

Tomasz Łabuz

Uniwersytet Szczeciński

Wydział Nauk o Ziemi

Zakład Geomorfologii Morskiej

labuztom@univ.szczecin.pl

**WIELOLETNI BILANS OSADU WYDM NADMORSKICH
MIERZEI BRAMY ŚWINY**

**The multi-annual sediment balance of the Świna Gate Sandbar
coastal dunes**

Abstract: The study area is located on the Islands of Wolin and Uznam on the Pomeranian Bay coast (Southern Baltic). In Poland, the barrier extends for 16 km. It consists of two sand spits formed between morainic plateau of these islands. At present, the entire barrier is covered by dune ridges formed since Atlantic period (5 000 BP). The youngest ridges (White Dunes) have been growing up since 17th century. Here, during last the 20 years two foredunes have grown up. The last one arose between 1997-2001. On this area author has been carried investigations since end of 1996. Investigations consist of relief measurements of different dune ridges and deflation hollows, phytosociological transects across the ridges (dune vegetation cover and variability of plant species), surface sand sampling and wind measurements. In this work long term of the foredune and upper beach changes were described. In separate parts of the sandbar, during last 14 years abrasion and aeolian processes with plants influence played main role. In the end of 2007, near profile 420th km (middle part of sandbar) on the upper beach embryo dunes formed ridge up to 4 m high. Now this form is rebuild into a new foredune. The foredune and the beach in the middle part of the sandbar are now sufficiently stabilized by grasses and wide enough to withstand heaviest storms. In other parts of sandbar dunes are still affected by abrasional processes. Sand volume changes show visible increase of the foredunes in accumulative – middle part of the studied place. Sand volume dynamics rate in foredunes reached up to 120 m³ per one meter wide profile in the middle part of sandbar. Accumulation there reached up to 40 m³/m.

Słowa kluczowe: wydmy nadmorskie, bilans osadu, Mierzeja Brama Świny

Key words: coastal dunes, sand volume balance, Świna Gate Sandbar

WSTĘP

Brzeg wydmy Mierzei Bramy Świny wykazuje trwałe tendencje akumulacyjne. Jest to jeden z ostatnich akumulacyjnych współcześnie odcinków polskiego wybrzeża (Łabuz 2005b). Badania prowadzone na tym odcinku od wielu lat wykazują stały przyrost objętości piasku w wydmach nadmorskich w środkowej jej części oraz wolniejszy, przerywany okresami abrazji w części wschodniej do Międzyzdrojów i części zachodniej do falochronu ujścia Świny (Łabuz 2005b, 2009a). Odcinek ten jest jednym z niewielu na polskim wybrzeżu, gdzie w warunkach naturalnych można obserwować zmiany rzeźby i wiązać je z procesami sprawczymi. Obszar ten jest typowym brzegiem mierzejowo-wydmy, gdzie na odcinku 16 km można obserwować zmienność dynamiki rzeźby brzegu wywołowaną w jednym czasie przez te same procesy i zjawiska naturalne. Uwarunkowaniem decydującym o obserwowanej zmienności brzegu jest zmieniająca się jego ekspozycja na falowanie sztormowe i dominujące kierunki wiatrów. W efekcie obserwuje się zróżnicowany rozwój i ukształtowanie wałowych wydmy przednich i plaży. Wydma przednia to piaszczysty wał wydmy ułożony równolegle do brzegu na zapleczu plaży, o niestabilnym podłożu i będący w fazie wzrostu.

Jedną z metod pozwalającą szczegółowo określić zmiany rzeźby jest wykonanie poprzecznych do brzegu profili. Duża częstotliwość ich wykonywania daje dokładny obraz zmian rzeźby wywoływanej przez okresowo oddziałujące czynniki. Badań takich współcześnie nie wykonuje się często, ponieważ są pracochłonne. Najczęściej wykonuje się pomiary zdalne, wykonywane co rok lub co kilka lat. Ich wyniki nie są dokładne w kontekście odwzorowania zmian rzeźby wywoływane okresowo przez czynniki sprawcze jak i jej dynamiki w okresach między pomiarami.

CEL I METODY BADAŃ

Najmłodsze wydmy mierzei, powstające od XIX w są obszarem badań autora prowadzonych od 1997 r. nad dynamiką akumulacyjnego brzegu wydmy (<http://bramaswiny.szc.pl>). Obecnie akumulacyjny odcinek wydmy włączono do badań projektu FoMoBi (www.fomobi.pl), realizowanego w ramach z projektu LIDER, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Celem podjętych na Mierzei Bramy Świny badań było określenie rzeźby najmłodszych wydmy nadmorskich i ich współczesnej dynamiki oraz określenie decydujących o tym uwarunkowań i czynników (<http://bramaswiny.szc.pl>).

Celem tego opracowania jest przedstawienie bilansu i zmienności rzeźby wydmy mierzei za okres 14-letnich badań, w którym to czasie powstały nowe

wały wydm przednich. Prowadzone badania terenowe (od 1997 r., a szczególnie od 2001 r.) składały się z licznych pomiarów i obserwacji prezentowanych dotychczas w innych publikacjach tematycznych dotyczących roślinności (Łabuz 2002, 2007b, Łabuz, Grunewald 2007), dynamiki wydm przednich (Łabuz 2003, 2005a, 2008, 2009b), w tym powodowanych przez zjawiska sztormowe (Łabuz 2009a, Łabuz 2011, Łabuz, Kowalewska-Kalkowska 2011), procesów eolicznych (Łabuz 2007a, 2009b), lito dynamicznych (Łabuz, Olechnowicz 2004) czy antropogenicznych (Łabuz 2004).

Dla realizacji celu tej pracy wykorzystano:

a) poprzeczne do linii brzegu profile rzeźby wykonywane od 2001 r. co kilometr wzdłuż całej mierzei na Wolinie, profile wykonywane poprzecznie do brzegu i rozmieszczone co kilometr,

b) opracowane dane z Kapitanatu Portu w Świnoujściu dotyczące kierunków i prędkości wiatru za lata 2001-2010,

c) opracowane dane z Kapitanatu Portu w Świnoujściu dotyczące wystąpienia na brzegu mierzei spiętrzeń sztormowych za okres 2001-2010.

