

Wpływ planowanej przebudowy falochronów portowych w Ustce na brzeg morski

Dr hab. inż. Rafał Ostrowski, dr hab. inż. Marek Szmytkiewicz, inż. Marek Skaja
Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku

Ustka położona jest przy ujściu rzeki Słupi do morza, w zatoce o długości około 33 km rozciągającej się od Rowów do Jarosławca. Powstanie Ustki przypada na połowę XIV wieku i spowodowane zostało inicjatywą miasta Słupska, z którego rozwojem i dziejami istnienie usteckiego portu jest mocno powiązane (zob. [9]). Najprawdopodobniej w tym też okresie rozpoczęto w ujściu rzeki prace hydrotechniczne polegające na budowie oraz okresowej modernizacji falochronów ujściowych. Do połowy XIX wieku tylko małe statki mogły wchodzić do portu. Znaczne polepszenie dostępności portu dla statków o zanurzeniu okresowo nawet do $4 \div 5$ m nastąpiło w drugiej połowie XIX wieku w wyniku rozbudowy falochronów i wdrożenia regularnych robót czerpalnych. Od tego czasu Ustka jest ważnym ośrodkiem portowym, pełniąc funkcje portu handlowego i rybackiego. Znajduje się w nim także marina jachtowa.

Planowana obecnie w ramach przedsięwzięcia pod nazwą „Przebudowa wejścia do Portu Ustka” przebudowa falochronów obejmuje między innymi budowę nowego falochronu zachodniego oraz wydłużenie istniejącego falochronu wschodniego. Bezpośrednią przyczyną konieczności przebudowy wejścia do

portu w Ustce jest zły stan techniczny falochronów zbudowanych ponad 100 lat temu. Prowadzone w okresie powojennym doraźne naprawy charakteryzowały się umiarkowaną skutecznością, a wskutek remontu wykonanego w latach osiemdziesiątych XX wieku pogorszyły się warunki dyssypacji energii sztormowych fal w awanporcie, co przejawia się występowaniem ponadnormatywnego falowania w wielu rejonach akwatorium portowego. Dodatkowym celem realizacji planowanego przedsięwzięcia jest powiększenie akwatorium i uzyskanie nowych nabrzeży.

Jesienią 2018 roku Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk (IBW PAN) wykonał pracę naukowo-badawczą [7] na potrzeby zamówienia pt. Opracowanie dokumentacji przygotowawczej dla zadania pn. „Przebudowa wejścia do Portu Ustka”. Realizacji tego zamówienia podjął się Zespół Rzeczoznawców Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych (Terenowa Grupa Rzeczoznawców w Gdańsku) na mocy umowy podpisanej z Urzędem Morskim w Słupsku, który jest inwestorem planowanego przedsięwzięcia.

Zakres badań przeprowadzonych przez IBW PAN na potrzeby odnośnego opracowania obejmował:

- analizę archiwalnych materiałów i danych dotyczących ewolucji brzegu morskiego w rejonie Ustki,
- analizę falowania głębokowodnego,
- matematyczne modelowanie transformacji falowania, przybrzeżnych prądów pochodzenia falowego i wzdłuż-brzegowego transportu osadów,
- prognozę oddziaływania planowanych nowych falochronów na brzeg morski wraz z propozycją przeciwdziałania negatywnym skutkom tego oddziaływania.

ZMIANY BRZEGU MORSKIEGO W REJONIE USTKI W ŚWIEŁE OBSERWACJI I DANYCH ARCHIWALNYCH

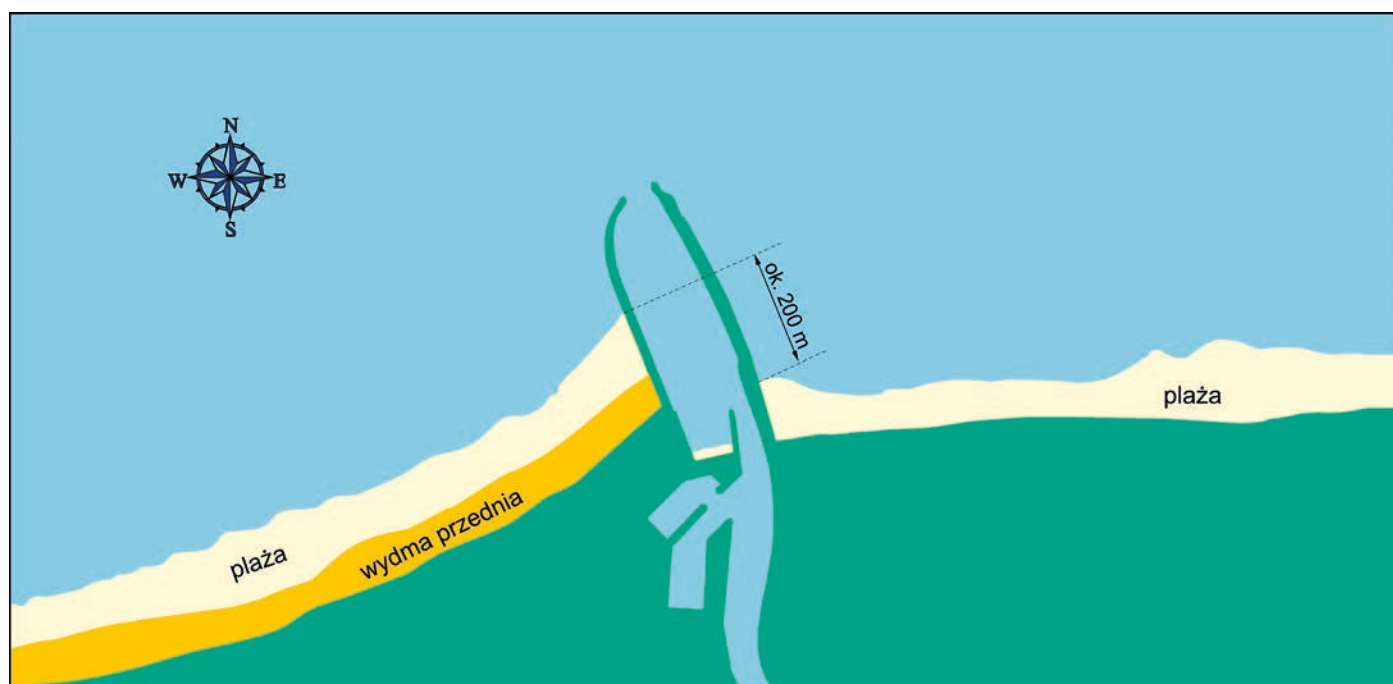
Zmiany brzegu morskiego w rejonie Ustki kształtowane są głównie poprzez oddziaływanie falochronów portowych, które w układzie zbliżonym do obecnego wzniesiono w latach 1863-1867, z późniejszą modyfikacją głowic na przełomie XIX i XX wieku. Falochrony sięgały wówczas głębokości 4,5 m. Przecięcie większej części strefy wzdłużbrzegowego transportu osadów morskich spowodowało akumulację piaszczystego rumowiska na zachód od portu i deficyt na wschód od portu. Archiwalne dane z końca XIX wieku i pierwszej połowy XX wieku wskazują, że powyższe procesy charakteryzowały się znaczną intensywnością, przejawiającą się przyrostem brzegu średnio o około 1 m/rok po stronie zachodniej i jego cofaniem się z nieco tylko mniejszym tempem po stronie wschodniej. Świadczy to o dużym natężeniu wzdłużbrzegowego ruchu rumowiska i o tym, że wypadkowy transport osadów w wieloleciu skierowany jest z zachodu na wschód. Efektem ponad stuletniego oddziaływania falochronów jest różnica położenia linii brzegowej po zachod-

niej i wschodniej stronie portu wynosząca obecnie około 200 m, zob. rys. 1.

