

Oddziaływanie planowanych przystani morskich w rejonie miejscowości Dębki i Ostrowo

**Prof. dr hab. inż. Rafał Ostrowski¹, inż. Marek Skaja¹, dr hab. inż. Marek Szmytkiewicz¹,
dr inż. Piotr Szmytkiewicz¹, mgr inż. Robert Mokrzycki², mgr inż. Anna Stelmaszyk-Świerczyńska²**

¹Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku

²Urząd Morski w Gdyni

W bieżącym roku zrodziła się koncepcja wybudowania jachtowej przystani (mariny) na odcinku otwartego brzegu morskiego w rejonie miejscowości Dębki i Ostrowo. Przystań ta miałaby na celu wypełnić lukę w istniejących portach schronienia, z których korzystają żeglarze, a mianowicie marin we Władysławowie i w Lebie. Odległość pomiędzy tymi portami wynosi około 58 km (31 mil morskich) i dlatego budowa portu na tym odcinku wybrzeża może być zasadna. O ile bowiem duże jachty morskie, z reguły o konstrukcji balastowej (kilowej), pokonują o wiele większe dystanse w ciągu kilku godzin, o tyle mniejsze jednostki pływające, to jest żaglowe łódki balastowo-mieczowe oraz mieczowe (to nie rzadkość na Bałtyku), poruszają się z mniejszą prędkością i ich załogi prawdopodobnie chętnie skorzystałyby z przystani pomiędzy Władysławowem i Lebą. Z drugiej strony, obecne standardy prognoz meteorologicznych oraz ich dokładność i dostępność umożliwiają zaplanowanie bezpiecznej żeglugi wzdłuż całego polskiego wybrzeża, bez ryzyka pozostania na morzu w obliczu nadchodzącego sztormu. Niemniej jednak zaistniała konieczność przeanalizowania powstałego pomysłu oraz korzyści i konsekwencji jego realizacji.

W tej sytuacji Urząd Morski w Gdyni i Instytut Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku (na zlecenie Urzędu Morskiego w Gdyni) przedsięwziął badania dotyczące zasadności planowanego przedsięwzięcia i ewentualnych jego skutków w kontekście erozyjnych zagrożeń brzegu morskiego. Trzeba bowiem wiedzieć, że odcinek wybrzeża od Władysławowa do Łeby w wielu miejscach jest zagrożony problemami erozyjnymi i podlega ustawowej ochronie. Stąd wynikała troska Inspektoratu Ochrony Wybrzeża Urzędu Morskiego w Gdyni dotycząca skutków wybudowania dodatkowego portu. Wiadomo, że każda ingerencja techniczna na brzegu morskim, w szczególności związana z budową portowych konstrukcji hydrotechnicznych, może nieść za sobą poważne konsekwencje.

Pracę naukowo-badawczą (ekspertyzę) dotyczącą powyższego zagadnienia wykonał Zakład Mechaniki i Inżynierii Brzegów

IBW PAN we współpracy z Inspektoratem Ochrony Wybrzeża Urzędu Morskiego w Gdyni. W wyniku przeprowadzonych badań powstała opinia dotycząca ewentualnego oddziaływania planowanych przystani na brzeg morski w rejonie miejscowości Dębki i Ostrowo. Będący przedmiotem analizy odcinek brzegu zawiera się w przedziale kilometrażu od km 135,5 do km 149,5.

Zakres przeprowadzonych prac obejmował:

- analizę warunków geologicznych oraz hydro- i litodynamicznych charakterystycznych dla rejonu odcinka brzegu poddanego ekspertyzie,
- analizę oddziaływania planowanych przystani na brzeg morski.

W opracowaniu wykorzystano dane i materiały udostępnione przez Urząd Morski w Gdyni, wyniki wizji lokalnej i obserwacji terenowych, jak również publikacje naukowe oraz dane archiwalne będące w posiadaniu IBW PAN i ogólną literaturę przedmiotu.

CHARAKTERYSTYKA BRZEGU I PROCESÓW LITODYNAMICZNYCH

Opis brzegu

Rejon Dębek, Karwi i Ostrowa jest charakterystycznym odcinkiem „otwartego” brzegu morskiego nazywanego w opracowaniu Uścińowicza i in. [11] „mezoregionem Wybrzeża Słowińskiego”, ze znaczną powierzchnią pasa nadmorskiego zajmowaną przez pokrywy eoliczne – plażowe i wydmowe.

Według Uścińowicza i in. [11] w Dębkach osady holocenne reprezentowane są w strefie plaży przez bezwapniste piaski drobnoziarniste z domieszką substancji organicznej (często zwęglonej), lokalnie przez piaski pyłowate, mułki i torfy. Poza strefą wydmy, w obrębie niziny nadmorskiej, na powierzchni terenu zalegają holocenne mułki i piaski torfiaste, lokalnie torfy.

Pleystoceńskie osady piaszczyste, w części stropowej reprezentowane są przez bezwapniste piaski drobno i średnioziarniste z okruchami substancji organicznej. Poniżej zalegają wapniste piaski o podobnej granulacji. Strop glin zwałowych występuje na głębokości 24 m p.p.m. w skrajnie odlądowej części i zapada w kierunku morza. Piaski plażowe i mierzejowe występują w strefie plaży, a ich warstwa ma miąższość od 1,5 do 3,5 m. W strefie podbrzeża piaski mierzejowe występują do około 80 m od brzegu, gdzie zazębiają się z piaskami morskimi. Piaski morskie są reprezentowane głównie przez piaski drobnoziarniste o miąższości od około 1 m w obniżeniach międzyrewowych do 4 m w strefie rew. Tylko lokalnie na większych głębokościach (10 ÷ 12 m) miąższość ich dochodzi do 4,5 m. Piaski eoliczne o miąższościach do 6 ÷ 10 m występują jedynie w wąskim pasie przybrzeżnym.

