygodności zamieszczono w Tab. 2.4.

Tab. 2.4 Poziomy wody dla zadanych okresów powtarzalności T_R wyznaczone na podstawie pomiarów w porcie w Ustce i Władysławowie z lat 1948-2006 (Wiśniewski, Wolski 2009)

Okres powtarzalności T_R [lata]	Poziom morza [cm]	
	Ustka	Władysławowo
1	535.3	532.8
2	588.0	585.2
5	610.2	605.5
10	623.8	617.9
20	636.2	629.1
50	651.4	642.8
100	662.3	652.6

Zakładając liniową zmianę poziomów morza między Ustką i Władysławowem wyznaczono metodą interpolacji poziomy wody o zadanych okresach powtarzalności w Łebie. Odległość między Ustką i Władysławowem w linii prostej wynosi około 104 km, a między Ustką i Łebą około 48 km. Obliczone wartości poziomów wody zamieszczono w Tab. 2.5.

Tab. 2.5 Obliczone poziomy wody w Łebie dla zadanych okresów powtarzalności wyznaczone na podstawie pomiarów w porcie w Ustce i Władysławowie z lat 1948-2006

Okres powtarzalności T_R [lata]	Poziom morza [cm] ¹
1	534
2	587
5	608
10	621
20	633
50	647
100	658

Porównując zamieszczone w Tab. 2.2 poziomy wody o zadanych okresach powtarzalności dla Łeby wyznaczone dla danych z lat 2012–2021, z wartościami poziomów wody zamieszczonymi w Tab. 2.5 wyznaczonymi dla okresu 1948–2006 widać, że poziomy wyznaczone z danych długookresowych są o około 6% wyższe.

2.1 Projektowy poziom wody maksymalnej

Projektowy poziom wody w Łebie został wyznaczony na podstawie danych zawartych w Tab. 2.5. Przy wyznaczaniu poziomu projektowego IPCC zaleca dodatkowo uwzględnić prognozowany wzrost poziomu morza związany z efektem cieplarnianym. Z analizowanych w ramach projektu *KLIMAT* dla całego polskiego brzegu podnoszenia się rocznego poziomu morza wynika, że następuje ono w tempie około 0,2 cm/rok. Natomiast w pracy Stramskiej i Chudziak (2013) wzrost poziomu wody określony na podstawie analizy zdjęć satelitarnych Bałtyku wynosi 0,33 cm/rok z odchyleniem standardowym równym 0.08 cm. Przyjmując za Stramską i Chudziakiem (2013) roczny wzrost poziomu wody równy 0.33 cm otrzymamy:

- prognozowany wzrost poziomu morza w perspektywie 10 lat → (+3 cm),
- prognozowany wzrost poziomu morza w perspektywie 20 lat → (+7 cm),
- prognozowany wzrost poziomu morza w perspektywie 50 lat → (+17 cm),
- prognozowany wzrost poziomu morza w perspektywie 100 lat → (+33 cm),

skąd:

- $Z_{proj-10} = 621 + 3 = 624$ cm (+1.24 m powyżej średniego poziomu morza),
- $Z_{proj-20} = 633 + 7 = 640$ cm (+1.40 m powyżej średniego poziomu morza),
- $Z_{proj-50} = 647 + 17 = 664$ cm (+1.64 m powyżej średniego poziomu morza),
- $Z_{proj-100} = 658 + 33 = 691$ cm (+1.91 m powyżej średniego poziomu morza).

¹ poziomy morza zaokrąglone do liczb całkowitych.

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w Zaleceniach do Projektowania i Wykonywania Morskich Budowli Hydrotechnicznych (Mazurkiewicz 2006) dla falochronów osłaniających wejścia portowe należy przyjmować projektowy poziom wody o okresie powtarzalności $T_R=100$ lat.. Ponieważ jednak jednoczesne wystąpienie poziomu morza i sztormu o tym samym 100-letnim okresie powtarzalności jest mało prawdopodobne z reguły jako poziom projektowy przyjmuje się poziom odpowiadający okresowi powtarzalności równym $T_R=50$ lat z uwzględnieniem efektu cieplarnianego, tj.:

$$Z_{\text{proj}}=664 \text{ cm (+1.64 m powyżej średniego poziomu morza)}.$$

Wszystkie podane powyżej poziomy wody zostały odniesione do poziomu wody Amsterdam. Do przeliczenia wysokości pomiędzy zerem amsterdamskim (H^{Amst}) oraz zerem kronsztadzkim (H^{Kron}) stosuje się zależność (Dz. U. 1998 nr 101 poz. 645):

$$H^{\text{Amst}} = H^{\text{Kron}} + 0.08 \text{ [m]}$$

3. Falowanie – Łeba

3.1 Dane falowe

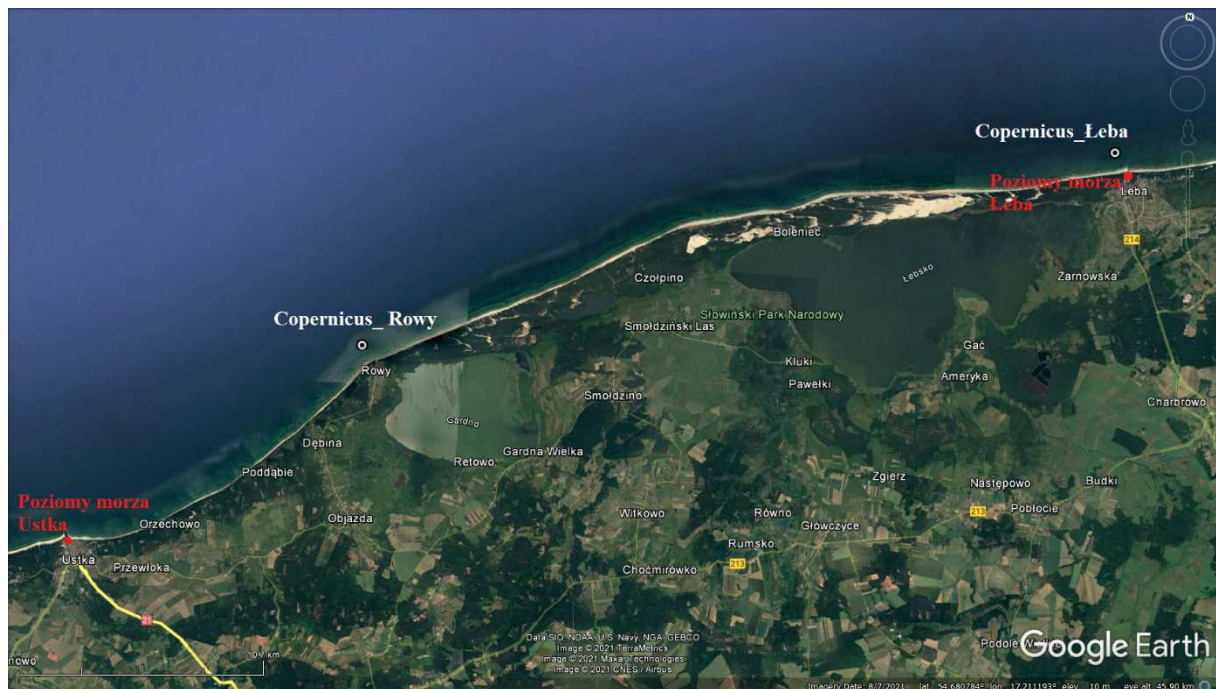
W celu wyznaczenia zarówno charakterystycznych parametrów fal projektowych jak i ich wartości występujących w średnim roku statystycznym, zgodnie z wytycznymi: Rozporządzenie MTiGM z dnia 1 czerwca (1998), Kamphuis (2000), Marcinkowski i Szmytkiewicz (2010), wymagane jest posiadanie wieloletnich danych pomiarowych falowania morskiego. Z punktu widzenia analizy szeregów czasowych w statystyce długoterminowej do wyznaczania parametrów projektowych o zadanym okresie powtarzalności (T_R) zalecane jest aby analizowane dane obejmowały okres nie mniejszy niż $T_R/3$, tj. wiarygodna ekstrapolacja powinna dotyczyć tylko ograniczonego okresu czasowego poza dostępny (analizowany) szereg czasowy. Oznacza to, że na przykład w celu wyznaczenia wysokości fali znacznej charakteryzującej sztorm projektowy o okresie powtarzalności równym pięćdziesiąt lat ($T_R = 50$ lat) powinno się dysponować ciągłymi, jednolitymi danymi falowymi z okresu co najmniej 17 lat.

Pomiary falowania w rejonie portu w Łebie były wykonywane w przeszłości sporadycznie, tylko w tzw. trybie ekspedycyjnym, tak, że na ich podstawie niemożliwym jest wykonanie długoterminowych analiz statystycznych określających prawdopodobieństwo występowania fal o różnych parametrach (wysokości, okresu i kąta podchodzenia). Dlatego też do odtworzenia wieloletnich warunków falowych wykorzystywane są wyniki modeli numerycznych obliczających generację i propagację falowania. Danymi wejściowymi do tych modeli są pola wiatrów.

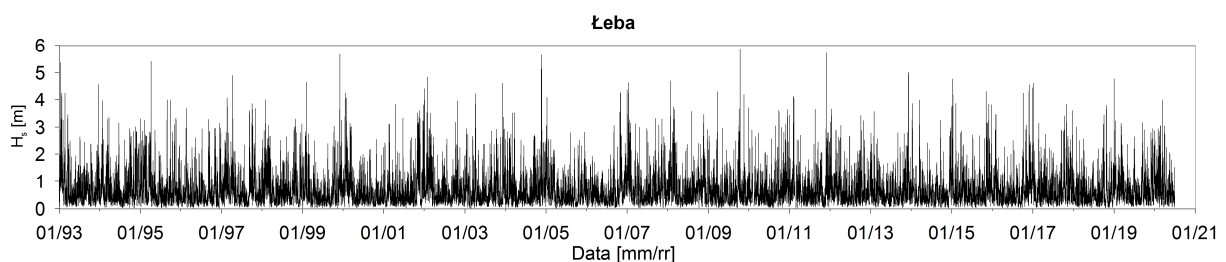
Dla potrzeb niniejszej pracy dane falowe zostały pobrane z bazy danych Copernicus. Dla okresu od 1 stycznia 1993 roku do roku 2020 pochodzą one z prognozy wstecznej. Obliczenia parametrów falowania (wysokości fal znacznych H_s , okresów piku T_p i azymutów kątów podchodzenia fali A_z) wyznaczano przy wykorzystaniu modelu falowego WAM 4.6.2 dla którego wymuszenia powierzchniowe (kierunki i prędkości wiatrów) pochodziły z analizy ERA5, ECMWF. Obliczenia te realizowano dla całego Bałtyku w siatce o rozdzielczości 1 mili morskiej. Wszystkie parametry falowe wprowadzane do bazy danych z godzinowym odstępem czasu pochodziły z analizy spektralnej całkowitego widma falowego z tego okresu.

Po przeanalizowaniu punktów prognostycznych położonych na głębokiej wodzie w sąsiedztwie portu w Łebie wybrano punkt prognostyczny o współrzędnych $54^{\circ}46.494' \text{ N}$, $17^{\circ}32.484' \text{ E}$, położony w odległości około 10000 m od brzegu, głębokość morza w tym punkcie wynosi około 25 m. Lokalizację tego punktu prognostycznego w strefie brzegowej morza pokazano na Rys. 3.1.

Dane falowe w punkcie prognostycznym obejmują okres od 1.01.1993 do 01.07.2020 (27.5 lat). Na Rys. 3.2 przedstawiono wartości wysokości fal znacznych H_s wyznaczone dla tego okresu w punkcie prognostycznym.



Rys. 3.1 Lokalizacja punktu prognostycznego falowania z bazy danych Copernicus współrzędne punktu: $54^{\circ}46.494' \text{ N}$, $17^{\circ}32.484' \text{ E}$, odległość od brzegu $\sim 10000 \text{ m}$, $h \approx 25 \text{ m}$ (źródło mapy: GoogleEarth)



Rys. 3.2 Wartości wysokości fal znacznych H_s z lat 1993-2020 w punkcie prognostycznym $54^{\circ}46.494' \text{ N}$, $17^{\circ}32.484' \text{ E}$ w rejonie Łeby, odległość od brzegu $\sim 10000 \text{ m}$, $h \approx 25 \text{ m}$

3.2 Średni falowy rok statystyczny

Dla brzegu w rejonie Łeby odmorskimi kierunkami wiatrów generujących falowanie są kierunki: W, WNW, NW, NNW, N, NNE, NE i ENE. Parametry falowania występujące w średnim roku statystycznym wyznaczone dla punktu prognostycznego (27.5-letni okres danych). W celu wyznaczenia czasów trwania określonych wysokości falowania dla poszczególnych kierunków

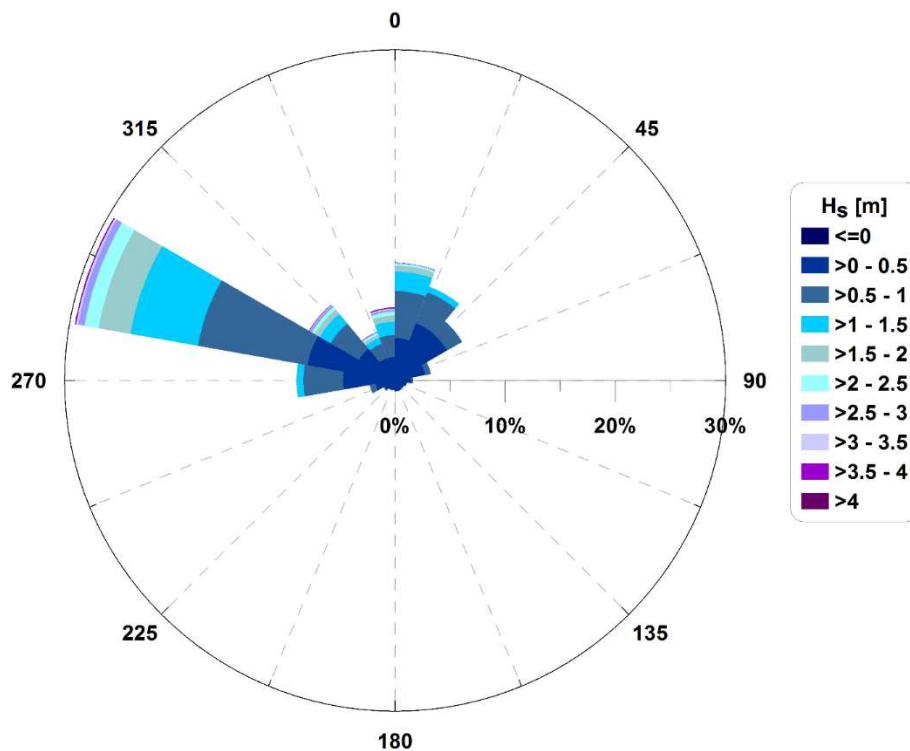
przyjęto przedziały wysokości fali co 0.5 m i dla każdego z nich obliczono średnie wysokości fal znacznych H_s , średnie okresy piku T_p , średnie azymuty promieni fali A_z oraz czasy trwania. Wyniki tych obliczeń zamieszczono w Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Parametry falowania w średnim roku statystycznym w punkcie 2 54046.494' N, 17032.484' E w rejonie Łeby, odległość od brzegu ~10000 m, $h \approx 25$ m, 27.5-letni okres danych (01.01.1993 – 01.07.2020)