Dodatkowym symptomem intensywnej akumulacji piasku po zachodniej stronie portu w Ustce jest pokazana na rys. 1 wyraźnie rozbudowana tak zwana wydma przednia o szerokości kilkudziesięciu metrów. Po wschodniej stronie portu wydmy występują w formie szczątkowej, a plaża swoje wymiary (znaczną szerokość i relatywnie wysokie rzędne) zawdzięcza technicznym zabiegom ochronnym, w tym głównie sztucznemu zasilaniu brzegu.

W celu zapobieżenia erozji odcinka brzegu położonego na wschód od portu już w pierwszej połowie XX wieku zaczęto wznosić budowle ochronne w postaci opasek brzegowych i ostróg. System ostróg brzegowych powstawał etapami w latach 1926, 1955-1956 oraz 1967-1968 i sięgnął odległości około 2 km na wschód od portu (KM 231,67-233,38). W latach 2015-2016 system ostróg zmodernizowano i wybudowano progi podwodne (falochrony brzegowe o zanurzonej koronie). Przeprowadzono również sztuczne zasilanie plaży i przybrzeża.

Akwatorium portu w Ustce jest końcowym fragmentem ujściowego odcinka rzeki Słupi. Przepływ rzeki, o średnim natężeniu wynoszącym około 15 m³/s, generuje prędkości wody wystarczające do przenoszenia piaszczystych osadów rzecznych, zarówno w formie wleczonej, jak i zawieszonej. Roczną kubaturę transportu osadów w ujściowym odcinku Słupi szacuje się na kilka do kilkunastu tysięcy metrów sześciennych (zob. [6]). O ile w kanale portowym prędkości ruchu wody – szczególnie w warunkach przepływu większego niż średni – przekraczają prędkość krytyczną, przy której następuje masowy ruch ziaren piasku, o tyle w awanporcie prędkości przepływu rzeczne są znikome, przeważnie niewystarczające do przenoszenia piaszczystego rumowiska. W rezultacie piaszczyste osady rzeczne ulegają akumulacji głównie w kanale portowym i nie są w większych ilościach wynoszone przez awanport do mo-



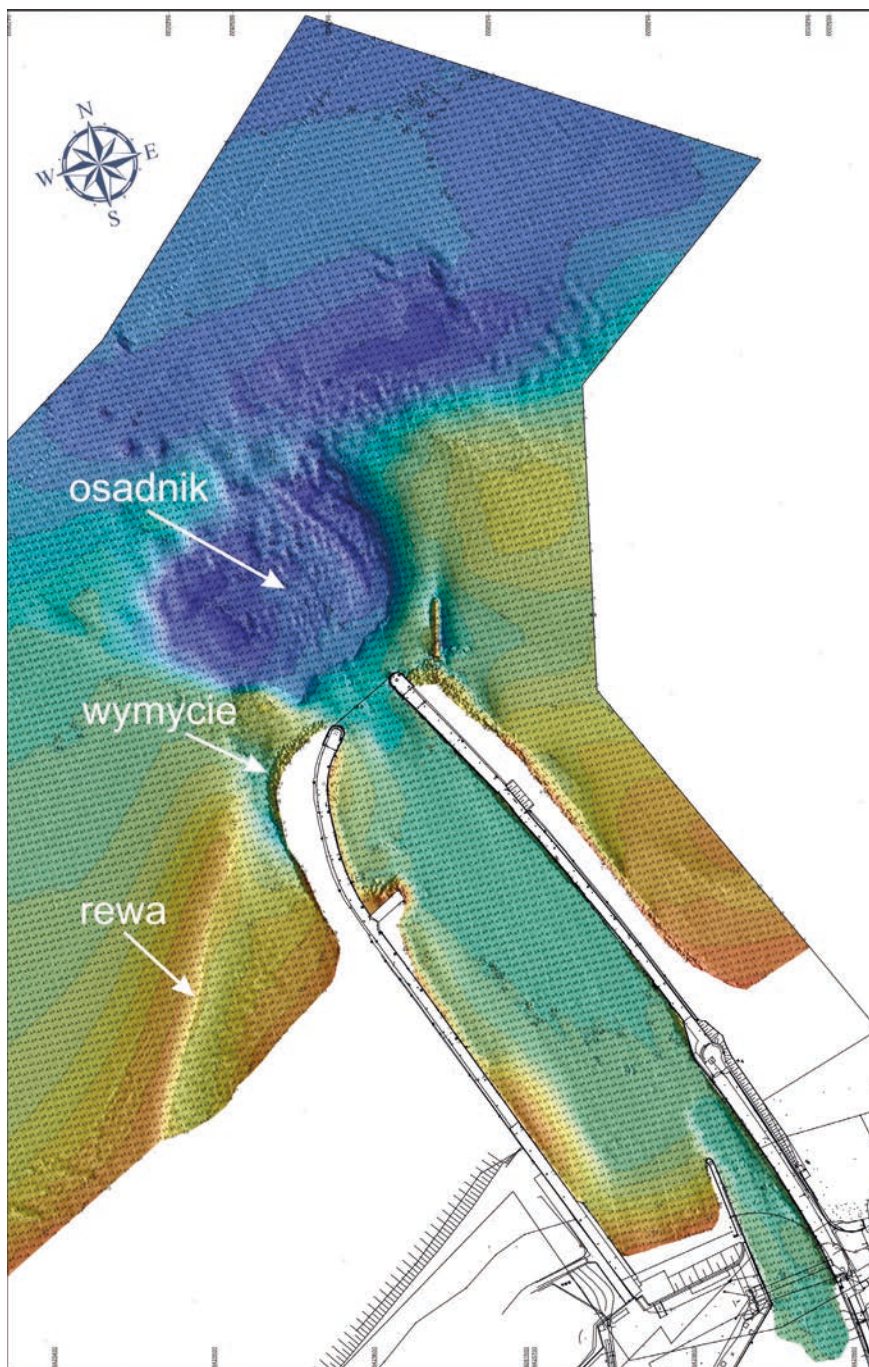
Rys. 1. Brzeg morski w sąsiedztwie Portu Ustka (interpretacja zdjęcia satelitarnego)

rza, poza akwatorium portowe. Dowodem na to jest dominacja w dnie awanportu typowych piasków morskich, w niektórych miejscach z domieszką namulów rzecznych. Morska strefa brzegowa w rejonie Ustki nie jest zatem w stopniu istotnym zasilana piaskiem rzeczny Słupi (zob. [6]). W pewnym przybliżeniu procesy hydro-, lito- i morfodynamiczne zachodzące w kanale portowym i akwatorium są podobne do zjawisk obserwowanych w porcie w Łebie (zob. [3]).