Podobną budowę geologiczną ma według Uścińowicza i in. [11] brzeg morski w rejonie Karwi. Miąższość piasków plażowych i mierzejowych, głównie drobnoziarnistych, w strefie plaży waha się tu od około 0,5 m do 3 m, lokalnie do 7 m. W podbrzeżu miąższość piasków dochodzi do 5 m i rozprzestrzeniają się one do około 140 m od linii brzegowej, gdzie zazębiają się z piaskami morskimi. Osady eoliczne związane są z wąskim pasem przybrzeżnym, gdzie występują w pokrywach eolicznych i wydmach.

Według Mielczarskiego i Ostrowskiego [4] od Jastrzębiej Góry do Łeby, to jest na kilometrażu km 134,6 ÷ 183,0, występuje tak zwany wydmy odcinek wybrzeża. Z tabelarycznych danych zawartych w odpowiednim raporcie wynika, że na analizowanym odcinku (km 135,5 ÷ 149,5) dominuje typ brzegu „o stromej skarpie nadbrzeża”. Jest to zatem brzeg morski, na którym nie obserwuje się istotnych procesów akumulacyjnych, przejawiających się występowaniem rozległej wydmy (tak zwanej wydmy przedniej) o łagodnie nachylonym stoku odmorskim. Wręcz przeciwnie, w wielu miejscach brzeg jest chroniony opaskami oraz – w Ostrowie – za pomocą sztucznego zasilania piaskiem.

Po zachodniej stronie klifu w Jastrzębiej Górze (km 134,6) rozciąga się brzeg wydmy. Stanowi on część Niziny Karwieńskiej ciągnącej się aż do Białogóry zajmującej powierzchnię około 20 km². Znaczną część tego obszaru zajmują poldery o rzędnych terenu od około +0,5 m do około +1,0 m. Obszar polderów na wysokości Ostrowa osłonięty jest od morza pasmem wydmy o średniej szerokości wynoszącej około 200 m. Zróżnicowana niewielka wysokość wydmy sprawia, że nie stanowią one ciągłego wału ochronnego. Rzędne grzbietów wydmy nie osiągają miejscami rzędnej +4,0 m, a na zapleczu są obniżenia do rzędnych +1,0 m, a nawet do +0,3 m.

Nizina Karwieńska wraz z Mierzeją Karwieńską stanowią obszary, na których występowały okresowe wlewy morskie. Podczas znaczących wczesnych sztormowych dochodziło do przerywania nadbrzeżnego pasa wydmy i wlewu wód morskich w obręb mierzei, a w skrajnych przypadkach także na teren Niziny Karwieńskiej.

Ujścia rzeczne

Na analizowanym odcinku brzegu do morza wpływają trzy ciek: struga Czarna Woda, rzeczka Karwianka (Kanał Karwian-

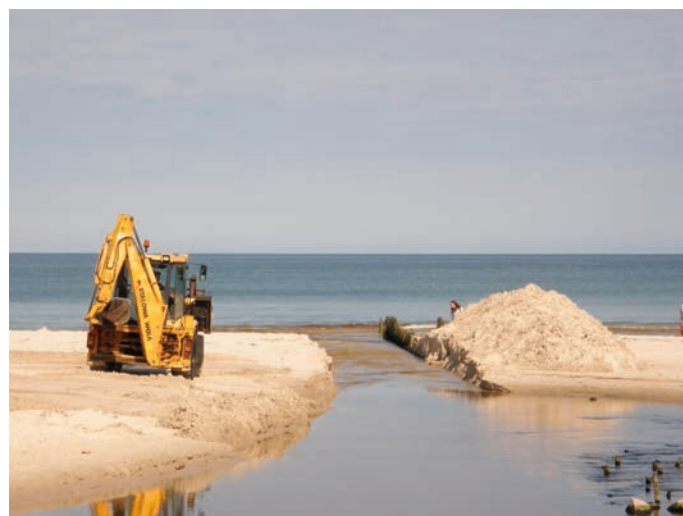
ka) i rzeka Piaśnica. W ujściach tych cieków występują problemy wynikające z przewagi morskich procesów erozyjnych nad rzeczno-akumulacyjnymi [5]. Owe problemy należy mieć na uwadze w przypadku planowania budowy przystani morskich w ujściach odpowiednich cieków.

Przykładem rzeki, w ujściu której obserwuje się lokalnie wzmoczoną erozję brzegu morskiego, jest Piaśnica. Ostatni jej odcinek, od Jeziora Żarnowieckiego do ujścia, jest w znacznej części uregulowany i obwałowany. W sąsiedztwie miejscowości Dębki ujściowy odcinek rzeki ma charakter meandrowy. Ujście Piaśnicy i zjawiska tam zachodzące były wielokrotnie przedmiotem zainteresowania zespołów badawczych IBW PAN.

Ujście Piaśnicy znajduje się na km 149,13 polskiego brzegu morskiego. Przed II wojną światową granica państwa w tym rejonie przebiegała na Piaśnicy. W celu zapobieżenia występowaniu na jej ujściowym odcinku niekorzystnych zjawisk morfodynamicznych, ujście rzeki uregulowano budowlami palisadowo-kamiennymi, które poddawane remontom przetrwały do lat siedemdziesiątych XX wieku. Do czasów obecnych zachowały się jedynie szczątki drewnianych palisad (rys. 1).



Rys. 1. Pozostałości palisadowo-kamiennych konstrukcji w ujściu rzeki Piaśnicy (km 149,13), 2018 rok (fot. R. Ostrowski)



Rys. 2. Wykonywanie kiny w ujściu Piaśnicy (km 149,13), 06.09.2021 rok (fot. R. Ostrowski)

Ujściowy odcinek Piaśnicy należy do rezerwatu przyrody Piaśnickie Łąki, zajmujący powierzchnię 56,2 ha na obszarze Nadmorskiego Parku Krajobrazowego. Fakt ten stanowi dla ekologów podstawę do oprostowywania planów przedsięwzięć technicznych ukierunkowanych na rozwiązanie problemów erozyjnych w rejonie ujścia rzeki. Z tej przyczyny jedynym dopuszczalnym, aczkolwiek mało skutecznym, zabiegiem regulacyjnym prowadzonym w ujściu Piaśnicy jest okresowe wykonywanie w plaży tak zwanej kinety, czyli wykopu inicjującego odpływ wody rzecznej w kierunku prostopadłym do linii brzegowej (rys. 2).