Przedziały	Wys. fali znacznej H_s [m]	Okres piku T_p [s]	Azymut kata podchodzenia A_z [$^{\circ}$]	Czas trwania [dni]
Kierunek W				
0.0–0.5	0.34	3.78	270.99	15.23
0.5–1.0	0.75	4.82	271.58	25.85
1.0–1.5	1.23	5.68	271.51	19.50
1.5–2.0	1.73	6.37	272.36	12.45
2.0–2.5	2.22	6.95	273.18	6.24
2.5–3.0	2.71	7.49	274.10	3.10
3.0–3.5	3.22	7.99	274.65	1.22
3.5–4.0	3.70	8.46	276.16	0.42
4.0–4.5	4.21	8.97	276.56	0.17
Kierunek WNW				
0.0–0.5	0.33	3.65	291.04	14.64
0.5–1.0	0.74	4.71	290.00	16.61
1.0–1.5	1.22	5.55	289.83	10.05
1.5–2.0	1.73	6.27	289.58	5.73
2.0–2.5	2.23	6.91	288.89	3.62
2.5–3.0	2.73	7.49	289.08	2.16
3.0–3.5	3.23	7.98	289.24	1.25
3.5–4.0	3.72	8.57	289.18	0.48
4.0–4.5	4.22	9.03	288.83	0.29
4.5–5.0	4.73	9.55	287.62	0.13
5.0–5.5	5.24	9.94	289.45	0.08
Kierunek NW				
0.0–0.5	0.30	3.51	313.93	6.65
0.5–1.0	0.73	4.75	313.34	5.54
1.0–1.5	1.21	5.57	313.23	2.58
1.5–2.0	1.73	6.28	313.67	1.03
2.0–2.5	2.23	6.84	312.86	0.65
2.5–3.0	2.74	7.32	313.79	0.43
3.0–3.5	3.17	7.74	313.46	0.21
Kierunek NNW				
0.0–0.5	0.30	3.71	337.34	4.68
0.5–1.0	0.73	5.14	337.89	3.86
1.0–1.5	1.21	5.95	338.11	2.26
1.5–2.0	1.73	6.54	337.77	1.06
2.0–2.5	2.22	7.01	338.17	0.70

2.5–3.0	2.73	7.35	338.48	0.41
3.0–3.5	3.20	7.82	337.46	0.17
3.5–4.0	3.68	8.17	339.54	0.07
Kierunek N				
0.0–0.5	0.32	4.04	0.63	5.54
0.5–1.0	0.73	5.45	1.25	6.34
1.0–1.5	1.23	6.31	1.61	3.91
1.5–2.0	1.72	6.96	1.29	2.28
2.0–2.5	2.24	7.61	1.60	1.18
2.5–3.0	2.72	8.09	1.07	0.73
3.0–3.5	3.24	8.58	1.09	0.37
3.5–4.0	3.71	9.04	1.31	0.28
4.0–4.5	4.23	9.39	0.87	0.13
4.5–5.0	4.72	9.69	0.13	0.08
Kierunek NNE				
0.0–0.5	0.34	4.24	23.70	9.12
0.5–1.0	0.73	5.61	23.13	12.48
1.0–1.5	1.22	6.51	22.38	6.29
1.5–2.0	1.72	6.97	22.06	3.15
2.0–2.5	2.22	7.59	22.07	1.27
2.5–3.0	2.70	8.12	22.84	0.59
3.0–3.5	3.24	8.62	19.73	0.28
3.5–4.0	3.72	8.79	20.18	0.09
4.0–4.5	4.23	9.38	19.94	0.10
4.5–5.0	4.70	9.87	20.39	0.05
Kierunek NE				
0.0–0.5	0.32	3.69	44.95	12.43
0.5–1.0	0.71	4.82	44.68	11.48
1.0–1.5	1.20	5.72	43.91	3.99
1.5–2.0	1.71	6.50	43.45	1.52
2.0–2.5	2.20	7.10	43.74	0.39
2.5–3.0	2.68	7.47	42.35	0.16
3.0–3.5	3.23	8.12	43.83	0.07
Kierunek ENE				
0.0–0.5	0.32	3.44	67.70	14.53
0.5–1.0	0.70	4.62	67.44	10.77
1.0–1.5	1.22	5.73	67.58	3.87
1.5–2.0	1.68	6.41	67.16	1.40
2.0–2.5	2.21	7.11	65.24	0.35
2.5–3.0	2.69	7.46	62.56	0.11

Dodatkowo na Rys. 3.3 pokazano różę falowania charakteryzującą wysokości fal znacznych w średnim roku statystycznym w punkcie prognostycznym.



Rys. 3.3 Róża falowania w średnim roku statystycznym w punkcie prognostycznym 54046.494' N, 17032.484' E w rejonie Łeby $h \approx 25$ m, odległość od brzegu ~ 10000 m, 27.5-letni okres danych (01.01.1993 – 01.07.2020)

Z przedstawionych w Tab. 3.1 danych wynika, że w średnim roku statystycznym w rejonie Łeby falowanie z każdego odmorskiego kierunku oraz łącznie ze wszystkich kierunków trwało:

z kierunku W \rightarrow 84.2 dni,

z kierunku WNW \rightarrow 55.1 dni,

z kierunku NW \rightarrow 17.1 dni,

z kierunku NNW \rightarrow 13.4 dni,

z kierunku N \rightarrow 20.8 dni,

z kierunku NNE \rightarrow 33.6 dni,

z kierunku NE \rightarrow 30.1 dni,

z kierunku ENE \rightarrow 31.1 dni,

łącznie z kierunków W–NNW \rightarrow 169.8 dni,

łącznie z kierunków N–ENE \rightarrow 115.6 dni,

łącznie ze wszystkich kierunków odmorskich \rightarrow 285.4 dni.

3.3 Fale projektowe

Parametry falowania o określonym prawdopodobieństwie powtarzalności wyznaczono dla punktu prognostycznego pokazanego na Rys. 3.1. Obliczenia te wykonano trzema niezależnymi rozkładami statystycznymi: Pareto, Weibulla i Gumbela. Metody obliczeń wg rozkładów Weibulla i Gumbela są stosowane od wielu lat. Natomiast metoda Pareto jest stosunkowo nową metodą wykorzystywaną do obliczania rozkładów maksymalnych wysokości fal znacznych o określonym prawdopodobieństwie występowania.

W metodzie Pareto określenie wartości ekstremalnych o danym okresie powtarzalności opiera się na dopasowaniu danych za pomocą rozkładu (GDP) do pików przekroczeń ponad zadany próg. Metody uogólnione są lepsze od tradycyjnych metod stałej dystrybucji, ponieważ pozwalają danym określić rodzaj rozkładu, a tym samym pozwalają na bardziej efektywne wykorzystanie dostępnych danych.

Podstawowym warunkiem tworzenia tego typu rozkładów statystycznych jest założenie o tym, że rozpatrywane zmienne są wzajemnie od siebie niezależne. W celu zachowania tego warunku z zestawu danych falowych wyznaczonych dla punktu prognostycznego z każdego kolejnego roku, oddzielnie dla każdego z rozpatrywanych kierunków, wybrano tylko jedną falę charakteryzującą się najwyższą wysokością. Powstałe w ten sposób zbiory falowe zostały uszeregowane od najmniejszej do największej wartości. Zbiory te były następnie aproksymowane za pomocą rozkładu Pareto (GDP), Weibulla i Gumbela.

Dla punktu prognostycznego obejmującego lata 1993–2020 zbiór maksymalnych wysokości fal znacznych zawiera 28 elementów.

Obliczone maksymalne wysokości i okresy fal znacznych o okresach powtarzalności $T_R=10$, 20, 50 i 100 lat zamieszczono w Tab. 3.2 i Tab. 3.3. Wyznaczenie parametrów falowania o określonym prawdopodobieństwie występowania (o określonych okresach powtarzalności) wykonano oddzielnie dla każdego odmorskiego kierunku podchodzenia fali do brzegu.

Tab. 3.2 Obliczone maksymalne wysokości fal znacznych w rejonie Łeby o okresach powtarzalności $T_R = 10, 20, 50$ i 100 lat, 27.5-letni okres danych falowych

Kierunek	Pareto				Weibull				Gumbel			
	10 lat	20 lat	50 lat	100 lat	10 lat	20 lat	50 lat	100 lat	10 lat	20 lat	50 lat	100 lat
W	5.77	6.13	6.48	6.68	5.69	5.94	6.21	6.38	5.75	5.98	6.22	6.36
WNW	6.30	6.55	6.72	6.79	6.03	6.31	6.60	6.79	6.06	6.29	6.53	6.67
NW	4.90	5.30	5.69	5.91	4.81	5.12	5.44	5.65	4.91	5.17	5.43	5.59
NNW	5.09	5.49	5.87	6.07	4.95	5.27	5.62	5.85	5.05	5.32	5.60	5.77
N	5,75	5.93	6.04	6.07	5.42	5.73	6.05	6.26	5.42	5.66	5.90	6.05
NNE	4.93	5.06	5.13	5.15	4.83	5.11	5.41	5.60	4.82	5.04	5.26	5.39

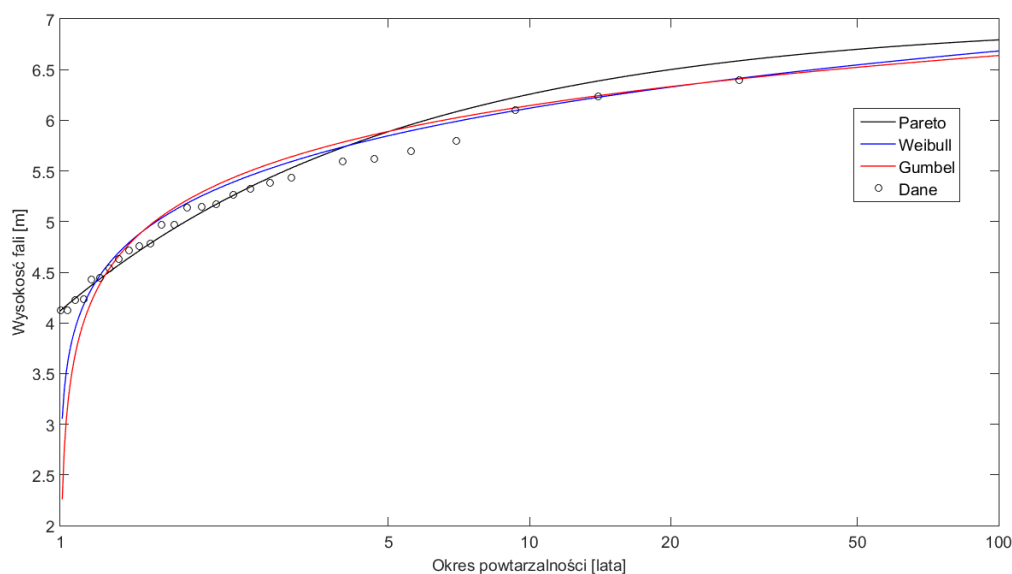
NE	3.65	3.96	4.25	4.40	3.58	3.86	4.15	4.35	3.65	3.87	4.10	4.23
ENE	2.97	3.13	3.24	3.28	2.75	2.93	3.13	3.25	2.78	2.93	3.08	3.17

Tab. 3.3 Obliczone maksymalne okresy fal znacznych w rejonie Łeby o okresach powtarzalności $T_R = 10, 20, 50$ i 100 lat 27.5-letni okres danych falowych

Kierunek	Pareto				Weibull				Gumbel			
	10 lat	20 lat	50 lat	100 lat	10 lat	20 lat	50 lat	100 lat	10 lat	20 lat	50 lat	100 lat
W	10.43	10.71	10.96	11.09	10.29	10.48	10.68	10.81	10.32	10.50	10.69	10.80
WNW	10.75	10.95	11.10	11.17	10.57	10.78	10.99	11.12	10.59	10.78	10.98	11.10
NW	9.69	9.91	10.10	10.18	9.61	9.82	10.04	10.17	9.62	9.82	10.01	10.13
NNW	9.92	10.04	10.11	10.13	9.68	9.85	10.02	10.13	9.68	9.85	10.01	10.11
N	10.62	10.86	11.04	11.12	10.46	10.65	10.85	10.97	10.47	10.65	10.83	10.94
NNE	10.08	10.13	10.15	10.15	10.14	10.29	10.45	10.55	10.13	10.28	10.42	10.51
NE	9.06	9.15	9.20	9.22	8.86	9.03	9.22	9.33	8.87	9.03	9.20	9.30
ENE	8.77	8.99	9.13	9.19	8.41	8.61	8.82	8.95	8.43	8.62	8.81	8.93

Na Rys. 3.4 dodatkowo pokazano obliczony łączny rozkład wysokości fal znacznych trzema niezależnymi rozkładami statystycznymi (Pareto, Weibulla i Gumbela) dla wszystkich odmorskich kierunków podchodzenia fali do brzegu w punkcie prognostycznym. Z rysunku tego jak i z danych zamieszczonych w Tab. 3.2 wynika, że dla okresów powtarzalności $T_R \geq 5$ lat maksymalne wysokości fal znacznych wyznaczonych rozkładem Pareto są średnio o około 3% wyższe od wyznaczonych rozkładem Weibulla i Gumbela.

Obliczone rozkłady wysokości fal ekstremalnych rozkładami Weibulla i Gumbela dla okresów powtarzalności $T_R \geq 10$ lat całkowicie pokrywają się z danymi pomiarowymi. Dla potrzeb obliczeń falowania w projektowanej przebudowie portu jako warunki brzegowe przyjęto parametry fal znacznych wyznaczonych rozkładem Weibulla.



Rys. 3.4 Obliczony łączny rozkład wysokości fal znacznych dla wszystkich odmorskich kierunków podchodzenia fali do brzegu 27.5-letni okres danych (01.01.1993 – 01.07.2020)

4. Transport rumowiska w Łebie

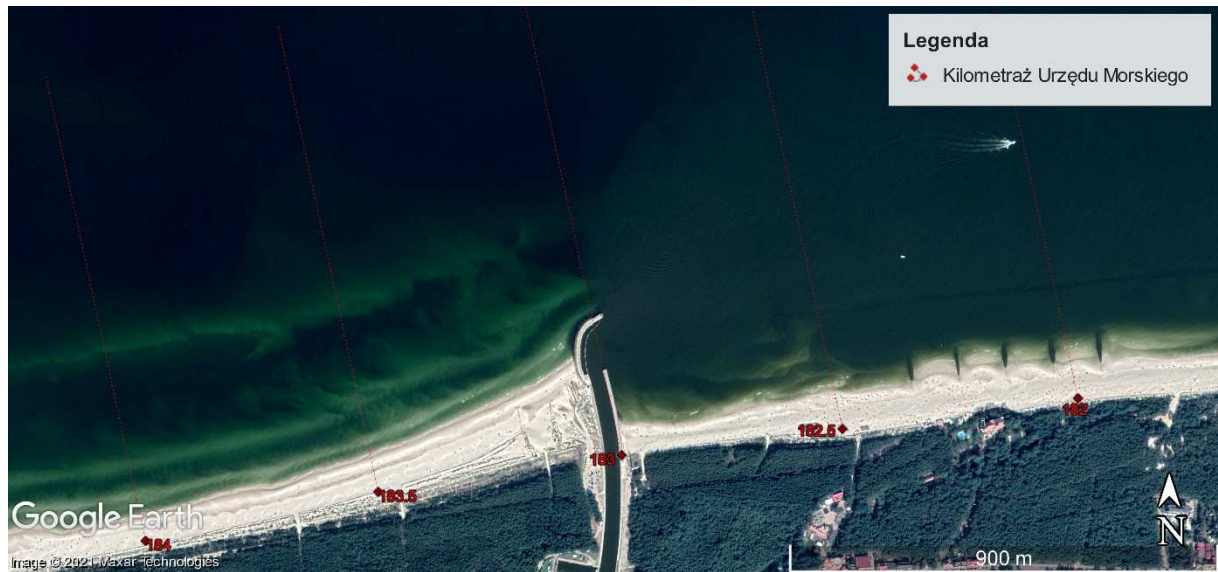
Procesy hydrodynamiczne (fale i prądy) są siłą sprawczą transportu osadów oraz ewolucji brzegu i dna morskiego. Wielkość tego transportu zależy głównie od klimatu falowego, układu batymetrycznego dna w strefie brzegowej. Natężenie transportu zależy także od rodzaju rumowiska zalegającego w dnie morskim,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

Obliczenia transformacji falowania, prądów wzdłużbrzegowych oraz natężenia wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w rejonie Łeby wykonano opracowanym w IBW PAN pakietem numerycznym *SAND94* (Szmytkiewicz i Skaja 1988 i Szmytkiewicz 2002) oraz oprogramowaniem *UNIBEST-LT* wersja 4.0 (1993). W obu modelach obliczenia są wykonywane w wybranych przez użytkownika reprezentatywnych profilach batymetrycznych dla określonych, charakterystycznych średnic ziaren osadów (D_{50} , D_{90}) oraz prędkości ich sedymentacji (w_s) reprezentatywnych dla analizowanego odcinka brzegu. Dla potrzeb niniejszej pracy natężenie wzdłużbrzegowego transportu osadów obliczano modelem Bijkera (1971). Z dotychczasowych doświadczeń Autorów pracy wynika, że dla warunków hydro- i litodynamicznych występujących w strefie brzegowej południowego Bałtyku model ten, w klasie tzw. „*engineering models*”, należy do najbardziej uniwersalnych i najczęściej wykorzystywanych do obliczania wzdłużbrzegowego transportu osadów w strefie brzegowej południowego Bałtyku.