Falochrony usteckiego portu, podobnie jak w przypadku kilku innych polskich małych portów, zaraz po wybudowaniu spowodowały prawie całkowitą blokadę wzdłużbrzegowego transportu osadów. W wyniku postępującego przyrostu brzegu po zachodniej stronie portu strefa ruchu rumowiska ulegała stop-

niowemu przesuwaniu się w stronę morza. Po pewnym czasie strumień osadów zaczął częściowo „okrążyć” port, a po upływie wielu dziesiątek lat proces ten zaowocował ukształtowaniem się podwodnej formy akumulacyjnej w postaci rewy usytuowanej ukośnie do linii brzegowej. Rewa ta ma swój początek na płytkim przybrzeżu w odległości około 250 ÷ 300 m od falochronu zachodniego, kończy się zaś przy głowicy tegoż falochronu, zob. rys. 2.

Z rys. 2 wynika, że odnośna rewa charakteryzuje się lokalną nieciągłością przejawiającą się niewielkim wymyciem dna (naturalnym lub będącym rezultatem robót czerpalnych) w bezpośrednim sąsiedztwie części falochronu przylegającej do głowicy. Nad grzbietem rewy wzdłużbrzegowy transport osadów jest naj-



Rys. 2. Morfologia przybrzeżnego dna w sąsiedztwie Portu Ustka, 2018 (na podstawie [8])

intensywniejszy. Piasek mógłby być zatem przenoszony siłami natury na wschodnią stronę portu, gdyby nie prace pogłębiarskie mające na celu utrzymanie bezpiecznych głębokości na torze podejściowym i w wejściu do portu. Efekt tych prac przejawia się wykonanym, jakby na zapas, przegłębieniem – pełniącym zapewne funkcję osadnika – na przedpolu wejścia portowego.

Tor podejściowy stanowi łapaczkę rumowiska wlezonego oraz części rumowiska zawieszonego. Pozostała część rumowiska zawieszonego transportowana jest na drugą stronę toru podejściowego. Tak zubożony wzdłużbrzegowy potok osadów jest odrzucony w stronę morza i w pewnym tylko stopniu – uwarunkowanym obecnością dobrzegowego transportu osadów – powraca do strefy przybrzeżnej.

Charakter zmian brzegu w małych przedziałach czasowych może różnić się od zmian długookresowych, zależnych od klimatu falowego w wieloleciu. Warunki meteorologiczne w poszczególnych latach lub porach roku mogą bowiem znacznie odbiegać od warunków wyznaczonych dla średniego roku statystycznego – nie tylko ilościowo (wiatry silniejsze lub słabsze niż w średnim roku statystycznym), ale również jakościowo (np. przewaga wiatrów z kierunków wschodnich). Krótkookresowe zmiany położenia linii brzegowej w okresie od grudnia 2014 do sierpnia 2017 roku przedstawiono na rys. 3a i 3b.

Krótkookresowe zmiany położenia linii brzegowej wynikające z oglądu rys. 3 mają charakter zbliżony do zmian długookresowych i przejawiają się akumulacją brzegu w sąsiedztwie falochronu zachodniego i erozją na odcinku brzegu przylegającym do falochronu wschodniego. Tendencja akumulacyjna w okresie po sierpniu 2015 roku w odległości około 300 ÷ 700 m od falochronu wschodniego wynika najprawdopodobniej ze

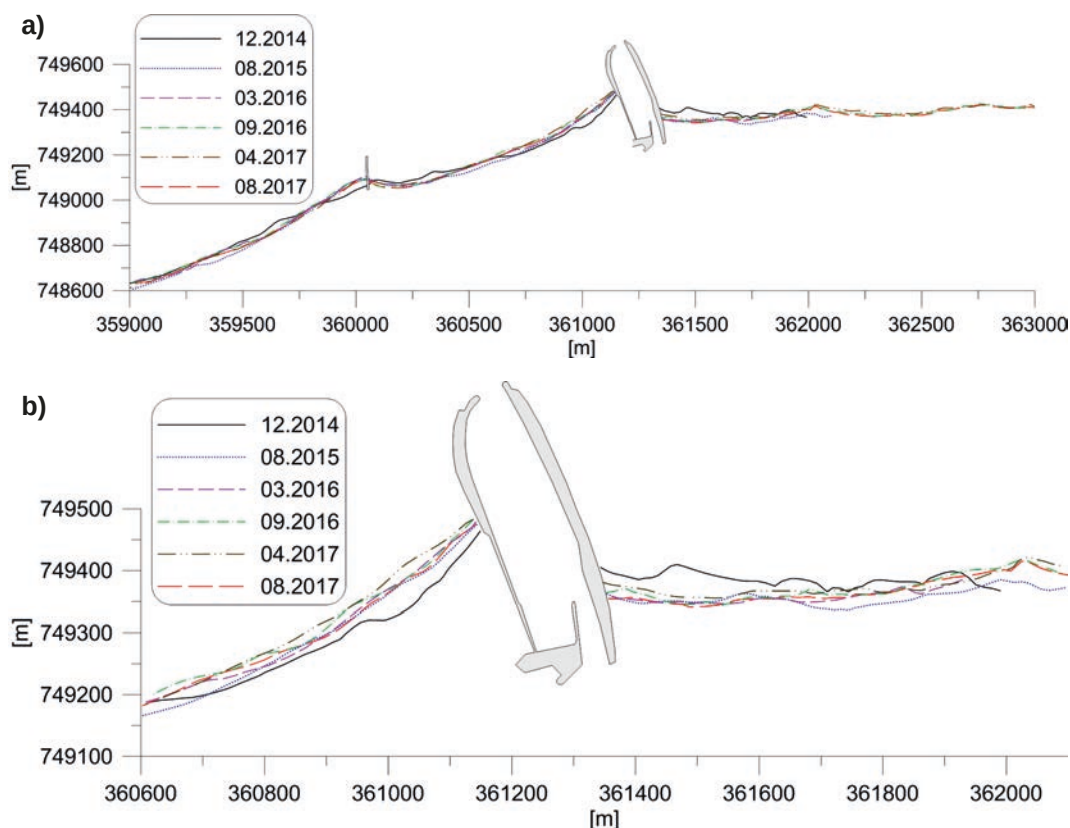
sztucznego zasilania brzegu. Zmiany położenia linii brzegowej po zachodniej stronie portu są naturalne, nie związane z działalnością człowieka (jeżeli nie liczyć omówionego uprzednio blokującego wpływu falochronu zachodniego).