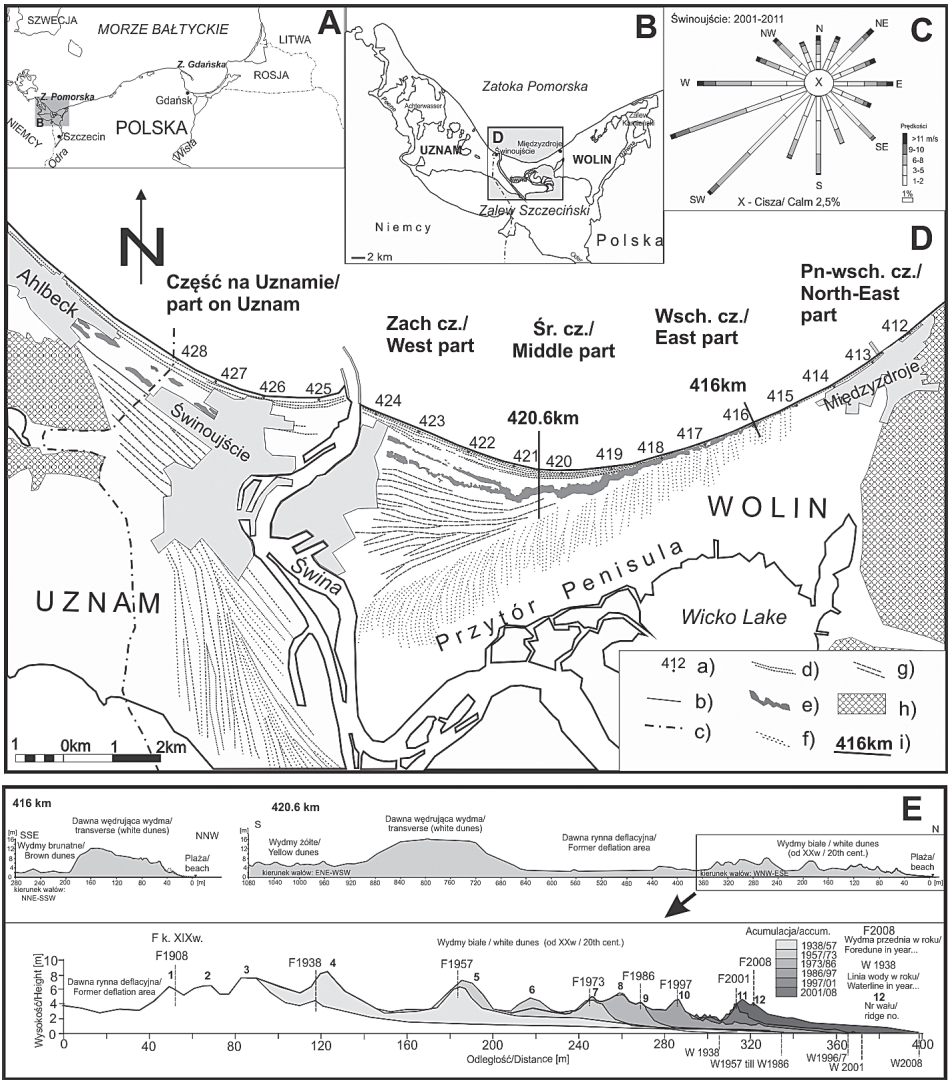
Profile wykonywano przy użyciu niwelatora metodą ciągu niwelacyjnego od stabilnego podłoża wydm utrwalonych do linii wody. Do analiz wykorzystano 12 profili rozmieszczonych co kilometr wzdłuż mierzei (412-424 km). Łącznie w opracowaniu przeanalizowano od 30 do 40 serii pomiarowych na każdym z profili wykonywanych 2-4 razy w roku. Dane z profilowań wpisane do arkuszy kalkulacyjnych Excel posłużyły do obliczenia zmian morfodynamicznych podłoża. Metodą słupków morfodynamicznych obliczono zmiany wysokości na każdym metrze profilu. Po wykonaniu digitalizacji w programie Grapher i Grabit uzyskano liczbowe różnice wysokości co jeden metr wzdłuż profili. Na tej podstawie obliczono zmiany objętości osadu liczone na każdy metr kwadratowy powierzchni przy założeniu, że kształt profilu odpowiada jednemu metrowi szerokości brzegu. Dane sumowano dla poszczególnych form wybrzeża wydmowego: plaży dolnej, górnej, wydmy przedniej, rynny za wydumą przednią i kolejnego wału wydmowego. Uzyskane bezwzględne wartości zsumowano uzyskując bilans objętości osadu form. Odejmując różnice zmian obliczono krótkookresowe zmiany bilansu analizowanych form. Dane te w zestawieniach kolumnowych ukazują okresowe, roczne oraz wieloletnie zmiany rzeźby wzdłuż profili liczone pomiędzy wybranymi okresami. Prezentowane wyniki nie obejmują części mierzei położonej na wyspie Uznam; te zostały podsumowane w oddzielnym opracowaniu (Łabuz 2008).

Badania prowadzone na Mierzei Bramy Świny systematycznie do kilku razy w roku umożliwiły szczegółową rejestrację i interpretację zaobserwowanych zmian wzdłuż całej mierzei. Takiej dokładności nie dają kosztowne metody zdalne pokazujące jedynie efekt kilkuletniej dynamiki. Wyniki tych badań są

niezbędne przy określaniu naturalnej zmienności brzegów wydmych w celach planowania, zarządzania lub prognozowania zmian brzegowych. Na omawianym obszarze nie prowadzono dotychczas prac na taką skalę. Należy również podkreślić, że na całym wybrzeżu Polski brakuje badań szczegółowych, których rezultatem są okresowe, roczne czy wieloletnie zmiany bilansu osadu wybrzeża wydmy.