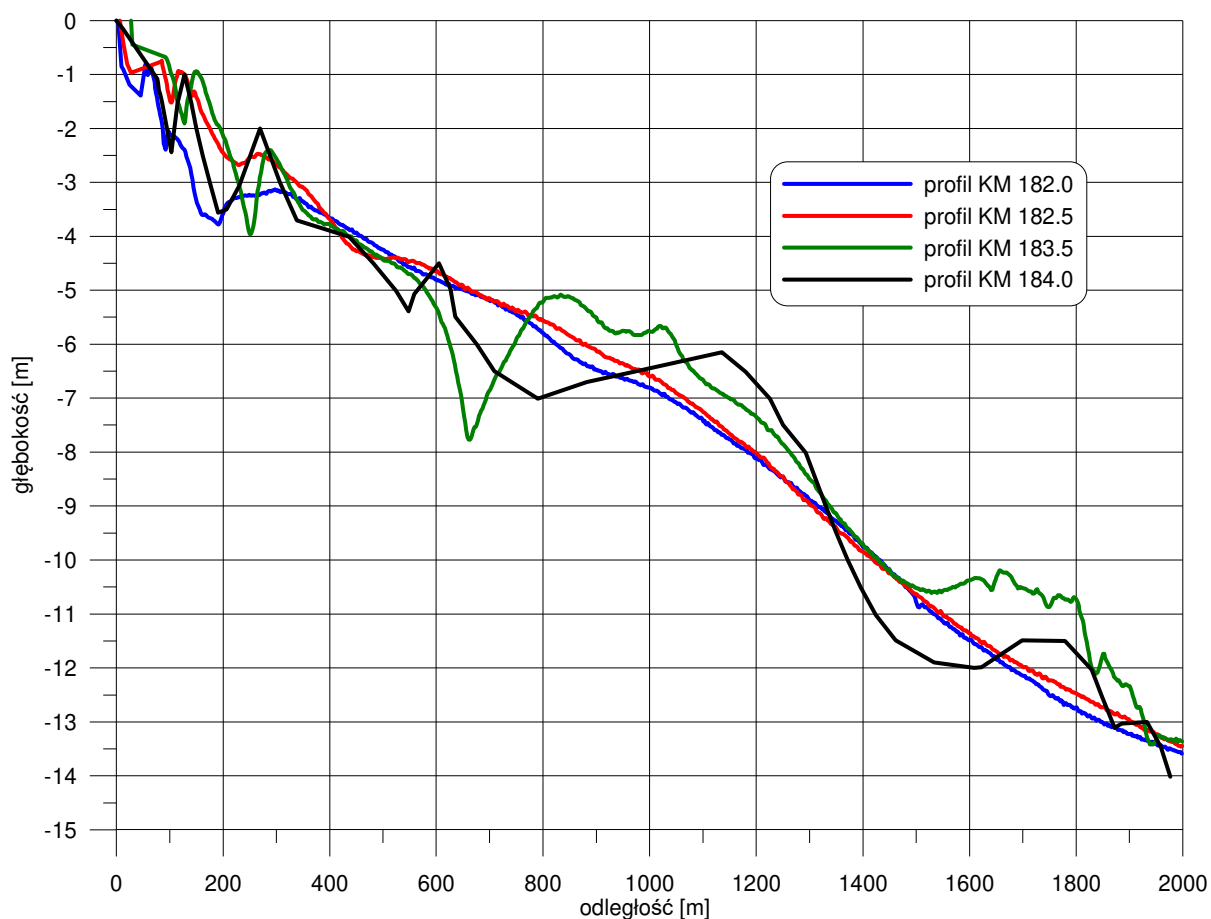
Wejście do portu w Łebie leży w przybliżeniu na KM 183.0. (Rys. 4.1) Obliczenia transportu osadów wykonano wzdłuż dwóch profili położonych po wschodniej stronie portu na KM 182.0 i 182.5 oraz wzdłuż dwóch profili położonych po zachodniej stronie portu na KM 183.5 i KM 184.

W obliczeniach tych wykorzystano pomiary batymetryczne znajdujące się w bazie danych Urzędu Morskiego w Gdyni wykonane w lutym 2005 roku. Pomiary te sięgały do głębokości

13–14 m. Azymuty wszystkich pomierzonych profili były takie same, wynoszące 345.80° . Profile te zostały przedłużone do odległości odpowiadającej położeniu punktu prognostycznego falowania, tj. do odległości 10 000 m od brzegu, do głębokości 25 m. Pomierzone głębokości w tych profilach zostały pokazane na Rys. 4.2.



Rys. 4.1 Położenie batymetrycznych profili obliczeniowych (KM 182, KM 182,5, KM 183,5 i KM 184)



Rys. 4.2 Pomierzone w 2005 roku głębokości w rejonie Łeby w profilach: KM 182.0, KM 182.5, KM 183.5 i KM 184.0

Z rysunku tego widać, że kształty profili batymetrycznych po wschodniej i zachodniej stronie portu są odmienne. Po wschodniej stronie oba profile są podobne do siebie, charakteryzują się występowaniem trzech rew w strefie brzegowej morza. Natomiast w profilach batymetrycznych położonych po zachodniej stronie portu oprócz przybrzeżnych rew występują także piaszczyste, rozległe podwodne wały położone odpowiednio w odległości około 1100 i 1700 m od brzegu.

W przeprowadzonych obliczeniach założono, że osady piaszczyste w strefie brzegowej na rozpatrywanym odcinku są w przybliżeniu jednorodne i jako reprezentatywne przyjęto charakterystyczne średnice ziaren oraz prędkości ich opadania pomierzone w rejonie MLB Lubiatowo, tj.:

- średnice ziaren $\rightarrow d_{50} = 0.22 \text{ mm}$, $d_{90} = 0.38 \text{ mm}$,
- prędkość opadania ziaren $\rightarrow w_s = 0.028 \text{ m/s}$,
- wysokość zmarszczek dennych $\rightarrow 0.01 \text{ m}$.

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

Obliczenia transportu rumowiska wykonano dla wszystkich odmorskich kierunków podchodzenia fali do brzegu. Dla brzegu w rejonie Łeby tymi odmorskimi kierunkami są: W, WNW, NW, NNW, N, NNE, NE i ENE. Obliczony transport dla każdego kierunku oddzielnie oraz

łącznie dla całkowitego transportu skierowanego z zachodu na wschód, ze wschodu na zachód oraz wypadkowy transport roczny zamieszczono w Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Obliczony transport roczny dla każdego kierunku odmorskiego oddzielnie oraz łącznie dla całkowitego transportu skierowanego z zachodu na wschód, ze wschodu na zachód oraz transport wypadkowy na wschód od portu w Łebie (KM 182.0 i KM 182.50 i na zachód od portu w Łebie (KM 183.5 i KM 184.0)

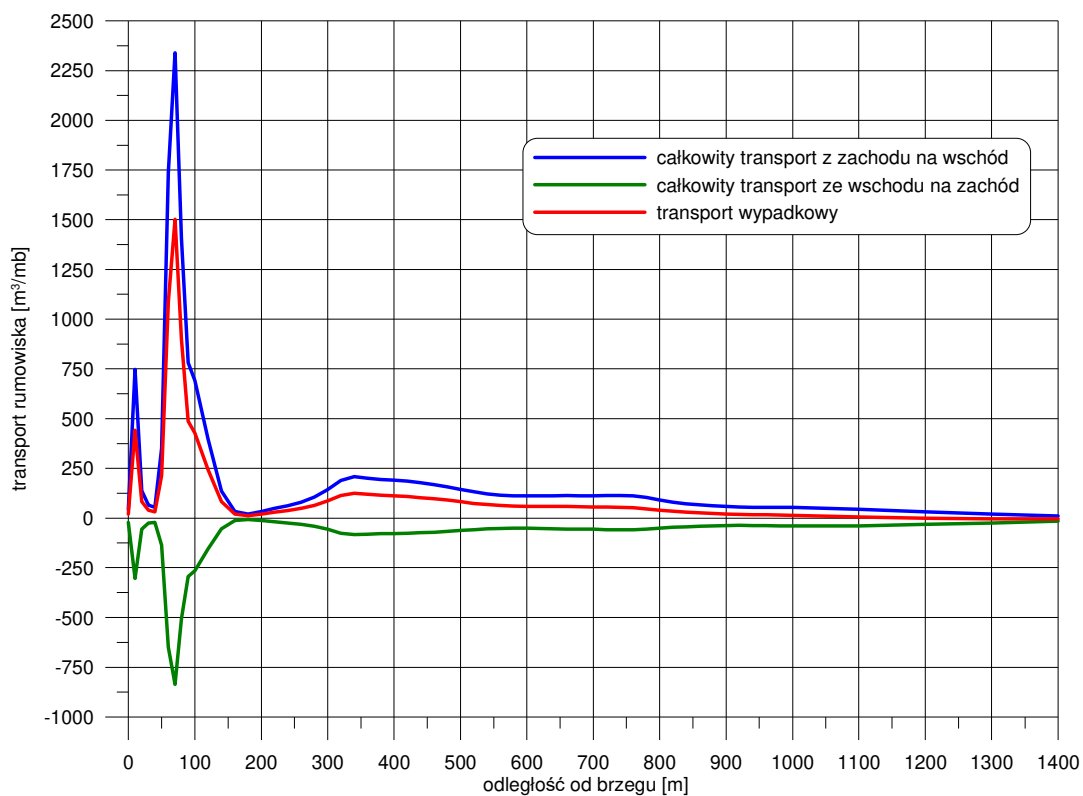
Kierunek	Roczny transport osadów [m ³ /rok]			
	KM 182.0	KM 182.5	KM 183.5	KM 184.0
W	70 000	67 000	73 000	76 000
WNW	114 000	113 000	118 000	125 000
NW	16 000	16 000	16 000	17 000
NNW	5 000	6 000	6 000	6 000
Łącznie z W → E	205 000	202 000	213 000	224 000
N	-30 000	-30 000	-30 000	-32 000
NNE	-51 000	-51 000	-53 000	-56 000
NE	-12 000	-12 000	-13 000	-14 000
ENE	-2 000	-2 000	-2 000	-2 000
Łącznie z E → W	-95 000	-95 000	-98 000	-104 000
Wypadkowy	110 000	107 000	115 000	120 000

Z zamieszczonych w Tab. 4.1 obliczonych sumarycznych wielkości transportu wynika, że:

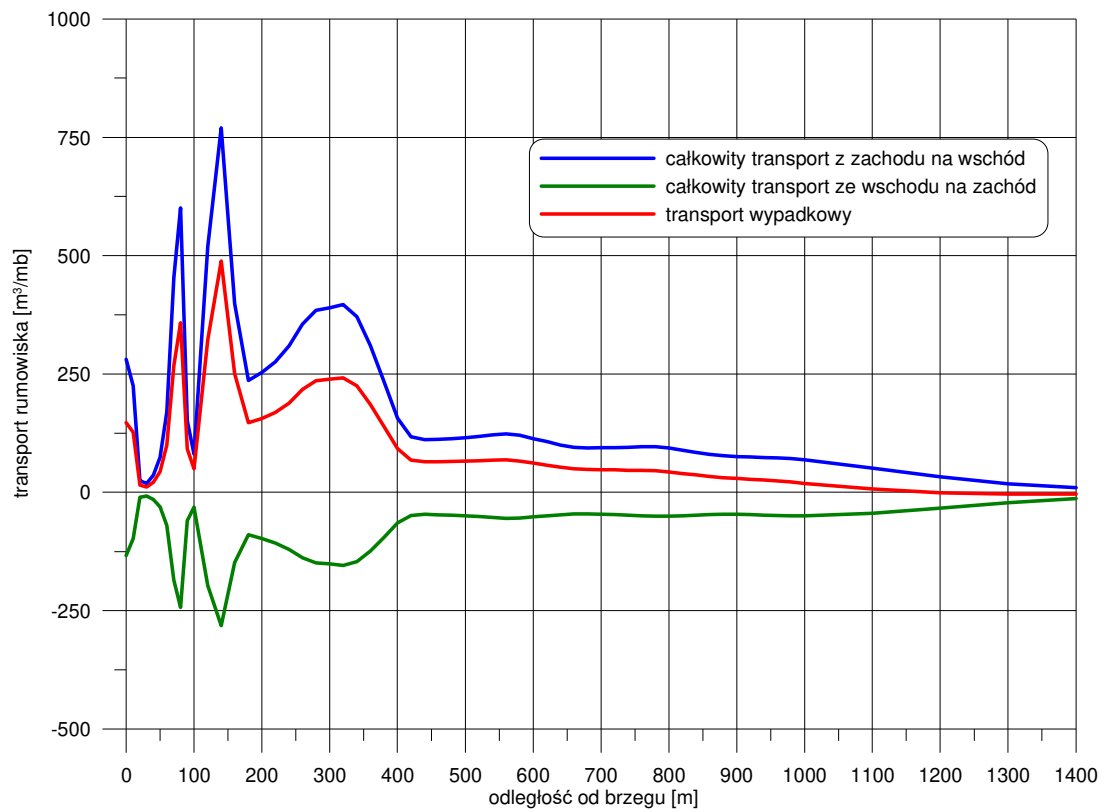
- wzdłuż całego rozpatrywanego odcinka brzegu wypadkowy transport jest skierowany z zachodu na wschód i wynosi po wschodniej stronie portu 107–110 tys. m³/rok, a po stronie zachodniej 115–120 tys. m³/rok,
- dla wszystkich profili batymetrycznych transport rumowiska z kierunków zachodnich ma głównie miejsce przy falowaniu generowanych wiatrami podchodzącymi z kierunku W i WNW, dla pozostałych kierunków (NW i NNW) jest zdecydowanie mniejszy,
- dla wszystkich profili batymetrycznych transport rumowiska z kierunków wschodnich odbywa się głównie przy falowaniu generowanymi wiatrami z kierunku N i NNE, dla kierunku NE jest zdecydowanie mniejszy, a dla kierunku ENE jest marginalny.