Dominacja kierunku wzdłużbrzegowych procesów hydro- i litodynamicznych z zachodu na wschód przejawia się między innymi odchyleniem w kierunku wschodnim ujściowego (plażowego) odcinka Piaśnicy i wynikającej stąd konieczności obudowy jej ujścia falochronami kierującymi. Jak już wspomniano, ingerencja techniczna w ujściach rzek – nie tylko Piaśnicy, ale na przykład również Lubiatówki (km 163,23) – zaburzająca ich naturalny meandrujący charakter, jest z reguły krytykowana przez ekologów i podlega ścisłej kontroli ze strony różnych urzędów i instytucji, na przykład ze strony RDOŚ (Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska).

Wskutek zjawisk meandrowych linia wydm przylegających do ujścia Piaśnicy ma kształt asymetrycznego leja o szerokości około 80 m w kierunku zachodnim i około 250 m w kierunku wschodnim. Płynąca okresowo wzdłuż podstawy wydmy Piaśnica powoduje jej rozmywanie. Wobec braku ujściowych falochronów kierujących rzeka ma możliwość swobodnego meandrowania. Podczas ekstremalnych spiętrzeń sztormowych ujście ulega przemieszczeniu w kierunku wschodnim lub zachodnim, a przepływ rzeczny wraz z falowaniem morskim oddziałuje erozyjnie na wydmy. Ze względu na klimat wiatrowo-falowy koryto ujścia Piaśnicy odchyła się najczęściej w kierunku wschodnim i znajduje się w pobliżu podstawy pasa wydm. Po ustąpieniu warunków sztormowych układ w planie ujściowego odcinka rzeki nie sprzyja procesom eolicznym, w wyniku oddziaływania których wydmy mogłyby zostać w naturalny sposób odbudowane. Przy wystąpieniu kolejnego sztormu woda morska wdziera się w koryto rzeki u podstawy wydmy powodując jej erozję. W sytuacji braku uregulowania ujściowego odcinka rzeki nie ma możliwości odprowadzenia wezbrania sztormowego w głąb łąd pomiędzy obudowanymi brzegami koryta i woda morska rozlewa się na boki, powodując erozję wydm tworzących opisany uprzednio „lej” ujściowy.

W trakcie badań prowadzonych przez IBW PAN stwierdzono przegłębienie strefy przybrzeżnej poprzez meandrujący na plaży ujściowy odcinek Piaśnicy. Przegłębienie to, mające charakter aktywnego koryta rzeczno-błotnego bądź (okresowo) starorzecza, w warunkach spiętrzeń sztormowych nie sprzyja dyssypacji energii fal morskich na skłonie podbrzeża, przez co relatywnie wysokie fale bezpośrednio oddziałują na utwory wydmy i powodują ich erozję.

Pasy wydm stanowią naturalną osłonę przeciwpowodziową obszaru łądowego terenu wsi Dębki, położonej na wschód od ujścia. Wyróżnić tu można wydmy odmorską (częściowo o charakterze tak zwanej wydmy przedniej, a częściowo zalesioną, na znacznej długości z podcięciem abrazyjnym) i wydmy odlądową (czyli wydmy szarą, całkowicie zalesioną). Na znacznym odcinku wzdłużbrzegowym występuje też trzeci pas zalesionych wydm. W przypadku przerwania wszystkich pasów wydm pod-

czas spiętrzenia sztormowego, zabudowaniom Dębek groziłaby powódź, a przynajmniej podtopienie. Jest to jednakże bardzo mało prawdopodobne w krótkiej perspektywie czasowej. O ile z uwagi na lokalnie niskie rzędne skraju plaży (a zarazem stopy wydmy) erozja wydmy postępować będzie podczas każdego sztormu, o tyle ze względu na znaczne kubatury piasku zgromadzone w utworach wydmywanych bezpośrednio morskie zagrożenie powodziowe dla Dębek może wystąpić nie wcześniej niż za kilkanaście, kilkadziesiąt lat.

Nieco większe zagrożenia erozyjno-powodziowe, również w pewnym stopniu związane z ujściami dwóch małych rzek, występują w niewielkiej odległości na wschód od ujścia Piaśnicy – w Karwi i Ostrowie. Rzeki te to uchodząca do morza w rejonie Ostrowa struga Czarna Woda (km 138,0) oraz – mająca ujście w Karwi – rzeczka Karwianka (km 140,6).

Czarna Woda w ujściowym odcinku – ze względu na zagrożenie powodziowe, które stwarza nisko położonym terenom nadmorskim – jest obwałowana i płynie w przybliżeniu równoleżnikowo w kierunku zachodnim po odlądowej stronie drogi wojewódzkiej nr 215. W rejonie km 138,0 rzeczka skręca na północ pod most drogowy i wpada do morza w odległości około 200 m od drogi. Wskutek dawnego meandrowania Czarnej Wody w obrębie plaży oraz erozji sztormowej linia wydm przylegających do ujścia ma kształt leja o szerokości podstawy wynoszącej około 100 m. Starą palisadową obudowę ujściowego odcinka strugi uzupełniono w ostatnich latach umocnieniami wydm za pomocą konstrukcji gabionowych. Odcinkowo brzegi koryta w rejonie podstawy pasa wydm wzmocniono ściankami szczelnymi z tworzywa sztucznego. Stare palisady wyposażono w poziome stężenia, co zwiększyło ich odporność na oddziaływanie czynników hydrodynamicznych i zjawisk lodowych. W obecności ujściowych falochronów kierujących rzeka nie ma możliwości swobodnego meandrowania, a podczas spiętrzeń sztormowych ujście nie ulega przemieszczeniu. Każde większe wezbranie sztormowe odprowadzane jest korytem w głąb łąd, gdzie jednakże nie stanowi – dzięki obwałowaniom – zagrożenia powodziowego. Uregulowanie ujściowego odcinka Czarnej Wody przyczyniło się do uaktywnienia naturalnych procesów eolicznych sprzyjających akumulacji osadów na plaży i u podstawy wydmy. Ponadto rejon Ostrowa poddano niedawno intensywnemu sztuczemu zasilaniu.