OBSZAR BADAŃ

Mierzeja Bramy Świny położona jest na wyspach Wolin i Uznam (ryc. 1.B). W granicach Polski zajmuje pas wybrzeża o długości około 16 km, od wysoczyzny morenowej Wolina w Międzyzdrojach (412 km wg klasyfikacji Urzędu Morskiego) do granicy państwa w Świnoujściu, leżącym na Uznamie (428 km). Mierzeja powstała w wyniku morskiej akumulacji osadu transportowanego z abradowanych, sąsiednich morenowych brzegów obu wysp, a zachodzącej od czasów transgresji lityrycznej (Keilhack 1912, Rosa 1963). Płaską powierzchnię mierzei urozmaicają różnowiekowe wały wydmy wyznaczające kolejne etapy rozwoju i przyrostu mierzei (Keilhack 1912, Hartnack, 1926, Musielak, Osadczuk 1995). Południowe krańce mierzei wyniesione do 2 m n.p.m. powstały w wyniku organicznej akumulacji torów i gytii (tzw. Delta Wsteczna Świny). Pomiędzy najstarszymi brunatnym i żółtymi wydmi (wysokości 5-7 m n.p.m.) występują podmokłe, torfowe obniżenia. Najwyższe formy rzeźby dochodzą do 22 m, są to tzw. wydmy transgresyjne, powstałe w wyniku rozwiania wałowych wydym nadmorskich i formowania wysokich wałów wydym ruchomych na zapleczu brzegu (od ok. XVI w.). Od najmłodszych wydym wałowych powstających od XIX w. oddziela je obniżenie zmiennej szerokości o cechach rynn deflacyjnej. Wysokość jej dna sięga zaledwie 2-3 m n.p.m. Najmłodsze wydmy nadmorskie klasyfikowane jako wydmy białe II (Osadczuk 2004) osiągają wysokość 5-8 m n.p.m. Zazwyczaj oddzielone są od siebie rynnami deflacyjnymi o zmiennej szerokości, wyznaczającej tempo przyrostu brzegu. Najszerze rynny występują w zachodniej części mierzei na Wolinie (do 30 m), węższe w części środkowej (do 15 m), a najwęższe w części wschodniej. Większe odległości pomiędzy wałami wydym wyznaczają szybsze tempo przyrostu brzegu. W rejonie Międzyzdrojów brzeg wydmy tworzy jedna wysoka wydma dobudowana do szczątkowej w tym miejscu wydmy transgresyjnej i rozbudowana w wyniku powolnego wieloletniego przyrostu poszczególnych warstw osadu. Od 1997 r. obserwowano przed nią powolny rozwój kolejnego wału wydmy. W zachodniej części mierzei położonej na Wolinie brzeg zbudowany jest z 4 wałów wydmych poprzedzających wysokie wydmy transgresyjne, w środkowej obecnie z 12 (ryc. 1E), a we wschodniej z 1 do 2. Najstarszy wał wydmy białych



Ryc. 1. Położenie i ukształtowanie Mierzei Bramy Świny: A – lokalizacja na wybrzeżu, B – na wyspach Wolin i Uznam, C – kierunki i prędkości wiatru w Świnoujściu w latach 2001-2011, D – ukształtowanie rzeźby mierzei, podział na rejony morfodynamiczne, E – wybrane przekroje: 416 km i 420,6 km, wraz z przyrostem wydm za ostatnie 100 lat (420,6 km).

Fig. 1. Localization and relief of the Świna Gate Sandbar: A – location on the coast, B – location on Uznam and Wolin Islands, C – the wind directions and velocity in Świnoujście 2001-2011, D – relief of the sandbar, morphodynamics sections, E – selected profiles: 416 km i 420,6 km, with dune increase in last 100 years (420,6 km).

II (pierwszy), przylegający bezpośrednio do rozległej rynny deflacyjnej datowany na podstawie zdjęć lotniczych i zapisków historycznych obecny był już w środkowej części mierzei w 1908 r., gdy zbudowano w nim bunkier ochrony wybrzeża (ryc. 1E). Kolejne wały w tej części mierzei powstawały systematycznie co kilka lat, średnio w tempie co 8 lat. Współcześnie na płytkim podbrzeżu mierzei nieprzerwanie zachodzi akumulacja osadów (Rosa 1963, Baraniecki, Racinowski 1989) i przyrost brzegu – w zachodniej i środkowej części na Wolinie szacowany dotychczas na 2 m rocznie (Musielak 1991). Akumulacyjnemu rozwojowi brzegu, a wraz z nim rozwojowi nowych wałów wydm przednich (Łabuz 2002, 2003, 2005a, 2006) sprzyja nieduża częstotliwość sztormów i wysokich stanów morza (Zeidler i in. 1995), a procesom eolicznym reżim wiatrów (Ryc. 1C, Tab. 1), dominujących z kierunku zachodniego (Hartnack 1926, Łabuz 1998, Borówka 1999). Najwyższe prędkości wiatru na mierzei notowane są od listopada do stycznia, ze średnią miesięczną 7 ms^{-1} . Wiatry o dużych prędkościach, powyżej 10 ms^{-1} występują z kierunków NW, N i NE. Ich udział wynosi średnio rocznie około 10% i wzrasta w chłodnej porze roku. Są to wiatry najbardziej efektywne dla rozwoju procesów eolicznych, to znaczy przewiewające duże ilości osadu z plaż w kierunku wydm. Wiosną, przeważające wiatry z kierunku zachodniego powodują akumulację osadu na wydmach środkowego odcinka mierzei, gdzie akumulację piasku wymusza gęsta pokrywa traw pionierskich na plaży i rozwijającym się wale wydmy przedniej. Wiatry o dużych prędkościach towarzyszą powstającym spiętrzeniom sztormowym, których największe prawdopodobieństwo wystąpienia przypada na okres jesienno-zimowy. Wraz z rozwojem spiętrzenia wiatry te powodują intensywne przeniesienie osadu z plaży na wał wydmy przedniej oraz jej zaplecze (Łabuz 2007a). W ciągu jednego dnia sztormowego przy wietrze powyżej 17 ms^{-1} wysokość wydmy wzrasta o 10-15 cm. Od początku badań praktycznie co roku powstawało spiętrzenie sztormowe, w wyniku którego niszczone były plaże oraz wydmy przednie, zwłaszcza w początkowej fazie rozwoju nowego wału w latach 2001-2004 (Łabuz 2009a,b). Zjawiska sztormowe powodują podpiętrzenie wody maksymalnie o 1,40 m ponad średni poziom i wystąpienie falowania powodującego napływ wody na brzeg do wysokości 3,5 m n.p.m. Do tej wysokości po każdym spiętrzeniu niszczone są formy rzeźby a osad wynoszony jest w kierunku podbrzeża. Najsilniejsze spiętrzenia notowano w 1995, 2001, 2002, 2004, 2006, 2007 i 2009 r. Ich skutki omówione zostały w innych publikacjach dotyczących omawianego rejonu (Łabuz 2007a, 2009a,b, 2011, Kowalewska-Kalkowska 2011). W trakcie chłodnych zim, wiatry z kierunku NE powodują gromadzenie się przy brzegu kry lodowej, a nawet zwałów lodowych piętrzących się na plaży. Zjawiska takie na plażach mierzei obserwowano zimą 1995/96, 2002/03, 2005/06 2009/10 i 2010/11. Zjawiska lodowe mogą chronić brzeg przed silnym falowaniem sztormowym lecz także przyczyniają się do niszczenia

form brzegu, w momencie, gdy w wyniku falowania kra nasuwana jest na górną plażę.