Cypel widoczny na rys. 3a w odległości około 1200 m na zachód od portu jest rezultatem wieloletniego oddziaływania nasadowej części nowego falochronu zachodniego, którego budowę rozpoczęto w 1939 roku (i w tym samym roku przerwano) w ramach przedwojennego projektu rozbudowy portu. Kształt linii brzegowej w sąsiedztwie budowli świadczy o tym, że blokuje ona w pewnym stopniu wzdłużbrzegowy transport osadów, przynajmniej w strefie małych głębokości, ograniczając procesy akumulacyjne przy obecnym portowym falochronie zachodnim. Można przypuszczać, że odsunięcie podstawowego obszaru akumulacji w kierunku zachodnim przyczynia się do niedoboru osadów po wschodniej stronie portu.

GŁĘBOKOWODNY KLIMAT FALOWY W REJONIE USTKI

Do obliczeń natężenia transportu osadów morskich i oceny oddziaływania budowli portowych na położenie linii brzegowej potrzebne są parametry fal przybrzeżnych występujących w średnim roku statystycznym. Parametry te wynikają z długookresowego klimatu falowego na głębokiej wodzie.

Pomiary falowania na Bałtyku są wykonywane nieregularnie i w niewielu miejscach. W rejonie Ustki nie prowadzono pomiarów falowania. W takich przypadkach głębokowodne warunki falowe z wielolecia wyznacza się w sposób teoretyczny.



Rys. 3. Zmiany położenia linii brzegowej w sąsiedztwie Portu Ustka w okresie od grudnia 2014 do sierpnia 2017 roku

Na potrzeby niniejszej pracy w celu wyznaczenia parametrów falowania morskiego w rejonie Ustki przeanalizowano otrzymane z rekonstrukcji falowania na Bałtyku w okresie 44 lat (1958-2001) zbiory falowe punktów prognostycznych położonych w tym akwenie. Wybrano punkt położony prawie idealnie na północ od Ustki, którego współrzędne geograficzne oraz występująca w tym miejscu głębokość były następujące:

54,6416° N, 16,8519° E,
głębokość wody około 20 m,
odległość od brzegu około 5,7 km.

Dla tego punktu odmorskimi kierunkami wiatrów są kierunki W, WNW, NW, NNW, N, NNE, NE i ENE. W celu wyznaczenia czasów trwania określonych wysokości falowania w średnim roku statystycznym przyjęto przedziały wysokości fali co 0,5 m i dla każdego z nich obliczono średnie wysokości fal znacznych H_s , średnie okresy piku energii fali T_p i średnie azymuty promieni fali A_z oraz czasy trwania. Uzyskane w ten sposób parametry głębokowodnego klimatu falowego użyto do obliczeń natężenia wzdłużbrzegowego transportu osadów w średnim roku statystycznym.

RUCH OSADÓW W ŚWIEŁLE MODELOWANIA TEORETYCZNEGO

Natężenie wzdłużbrzegowego transportu osadów w średnim roku statystycznym wyznaczono licencyjnym holenderskim programem komputerowym UNIBEST-LT (wersja 4.0) wchodzącym w skład pakietu numerycznego UNIBEST, jak również opracowanym w IBW PAN trójwarstwowym modelem ruchu osadów [4]. W obu oprogramowaniach obliczenia wykonywane są w wybranym przez użytkownika reprezentatywnym profilu batymetrycznym. W profilu tym kolejno realizowane jest modelowanie transformacji falowania z uwzględnieniem refrakcji, efektów spłylenia i załamania fali oraz prądów wzdłużbrzegowych generowanych przez załamujące się fale. Następnie obliczane jest natężenie wzdłużbrzegowego transportu osadów generowanego łącznym oddziaływaniem fal i prądów. W pro-

gramie UNIBEST-LT dostępne są cztery modele ruchu osadów: Engelunda-Hansena, Bijkera, van Rijna i Bailarda.

Obliczenia wykonano w reprezentatywnym profilu batymetrycznym prostopadłym do brzegu, położonym w odległości około 300 m na zachód od portu w Ustce. Wykorzystany w tym celu profil głębokości, pomierzony na KM 234 w 2005 roku, przedstawiono na rys. 4.

Z rys. 4 wynika, że na przyjętym reprezentatywnym profilu batymetrycznym występują dwie wyraźne rewy, z grzbietami w odległości około 100 m i 350 ÷ 450 m od linii brzegowej, znajdującymi się na głębokościach odpowiednio około 1,5 m i 4,5 m. Profil charakteryzuje się łagodnym nachyleniem, wynoszącym średnio około 1%.

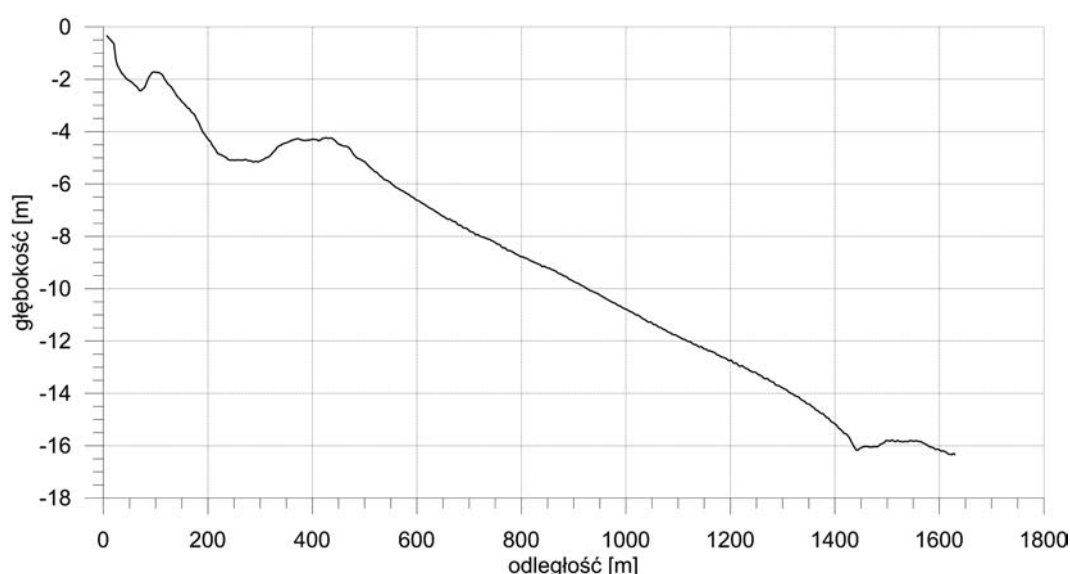
W obliczeniach przyjęto, na podstawie wyników badań prób gruntu pobranych z dna morskiego [2], charakterystyczne średnice ziaren $d_{50} = 0,27$ mm i $d_{90} = 0,35$ mm. Gęstość szkieletu gruntowego przyjęto jako typową dla piasku kwarcowego, to jest $\rho_s = 2\ 650$ kg/m³.

Teoretyczne modelowanie transportu osadów przeprowadzono dla wszystkich odmorskich kierunków wiatru generujących transport z zachodu na wschód (W, WNW, NW i NNW) oraz dla wszystkich odmorskich kierunków wiatru generujących transport ze wschodu na zachód (N, NNE, NE i ENE). Wykorzystano model Bijkera [1] i model IBW PAN [4].