Podobnej renowacji, a właściwie w znacznej mierze odbudowie, wymagają falochrony kierujące w ujściu Karwianki. Wykonano je przed kilkadziesiąt laty jako konstrukcje palisadowe (falochron wschodni) i palisadowo-kamienne (falochron zachodni) posadowione w poprzek wydmy oraz plaży w kierunku NNW i zakrzywione w pobliżu morskiej linii brzegowej w kierunku NE. Falochron wschodni jest w złym stanie technicznym, zaś falochron zachodni zachował się częściowo jedynie w obrębie pasa wydm oraz w formie szczątkowej w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej.

Ujściowy odcinek Karwianki ma duże znaczenie dla gospodarki wodnej w rejonie Karwi. Około 150 m na południe od morskiej linii brzegowej łączą się dwie gałęzie Kanału Karwianka – jedna płynąca z południa i odwadniająca tereny w pobliżu wsi Karwieńskie Błoto Pierwsze oraz druga – płynąca od zachodu, z rejonu wsi Karwieńskie Błoto Drugie. W tym miejscu znajduje się zespół hydrotechnicznych budowli ochrony przeciwpowodziowej z wrotami przeciwsztormowymi i stacją pomp.

Linia podstawy wydmy w rejonie ujścia Karwianki ma kształt leja o szerokości podstawy wynoszącej około 130 m. O ile wydma na zachód od ujścia jest skutecznie umocniona opaskami (zarówno w części przylegającej do koryta, jak i w części wzdłużbrzegowej), o tyle wydma po stronie wschodniej pozostaje nieumocniona, z symptomami procesów erozyjnych, najprawdopodobniej wzmoczonych wskutek braku skutecznej regulacji ujścia rzeki. W rejonie tym łączna szerokość pasa wydmy przedniej i wydmy szarej wynosi od 140 m do 180 m. Wydmy te stanowią naturalną osłonę przeciwpowodziową nisko położonych terenów Karwi. Przerwanie wszystkich wyżej wymienionych wydym, zawierających znaczne kubatury piasku, nie może jednakże wystąpić w krótkiej perspektywie czasowej i dlatego Karwia nie jest obecnie zagrożona bezpośrednim ryzykiem powodzi lub podtopienia.

Wzdłużbrzegowy transport osadów

Klimat falowo-prądowy i wynikające z niego jakościowe oraz ilościowe charakterystyki procesów litodynamicznych na polskim wybrzeżu Bałtyku jednoznacznie wskazują na dominujący wzdłużbrzegowy transport osadów z zachodu na wschód. O ile w rejonie Świnoujścia, Darłowa i Kołobrzegu wykryto pewne jakościowe odstępstwa (przejawiające się ruchem osadów w kierunku wschodnim), o tyle schemat litodynamiki brzegu morskiego generowany wiatrami, falowaniem i prądami z kierunków zachodnich (to jest zachodnich, ale również południowo-zachodnich i północno-zachodnich) pozostaje niekwestionowany na długim odcinku wybrzeża na wschód od Jarosławca (km 255) do Półwyspu Helskiego włącznie. Na podstawie wyników teoretycznych analiz Pruszk i Skaja [6] stwierdzili, że na odcinku wybrzeża od Łeby do Jastrzębiej Góry wypadkowy transport osadów w wieloletnim skierowany jest z zachodu na wschód, a jego natężenie wynosi około 100 000 m³/rok. Według wcześniejszych studiów, dotyczących zapiaszczania toru podejściowego do portu w Łebie [2], natężenie wzdłużbrzegowego potoku rumowiska (traktowanego jako kluczowa siła sprawcza zapiaszczania toru podejściowego i wejścia do portu) jest rzędu 70 ÷ 80 tys. m³/rok.

Szczegółowe obliczenia natężenia transportu osadów wykonano w ostatnich latach dla reprezentatywnego profilu ba-

tymetrycznego położonego na km 140,0, a więc znajdującego się nieco na wschód od ujścia Karwianki. W celu określenia parametrów falowania występujących w średnim roku statystycznym przeanalizowano otrzymane z rekonstrukcji falowania na Bałtyku zbiory falowe punktów prognostycznych z lat 1958-2001 (44 lata) i wybrano punkt położony na otwartym morzu o współrzędnych 54°54,74' N, 18°17,13' E, w którym głębokość wynosi około 23 m. Następnie, w celu wyznaczenia czasów trwania falowania o określonych parametrach w średnim roku statystycznym, przyjęto przedziały wysokości fali co 0,5 m i dla każdego z nich obliczono wysokości fal znacznych H_s , okresy piku T_p , azymuty kątów podchodzenia fali A_z oraz łączne czasy trwania w ciągu roku.

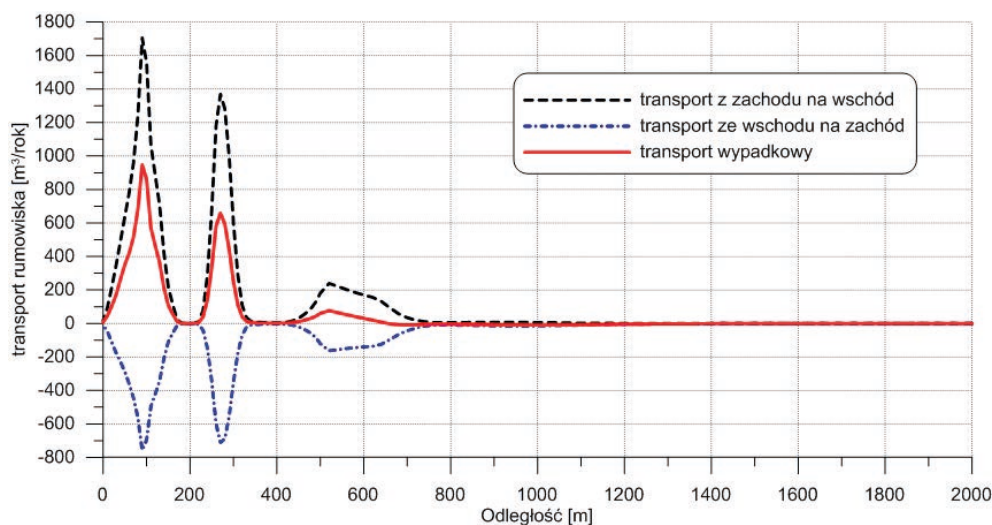
Łączny czas trwania falowania w średnim roku statystycznym wynosi 261,3 dni. Najwyższe fale są generowane przez wiatry wiejące z kierunków NNE, NW, NNW i N, niższe fale – przez wiatry z kierunków ENE i E. Fale o wysokościach większych od 1 m dla wszystkich kierunków występują łącznie w ciągu roku przez 87,2 dni, o wysokościach przekraczających 2 m występują łącznie w ciągu roku przez 19,7 dni, wyższe od 3 m przez 4,3 dni, wyższe od 4 m przez 0,9 dni (~22 godz.) i wyższe od 5 m przez 0,2 dni (~5 godz.).