DYNAMICZNE ODCINKI BRZEGU MIERZEI

Na podstawie prowadzonych badań cały omawiany pas wybrzeża został podzielony ze względu na dominujące procesy i kierunki zmian na kilka odcinków:

– na odcinku zachodnim (424-421,5 km), pomimo szerokich plaż i stałej akumulacji morskiej brzeg był stale niszczone przez sztormy. W powstających rozcięciach, na zapleczu powstawały stożki posztormowe. Wydma przednia odbudowywała się co roku, a w okresie jesienno-zimowym była częściowo lub całkowicie niszczone przez sztormy. Każdej wiosny rozwijały się na plaży górnej wydmy embrionalne, także niszczone przez sztormy. Proces ten trwał do 2007r., od tamtej pory wydma przednia stale wzrastała pomimo nieznacznej abrazji dolnej części stoku, osiągając wysokość około 4 m i pozytywny bilans osadu. Przewaga dodatniego bilansu nad ujemnym nastąpiła w wyniku cofnięcia całego wału o 2-4 m w kierunku lądu w głąb rynny międzywydmowej i podniesienia wysokości plaży górnej,

– na odcinku środkowym (421,5-419,5 km), przez okres 10 lat przeważały procesy akumulacji na wale wydmy przedniej i na plaży górnej. Spiętrzenia sztormowe niszczyły tu wydmy tylko do 2005 r., do czasu wzrostu wysokości plaż ponad 3 m n.p.m. Od 2007 r. na tym odcinku okresowy bilans osadu plaży zaczął przewyższać bilans wydmy przedniej. Decydowały o tym częste wiatry z sektora zachodniego przywiewające osad z szerokich plaż zachodniej części mierzei, także podczas spiętrzeń sztormowych rozwijających się z kierunku NW (z powodu ekspozycji brzegu). Skutkowało to rozbudową trzech generacji wydm embrionalnych na plaży górnej w rejonie 421 km o wysokości do 4 m n.p.m. oraz w efekcie powstaniem nowego wału wydmy przedniej na odcinku długości 1 km w rejonie 420-421 km brzegu. Na podstawie prowadzonych tu obserwacji w 2005 r. ustalono, że nowy wał wydmy powstanie do 2009 r. (Łabuz 2006). Jego wysokość obecnie jest wyższa niż poprzedniej wydmy przedniej, a ilość budującego go piasku jest dwukrotnie większa. Od 2011 r. na plaży górnej przed najmłodszym wałem zaczęły ponownie powstawać wydmy embrionalne, co dowodzi dużego tempa akumulacji osadu.

– na odcinku wschodnim (419,5-414 km), stale węższe i niższe plaże umożliwiały abrazję wydm przednich podczas wszystkich notowanych w okresie badań spiętrzeń sztormowych. Wał wydmy przedniej do 2007 r. miał wysokość umożliwiającą przelewanie się wody ponad grzbietem i rozwój stożków sztormowych w rynnie za nim (maks. do 4 m n.p.m.). Pomimo corocznego niszczenia i dużych strat osadu w latach 2002-2006 pomiędzy 419 a 417 km brzegu

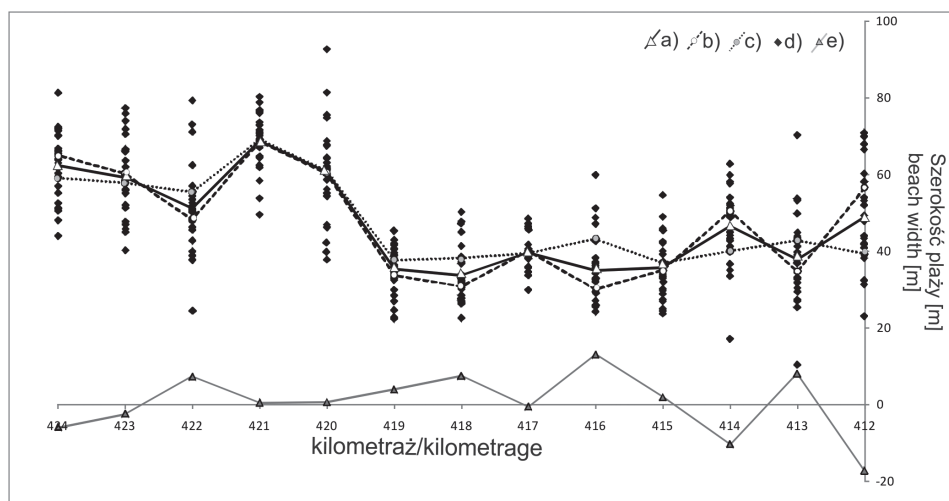
wydma przednia uległa znacznemu rozbudowaniu. Pomiędzy 417 a 416 km i dalej na wschód wał został rozbudowany, jednak jego grzbiet uległ cofnięciu od 1-4 m w kierunku łądu. Proces ten miał miejsce po okresie silnych spiętrzeń sztormowych zaistniałych pomiędzy listopadem 2006 a lutym 2007 r. Do tego czasu cały wał wydmy przedniej co roku niszczonej przez sztormy odbudowywał się w okresie wiosennym i wczesnej jesieni lecz był erodowany w okresie jesienno-zimowym. Wał ten jest węższy lecz wyższy niż na odcinku środkowym, co dowodzi przewagi procesu stabilizacji nad przyrostem brzegu. Pomimo akumulacji piasku w wale wydmy przedniej powodującej wzrost jego wysokości i objętości, plaża u podnóża ma dalej małą wysokość, co prognozuje abrazję podczas kolejnych spiętrzeń sztormowych.