Obliczone sumaryczne wielkości transportu rumowiska wzdłuż poszczególnych profili batymetrycznych nie zawierają informacji o tym jak transport ten rozkłada się w strefie brzegowej, gdzie jego natężenie jest największe, jak daleko sięga od brzegu, itd. W celu odpowiedzenia na te pytania na Rys. 4.3, Rys. 4.4, Rys. 4.5 i Rys. 4.6, oddzielnie dla każdego profilu, pokazano

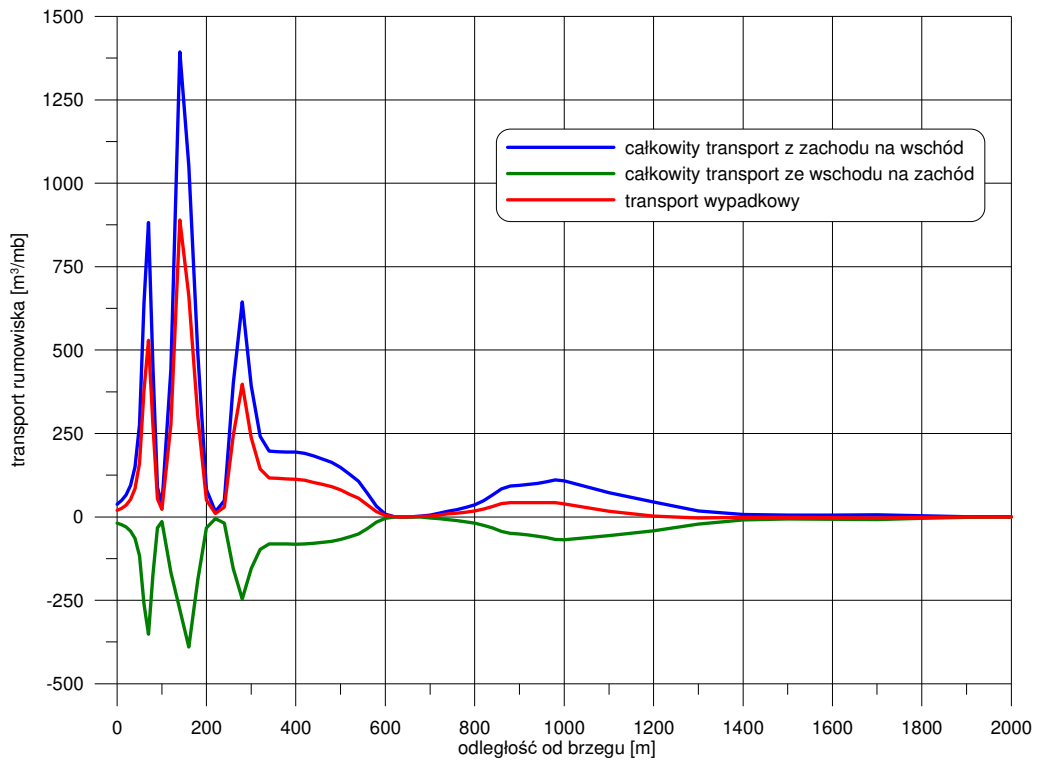
rozkład obliczonego łącznego rozkład transportu osadu skierowanego z zachodu na wschód, ze wschodu na zachód oraz roczny transport wypadkowy w funkcji odległości od brzegu.



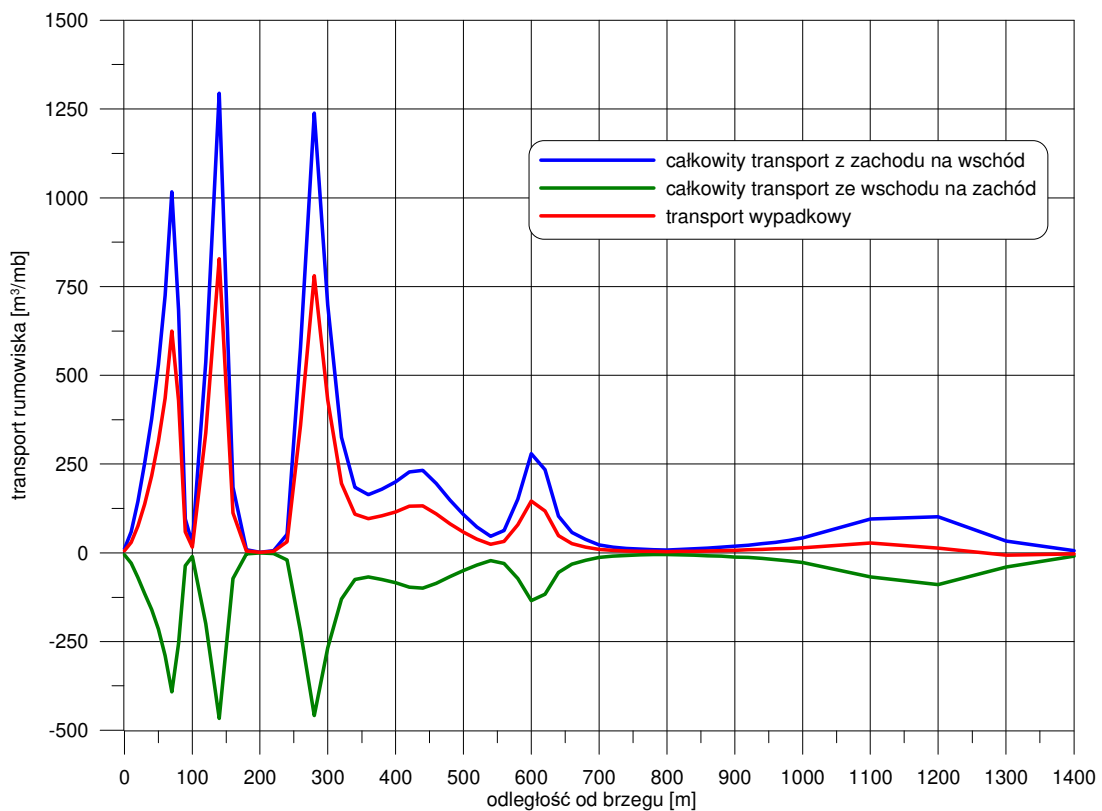
Rys. 4.3 Obliczony roczny rozkład wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu w kierunku wschodnim, zachodnim i wypadkowy w profilu batymetrycznym KM 182,0



Rys. 4.4 Obliczony roczny rozkład wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu w kierunku wschodnim, zachodnim i wypadkowy w profilu batymetrycznym KM 182.5



Rys. 4.5 Obliczony roczny rozkład wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu w kierunku wschodnim, zachodnim i wypadkowy w profilu batymetrycznym KM 183.5



Rys. 4.6 Obliczony roczny rozkład wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu w kierunku wschodnim, zachodnim i wypadkowy w profilu batymetrycznym KM 184.0

Z pokazanych na Rys. 4.3, Rys. 4.4, Rys. 4.5 i Rys. 4.6, rozkładów transportu osadów w funkcji odległości od brzegu wynika, że:

- w profilu KM 182.0 rumowisko przemieszcza się głównie w bliskim sąsiedztwie brzegu, w pasie o szerokości nie przekraczającej 200 m z tzw. ogonem sięgającym nawet do odległości około 1000 m od brzegu;
- w profilu KM 182.5 rumowisko przemieszcza się w szerokim pasie. Zasadnicza część przemieszcza się w odległości do około 400 m od brzegu z ogonem sięgającym do 1000 m od brzegu;
- w profilu KM 183 rumowisko przemieszcza się w pasie do około 600 m od brzegu z dodatkowym pikiem o szerokości około 400 m w odległości od 800 do 1200 od brzegu;
- w profilu KM 183,5 rumowisko przemieszcza się w pasie do około 700 m od brzegu z dodatkowym pikiem o szerokości około 300 m w odległości od 1000 do 1300 od brzegu.

5. Zapiaszczanie wejścia do portu w Łebie

W pracy Kaczmarka i in. (1997) porównano ilość materiału piaszczystego odkładającego się w torze wodnym prowadzącym do portu w Łebie w średnim roku statystycznym ze średniorocznymi pracami pogłębiarskimi zrealizowanymi w latach 1949–1974. Z danych otrzymanych z Urzędu Morskiego w Słupsku wynikało, że średniorocznie wydobywano z toru wodnego około 70 000 m³/rok. Natomiast z przeprowadzonych obliczeń otrzymano, że kubatura średniorocznych zapiaszczeń toru wynosi 83 000 m³/rok. Porównanie obliczonych wielkości rocznego transportu z ich odpowiednikami zamieszczonymi w raportach z wykonywanych w przeszłości prac pogłębiarskich wykazuje dość dobrą zgodność.

W prezentowanej pracy przedstawiono obliczone wzdłużbrzegowe wielkości transportu rumowiska w całej strefie brzegowej w rejonie portu w Łebie. Obliczenia te wykonane modelem Bijkera (1971) uśrednione dla wszystkich profili batymetrycznych wynosiły:

211 000 m³/rok w kierunku wschodnim,

98 000 m³/rok w kierunku zachodnim,

113 000 m³/rok transport wypadkowy w kierunku wschodnim.

Transport obliczany modelem Bijkera uwzględnia zarówno materiał przenoszony w postaci wleczonej jak i zawieszanej w całej strefie brzegowej. Natomiast transport obliczony przez Kaczmarka i in. (1995) uwzględniał tylko transport wleczony przemieszczający się tylko wzdłuż toru podejściowego.

W Tab. 5.1 przedstawiono miejsca i ilości pobieranego urobku na przedpolu portu w Łebie w okresie od 2011 do 2021 r. I tak, w okresie 2011 – 2021 z toru wodnego, podejściowego i osadników pobierano średnio 75 000 m³/rok. Przy czym z toru wodnego pobierano od 10 000 do

20 000 m³/rok², średnio około 15 000 m³/rok. Z toru podejściowego i osadników pobierano od około 20 000 do 60 000 m³/rok, średnio około 50 000 m³/rok.

Przyjmując dane zawarte w tab. 6.1 jako najbardziej miarodajne należy przyjąć, że średnie roczne zapiaszczanie wejścia do portu wynosi około 75 000 m³/rok.

Tab. 5.1 Data, miejsce poboru urobku i ilość pobieranego urobku w Łebie

DATA	MIEJSCE POBORU UROBKU	IŁOŚĆ UROBKU
marzec – 30 czerwiec 2011	Łeba – tor wodny	19 594,00
marzec – czerwiec , wrzesień-listopad 2011	Łeba – tor podejściowy, osadniki	60 000,00
marzec – 30 czerwiec 2012	Łeba – tor wodny	15 876,00
marzec – czerwiec , wrzesień-listopad 2012	Łeba – tor podejściowy, osadniki	50 000,00
marzec – 30 czerwiec 2013	Łeba – tor wodny	10 000,00
marzec – czerwiec , wrzesień-listopad 2013	Łeba – tor podejściowy, osadniki	60 000,00
marzec – 30 czerwiec 2014	Łeba – tor wodny	12 384,00
marzec – czerwiec , wrzesień-listopad 2014	Łeba – tor podejściowy, osadniki	60 000,00
marzec – czerwiec 2018	Łeba – tor wodny	15 000,00
marzec – czerwiec , wrzesień-listopad 2018	Łeba – tor podejściowy, osadniki	65 000,00
16.05.-17.06.2019	Łeba – tor podejściowy, osadniki	43 545,00
marzec – 30 czerwiec 2019	Łeba – tor wodny	12 000,00
24.10.-23.12.2019	Łeba – tor podejściowy, osadniki	43 654,00

² Jesienią i zimą 2021 r. z toru wodnego pobrano najmniej urobku - 5 000 m³. Wartość tę traktuje się jako znaczne odchylenie od normy. Ta wartość nie była uwzględniana podczas analizy.

10.04.-09.07.2020	Łeba – tor podejściowy, osadniki	32 717,90
marzec - 30 czerwiec 2020	Łeba – tor wodny	15 000,00
17.09.-07.10.2020	Łeba – tor podejściowy, osadniki	20 926,10
marzec -01 lipiec 2021	Łeba – tor podejściowy, osadniki	60 000,00
Wrzesień – 20 grudnia 2021	Łeba – tor wodny	5 036,00

6. Jednostka CTV do obsługi farm wiatrowych

Morskie farmy wiatrowe (MFW), które powstają na Bałtyku w polskiej strefie ekonomicznej mają, zgodnie z przyjętymi założeniami, dysponować do 2030 roku łączną generowaną mocą 6 GW (Gucma i Gralak, 2021). Do uzyskania takiej mocy planowana jest budowa około 430 morskich turbin wiatrowych o jednostkowej mocy 14 MW (*ibidem*).

Do budowy i eksploatacji morskich farm wiatrowych wykorzystuje się statki.

A) Statki pracujące podczas budowy morskich elektrowni wiatrowych – *Foundation Transport and Installation Vessel (FTIV)*, *Wind Turbine Transport Vessel (WTTV)*, *Wind Turbine Installation Vessel (WTIV)* - Rys. 6.1 - charakteryzujące się wymiarami (*ibidem*):

- długość całkowita $L_c \approx 160 \div 180$ m,
- szerokość $B \approx 40 \div 60$ m,
- zanurzenie $T \approx 9 \div 14$ m.

B) Statki pracujące podczas budowy i eksploatacji farm wiatrowych – *Service Operations Vessel (SOV)* - Rys. 6.2 - mające wymiary:

- długość całkowita $L_c \approx 100$ m,
- szerokość $B \approx 20$ m,
- zanurzenie $T \approx 6,5$ m.

C) Statki serwisowe pracujące podczas budowy i eksploatacji farm wiatrowych – *Crew Transfer Vessels (CTV)* - Rys. 6.3 o wymiarach:

- długość całkowita $L_c \approx 20 \div 30$ m,
- szerokość $B \approx 7 \div 10$ m,
- zanurzenie $T \approx 1,9 \div 2,5$ m.