Obliczone roczne natężenie wzdłużbrzegowego transportu rumowiska dla warunków falowych występujących w średnim roku statystycznym na profilu batymetrycznym położonym w Karwi (km 140,0) przedstawiono w tabl. 1.

Tabl. 1. Obliczone roczne sumaryczne wielkości transportu rumowiska w rejonie Karwi (km 140,0) skierowanego z zachodu na wschód, ze wschodu na zachód oraz transportu wypadkowego

Transport skierowany z zachodu na wschód [m ³ /rok]	Transport skierowany ze wschodu na zachód [m ³ /rok]	Transport wypadkowy [m ³ /rok]
224 000	-128 000	96 000

Na rys. 3 pokazano rozkład natężenia ruchu osadów w funkcji odległości od brzegu. Transport osadów skierowany z zachodu na wschód traktowany jest jako dodatni, a w kierunku przeciwnym jako ujemny.



Rys. 3. Obliczony rozkład transportu wzdłużbrzegowego w funkcji odległości od brzegu dla rejonu Karwi (km 140,0)

Z przedstawionych w tabl. 1 wartości liczbowych natężenia transportu osadów oraz z pokazanych na rys. 3 ich rozkładów w funkcji odległości od brzegu wynika, że:

- występują dwa wyraźne strumienie transportu osadów, pierwszy zlokalizowany w odległości około 100 m od brzegu i drugi przemieszczający się w odległości około 300 m od brzegu,
- roczny transport rumowiska z zachodu na wschód jest w przybliżeniu dwukrotnie większy od transportu osadów skierowanych ze wschodu na zachód,
- wypadkowa kubatura rocznego transportu rumowiska z zachodu na wschód wynosi 96 tys. m³, co jest zgodne z generalną oceną natężenia transportu rumowiska w tym rejonie otwartego morza, podawaną w literaturze jako równą około 100 tys. m³/rok.

WPŁYW PLANOWANYCH PRZYSTANI NA BRZEG MORSKI

Na analizowanym odcinku wybrzeża rozważana jest ewentualność budowy przystani morskich. W przypadku osłonięcia przystani falochronami wychodzącymi w morze, falochrony te „przetną” przybrzeżną część strefy przyboju, w której morskie procesy litodynamiczne charakteryzują się wysoką dynamiką.

O ewolucji brzegu morskiego przeważnie decyduje przestrzenna zmienność wypadkowego natężenia transportu osadów. Wartości tego natężenia są dla rejonu Dębek, Karwi i Ostrowa znaczne (rzędu 100 tys. m³/rok). W przypadku istotnego zaburzenia tak intensywnego wzdłużbrzegowego ruchu osadów należy się liczyć z konsekwencjami morfodynamicznymi morskiej strefy brzegowej.

W przeciwieństwie do rejonu ujścia Piaśnicy (km 149,13) odcinek brzegu z ujściami Czarnej Wody i Karwianki (to jest od km 134,6 do km 143,5) na mocy Ustawy z dnia 25 września 2015 roku o zmianie ustawy o ustanowieniu programu wieloletniego „Program ochrony brzegów morskich” (Dz. U. z dn. 23 października 2015 r. poz. 700) [10] podlega ochronie przeciwerozrywnej za pomocą sztucznego zasilania i umocnień brzegowych.

Według Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 17 listopada 2017 roku w sprawie minimalnych poziomów bezpieczeństwa brzegu morskiego oraz przebiegu granicznej linii ochrony brzegu morskiego (Dz. U. z dn. 7 grudnia 2017 r. poz. 2266) [8], dla kilometrażu obejmującego lokalizację planowanych przystani (km 135,5 ÷ 149,5) wymagany minimalny poziom bezpieczeństwa brzegu jest bardzo zróżnicowany i wynosi „nie więcej niż 20 lat” (km 138,10 ÷ 140,60 i km 142,00 ÷ 173,94), „50 lat” (km 140,60 ÷ 142,00) oraz „100 lat” (km 134,60 ÷ 138,00). Oznacza to, że brzeg w tym rejonie powinien być zabezpieczony w stopniu wystarczającym, aby nie uległ erozji w wyniku oddziaływania sztormu występującego – w odniesieniu do kilku różnych odcinków – raz na 20, 50 lub 100 lat¹. Nie jest

to wymóg wygórowany (20 lat) dla odcinka brzegu od ujścia Czarnej Wody (km 138,0) do ujścia Karwianki (km 140,6) oraz dla odcinka położonego na zachód od obszaru „Karwieńskie Błoto Drugie”, w tym dla ujścia Piaśnicy. Wysokie wymagania (100 lat) postawiono natomiast odcinkowi brzegu w rejonie Ostrowa – na wschód od ujścia Czarnej Wody, umiarkowane zaś (50 lat) – około półtorakilometrowemu odcinkowi brzegu na zachód od ujścia Karwianki. Nie ulega jednak wątpliwości, że analizowany odcinek brzegu morskiego jest w kontekście zabezpieczenia przeciwerozrywnego przedmiotem bacznej uwagi ustawodawcy i Urzędu Morskiego w Gdyni.