– na odcinku północno-wschodnim (od ok. 414 do 412 km) brzeg znajduje się pod większym wpływem działalności człowieka (plażowicze, molo, utrwalanie wydmy przedniej trawami). Na tym odcinku niskie i wąskie plaże nie chroniły wydmy przed rozmywaniem. Tu również nie powstał nowy wał wydmy w latach 1997-2001, jak miało to miejsce na odcinku całej mierzei. Wydma przednia wykazywała stale tendencje erozyjne, gdzie tempo jej cofania wynosiło do 4 m po każdym spiętrzeniu sztormowym. Odbudowa podciętego wału była wolniejsza niż tempo erozji. Od 2005 r., po wybudowaniu dłuższego mola w Międzyzdrojach na wysokości 412,7 km wyraźnie zmieniły się tendencje dynamiki wydm na sąsiadujących odcinkach; w oddaleniu około 1 kilometra od budowli. Zarówno po wschodniej jak i zachodniej jego stronie, dodatni bilans osadu wydm zaczął wzrastać, pomimo stale niszczonej plaży i podnóża wałów. Skutkowało to powolnym rozwojem wydmy przedniej z form embrionalnych plaży górnej na krótkim odcinku 414 – 413,7 km. Forma ta obecnie ma wysokość 5 m n.p.m. i przylega bezpośrednio do stoku poprzedniego wału. Tylko w bezpośrednim sąsiedztwie mola procesy abrazji nasiliły się. Przed wydłużeniem mola na całym odcinku akumulacja na stoku wydmy przedniej była nieznaczna, a w jego sąsiedztwie przeważała abrazja wydm. Plaże są tu niskie, a wydmy zasilane są osadem przywiewanym w okresie wiosennym i jesiennym z zachodniej części mierzei. Bez tego zasilania tempo erozji byłoby większe a odbudowa podcinanych stoków wydm niemożliwa.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ZMIAN MORFODYNAMICZNYCH I BILANS OSADU WYDM

Głównymi czynnikami i uwarunkowaniami kształtującymi wydmy brzeg morski mierzei są jego ekspozycja na kierunki najczęstszych wiatrów i falowanie morza, wynikające z tego procesy eoliczne i spiętrzenia sztormowe oraz obecność roślinności. Szerokość plaży i jej osad w danym miejscu odgrywały

mniejszą rolę niż dostawa materiału z plaż sąsiednich. Szerokość plaż w okresie opracowanych 10-cio letnich badań nie uległa istotnym zmianom (ryc. 2), co nie potwierdza wyników badań zmian wieloletnich (Musielak 1991). W części zachodniej i środkowej mierzei plaże mają znacznie większą szerokość niż w pozostałej części. W ciągu roku ich szerokość zmieniała się znacznie, o ponad 40 m. Pewnym wyznacznikiem przebiegających procesów może być zmieniająca się ekspozycja brzegu od NE przez N do NW na dominujące kierunki wiatrów z sektora zachodniego (tab. 1), zwłaszcza wiatrów wiejących wzdłuż brzegu i przewiewającego piasek z plaż z zachodniego odcinka mierzei na wydmy odcinka środkowego oraz silnego falowania podczas spiętrzeń sztormowych



Ryc. 2. Zmiany szerokości plaż Mierzei Bramy Świny, a) średnia szerokość 2001-2011, b) średnia szerokość 2001-2005, c) średnia szerokość 2006-2011, d) okresowa szerokość, e) różnice szerokości za okres 01/05-06/11.

Fig. 2. The Swina Gate Sandbar beach width changes, a) mean width 2001-2011, b) mean width 2001-2005, c) mean width 2006-2011, d) periodical width, e) differences in width between 01/05 and 06/11.

Tab. 1. Częstotliwość wiatrów w Świnoujściu (%).

Table 1. Frequency of winds in Świnoujście (%).

Lata / years	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Cisza / calm
1876-1900 ¹	9,25	11,50	7,75	11,75	12,50	16,00	17,00	10,50	3,75
1961-1995 ²	7,63	9,68	8,91	8,46	16,29	18,49	20,25	6,72	3,57
2001-2011 ³	7,15	7,85	7,70	11,80	12,90	21,90	19,60	8,60	2,50

¹Hartnack (1926), ²Łabuz (2006), opracowanie własne z danych IMGW, ³Łabuz, opracowanie własne z danych Kapitanatu Portu w Świnoujściu

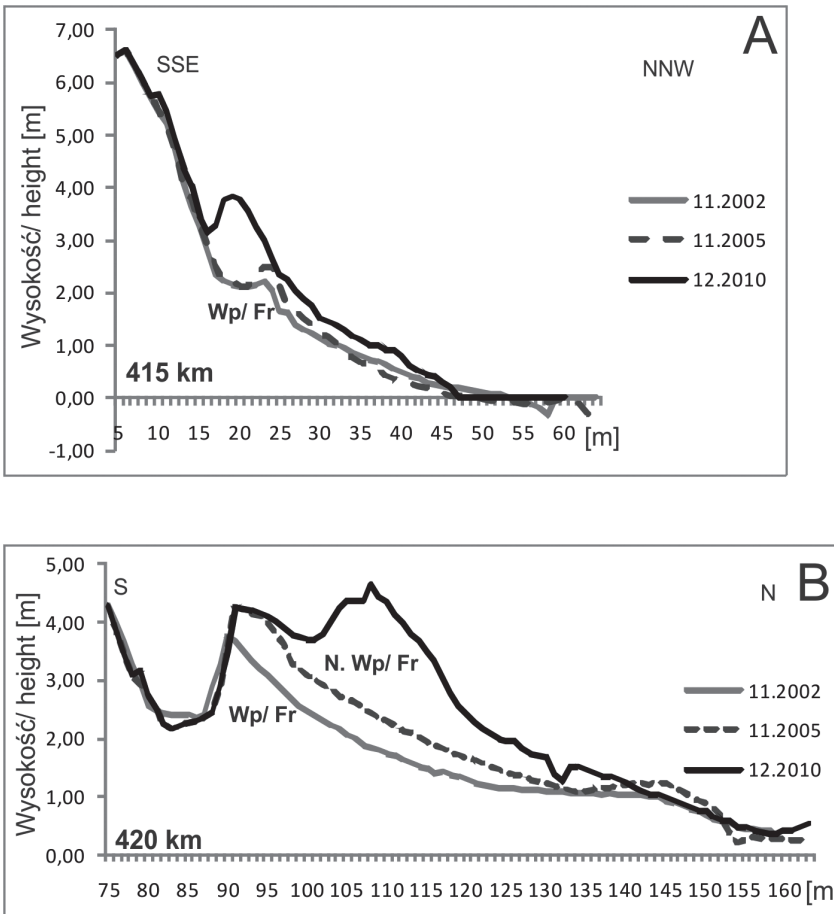
z kierunku NE i NW niszczącego tak eksponowane odcinki zachodni i wschodni. Uziarnienie osadu plaż i wydym nieznacznie zmienia się ciągu roku oraz wzdłuż całej mierzei. Dominują piaski drobnoziarniste, których udział i wysortowanie wzrasta ze wschodu na zachód. Jest to osad najczęściej transportowany przez wiejące wiatry. Uwarunkowania te były omawiane w poprzednich opracowaniach (Łabuz 2006, 2009b).