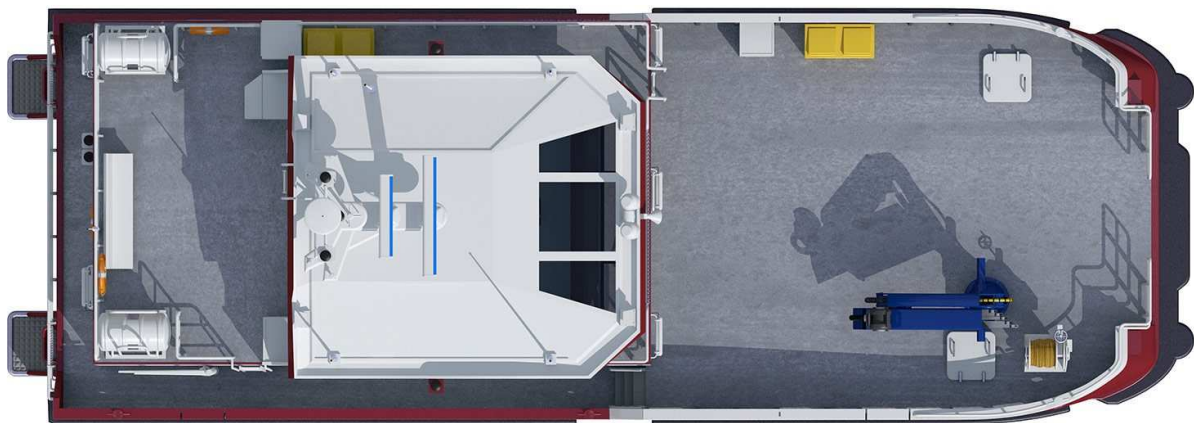
Rys. 6.1 Przykładowy statek do budowy farm wiatrowych, typu jack-up (<https://www.offshorewind.biz/2019/04/05/jan-de-nul-orders-mega-jack-up/>)



Rys. 6.2 Przykładowy statek typu SOV do ciągłej obsługi farmy wiatrowej ([3] <https://ulstein.com/references/windea-jules-verne>)



Rys. 6.3 Statek typu CTV – widok z boku (<https://n-o-s.eu/the-fleet/>)

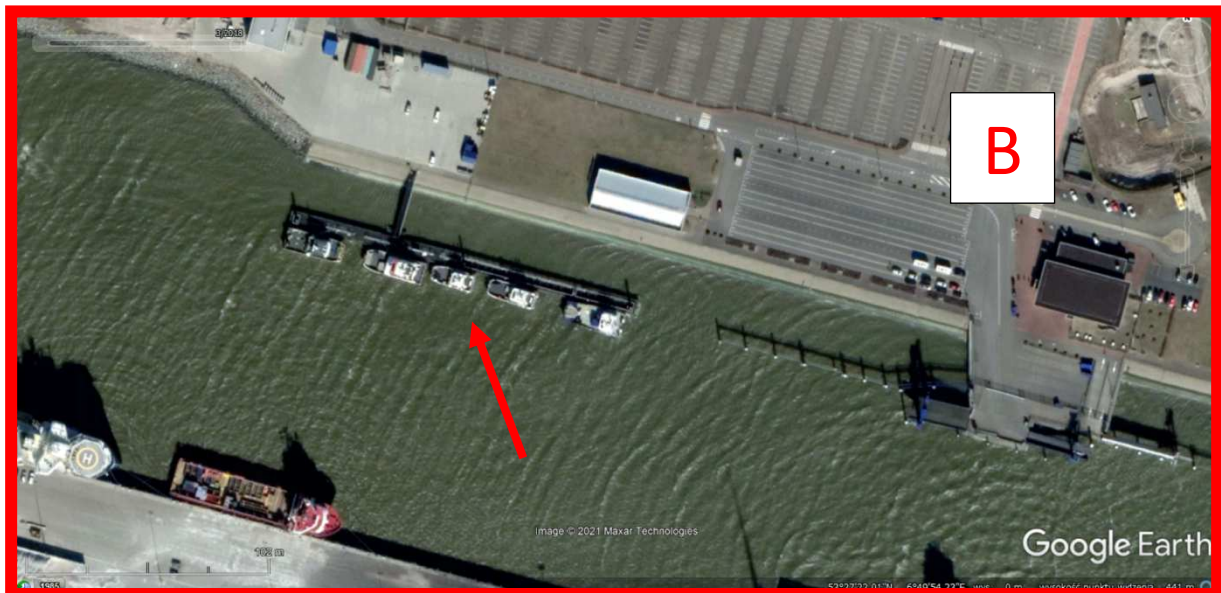


Rys. 6.4 Statek typu CTV – widok z góry (<https://n-o-s.eu/the-fleet/>)

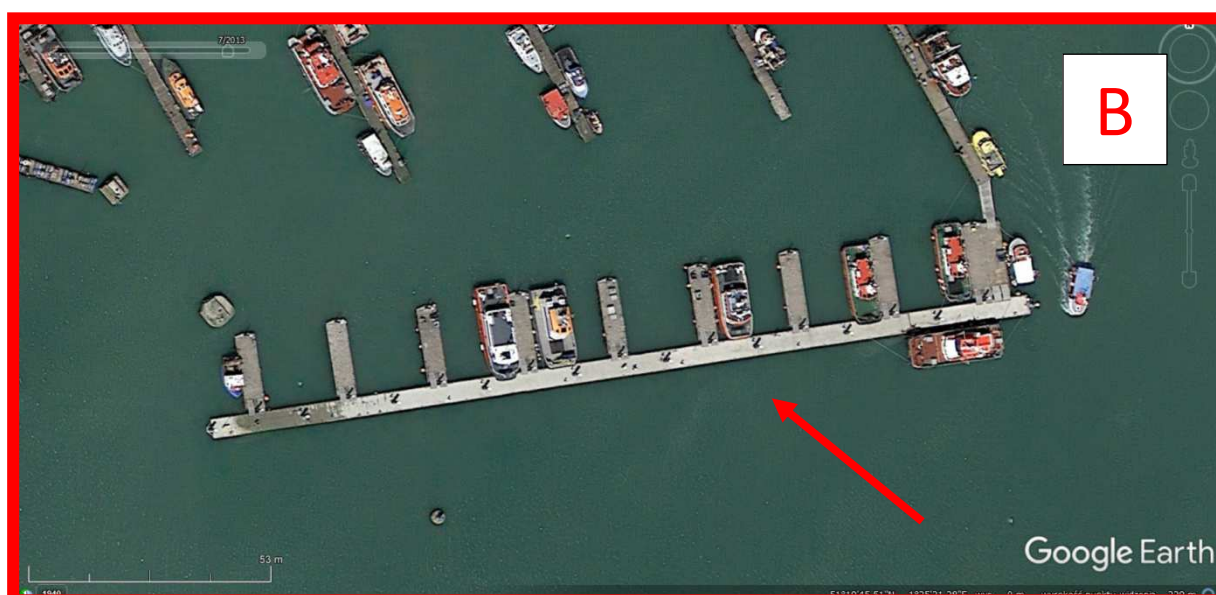
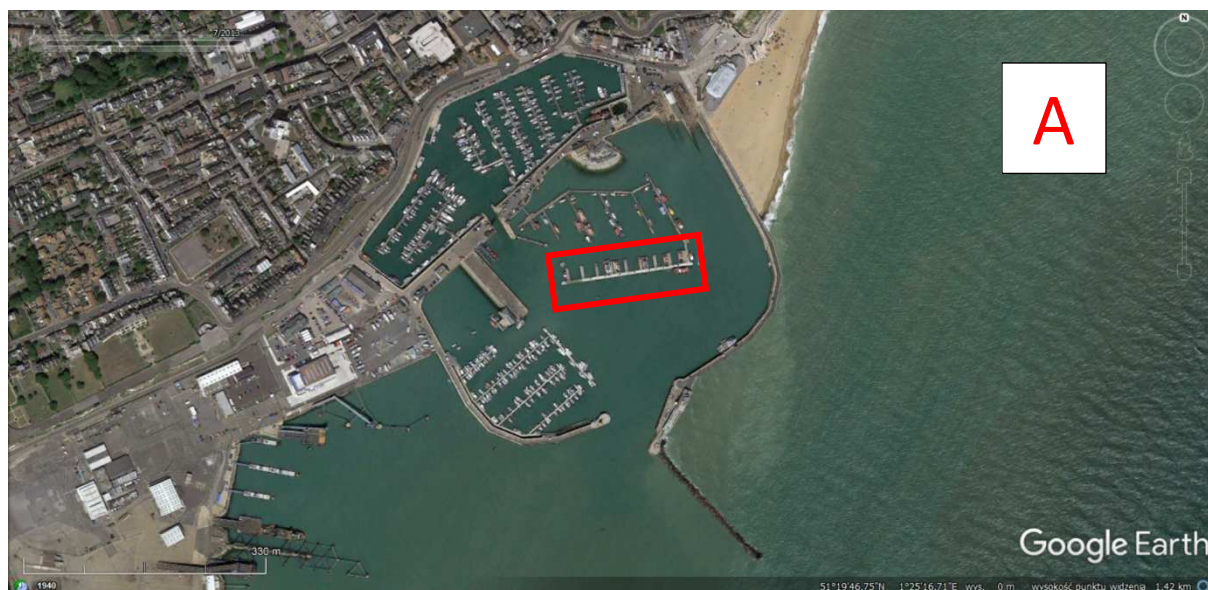
Jednostki CTV posiadają pokład roboczy o powierzchni 50 –70 m² do transportu niewielkich ładunków, są wyposażone w dźwig o nośności około 15 ton umożliwiający samodzielne przenoszenie ładunku z nabrzeża na pokład. Umożliwiają one przewóz około 12 pracowników do budowy/obsługi turbin wiatrowych. Prędkość tych jednostek dochodzi do 27 węzłów, mogą one pływać przy wysokości fali znacznej $H_s=2$ m.

Literatura przedmiotu nie precyzuje jakie jest wymagane zaplecze techniczne nabrzeży dla statków typu CTV. Przykładowe nabrzeża obsługujące statki CTV przedstawiono na Rys. 6.5 i Rys. 6.6. Z rysunków tych widać, że statki CTV nie wymagają specjalistycznego zaplecza technicznego, rozległych placów manewrowych, placów składowych, dźwigów itd. Informacje pozyskane od osób pracujących przy obsłudze farm wiatrowych na morzu Północnym wskazują, że zaplecze techniczne dla tego typu jednostek musi zapewniać co najmniej prąd i wodę,

a samo nabrzeże musi być przystosowane do przenoszenia obciążeń wywołanych obecnością TIRów.



Rys. 6.5 A – widok na port Eemshaven w Holandii służący do budowy i obsługi farm wiatrowych na morzu Północnym. B – widok na nabrzeże przystosowane dla statków typu CTV



Rys. 6.6 A – widok na port Ramsgate w Anglii służący do obsługi farm wiatrowych na morzu Północnym. B – widok na nabrzeże przystosowane dla statków typu CTV

Na podstawie zebranych informacji założono, że projektowy statek serwisowy typu CTV będzie miał następujące cechy:

- długość całkowita $L_c=30$ m,
- szerokość $B=10$ m,
- zanurzenie $T=2.5$ m,
- wyposażenie w dźwig umożliwiający samodzielne załadunek ładunku z nabrzeża na pokład jednostki,
- możliwość cumowania do nabrzeża burtą, dziobem lub rufą.

Zgodnie z informacjami medialnymi port w Łebie ma być zapleczem serwisowym dla dwóch farm wiatrowych (PGE i Polenergii). Każdą z farm będą obsługiwały 3 ÷ 4 statki typu CTV.

7. Koncepcje przebudowy portu w Łebie

W celu zapewnienia bezpiecznego korzystania z portu w Łebie jednostek serwisowych CTV rozpatrzono wstępnie trzy koncepcje jego rozbudowy.

Koncepcja 1 (Rys. 7.1) zakłada budowę nowego basenu portowego „nad” istniejącym basenem żeglarskim. Przyjęte w obliczeniach wymiary nowego basenu portowego to 100 x 80 m.

Koncepcja 2 (Rys. 7.2) to budowa w odległości około 90 m od istniejącego falochronu wschodniego nowego falochronu wschodniego o długości 210 m i wygaszacza falowego w przestrzeni pomiędzy falochronem istniejącym i proponowanym. Taki układ zapewnia przestrzeń na budowę nabrzeża wewnątrz portu o długości około 120 m.

Koncepcja 3 (Rys. 7.3) przewiduje budowę nowych falochronów zewnętrznych. Nowego wschodniego falochronu o długości 350 m usytuowanego w odległości około 200 m od istniejącego falochronu wschodniego z wygaszaczem falowania w przestrzeni pomiędzy istniejącym i proponowanym falochronem wschodnim. W tym wariantcie uzyskuje się nabrzeże o długości około 180 m.

Analizę falowania w porcie wykonano dla Koncepcji 1 i 3. Dla Koncepcji 2 rozkład falowania w porcie będzie podobny jak dla Koncepcji 3..Dla obu tych koncepcji do wnętrza portu będzie przenikało falowanie podchodzące z sektora N–NE.



Rys. 7.1 Przebudowa portu w Łebie. Koncepcja 1. Budowa nowego basenu portowego



Rys. 7.2 Przebudowa portu w Łebie. Koncepcja 2. Budowa nowych nabrzeży i nowego falochronu wschodniego



Rys. 7.3 Przebudowa portu w Łebie. Koncepcja 3. Budowa nowych nabrzeży i nowego falochronu wschodniego

8. Obliczenia falowania w porcie

Dla obu analizowanych koncepcji rozbudowy portu obliczenia falowania w porcie wykonano dla falowania podchodzącego z kierunków N, NNE i NE o okresie powtarzalności $T_R = 20$ lat

Do obliczeń falowania w projektowanej przebudowie portu jako warunki brzegowe przyjęto parametry fal znacznych wyznaczonych rozkładem Weibulla.. Głębokowodne parametry tych fal (na głębokości $h=25$ m) zamieszczono w tab. 8.1

Tab. 8.1 Obliczone rozkładem Weibulla głębokowodne ($h=25$ m) wysokości i okresy fal znacznych o okresie powtarzalności $T_R = 20$ dla kierunków N, NNE i NE

Kierunek	Parametry fali	
	Wysokość fali znacznej H_s [m]	Okres piku T_p [s]
N	5.73	10.65
NNE	5.11	10.29
NE	3.86	9.03

Parametry fal głębokowodnych zawarte w powyższej tabeli stanowiły podstawę do obliczenia falowania na przedpolu portu w Łebie, na głębokości $h=8$ m, na której przyjęto granicę odmorską siatki numerycznej. Obliczenia te z uwzględnieniem procesów refrakcji, transformacji i spłylenia wykonano wzdłuż profilu batymetrycznego 182.5, położonego w odległości 500m na wschód od wejścia portowego. Wyniki tych obliczeń zamieszczone w tab. 8.2 stanowiły podstawę do obliczania falowania w porcie.

Tab. 8.2 Obliczone wysokości i okresy fal znacznych o okresie powtarzalności $T_R = 20$ dla kierunków N, NNE i NE na przedpolu portu w Łebie na głębokości $h=8$ m

Kierunek	Parametry fali	
	Wysokość fali znacznej H_s [m]	Okres piku T_p [s]
N	3.82	10.65
NNE	3.71	10.29
NE	3.20	9.03

Obliczenia rozprzestrzeniania się falowania w porcie wykonano przy wykorzystaniu modelu FUNWAVE-TVD, który jest modelem falowania opartym o rozwiązanie nieliniowych równań Boussinesq'a opracowanym przez Shi i in. (2012) na bazie poprzednich wersji (Wei i in., 1995,

Kirby i in. 1998). Model FUNWAVE-TVD uwzględnia następujące procesy falowe: propagację i transformację fali w strefie brzegowej morza, refrakcję, dyfrakcję, odbicie fali, załamanie fali, nabieganie i przelewanie się fali nad przeszkodami, efekty rezonansu w basenach portowych etc. Modelowanie numeryczne oparto o prostokątną siatkę obliczeniową o odległości między węzłami 1 m. Siatka wejściowa zawierała informacje o batymetrii obszaru i usytuowaniu falochronów i nabrzeży portowych. Na krawędziach bocznych obszaru modelowego przyjęto tzw. warunek Neumana zapewniający całkowitą przepuszczalność granic bocznych obszaru. Natomiast granica lądowa rozpatrywanego akwenu została odwzorowana geometrycznym układem budowli morskich w porcie oraz przebiegiem naturalnej linii brzegowej na zewnątrz portu. Przy granicy odmorskiej obszaru zastosowano warunek wywoływacza falowego, który zapewniał odpowiednie odwzorowanie scenariuszy falowych na podstawie przyjętych warunków falowych. Obliczenia falowania prowadzone były do momentu ustalenia się warunków hydrodynamicznych w akwenach portu w Łebie. Dla ustalonej sytuacji obliczono średnie parametry falowania i przedstawiono je w postaci map wysokości fali znacznej dla rozpatrywanych wariantów zabudowy oraz zmian wysokości fali znacznej względem aktualnie istniejącej zabudowy.