Jak już wspomniano, w odniesieniu do analizowanego obszaru istnieją poważne przesłanki świadczące o dosyć intensywnym wzdłużbrzegowym transporcie osadów wypadkowo w wieloletnim skierowanym z zachodu na wschód. Szerokość strefy wzdłużbrzegowego ruchu osadów jest zmienna i zależy od kształtu poprzecznego profilu brzegu oraz od chwilowych warunków hydrometeorologicznych. Podczas słabego faloowania rumowisko piaszczyste ulega przemieszczaniu jedynie w bezpośrednim sąsiedztwie linii brzegowej, zaś podczas silnych sztormów strefa ruchu rumowiska rozciąga się na setki metrów od brzegu, do tak zwanej głębokości zamknięcia². W warunkach południowego Bałtyku głębokość zamknięcia wynosi 6 ÷ 8 m (zob. np. [1]). Wartości głębokości zamknięcia są zmienne wzdłużbrzegowo i odpowiadają odległościom od linii brzegowej z przedziału około 800 ÷ 1000 m, występując na odmorskim skłonie rewy najbardziej oddalonej od brzegu, a nawet dalej – poza systemem rew.

W świetle powyższego jest oczywiste, że przegrodzenie morskiej strefy brzegowej budowlą prostopadłą do brzegu stworzy przeszkodę dla swobodnego przemieszczania się osadów. Jako przykład takiego oddziaływania tradycyjnie podaje się port we Władysławowie³. Typowym symptomem zaburzenia ciągłości potoku rumowiska przez budowlę jest akumulacja osadów przed budowlą, to jest po stronie podprądowej (podwietrznej), oraz erozja brzegu za budowlą – po stronie zaprądowej (zawietrznej). Ten ostatni efekt – regresja linii brzegowej – jest szczególnie groźny i z reguły wymaga interwencji technicznej, to jest wdrożenia działań ukierunkowanych na przeciwerozrywną ochronę brzegu.

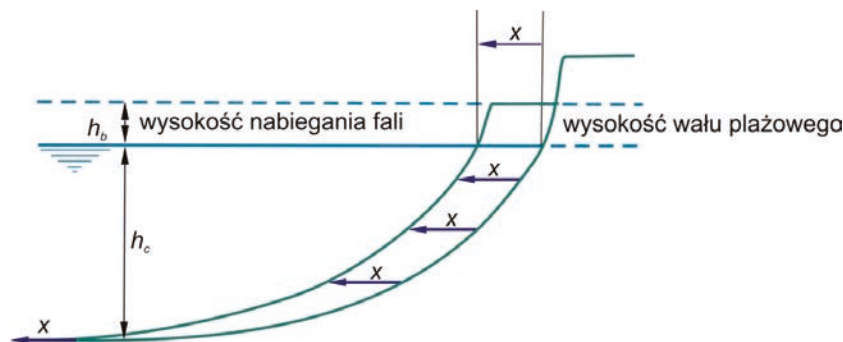
Ewolucja położenia linii brzegowej, w tym czasowo-przestrzenna zmienność brzegu w sąsiedztwie budowli, jest najczęściej prognozowana z zastosowaniem tak zwanego modelu jednej linii, w ramach którego zakłada się, że brzeg morski reprezentuje linia brzegowa i przekrój poprzeczny brzegu o kształcie niezmiennym dla rozpatrywanego odcinka wybrzeża. Założenie to mocno upraszcza topografię brzegu i jest do zaakceptowania jedynie w przypadku modelowania zgrubnego i wielkoskalowego. Model jednej linii jest zatem stosowany głównie do przedziałów czasowych rzędu miesięcy, lat i dziesiątek lat.

Migracja linii brzegowej w czasie ($\partial x / \partial t$) związana jest z przestrzenną (wzdłużbrzegową) zmiennością wypadkowego

² Jest to głębokość „zamykająca” profil poprzeczny brzegu od strony morza.

³ W wyniku wybudowania w latach 1936-1937 portu we Władysławowie, falochron północny (dawniej nazywany zachodnim) sięgnął głębokości około 5 m, przecinając naturalny system rew i tworząc przeszkodę dla wzdłużbrzegowego ruchu osadów. W ciągu kilku następnych lat nastąpiła znaczna akumulacja osadów na zachód od portu. Jednocześnie na wschód od Władysławowa, u nasady Półwyspu Helskiego, zaobserwowano silną erozję brzegu morskiego.

¹ Definicja zamieszczona w Rozporządzeniu mówi, że „przez sztorm o prawdopodobieństwie zdarzenia 1 raz na N lat rozumie się sztorm wywołany wiatrem o średniej prędkości 18 m/s, wiejącym na obszarze Morza Bałtyckiego z najbardziej niekorzystnego kierunku w stosunku do brzegu przez 5 godzin, przy jednoczesnym wystąpieniu wysokiego poziomu wody w morzu o prawdopodobieństwie 1 raz na N lat”.



Rys. 4. Zmiana położenia linii brzegowej i przemieszczenie profilu poprzecznego brzegu w modelu jednej linii

natężenia wzdłużbrzegowego transportu osadów ($\partial q_y / \partial y$), co opisane jest przez następujące równanie (zob. np. [3]):

$$\frac{\partial q_y}{\partial y} \pm q_0 + (h_c + h_b) \frac{\partial x}{\partial t} = 0$$

Jest to równanie ciągłości dla rumowiska, w którym h_c jest głębokością zamknięcia (ang. *depth of closure*), h_b jest wysokością wału plażowego (ang. *beach berm*), zaś q_0 oznacza źródła osadów (dopływ rumowiska niesionego przez rzekę, sztuczne zasilanie brzegu) i upusty osadów (czerpanie piasku w strefie brzegowej, na przykład do celów budowlanych).

W modelu jednej linii zmianie położenia linii brzegowej towarzyszy przemieszczenie całego profilu poprzecznego brzegu, z zachowaniem jego kształtu, co obrazuje rys. 4.