Maksymalną aktywność procesów eolicznych notowano zawsze w okresie wiosennym, gdy wzrastał udział wiatrów z sektora zachodniego (dominujących w całym okresie (ryc. 1C). W wyniku ich oddziaływania przy udziale roślinności pionierskiej (Łabuz 2003) powstawały wydmy embrionalne na plaży oraz akumulacja na wałach wydym przednich. Notowano wtedy dodatni bilans osadu plaż i wydym przednich (tab. 2). Za cały okres badań akumulacja na wydymie przedniej największa była na odcinku 419-421 km. Przeważał tam dodatni bilans osadu w każdym sezonie wiosennym, a także po okresach jesienno-zimowych spiętrzeń sztormowych. W rejonach, gdzie wzrastała gęstość roślinności plaży górnej, notowano jej szybszy wzrost, a mniejszą akumulację na wale wydmy przedniej. Tam, gdzie na plaży górnej było mniej roślinności, na wydymie przedniej akumulacja była większa. Dotyczyło to najczęściej wschodniej części mierzei. Podczas występowania wiatrów o dużej prędkości towarzyszących spiętrzeniom sztormowym notowano wzrost wysokości grzbietów i zawietrznych stoków wydmy przedniej (oraz akumulację w rynnie międzywydmowej i na drugim wale). W okresach letnich zmiany bilansu rzeźby nie były znaczące. Okresowo, po silnych wiatrach lub w rejonach użytkowanych turystycznie bilans osadu wydym ulegał większym zmianom. W okresach jesienno-zimowych, gdy na brzeg oddziaływały spiętrzenia sztormowe rejestrowano obniżanie plaży i podcinanie wałów wydymowych. Notowano wtedy ujemny bilans osadu wydym (tab. 2) oraz ich powolne wycofywanie w kierunku lądu, zwłaszcza we wschodniej i zachodniej części mierzei (ryc. 3A). Omówiono ten proces w innym opracowaniu (Łabuz 2011). Proces abrazji wydym przednich widoczny był tylko w rejonach, gdzie górna plaża nie przekraczała wysokości 3 m n.p.m. Wartość ta wyznacza zasięg najwyższych spiętrzeń sztormowych na brzeg mierzei (przy maksymalnych spiętrzeniach do z poziomem morza do 1,5 m powyżej średniego). Do 2006 r. na całej mierzei plaże posiadały wysokość 2,8-3,2 m n.p.m. W późniejszym okresie w wyniku wzrostu wysokości plaż do ponad 3 m, w środkowej części mierzei wydmy nie były już niszczone przez sztormy. Na zapleczach ich rozcinanych grzbietów przestały rozwijać się tzw. stożki spiętrzeń sztormowych, omówione w odrębnym opracowaniu (Łabuz 2009a). Notowano jedynie przyrost osadu; w tym przyrost na plaży u ich podnóża (420-421 km). W pozostałych sektorach brzegu mierzei sztormy dalej oddziaływały na bilans osadu wydmy i jej podnóża. Skutkowało to ciągłą dostawą osadu na wydymę przednią i rozwojem nowej wydmy przedniej na plaży górnej (ryc. 3B).

Tab. 2. Zestawienie wybranych, okresowych zmian bilansu osadu wydmy przedniej odcinka brzegu akumulacyjnego (421 km) i o tendencjach abrazyjnych (416 km).
Table 2. The selected, periodical sand volume changes of the accumulative (421 km) and abrasive (416 km) part of coast.

Okres/ period	Bilans osadu na profilu (balance) 421 km [m ³ /m ²]		Bilans osadu na profilu (balance) 416 km [m ³ /m ²]	
	Dodatni/ positive	Ujemny/ negative	Dodatni/ positive	Ujemny/ negative
Sztormy 2001 storms	x	-0,39	x	-0,82
Wiosna 2003 spring	+0,22	x	+0,4	x
Sztormy 2003 storms	+0,01	x	x	-0,01
Sztorm 2004 storm	x	-0,03	x	-0,21
Wiosna 2005 spring	x	-0,01	x	-0,02
Wiosna (wiatry) 2006 Spring (winds)	x	-0,24	+0,33	x
Sztormy 2006/07 spring	+0,04	x	x	-0,73
Wiosna 2007 spring	+0,02	x	+0,03	x
Wiosna 2008 spring	+0,07	x	+0,23	x
Wiosna 2009 spring	+0,17 +0,13*	x	+0,25	x
Sztorm 2009 storm	+0,17 +0,58*	x	x	-0,55
Sztorm 2010 storm	+0,04	x	x	-0,02
Suma/ sum	+1,45	-0,67	+1,24	-2,36
Bilans końcowy/ final balance	+0,79		-1,12	