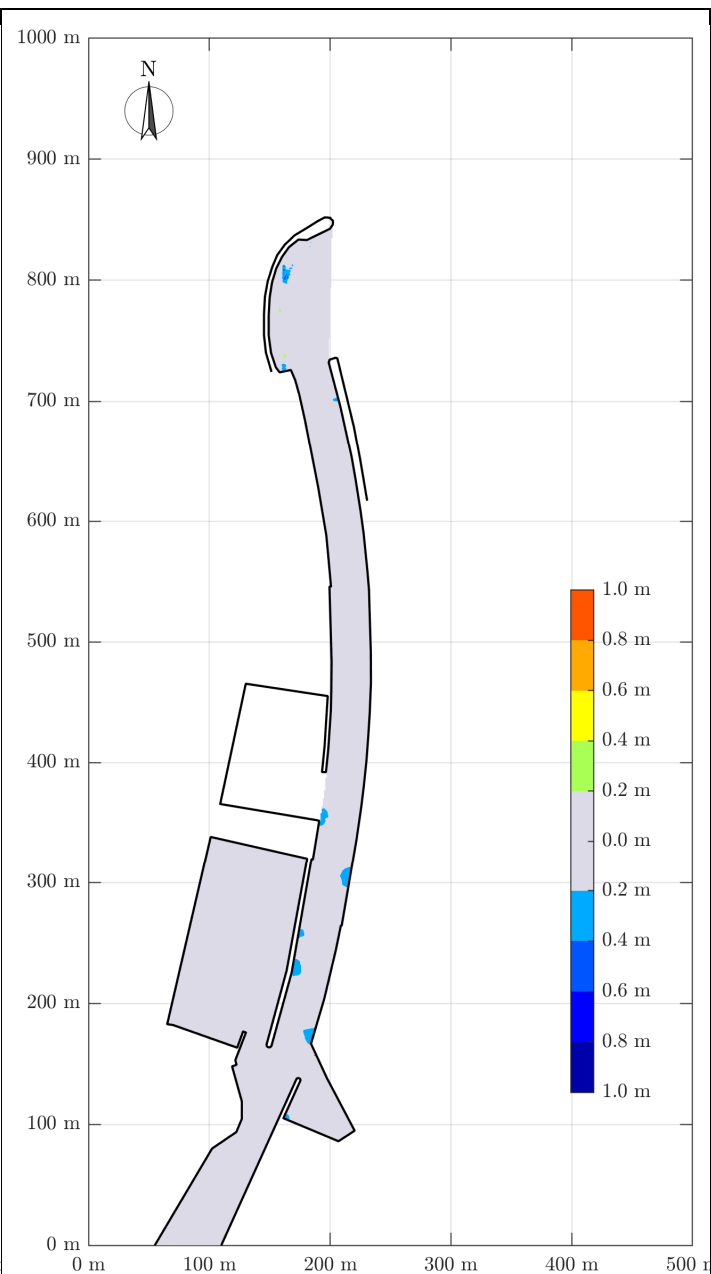
8.1 Analiza falowania dla dwóch koncepcji przebudowy portu w Łebie. Wyniki obliczeń

Wyniki obliczeń dla analizowanych koncepcji przedstawiono w następujący sposób:

- Na rysunkach po **LEWEJ** stronie przedstawiono wyniki obliczeń wysokości fal dla przyjętego wariantu przebudowy i dla określonego scenariusza falowego.
- Na rysunkach po **PRAWYJ** stronie pokazano na ile proponowana przebudowa zmniejsza lub zwiększa wysokości fal dla określonego scenariusza falowego i dla przyjętego wariantu przebudowy względem aktualnie istniejącej zabudowy.



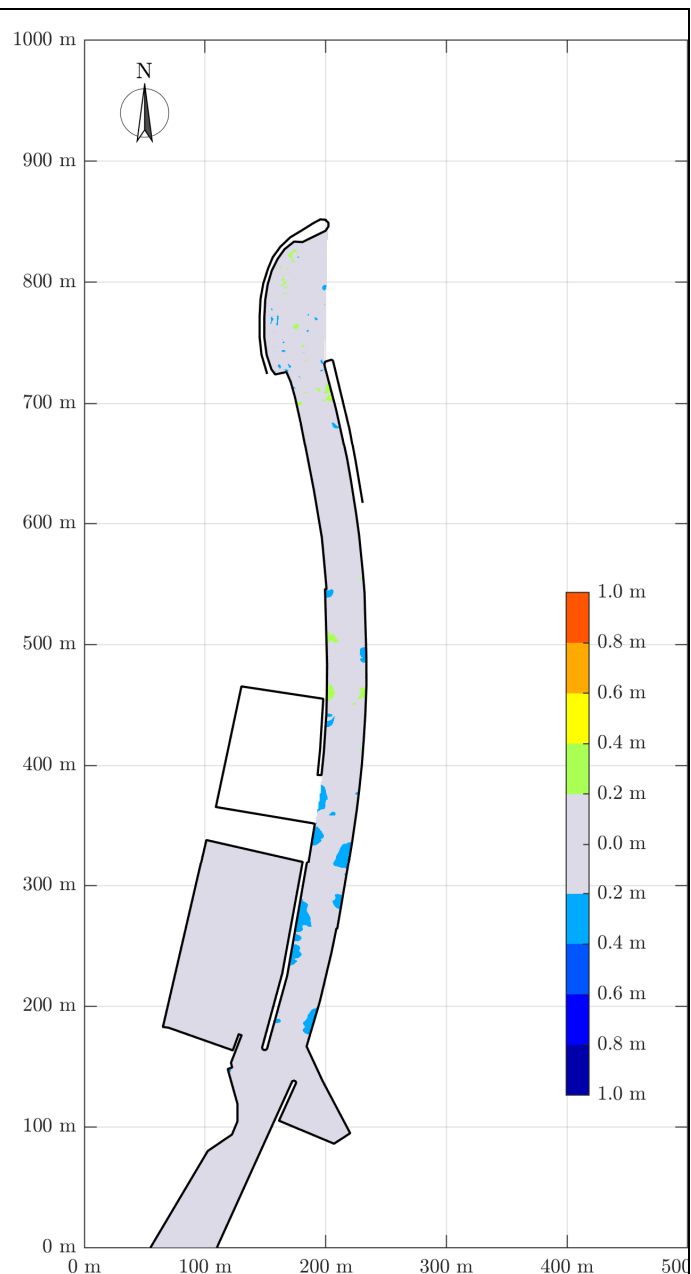
Rys. 8.1 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Koncepcji 1.
 Kierunek podchodzenia fali: N
 Parametry fali $H_s=3.82$ m, $T_p=10.65$ s



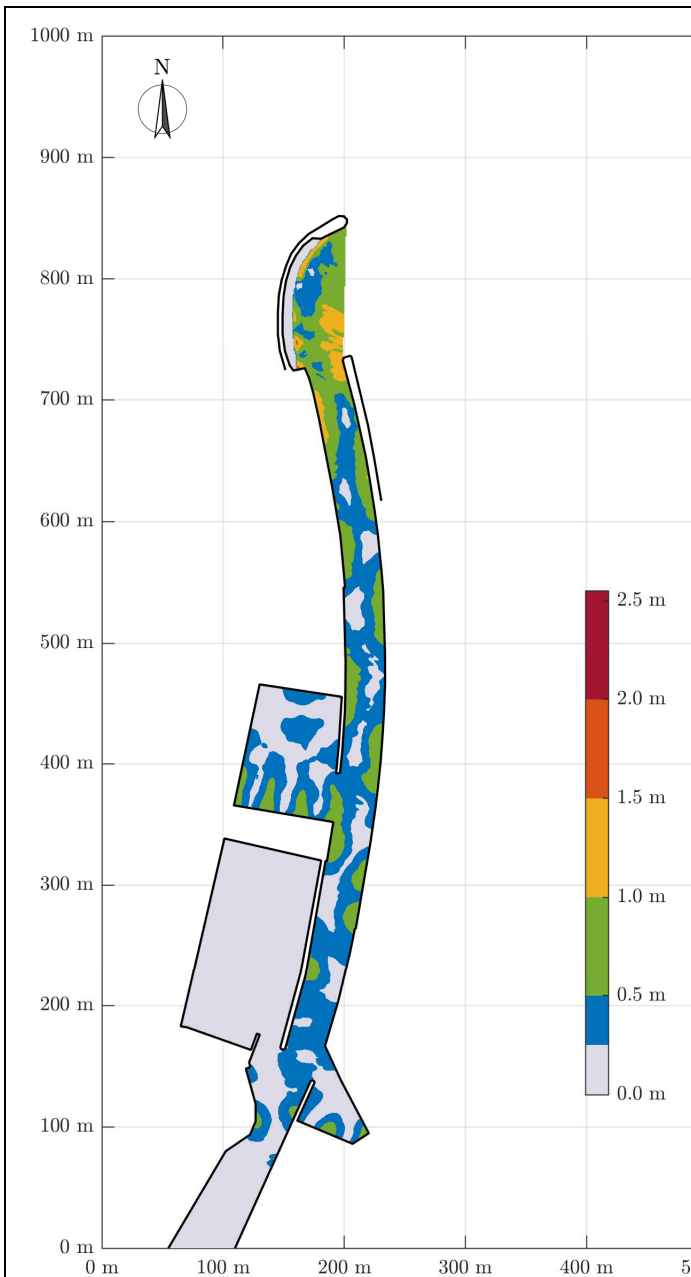
Rys. 8.2 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Koncepcja 1) względem aktualnie istniejącej zabudowy.
 Kierunek podchodzenia N
 Parametry fali $H_s=3.82$ m, $T_p=10.65$ s



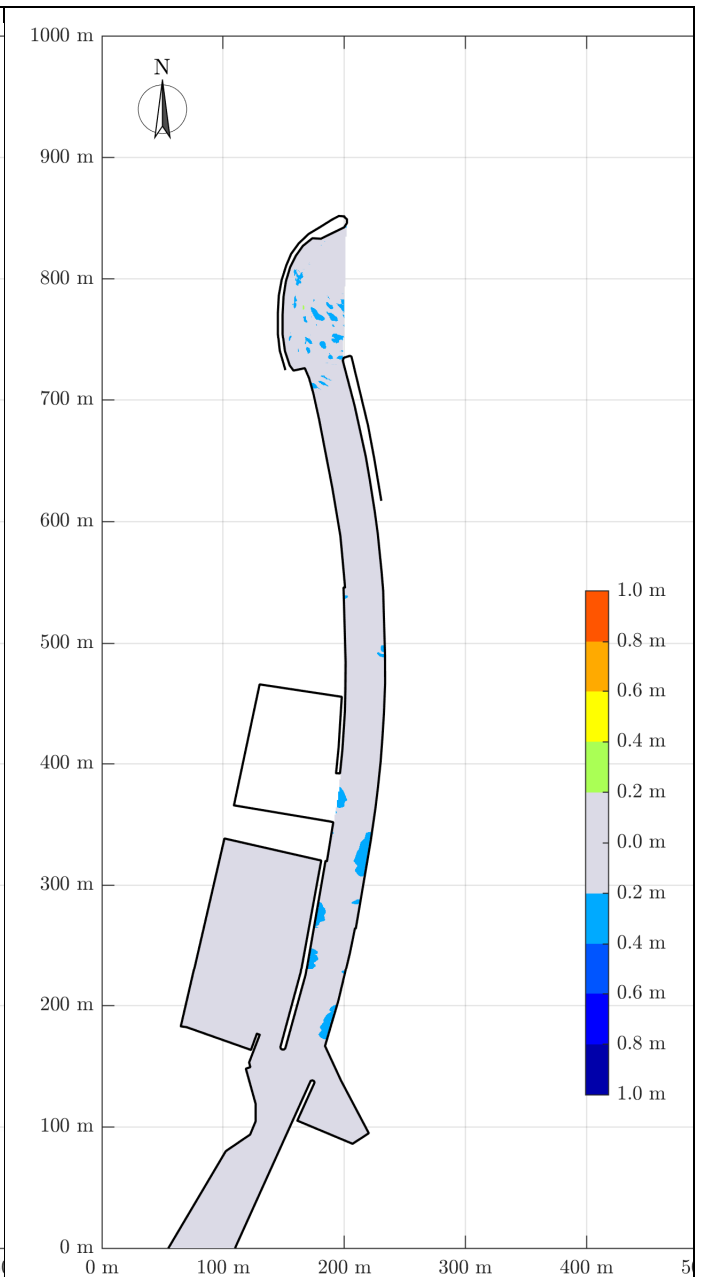
Rys. 8.3 Obliczone wysokości fal w porcie w Łe-
bie po przebudowie w ramach Koncepcji 1.
Kierunek podchodzenia fali: NNE
Parametry fali $H_s=3.71$ m, $T_p=10.29$ s



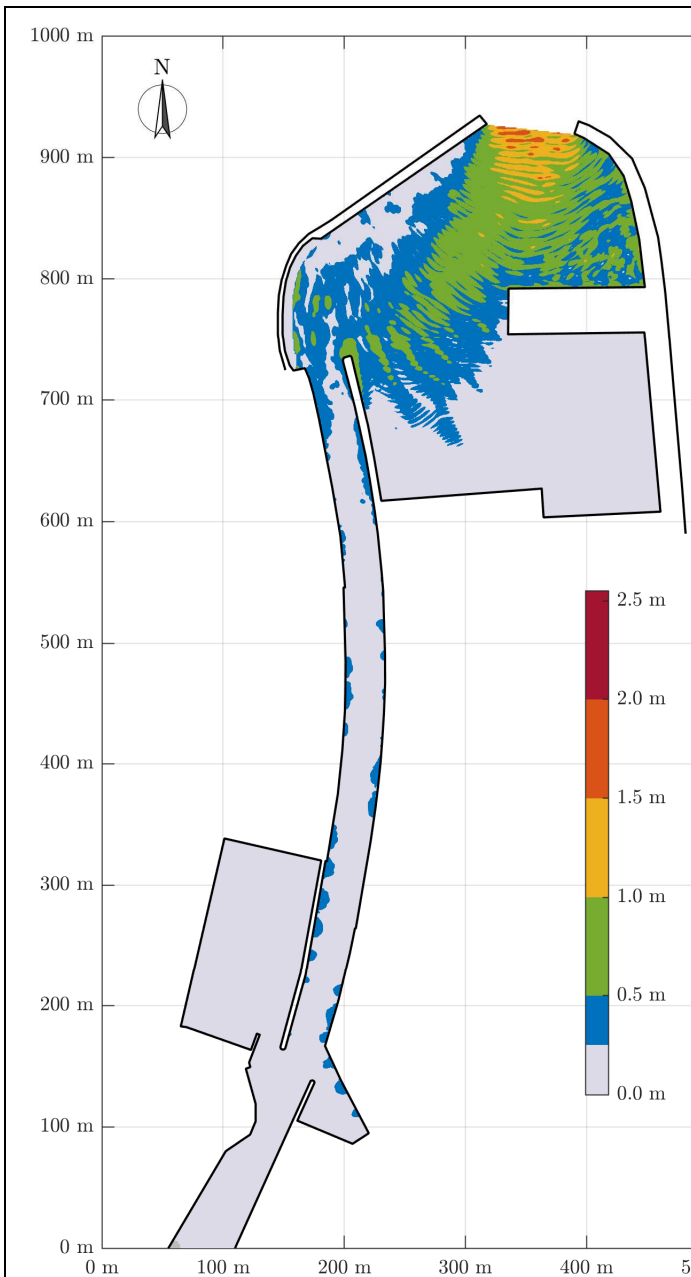
Rys. 8.4 Zmiany wysokości fal w porcie po prze-
budowie (Koncepcja 1) względem aktualnie istnie-
jącej zabudowy.
Kierunek podchodzenia fali: NNE
Parametry fali $H_s=3.71$ m, $T_p=10.29$ s



Rys. 8.5 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Konceptcji 1.
 Kierunek podchodzenia fali: NE
 Parametry fali $H_s=3.20$ m, $T_p=9.03$ s