Jak należało się spodziewać, wyznaczony teoretycznie wypadkowy transport rumowiska morskiego w rejonie Ustki skierowany jest z zachodu na wschód. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabl. 1.

Tabl. 1. Wyniki obliczeń natężenia transportu osadów [tys. m³/rok] modelem Bijkera [1] oraz modelem IBW PAN [4] dla rejonu Ustki w średnim roku statystycznym

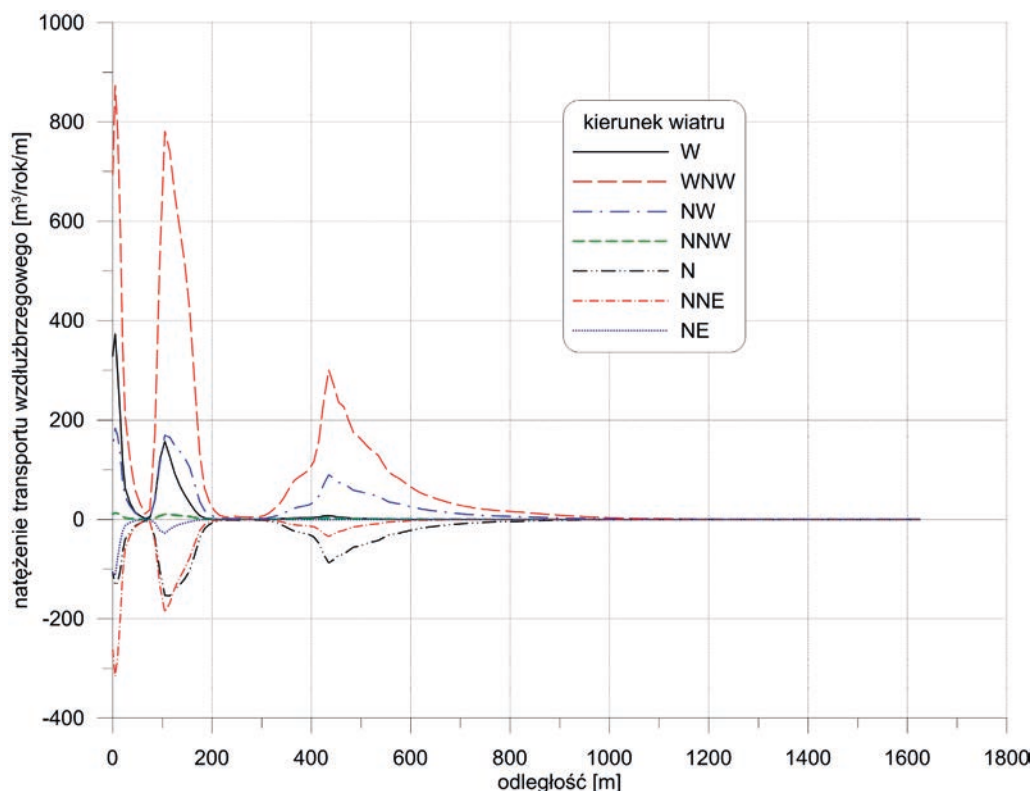
Model	Bijker	IBW PAN
Kierunek W → E	161	130
Kierunek E → W	52	25
Natężenie wypadkowe	109	105



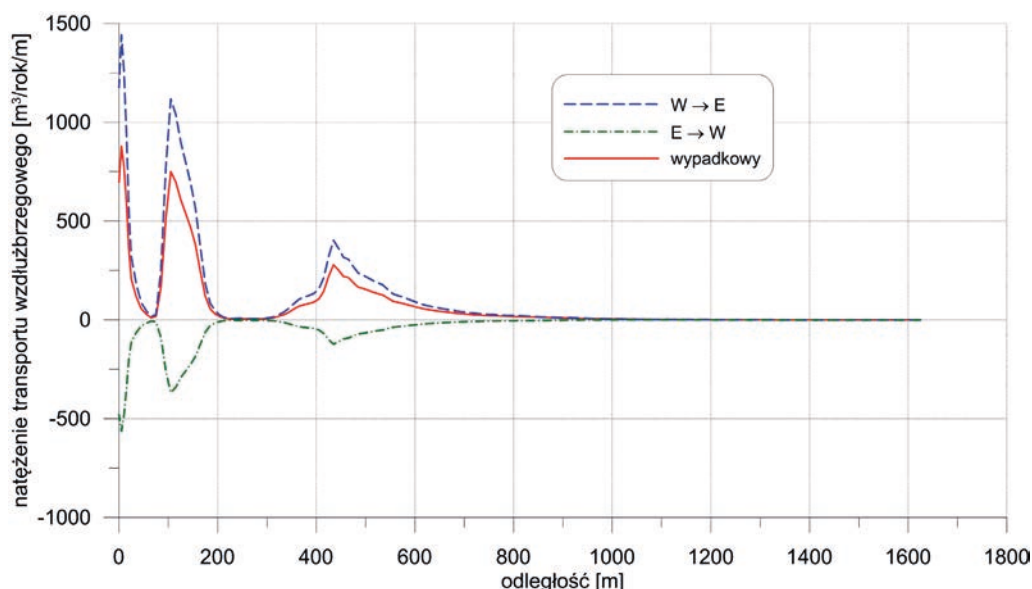
Rys. 4. Profil batymetryczny na KM 234 z dnia 25.07.2005, azymut profilu 342°

Rozkłady natężenia transportu osadów według modelu Bijkera dla poszczególnych kierunków wiatru generujących transport z zachodu na wschód (W, WNW, NW i NNW) oraz dla poszczególnych kierunków wiatru generujących transport ze wschodu na zachód (N, NNE i NE) przedstawiono na rys. 5. Ujemne wartości oznaczają kierunek wzdłużbrzegowego ruchu rumowiska ze wschodu na zachód. Ze względu na znikome wartości nie zamieszczono na rysunku wyników modelowania dla kierunku ENE.

Najintensywniejszy wzdłużbrzegowy transport rumowiska ma miejsce w strefie przybrzeżnej o szerokości około 200 m, to jest w zakresie głębokości do około 4 m (zob. rys. 5 i rys. 3). Nieco mniejsze natężenie transportu, ale jednak znaczne, uzyskano dla odległości od około 300 ÷ 400 m do około 600 ÷ 800 m od linii brzegowej, to jest dla głębokości z przedziału od 4 ÷ 5 m do 7 ÷ 9 m. Dla większych głębokości, przekraczających 10 m (w odległości większej niż około 900 m od linii brzegowej), natężenie transportu osadów jest bliskie zeru.