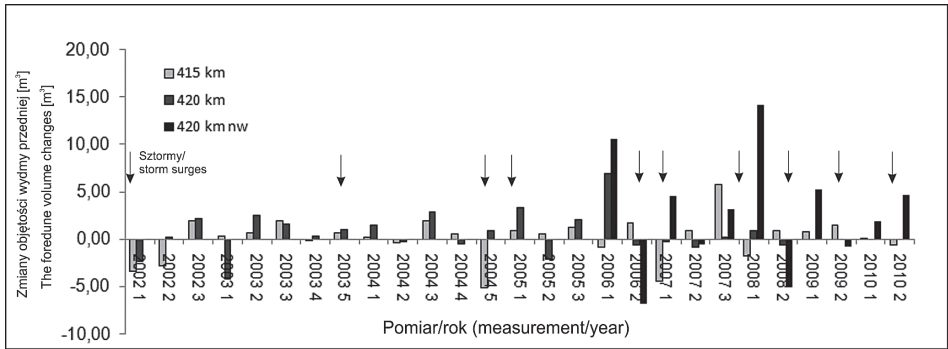
* zmiany podnóża wydmy przedniej/ foredune changes



Ryc. 3. Dynamika rzeźby wydmy przedniej odcinka brzegu chwiejnego w rozwoju (A) i akumulacyjnego (B) na Mierzei Bramy Świny. Wp/fr- wydma przednia.

Fig. 3. The foredune dynamics of the coast: unstable development (A) accumulative development (B) of the Swina Gate Sandbar. Wp/fr- foredune.

Na zmiany bilansu osadu wydmy wpływała również roślinność porastająca plaże mierzei; gęstsza w jej środkowej i zachodniej części, która przyczyniała się do wzrostu form embrjonalnych ale i ograniczenia dostaw osadu na wał wydmy przedniej. Ten proces nasilił się w środkowej części mierzei po 2006 r., gdy spiętrzenia sztormowe nie niszczyły już rzeźby plaż górnych. Było to wynikiem wzrostu ich wysokości ponad wspomniane 3 m n.p.m. To z kolei spowodowało trwałe coroczny rozwój roślinności na plaży górnej, a w rezultacie wzrost jej gęstości. W efekcie coraz więcej osadu zatrzymywane było na plaży górnej, a wydma przednia przestała wzrastać. Od tego czasu bilans osadu był wyraźnie dodatni na odcinkach, gdzie plaże górne były wysokie i pokryte przez roślinność



Ryc. 4. Wykres zmian objętości wydmy przedniej akumulacyjnego (420 km) i chwiejnego w rozwoju (415 km) odcinka brzegu. Strzałką oznaczono okresy spiętrzeń sztormowych. nw – nowa wydma przednia (420 km).

Fig. 4. The volume changes graph of the foredune on accumulative coast (420 km) and unstable one (415 km). With marked heavy storm surges appearance, nw – new foredune (420 km).



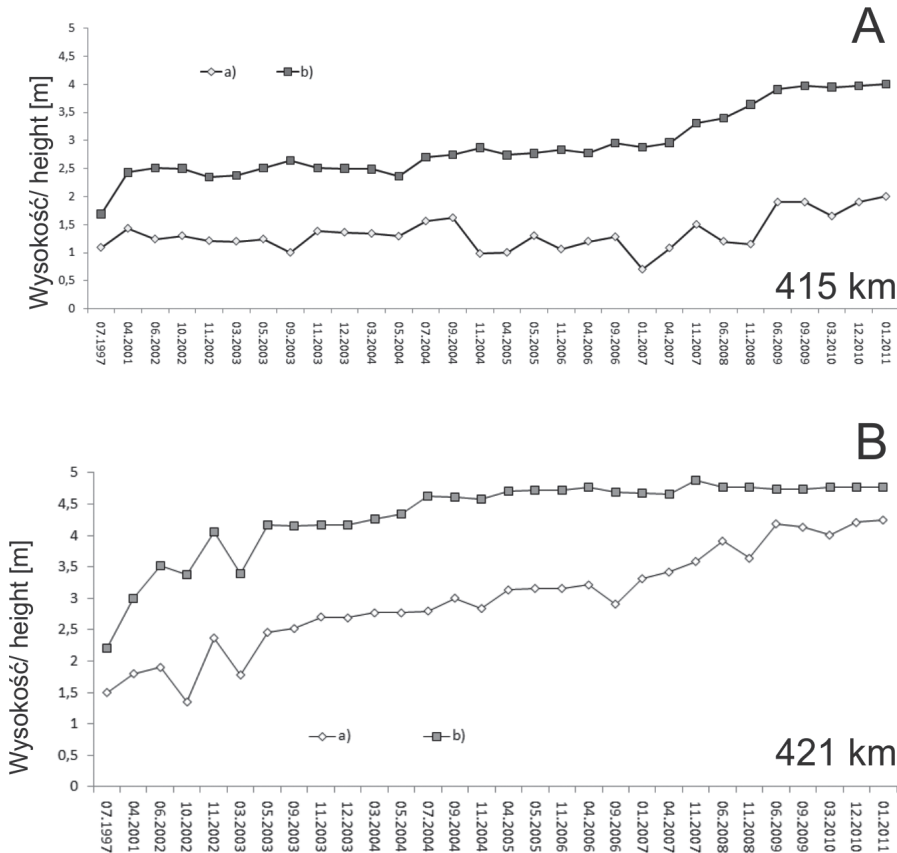
Ryc. 5. Wydma przednia w środkowej części Mierzei Bramy Świny na akumulacyjnym odcinku brzegu (420 km). A- 2003, B-2010, wp I – wydma przednia 2001-2007, wp II – wydma przednia 2007-2010.

Fig. 5. The foredune on accumulative part of coast on the Swina Gate Sandbar (420 km). A- 2003, B-2010. wp I – foredune 2001-2007, wp II – foredune 2007-2010.