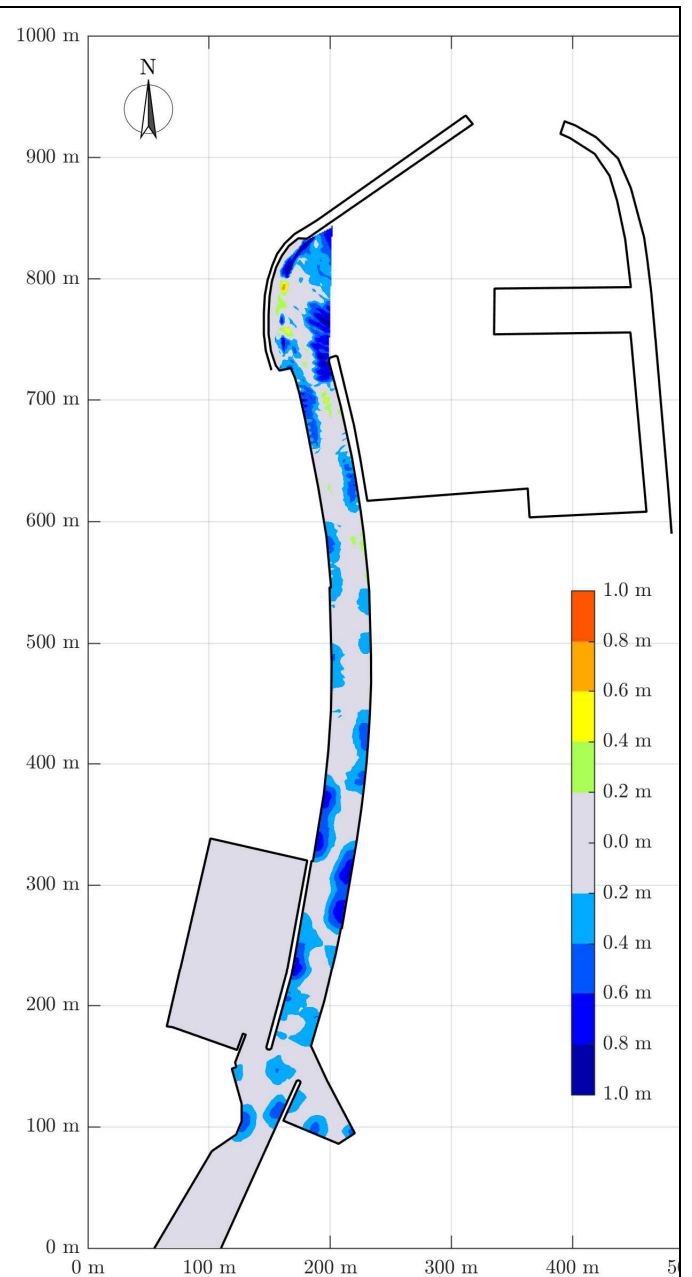


Rys. 8.6 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Konceptcja 1) względem aktualnie istniejącej zabudowy.
 Kierunek podchodzenia fali: NE
 Parametry fali $H_s=3.20$ m, $T_p=9.03$ s



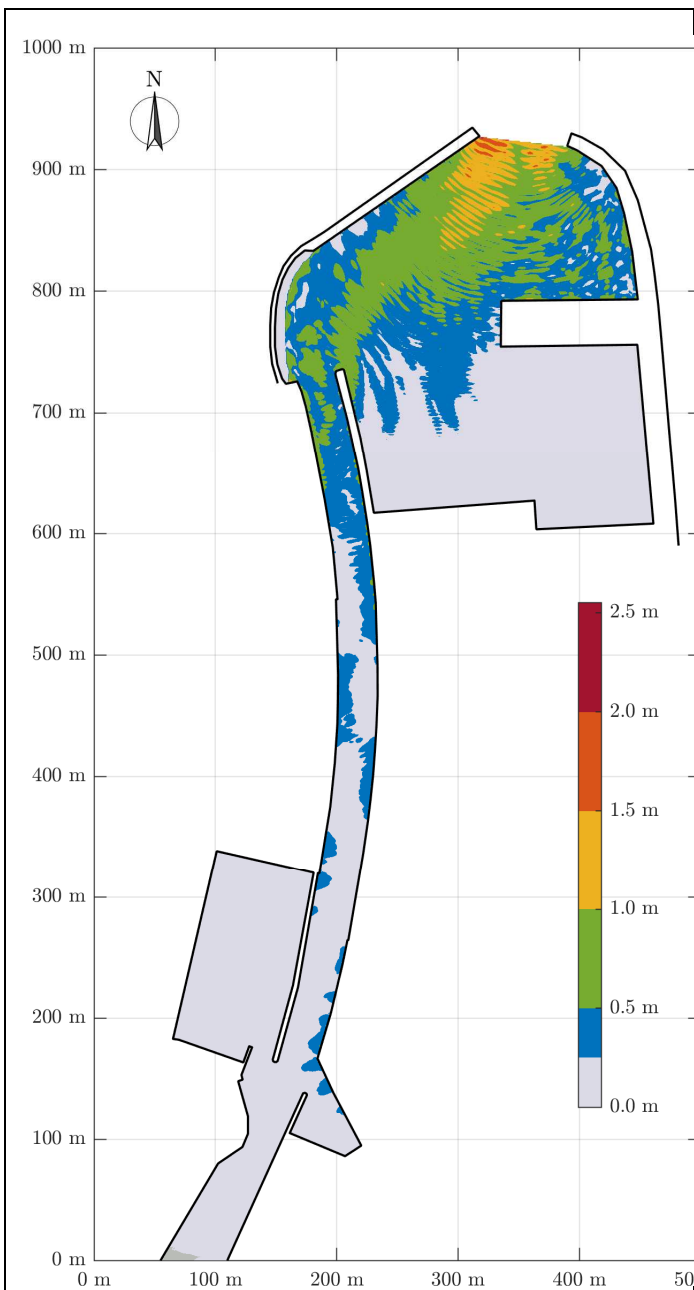
Rys. 8.7 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Konceptcji 3.

Parametry fali N

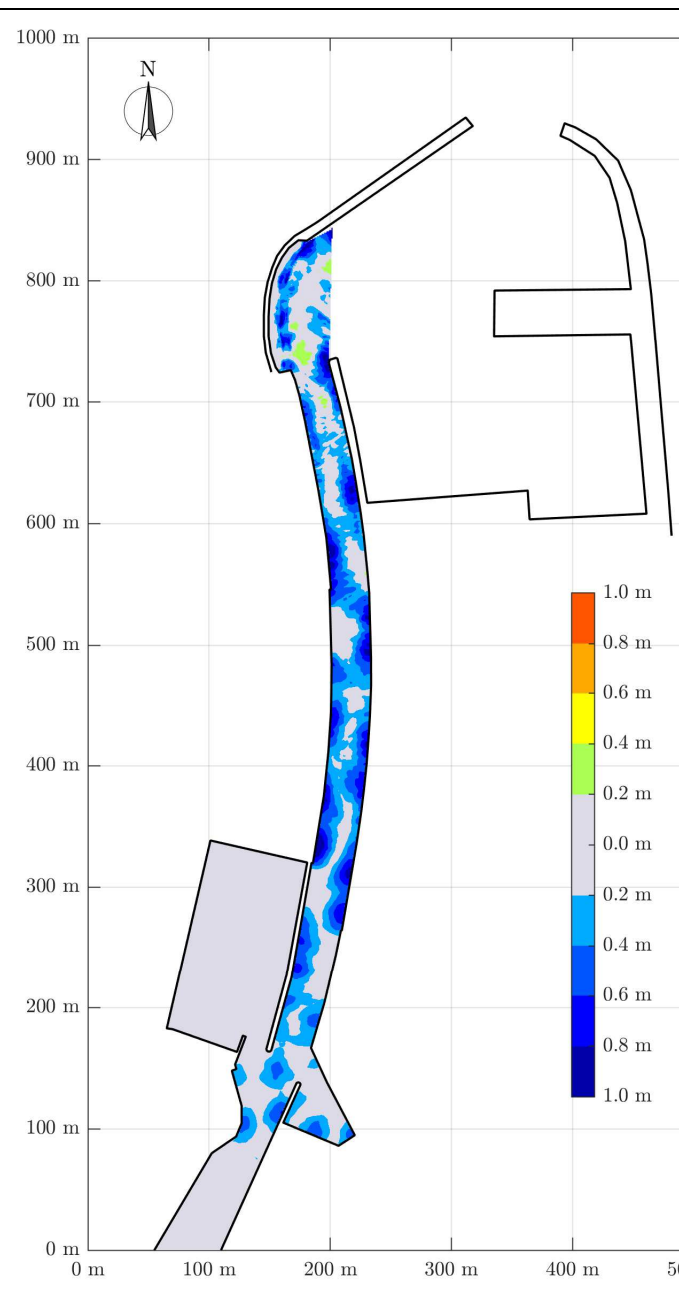


Rys. 8.8 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Konceptcja 1) względem aktualnie istniejącej zabudowy.

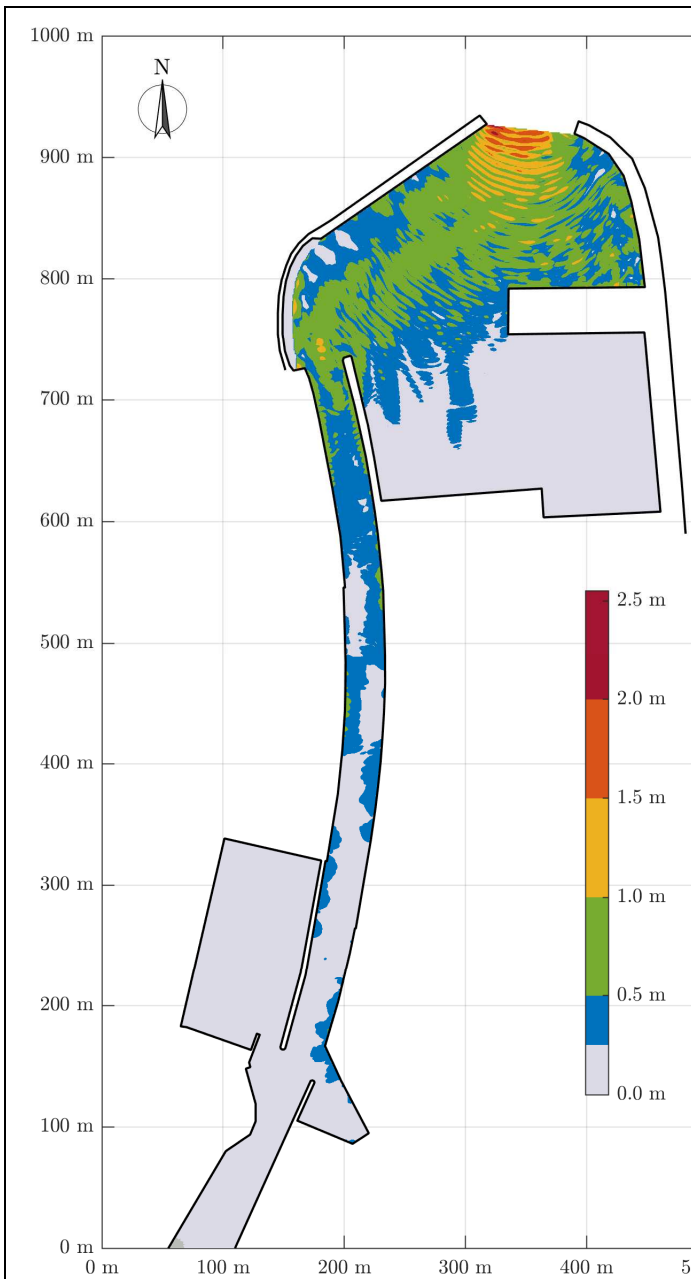
Parametry fali



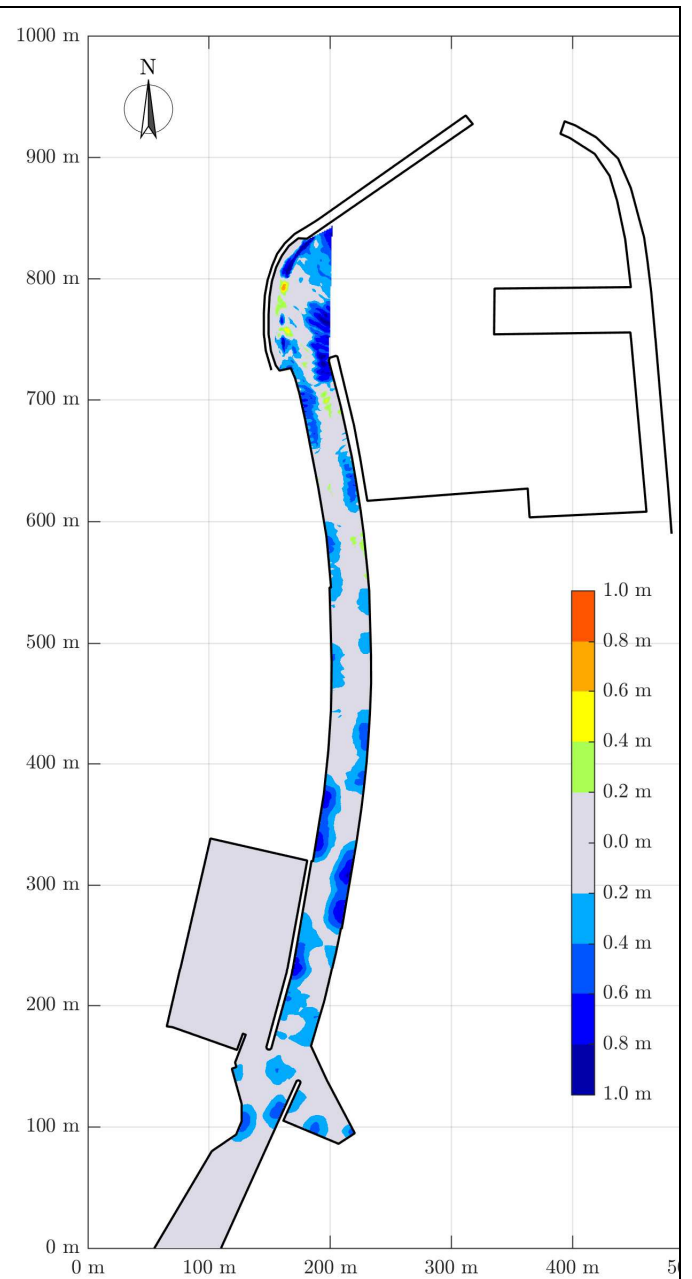
Rys. 8.9 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Konceptcji 3.
Parametry fali NNE



Rys. 8.10 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Konceptcja 3) względem aktualnie istniejącej zabudowy.
Parametry fali



Rys. 8.11 Obliczone wysokości fal w porcie w Łebie po przebudowie w ramach Konceptcji 3.
Parametry fali NE



Rys. 8.12 Zmiany wysokości fal w porcie po przebudowie (Konceptcja 3) względem aktualnie istniejącej zabudowy.
Parametry fali

Wnioski wynikające z przeprowadzonych obliczeń rozprzestrzeniania się falowania w porcie przedstawiono poniżej.