Rys. 5. Rozkłady natężenia wzdłużbrzegowego ruchu osadów według modelu Bijkera na profilu poprzecznym brzegu dla poszczególnych kierunków wiatru w średnim roku statystycznym



Rys. 6. Rozkłady łącznego natężenia wzdłużbrzegowego ruchu osadów według modelu Bijkera na profilu poprzecznym brzegu dla wszystkich kierunków wiatru generujących transport z zachodu na wschód i dla wszystkich kierunków wiatru generujących transport ze wschodu na zachód oraz rozkład wypadkowego natężenia transportu osadów w średnim roku statystycznym

Rozkłady łącznego natężenia transportu osadów według modelu Bijkera dla wszystkich kierunków wiatru generujących transport z zachodu na wschód i dla wszystkich kierunków wiatru generujących transport ze wschodu na zachód oraz rozkład wypadkowego natężenia transportu osadów obrazuje rys. 6. Ujemne wartości oznaczają kierunek wzdłużbrzegowego ruchu rumowiska ze wschodu na zachód.

Wyniki modelowania wzdłużbrzegowego transportu osadów przedstawione na rys. 6 potwierdzają szczegółowe rozkłady natężenia transportu z rys. 5. W strefie przybrzeżnej ruch rumowiska ma miejsce w słabych lub umiarkowanych warunkach falowych, zaś w warunkach sztormowych intensywne procesy litodynamiczne wywołane falowaniem występują również na większych głębokościach.

PREDYKCJA MORFODYNAMIKI BRZEGU W SYTUACJI PLANOWANEJ PRZEBUDOWY WEJŚCIA PORTOWEGO

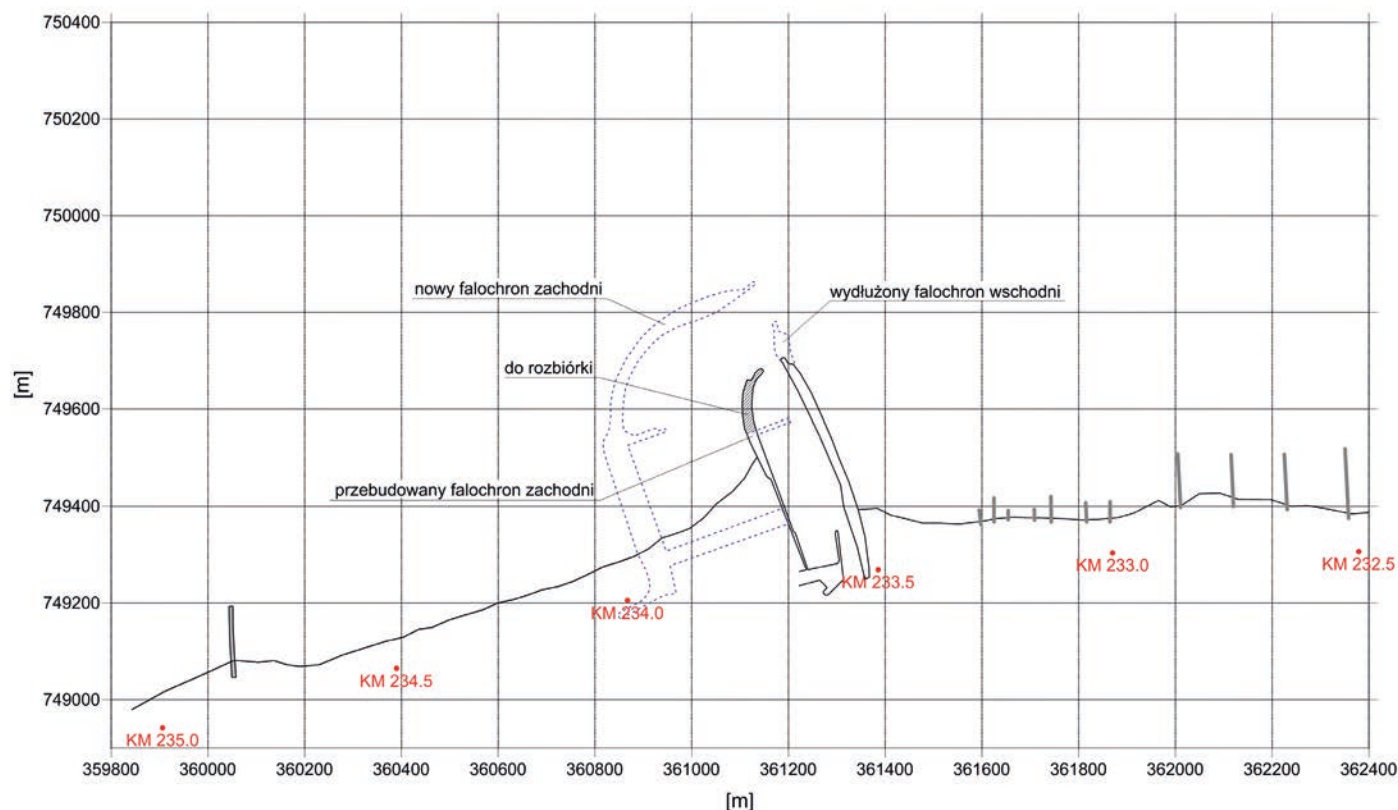
Planowane przedsięwzięcie obejmuje budowę nowego falochronu zachodniego oraz wydłużenie istniejącego falochronu wschodniego. Koncepcja przebudowy wejścia portowego przewiduje także rozbiórkę części istniejącego falochronu zachodniego, który po skróceniu będzie zakończony odbijaczem fal. Przy nowym falochronie zachodnim planowane jest wykonanie nabrzeża. Nabrzeże to zostanie od strony północnej zabezpieczone ostrogą chroniącą przed falowaniem. Nasada nowo projektowanego falochronu zachodniego będzie odsunięta w kierunku zachodnim o 250 m w stosunku do istniejącego falochronu zachodniego. Odmorski zasięg nowego falochronu

zachodniego będzie o 180 m większy niż zasięg istniejącego falochronu zachodniego, zob. rys. 7.

Prognozę zmienności położenia linii brzegowej w sytuacji rozbudowanych falochronów sporządzono z zastosowaniem oprogramowania UNIBEST-CL (wersja 4.0), działającego w oparciu o model jednej linii, którego podstawą jest zależność ewolucji brzegu od wzdłużbrzegowej zmienności wypadkowego natężenia ruchu osadów, kształtowanej klimatem falowym, przebiegiem linii brzegowej i obecnością budowli zakłócających naturalny transport osadów. Przyjęto zgodnie z koncepcją przebudowy wejścia do portu w Uście, że nowy falochron zachodni – mający kluczowy wpływ na procesy hydro- i litodynamiczne – sięgnie głębokości około 9 m. Wyniki progностycznych obliczeń zmian położenia linii brzegowej w bezpośrednim sąsiedztwie nowego falochronu zachodniego (akumulacja oznaczona wartościami dodatnimi) i w bezpośrednim sąsiedztwie falochronu wschodniego (erozja oznaczona wartościami ujemnymi) oraz wzdłużbrzegowy zasięg prognozowanych zmian przedstawiono w tabl. 2.