Analizując równanie opisujące model jednej linii, można stwierdzić, że gwałtowny spadek natężenia wzdłużbrzegowego ruchu osadów q_y , przed budowlą (przejawiający się ujemną wartością $\partial q_y / \partial y$) spowodowany jej blokującym oddziaływaniem, będzie zrekompensowany szybką transgresją linii brzegowej (przejawiającą się dodatnią wartością $\partial x / \partial t$). Z kolei za budowlą, to jest po stronie zaprawdowej, przybrzeżny potok rumowiska ulegnie naturalnemu „nasyconiu”, co teoretyczny model jednej linii odzwierciedli dodatnią wartością $\partial q_y / \partial y$ (wzrost natężenia ruchu osadów) i ujemną wartością $\partial x / \partial t$, oznaczającą regresję linii brzegowej.

Należy zauważyć, że zależność pomiędzy zmianą natężenia transportu rumowiska a ewolucją położenia linii brzegowej jest liniowa. Ewolucja położenia linii brzegowej wystąpi zatem w takim samym stopniu, w jakim natężenie ruchu osadów będzie zredukowane. Innymi słowy, jeżeli oddziaływanie budowli wywoła niewielkie zaburzenie ruchu osadów, to i zmiany położenia linii brzegowej będą znikome.

W kontekście powyższych rozważań znaczenia nabierają dwie geometryczne cechy planowanej zabudowy brzegu, mianowicie jej długość (odmorski zasięg) oraz przepuszczalność (ażurowość). W odniesieniu do przystani morskiej istnieją dwa zasadnicze rodzaje rozwiązania technicznego:

- przystań nieosłonięta przed falowaniem, w postaci pirsu (mola);
- przystań osłonięta falochronem/falochronami.

W przypadku pirsu jego długość narzucona będzie przez wymagania i warunki projektowe o charakterze funkcjonalnym. Jego konstrukcja powinna być zaprojektowana w sposób zapewniający ażurowość wystarczającą, aby pirs stanowił budowlę

przepuszczalną. Przy ażurowości wynoszącej na przykład 95% planowany pirs w skali wielolecia spowoduje w swoim sąsiedztwie niewielkie (pięcioprocentowe) zmiany natężenia ruchu osadów – rzędu co najwyżej 5000 m³/rok (0,05 × 100000 m³/rok) – i wywołać może znikome zmiany położenia linii brzegowej.

Przystań w postaci pirsu ma oczywiście bardzo ograniczoną funkcjonalność. Analizowany odcinek brzegu należy do części polskiego wybrzeża poddanej najsilniejszym oddziaływaniom hydrodynamicznym. Brak osłonięcia przed falowaniem czyni taką przystań bezużyteczną przez znaczną część roku.

W przypadku przystani mającej charakter portu schronienia osłaniające ją falochrony stanowić będą zabudowę nieprzepuszczalną. Stopień zaburzenia wzdłużbrzegowego ruchu rumowiska i intensywność procesów akumulacyjno-erozyjnych wywołanych tym zaburzeniem będzie zależeć od odmorskiego zasięgu zabudowy strefy brzegowej. Krótkie falochrony o odmorskim zasięgu rzędu 100 m – jak na przykład w Rowach (km 217,48) – nie zapewniają wymaganych głębokości nawigacyjnych, ponieważ wejście do przystani jest intensywnie zapiaszczane. W takiej sytuacji i w wielu innych konieczne jest częste prowadzenie robót czerpalnych, a nawet – co ma miejsce w kilku portach – stałe utrzymywanie pogłębiarki. Długie kilkusetmetrowe falochrony (na przykład we Władysławowie) są pod tym względem skuteczniejsze. W każdym przypadku obecność zabudowy brzegu w rodzaju falochronów portowych wywołuje silną akumulację osadów po stronie podprądowej (zachodniej⁴) i dotkliwie zjawiska erozyjne po stronie zaprawdowej (wschodniej⁴).

W przypadku większości portów położonych nad otwartym morzem z falochronami wychodzącymi w morze i z torami podejściowymi biegnącymi przez relatywnie niewielkie głębokości naturalne (na przykład Ustka, Łeba, Władysławowo) proces zapiaszczania jest zawsze intensywny, a zapewnienie bezpiecznej nawigacji wymaga prowadzenia regularnych prac pogłębiarskich oraz – jak się okazuje w praktyce – prawie każdorazowego pogłębienia rejonu wejścia do portu po wystąpieniu silniejszego sztormu, w wyniku którego z reguły następuje znaczna akumulacja osadów w torze podejściowym i jego spłylenie. Przystań z falochronami wybudowana na odcinku Dębki – Ostrowo z pewnością doświadczyłaby tego rodzaju problemów.

W warunkach południowego Bałtyku strefa wzdłużbrzegowego ruchu osadów ma szerokość 800 ÷ 1000 m, przy czym w średnim roku statystycznym znaczna większość rumowiska przenoszona jest w przybrzeżnej strefie o szerokości około

⁴ Na przeważającej długości polskiego wybrzeża, w tym z pewnością na odcinku od Jarosławca do Helu.

200 m [9]. Jeżeli falochrony planowanej przystani sięgną odległości 200 m od linii brzegowej, to zatrzymają one co najmniej połowę kubatury rocznego wypadkowego transportu osadów ($0,5 \times 100\,000\text{ m}^3 = 50\,000\text{ m}^3$). Na mocy równania modelu jednej linii oznacza to akumulację i erozję (odpowiednio po zachodniej i wschodniej stronie przystani) przejawiającą się zmianą położenia linii brzegowej. Załóżmy, że rozciągłość wzdłużbrzegowa planowanej przystani będzie taka sama jak zasięg falochronów i wyniesie $\Delta y = 200\text{ m}$. Przyjmując głębokość zamknięcia $h_c = 8\text{ m}$ (i zaniedbując niską wartość wysokości wału plażowego h_p), otrzymujemy z równania modelu jednej linii⁵ cofnięcie się linii brzegowej po wschodniej stronie przystani o około 16 m w ciągu roku.