Koncepcja 1 - budowa nowego basenu portowego

- Przy falowaniu podchodzącym z kierunku N obliczone wysokości fal znacznych H_s w nowym basenie portowym o wymiarach 100 x 80 m przewidzianym dla postoju jednostek serwisowych zawarte są w przedziale $0 < H_s < 0.25$ m.
- Przy falowaniu podchodzącym z kierunku NNE największa ilość energii falowej przenika do wnętrza portu. W kanale portowym przeważają wysokości fal znacznych mieszczące się w przedziale 0.5–1.0 m, a głębiej w porcie, na wysokości basenu żeglarskiego, głównie zawarte w przedziale 0.25–0.50 m. W nowym basenie postojowym przy nabrzeżu północnym, wschodnim i zachodnim przeważają fale o wysokościach nie przekraczających 0.25 m, a przy nabrzeżu południowym wysokości fal znacznych zmieniają się w bardzo szerokim zakresie od 0 do 1.0 m.
- Przy falowaniu podchodzącym z kierunku NE otrzymany jakościowy rozkład wysokości fal znacznych w kanale portowym jest podobny jak przy falowaniu podchodzącym z kierunku NNE, z tym, że wysokości fal są nieco mniejsze. W tym przypadku przeważają w kanale fale z zakresu 0.25–0.50 m. W nowym basenie postojowym rozkład wysokości fal znacznych jest podobny jak w przypadku falowania przenikającego do portu z kierunku NNE.
- Po wybudowaniu basenu postojowego dla jednostek serwisowych niezależnie od kierunku podchodzenia falowania do brzegu w kanale portowym na całej jego długości praktycznie rzecz biorąc falowanie nie ulegnie zmianie. Maksymalne obliczone zmiany wysokości fal znacznych nie przekraczają wartości ± 0.2 m.

Koncepcja 3 - budowa nowych falochronów zewnętrznych

- Dla wszystkich analizowanych kierunków podchodzenia fali do portu otrzymano podobny obliczony rozkład wysokości fal. W wejściu portowym dominują fale z zakresu 1.0–1.5 m, a głębiej, w awanporcie, przeważają fale w przedziale 0.5–1.0 m. W wejściu do projektowanego basenu postojowego wysokości fal znacznych mieszczą się w przedziale 0.25–0.50 m. W samym projektowanym basenie postojowym wysokości fal znacznych nie przekraczają wysokości 0.25 m.
- W istniejącym kanale portowym przy falowaniu podchodzącym z kierunku N prawie na całej jego długości wysokości fal znacznych mieszczą się w przedziale 0–0.25 m. Dla pozostałych kierunków podchodzenia falowania (NNE i NE) ich wysokości są nieco większe. Na początkowym odcinku kanału portowego występują fale z zakresu od 0.25 do 0.5 m, następnie, głębiej w kanale, nie przekraczają wysokości 0.25 m.
- Po wybudowaniu nowych falochronów zewnętrznych, niezależnie od kierunku podchodzenia falowania, ich wysokości w obecnym kanale portowym ulegną zmniejszeniu od około 0.2 do około 0.6 m.

9. Wnioski

Zadanie postawione przez Urząd Morski w Gdyni dotyczyło przeprowadzenia analizy możliwości przebudowy wejścia do portu w Łebie w taki sposób, aby zmniejszyć falowanie wewnątrz portu oraz wyeliminować zapiaszczanie wejścia do portu.

Wyeliminowanie zapiaszczanie w Łebie

Średnio rocznie z toru podejściowego, toru wodnego i osadnika czerpane jest około 70 tys. m³ osadów.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń rozkładu wzdłużbrzegowego transportu rumowiska w funkcji odległości od brzegu wskazują, że w celu wyeliminowania procesu zapiaszczania wejścia do portu w Łebie głowica falochronu zachodniego powinna znajdować się w odległości około 650 m od brzegu, głowica falochronu wschodniego powinna znajdować się około 400 m od brzegu. Oznaczałoby to konieczność przedłużenie istniejącego falochronu zachodniego o około 550 m, a falochronu wschodniego o około 250 m.

Takie przedłużanie istniejących falochronów byłoby bardzo kosztowną inwestycją. Jeżeli port Łeba ma być portem serwisowym, w którym będą cumowały tylko statki typu CTV, to nie ma ekonomicznego uzasadnienia budowy tak dużych falochronów.

W tej sytuacji należy rozważyć czy obecna skuteczność i tryb pracy pogłębiarki będzie wystarczająco efektywny do zapewnienia wymaganej głębokości nawigacyjnej zapewniających możliwości całorocznego wchodzenia i wychodzenia jednostek CTV z portu. Należy rozważyć ewentualną konieczność stałego wyposażenie portu w Łebie w pogłębiarkę o parametrach technicznych zapewniających utrzymaniem drożności toru wodnego przez 365 dni w roku. Dodatkowo należy rozważyć budowę rurociągu przesyłowego ułatwiającego pracę pogłębiarki. Takie rozwiązanie byłoby dużo tańsze od budowy długich falochronów. Równoległe można rozpatrzyć konieczność budowy nowych osadników.

Wstępne położenie i geometrie nowych osadników przedstawiono w Załączniku 1.

Redukcja falowania w Łebie

Analizie przebudowy portu w Łebie poddane były dwie krańcowe różne koncepcje. Koncepcja 1 zakłada budowę nowego basenu portowego „nad” istniejącym basenem żeglarskim. Realizacja tej koncepcji jest relatywnie tania. Wykonanie tej inwestycji nie wpłynie na pogorszenie lub polepszenie warunków falowych w istniejącym porcie. Nie spowoduje ona, co oczywiste, zmniejszenia zapiaszczania wejścia portowego. Przy zapewnieniu stałej pracy pogłębiarki wydaje się to być optymalne rozwiązanie.

Druga analizowana koncepcja (Koncepcja 3) to znacząca przebudowa portu w Łebie. W tym wariantie budowany jest nowy falochron wschodni (o długości 350 m) oraz przedłużony jest falochron zachodni (o 135 m). Przy tym podejściu otrzymuje się znaczące redukcję falowania wewnątrz kanału portowego. Dla analizowanych sztormów o okresie powtarzalności $T_R = 20$ lat, średnie zmniejszenie wysokości fal w całym kanale portowym wynosi około 0.5 m. Poprawa (zmniejszenie) warunków falowych obejmuje nawet basen na przedłużeniu nabrzeża Maltańskiego – tzw. basen bosmański.

Realizacja tego wariantu zapewnia powstanie nowego basenu z nabrzeżem przeładunkowym o długości 180 m, które mogłoby być przystosowane do obsługi dużych gabarytowo elementów siłowni wiatrowych. Głębokość tego basenu mogłaby być dostosowana do wymogów inwestora i/lub potencjalnych użytkowników. Pewną wadą tego rozwiązania jest usytuowanie nowego basenu i nabrzeży po przeciwnej stronie kanału portowego względem działek, które dzierżawią (lub będą dzierżawić?) potencjalni inwestorzy farm wiatrowych.

Z ekonomicznego punktu widzenia, w tym wariacie, nieopłacalne byłoby projektowanie tego portu tylko pod obsługę jednostek typu CTV. Wydaje się, że realizacja tak dużej inwestycji powinna być skoordynowana z uwzględnieniem obsługi co najmniej statków typu SOV.

10. Podsumowanie

- Jednostki typu CTV są małe (orientacyjne wymiary: długość 30 m, szerokość 10 m, zanurzenie 2,5 m), zwrotne i nie wymagają specjalistycznego zaplecza technicznego na nabrzeżach przy których cumują.
- Z ekonomicznego punktu widzenia nie jest możliwe wyeliminowanie zapiaszczanie wejście do portu w Łebie poprzez wydłużenie falochronów. Istniejące falochrony musiałyby zostać wydłużone: zachodni o 550 m i wschodni o 250 m.
- Z ekonomicznego punktu widzenia w celu wyeliminowania zapiaszczanie wejście do portu w Łebie dla istniejącego układu falochronów, tj. całorocznego utrzymania głębokości nawigacyjnych należy rozważyć pozyskanie pogłębiarki lub systemu rurociągów, które w sposób ciągły będą wykonywać podczyszczania wejścia do portu. Dodatkowo można rozważyć budowę nowych osadników.
- Jeśli Łeba ma być portem eksploatacyjnym tylko dla jednostek typu CTV to nie ma sensu budować falochronów zewnętrznych. Budowa nowego basenu portowego (Koncepcja 1) spełni wymagania portu serwisowego dla jednostek typu CTV.
- Budowa nowego basenu portowego (Koncepcja 1) nie wpłynie na zmianę warunków falowych wewnątrz kanału portowego.
- W celu redukcji falowania wewnątrz kanału portowego należy wybudować nowe falochrony zewnętrzne - np. Koncepcja 3. Taka inwestycja zapewni nowe nabrzeża. W tym przypadku, z ekonomicznego punktu widzenia, Łeba powinna pełnić funkcje zaplecze nie tylko dla jednostek typu CTV, ale i SOV (orientacyjne wymiary SOV: długość 100 m, szerokość 20 m, zanurzenie 6,5 m).

Literatura

- Bijker E.W. 1971. Longshore Transport Computations, *Journal of Waterways, Harbour and Coastal Engineering*, Vol. 99, WW4.
- Dziadziuszko Z., Jednorąg T., 1988. Wahania poziomów morza na polskim wybrzeżu Bałtyku. *Studia i Materiały Oceanologiczne* 52.
- Gucma, S., Gralak, R., 2021. Projektowany port do obsługi morskich farm wiatrowych w Świnoujściu – analiza ryzyka nawigacyjnego. *Inżynieria Morska i Geotechnika* nr 2/2021.
- Kaczmarek L. M., Mielczarski A., Ostrowski R. 1997 Zastosowanie nowego modelu transportu osadów do oceny zapiaszczania portowych torów podejściowych. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, nr 2.
- Kaczmarek L.M. 1999 Moveable Sea Bed Boundary Layer and Mechanics of Sediment Transport. Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk.
- Kamphuis W. J. 2000. Introduction to Coastal Engineering and Management. *Advanced Series on Ocean Engineering*, vol 16.
- Kirby J.T., Wei G., Chen Q., Kennedy A.B., Dalrymple R.A. 1998. Funwave 1.0: Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model - Documentation and User's Manual. Research Report NO. CACR-98-06, University of Delaware
- Locja Bałtyku. Wybrzeże Polskie 502. Wydanie dziesiąte. 2016. Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej.
- Marcinkowski T., Szymkiewicz M. 2010. Wyznaczanie fali projektowej. *Inżynieria Morska i Geotechnika* nr 2, 162-170.
- Mazurkiewicz B. (redakcja) 2006. Morskie Budowle Hydrotechniczne; Zalecenia do projektowania i wykonywania, Wydanie IV. Zespół Roboczy Zasad Projektowania Budowli Morskich pod redakcją B. Mazurkiewicza. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk.
- Miętus M., Sztobryn M. 2011. Stan środowiska polskiej strefy przybrzeżnej Bałtyku w latach 1986-2005. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Ostrowski R. (redakcja) 2018. Analiza zmian linii brzegowej i topografii dna morskiego dla potrzeb realizacji przedsięwzięcia pn. „Przebudowa wejścia do Portu Ustka”. Raport IBW PAN wykonany dla Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych, Zespół Rzecznawców Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych, Gdańsk
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 1 czerwca 1998 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać morskie budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie.

- Shi F., Kirby J.T., Harris J.C., Geiman J.D., Grilli S.T. 2012. A high-order adaptive time-stepping TVD solver for Boussinesq modeling of breaking waves and coastal inundation. *Ocean Modelling*, 43–44, 36–51
- Stramska M., Chudziak N. 2013. Recent multiyear trends in the Baltic Sea level. *Oceanologia*, 55.
- Szmytkiewicz M. 2002, Prądy pochodzenia falowego w morskiej strefie brzegowej. Wydawnictwo IBW PAN.
- Szmytkiewicz M., Skaja M. 1998, Opis modelu „SAND94”, Raport IBW PAN, Gdańsk.
- UNIBEST-LT Version 4.0. 1993. User's manual MS-DOS PC-program. Publisher: Delft Hydraulics, Delft, The 417 Netherlands.
- Wei G., Kirby J.T. 1995. Time-dependent numerical code for extended Boussinesq equations. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 121, 251–261
- Wiśniewski B., Wolski T. 2009. Katalogi wezbrań i obniżeń sztormowych poziomów morza oraz ekstremalne poziomy wód na polskim wybrzeżu. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej, Szczecin.

Załącznik 1

Dla proponowanej lokalizacji i wielkości nowych osadników wzięto pod uwagę:

- raporty realizowanych prac pogłębiarskich w rejonie wejścia portowego i toru wodnego,
- układ batymetryczny dna, a w szczególności przebieg głównej rewy opływającej port,
- obliczone rozkłady natężenia transportu osadów w funkcji odległości od brzegu,
- minimalną odległość krawędzi osadników od stopy falochronów równej 35 m.

Przy tych założeniach, schemat układu przestrzennego proponowanych osadników przedstawiono na Rys. 13.

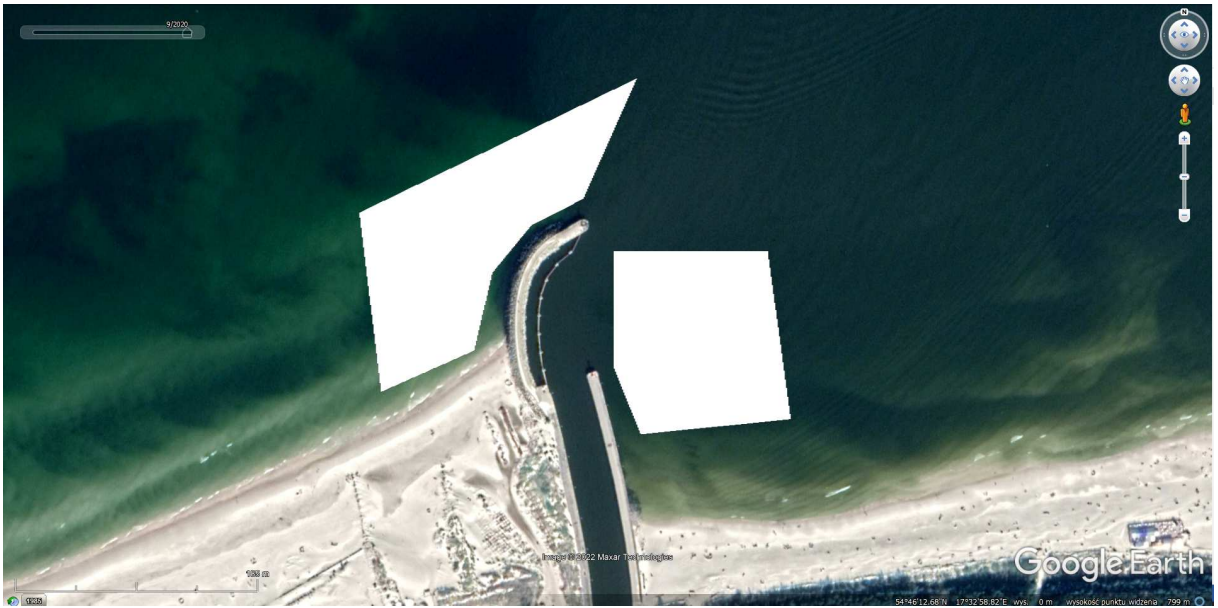
Wymiary.

Osadnik zachodni:

- krawędź odmorska około 240 m,
- krawędź zachodnia około 140 m,
- krawędź odlądowa około 80 m,
- krawędź wschodnia około 100 m,
- krawędź łukowa wzdłuż falochronu około 150 m,
- powierzchnia około 20 000 m².

Osadnik wschodni:

- krawędź odmorska około 120 m,
- krawędź zachodnia około 150 m,
- krawędź odlądowa około 120 m,
- krawędź wschodnia około 130 m,
- powierzchnia około 17 000 m².



Rys. 13 Wstępne położenie i geometria nowych osadników