Tabl. 2. Wyniki obliczeń modelem jednej linii zmian położenia linii brzegowej w bezpośrednim sąsiedztwie nowego falochronu zachodniego (W) i w bezpośrednim sąsiedztwie falochronu wschodniego (E) oraz wzdłużbrzegowy zasięg zmian

Upływ czasu	Zmiana położenia linii brzegowej		Wzdłużbrzegowy zasięg zmian	
	W	E	W	E
1 rok	11 m	-10 m	100 m	150 m
5 lat	54 m	-79 m	400 m	300 m
10 lat	105 m	-170 m	700 m	600 m



Rys. 7. Zarys koncepcji przebudowy wejścia do portu w Uście (na podstawie [5])

Obliczone modelem zmiany położenia linii brzegowej dla 1 roku są w pełni wiarygodne. Dla dłuższych okresów predykcji, to jest dla 5 i 10 lat, zmiany położenia linii brzegowej przy falochronach prawdopodobnie są zawyżone, a wzdłużbrzegowe zasięgi zmian zaniżone, ponieważ – jak wspomniano uprzednio – długookresowe procesy morfodynamiczne umożliwią częściowe opływanie portu przez potok osadów, co zmniejszy natężenie akumulacji na zachód od portu i natężenie erozji na wschód od portu. Nie ulega jednak wątpliwości, że zjawisko erozji po stronie wschodniej w skali 5 ÷ 10 lat skutkować będzie cofnięciem się linii brzegowej o kilkadziesiąt metrów, zaś wzdłużbrzegowy zasięg zmian wyniesie na pewno co najmniej kilkaset metrów, a z dużym prawdopodobieństwem osiągnie 1 km.

Realizacja przedsięwzięcia spowoduje początkowo prawie całkowite, a w skali wielolecia znaczne, odcięcie wschodniego odcinka przyportowego od dopływu rumowiska z zachodu. Pociągnie to za sobą nasilenie erozji brzegu na wschód od portu.

Nowa sytuacja litodynamiczna pojawi się już w początkowej fazie realizacji pierwszego etapu robót, wraz z postępem budowy nowego falochronu zachodniego. W trakcie wykonywania części nasadowej tego falochronu zaistnieje nowa przeszkoda blokująca wzdłużbrzegowy transport osadów w strefie przybrzeżnej.

Po zakończeniu budowy nowego falochronu zachodniego, sięgającego głębokości 9 m, a więc prawie pełnego zasięgu strefy wzdłużbrzegowego transportu rumowiska, transport ten będzie początkowo niemal całkowicie zablokowany. Po upływie kilku lat, w efekcie postępującej akumulacji brzegu przy falochronie zachodnim, osady piaszczyste w niewielkim stopniu zaczną opływać rozbudowany port, ale wzdłużbrzegowy potok osadów będzie odrzucony w stronę morza bardziej niż obecnie i tylko część tych osadów będzie mogła powrócić do strefy przybrzeżnej. Pogłębiony deficyt osadów będzie przejawiać się silniejszą niż obecnie erozją brzegów na wschód od portu w Ustce.

PRZECIWDZIAŁANIE NEGATYWNYM SKUTKOM PRZEBUDOWY WEJŚCIA PORTOWEGO

Na mocy § 64 „Rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 1 czerwca 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać morskie budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie”, usytuowanie układu budowli morskich, a w szczególności falochronów, oraz ustalanie wymiarów akwatorium poprzedza się analizą zmian linii brzegowej i topografii dna morskiego przed i po realizacji budowli morskich. Przeprowadzona w ramach niniejszej pracy odnośna analiza wskazuje, że po realizacji przebudowy falochronów portowych w Ustce należy spodziewać się intensywniejszych niż obecnie zmian położenia linii brzegowej i rzeźby dna w morskiej strefie brzegowej.

Według § 60 wyżej wymienionego „Rozporządzenia” usytuowanie budowli morskich na odcinkach brzegów, gdzie charakterystyczną cechą strefy brzegowej jest transport osadów wzdłuż brzegu morskiego, wymaga określenia warunków do wykonania obejścia dla transportowanego materiału dennego. W analizowanym przypadku transport taki ma miejsce i charakteryzuje się dosyć dużym natężeniem. W związku z tym po realizacji przed-

sięwzięcia konieczne będzie długoterminowe prowadzenie prac związanych z zasilaniem osadami brzegu po wschodniej stronie portu.

Do zasilania plaży i przybrzeża na wschód od portu należy wykorzystać osady rzeczne pochodzące z pogłębiania kanału portowego oraz osady rzeczne i morskie pochodzące z pogłębiania awanportu, a także morskie osady pochodzące z pogłębiania wejścia portowego, toru podejściowego i osadników wykonanych na zachód i wschód od toru podejściowego na przedpolu wejścia portowego. Również już w trakcie realizacji przedsięwzięcia rumowisko pochodzące z robót czerpalnych zaleca się odkładać na plaży i w przybrzeżu po wschodniej stronie portu, co będzie miało charakter natychmiastowej kompensacji przyrodniczej. W kolejnych latach projekty budowlane sztucznego zasilania należy poprzedzić analizą i modelowaniem procesów morfodynamicznych w celu optymalnego doboru średnicy ziaren odkładanego urobku. Osady pochodzące z wyżej wymienionych źródeł – w przypadku nieodpowiedniej średnicy ziaren i związanej z tym faktem ograniczonej możliwości utrzymania się na brzegu – nie muszą być jedynym materiałem użytym do zasilania. Może on też częściowo być pozyskany z przebadanych uprzednio złóż nagromadzeń osadów piaszczystych znajdujących się na dnie morskim w pobliżu planowanych prac.

Według § 61 „Rozporządzenia” projekt usytuowania budowli morskiej wzdłuż brzegu poprzedza się oceną oddziaływania tej budowli na stateczność brzegu morskiego w rejonach nie podlegających zabezpieczeniu. Na mocy Ustawy z dnia 25 września 2015 r. o zmianie ustawy o ustanowieniu programu wieloletniego „Program ochrony brzegów morskich” (Dz. U. z dn. 23 października 2015 r. poz. 1700) rejon po wschodniej stronie portu w Ustce – oznaczony w odnośnej Ustawie jako odcinek brzegu „Ustka 2” (KM 231,0-233,5) podlega ochronie poprzez „sztuczne zasilanie z budowlami wspomagającymi” oraz „umocnienia brzegowe”. Skoro dwu i półkilometrowy odcinek brzegu na wschód od Ustki podlega ustawowej ochronie niezależnie od planu rozbudowy falochronów portowych, to wydaje się zasadne uzupełnienie luki w istniejącym systemie budowli wspomagających w bezpośrednim sąsiedztwie portu – na odcinku około 600 m od falochronu wschodniego (KM 232,9-233,5) – poprzez modernizację systemu ostróg brzegowych na odnośnym odcinku brzegu oraz wykonanie progów podwodnych analogicznych do wybudowanych w latach 2015-2016 na przylegającym odcinku wybrzeża (KM 232-232,9). Efektywność przedsięwzięć ochrony brzegu w Ustce jest obecnie wysoka. Podjęcie decyzji o uzupełnieniu systemu ochronnego wymagałoby uprzednich obserwacji długookresowej efektywności sztucznego zasilania oraz ostróg i progów wykonanych w latach 2015-2016.

PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych analiz i obliczeń sformułowano poniższe wnioski:

- Falochrony portowe w Ustce są najistotniejszym czynnikiem kształtującym długookresowe zmiany brzegu morskiego przejawiające się akumulacją piaszczystego rumowiska na zachód od portu i deficytem na wschód od portu.

- Różnica w położeniu linii brzegowej po zachodniej i wschodniej stronie portu wynosi obecnie około 200 m.
- Po zachodniej stronie portu w Ustce występuje wyraźnie rozbudowana tak zwana wydma przednia, zaś po wschodniej stronie portu wydmy występują w formie szczątkowej, a plaża swoją obecność i wymiary zawdzięcza stosowanym środkom ochrony brzegu.
- Natężenie wypadkowego transportu osadów, skierowanego z zachodu na wschód, w rejonie Ustki jest duże, rzędu 100 tys. m³/rok.
- W świetle modelowania teoretycznego, najintensywniejszy wzdłużbrzegowy transport rumowiska ma miejsce w strefie przybrzeżnej o szerokości około 200 m, to jest w zakresie głębokości do około 4 m. Nieco mniejsze natężenie transportu uzyskano dla odległości od około 300 ÷ 400 m do około 600 ÷ 800 m od linii brzegowej, to jest dla głębokości z przedziału od 4 ÷ 5 m do 7 ÷ 9 m. Dla większych głębokości, przekraczających 10 m (w odległości większej niż około 900 m od linii brzegowej), natężenie transportu osadów jest bliskie zeru.
- Rozbudowa falochronów spowoduje początkowo prawie całkowite, a w skali wielolecia znaczne, odcięcie wschodniego odcinka przypoportowego od dopływu rumowiska z zachodu, co pociągnie za sobą nasilenie erozji brzegu na wschód od portu.
- Zaburzenie obecnie zachodzących procesów litodynamicznych nastąpi już w pierwszym etapie prac związanych z przebudową wejścia portowego.
- Po upływie kilku lat, w efekcie postępującej akumulacji brzegu przy falochronie zachodnim, osady piaszczyste w niewielkim stopniu zaczną opływać rozbudowany port, ale wzdłużbrzegowy potok osadów będzie odrzucony w stronę morza bardziej niż obecnie i tylko część tych osadów będzie mogła powrócić do strefy przybrzeżnej, co skutkować będzie silniejszą niż obecnie erozją brzegów na wschód od portu w Ustce.
- Po realizacji przedsięwzięcia konieczne będzie długoterminowe prowadzenie prac związanych z zasilaniem osadami brzegu po wschodniej stronie portu.
- Do zasilania należy wykorzystać osady rzeczne pochodzące z pogłębiania kanału portowego oraz osady rzeczne i morskie pochodzące z pogłębiania awanportu, jak również morskie osady pochodzące z pogłębiania wejścia portowego, toru podejściowego i osadników wykonanych na zachód i wschód od toru podejściowego na przedpolu wejścia. Już w trakcie realizacji przedsięwzięcia rumowisko pochodzące z robót czerpalnych zaleca się odkładać na plaży i w przybrzeżu po wschodniej stronie portu, co będzie miało charakter natychmiastowej kompensacji przyrodniczej. Osady pochodzące z wyżej wymienionych źródeł – w przypadku nieodpowiedniej średnicy ziaren i związanej z tym faktem ograniczonej możliwości utrzymania się na brzegu – nie muszą być jedynym materiałem użytym do zasilania. Może on też częściowo być pozyskany z przebadanych uprzednio złóż nagromadzeń osadów piaszczystych znajdujących się na dnie morskim w pobliżu planowanych prac.
- Docelowo rozważyć należy uzupełnienie luki w istniejącym systemie budowli wspomagających w bezpośrednim sąsiedztwie portu – na odcinku około 600 m od falochronu wschodniego (KM 232,9-233,5) poprzez modernizację systemu ostróg brzegowych oraz wykonanie progów podwodnych analogicznych do wybudowanych w latach 2015-2016 na przylegającym odcinku wybrzeża (KM 232-232,9).
- Po zakończeniu przebudowy wejścia portowego, oprócz monitoringu zjawisk morfodynamicznych, przydatny byłby również monitoring lokalnych procesów hydrodynamicznych (fal i prądów).

LITERATURA

1. Bijker E. W.: Longshore Transport Computations. Journal of Waterways, Harbour and Coastal Engineering, 99, WW4, 687-701, 1971.
2. Dokumentacja z badań prób rdzeniowych gruntu z dna akwenów morskich portów Środkowego Wybrzeża – Port Ustka. F.U. GeomAr, Godziszewo, 2012.
3. Kaczmarek L.M., Mielczarski A., Naguszewski A., Ostrowski R., Pruszek Z., Skaja M., Szmytkiewicz M.: Badania ruchu rumowiska w porcie Łeba. Ocena przewidywanego wpływu projektowanej przebudowy układu falochronów na warunki zapiaszczania portu i na kształtowanie się brzegów. Raport z realizacji C2-24/95, IBW PAN, Gdańsk, 1996.
4. Kaczmarek L.M., Ostrowski R.: Modelling intensive near-bed sand transport under wave-current flow versus laboratory and field data, Coastal Engineering, 45, 1, 1-18, 2002.
5. Koncepcja przebudowy wejścia do Portu Ustka – projekt zagospodarowania terenu – wariant II. Zespół Rzeczoznawców Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych, Terenowa Grupa Rzeczoznawców w Gdańsku, 2017.
6. Ochrona brzegu w rejonie Ustka-wschód z uwzględnieniem wpływu przebudowy falochronów portowych. Wydawnictwo Instytutu Morskiego, Gdańsk, 1978.
7. Ostrowski R., Cerkowniak G., Piotrowska D., Skaja M., Swerpel B., Szmytkiewicz M., Szmytkiewicz P.: Analiza zmian linii brzegowej i topografii dna morskiego dla potrzeb realizacji przedsięwzięcia pn. „Przebudowa wejścia do Portu Ustka”. Raport z realizacji C2-24/2018, IBW PAN, Gdańsk, 2018.
8. Plan batymetryczny rejonu portu w Ustce i awanportu, 18-20.09.2018. Geo Ingenieurservice Polska.
9. Szopowski Z.: Małe porty Pomorza zachodniego w okresie do Drugiej Wojny Światowej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Oddział w Poznaniu, 1962.

PODZIĘKOWANIA: Wyniki badań przedstawione w niniejszym artykule uzyskano dzięki środkom finansowym udzielonym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego na rzecz działalności statutowej IBW PAN (grupa tematyczna 2) oraz w ramach realizacji projektu pt. Analiza zmian linii brzegowej i topografii dna morskiego dla potrzeb realizacji przedsięwzięcia pn. „Przebudowa wejścia do Portu Ustka”. Autorzy dziękują Zespołowi Rzeczoznawców Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych (Terenowej Grupie Rzeczoznawców w Gdańsku) oraz Urzędowi Morskiemu w Słupsku za udostępnienie materiałów.