Konkludując, falochrony przystani planowanych na analizowanym odcinku wybrzeża wywołają poważne zjawiska erozyjne i akumulacyjne, prawdopodobnie skutkujące koniecznością lokalnej ochrony brzegu. Utrzymanie przystani wymagać będzie prowadzenia regularnych prac pogłębiarskich.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy teoretycznej warunków hydro- i litodynamicznych oraz aspektu oddziaływania planowanych przystani na brzeg morski w rejonie miejscowości Dębki, Karwia i Ostrowo stwierdzono, co następuje.

Jest to wydomy odcinek brzegu, z dominującym typem brzegu „o stromej skarpie nadbrzeża”, na którym nie obserwuje się istotnych procesów akumulacyjnych. Przeciwnie, w wielu miejscach brzeg jest chroniony opaskami oraz przez sztuczne zasilanie piaskiem.

Według obowiązujących norm prawnych brzeg morski na analizowanym odcinku częściowo podlega ochronie przeciwerozyjnej za pomocą sztucznego zasilania i umocnień brzegowych. Wymagany minimalny poziom bezpieczeństwa brzegu jest bardzo zróżnicowany i wynosi 20 lat ($\text{km } 138,10 \div 140,60$ i $\text{km } 142,00 \div 173,94$), 50 lat ($\text{km } 140,60 \div 142,00$) oraz 100 lat ($\text{km } 134,60 \div 138$).

Na analizowanym odcinku brzegu do morza wpływają trzy ciekiki: Czarna Woda, Karwianka i Piaśnica. W ujściach tych cieków występują problemy wynikające z przewagi morskich procesów erozyjnych nad rzecznościami akumulacyjnymi. Owe problemy należy mieć na uwadze w przypadku planowania budowy przystani morskich w ujściach odnośnych cieków.

W analizowanym obszarze wypadkowy wzdłużbrzegowy transport osadów jest w wieloletnim kierunku z zachodu na wschód, a jego natężenie w średnim roku statystycznym wynosi około 100 tys. m^3/rok .

Głębokość zamknięcia (określająca zasięg strefy ruchu osadów) wynosi $6 \div 8\text{ m}$. Wartości głębokości zamknięcia odpowiadają odległościom od linii brzegowej z przedziału około $800 \div 1000\text{ m}$, występując na podmorskim skłonie rewy najbardziej oddalony od brzegu, a nawet dalej – poza systemem rewy. W średnim roku statystycznym znaczna większość rumowiska przenoszona jest w przybrzeżnej strefie o szerokości około 200 m.

Przegrodzenie morskiej strefy brzegowej budowlą prostopadłą do brzegu stworzy przeszkodę dla swobodnego przemiesz-

⁵ Aproksymując to równanie równaniem różnicowym z wykorzystaniem zmodyfikowanego schematu Laxa (zob. np. [5, 7]).

czania się osadów. Skutkować to będzie akumulacją osadów przed budowlą, to jest po stronie podprądowej (zachodniej), oraz erozją brzegu za budowlą – po stronie zaprądowej (wschodniej).

Falochrony przystani planowanych na analizowanym odcinku wybrzeża wywołają poważne zjawiska erozyjne i akumulacyjne. Z modelu jednej linii wynika, że jeżeli falochrony przystani sięgną odległości 200 m od linii brzegowej i zatrzymają połowę kubatury rocznego wypadkowego transportu osadów, to przy wzdłużbrzegowej rozciągłości przystani wynoszącej 200 m i głębokości zamknięcia równej 8 m, po wschodniej stronie przystani linia brzegowa będzie się cofać w tempie około 16 m/rok. Zaistnienie tego procesu erozyjnego wymagać będzie podjęcia działań ochronnych, na przykład sztucznego zasilania brzegu.

Tory podejściowe i wejścia do portów położonych nad otwartym morzem z reguły doświadczają intensywnego zapiaszczania. Ilościowa specyfika procesów litodynamicznych w analizowanym rejonie wskazuje na to, że utrzymanie planowanych przystani wymagać będzie prowadzenia regularnych prac pogłębiarskich.

LITERATURA

1. Cerkowniak G. R., Ostrowski R., Stella M.: Wave-induced sediment motion beyond the surf zone: case study of Lubiato (Poland), Archives of Hydro-Engineering & Environmental Mechanics, IBW PAN, Gdańsk, Vol. 62, No. 1-2, 2015, 27-39.
2. Kaczmarek L. M., Mielczarski A., Ostrowski R.: Zastosowanie nowego modelu transportu osadów do oceny zapiaszczania portowych torów podejściowych, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 2, 1997, 113-118.
3. Komar P. D.: Beach Processes and Sedimentation, 2nd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1998, s. 544.
4. Mielczarski A., Ostrowski R.: Rozpoznanie wpływu brzegowych systemów ochronnych na zmiany brzegów wydmy, Opracowanie wewnętrzne, IBW PAN, Gdańsk, 1989, s. 55.
5. Ostrowski, R.: Problemy dynamiki i ochrony piaszczystych brzegów południowego Bałtyku, Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk 2019, s. 174.
6. Pruszek Z., Skaja M.: Problemy dynamiki i ochrony brzegu morskiego, Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk 2014, s. 184.
7. Rakha K. A., Deigaard R., Brøker I.: A phase-resolving cross shore sediment transport model for beach profile evolution, Coastal Engineering, 31, 1997, 231-261.
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 17 listopada 2017 r. w sprawie minimalnych poziomów bezpieczeństwa brzegu morskiego oraz przebiegu granicznej linii ochrony brzegu morskiego (Dz. U. z dn. 7 grudnia 2017 r. poz. 2266).
9. Szymtkiewicz P., Szymtkiewicz M., Uścińowicz G.: Lithodynamic Processes Along the Seashore in the Area of Planned Nuclear Power Plant Construction: A Case Study on Lubiato at Poland, Energies, 14 (6), 2021, <https://doi.org/10.3390/en14061636>.
10. Ustawa 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).
11. Uścińowicz Sz., Zachowicz J., Przedziecki P., Zaleszkiewicz L.: Mapa geodynamiczna polskiej strefy brzegowej Bałtyku Południowego, Państwowy Instytut Geologiczny – Oddział Geologii Morza w Gdańsku, 2007, Arkusz Dębki (36) i Arkusz Karwia (37).