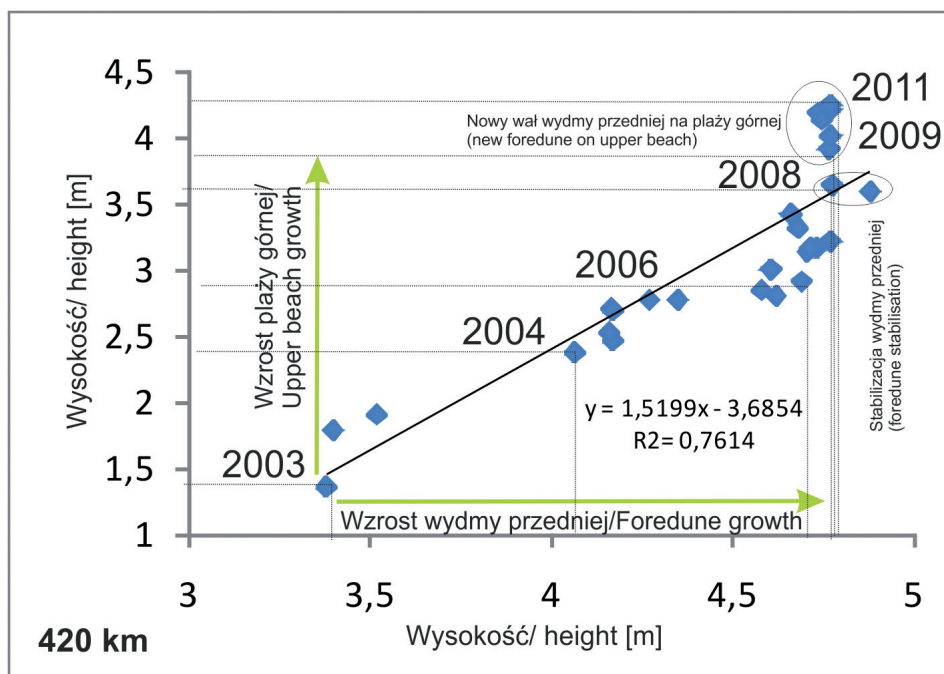
(ryc. 4). Spowodowało to rozwój nowego wału wydmy przedniej od 2007 r., tuż przed poprzednim, powstałym w 2001 r. (ryc. 5A) i kształtowanym do czasu powstania nowego (ryc. 5B).

Przez cały okres badań, pomimo abrazji wzrastała wysokość plaż górnych i wydmy przedniej na krótkim odcinku środkowej części mierzei. Na pozostałym odcinku mierzei abrazja była znacznie większa, a ujemny bilans osadu po okresach spiętrzeń sztormowych wyrównywała wiosenna akumulacja. Dotyczyło to jedynie wydmy przedniej, cofającej się w kierunku lądu od 2007 r.; gdzie plaże stałe miały podobną wysokość, ulegającą zmianom tylko w okresach abrazji i eolicznej akumulacji (ryc. 6A). Na akumulacyjnym, środkowym odcinku



Ryc. 6. Okresowe zmiany wysokości wydmy przedniej i plaży górnej akumulacyjnego (A) i okresowo erozyjnego odcinka brzegu Mierzei Brama Świny (B), a) wydma przednia, b) plaża górna.

Fig. 6. The periodical height changes of the foredune and upper beach of the accumulative (A) and periodically erosive part of coast of the Swina Gate Sandbar (B), a) foredune, b) upper beach.



Ryc. 7. Relacja zmian wysokości wydmy przedniej i plaży górnej w akumulacyjnej, środkowej części Mierzei Bramy Świny (420 km).

Fig. 7. The height changes relation between foredune and upper beach in middle part of Swina Gate Sandbar (420 km).

mierzei przez cały czas wzrastała wysokość zarówno plaży górnej jak i wydmy przedniej (ryc. 6B). Po 2007 r. wydma przednia pozbawiona dostawy osadu ustabilizowała się (pokrywając się w pełni roślinnością, także mchami na stoku zawietrznym i grzbiecie). Wysokość plaży górnej, nie niszczonej już przez spiętrzenia zaczęła wzrastać, co doprowadziło do powstania nowego wału wydmo-wego (odcinek 419,5-421,5 km). Jego wysokość w 2010 r. była większa niż większej niż wału poprzedniego – ponad 4,5 m npm (ryc. 7). Zależność wzrostu wysokości plaży górnej i wydmy przedniej jest wyraźnie widoczna do 2007 r. Po tym czasie wzrastała jedynie wysokość plaży górnej, pokrytej gęsto roślinnością. Wały wydmore w pozostałej części brzegu mierzei otrzymywały znacznie mniej osadu. Analizując zmiany na metr kwadratowy należy podkreślić, że bilans osadu jest podobny na całej mierzei, jednak przyjmując szerokość form objętość osadu akumulowanego jest kilkukrotnie większa na wskazanym jako akumulacyjny, środkowym odcinku mierzei (tab. 3). Maksymalnie przybywało do $0,65 \text{ m}^3/\text{m}^2$ wydmy i około $0,45 \text{ m}^3/\text{m}^2$ osadu na górnej plaży. W ostatnich latach te proporcje uległy odwróceniu, więcej osadu akumulowane było na plaży górnej niż na wydmy przedniej.

Tab. 3. Zestawienie bilansu osadu wydmy przedniej na odcinku akumulacyjnym (420 km) i o tendencjach abrazyjnych (415 km) za okres 1997-2010.

Table 3. The Sand balance of the foredune on the accumulative section (420 km) and abrasive (415) in 1997-2010 period.

Okres/ period	Bilans na profilu (balance) 420 km [m ³]		Bilans na profilu (balance) 415 km [m ³]	
	Suma/sum m ²	Na/ per 1 m ²	Suma/sum m ²	Na/ per 1 m ²
1997-2002 Suma/ sum	15,57	1,42	2,89	0,57
1997-2002 Na rok/ per year	3,11	0,28	0,57	0,12
2002-2005 Suma/ sum	15,18	0,95	2,21	0,28
2002-2005 Na rok/ per year	3,79	0,24	0,66	0,07
2005-2010 Suma/ sum	31,67 (26,26)*	1,02 (1,25)*	3,56	0,59
2005-2010 Na rok/ per year	6,33 (5,25)*	0,20 (0,25)*	0,71	0,12

* w tym tylko nowej wydmy przedniej od końca 2006r./ in this only a new foredune since end of 2006

Sumaryczna analiza dynamiki osadu wydmy przedniej i plaży górnej potwierdza okresowe wyniki pomiarów. Tam, gdzie okresowo akumulacja była większa lub przeważała nad abrazją bilans osadu jest największy. Największa ilość osadu uległa przebudowie na plaży górnej i wydmie przedniej w środkowej części mierzei. Wielkość zmian osadu plaży górnej w środkowej części mierzei jest 2-krotnie większa niż na pozostałych odcinkach brzegu. Duże zmiany objętości osadu plaży górnej zarejestrowano w rejonie Międzyzdrojów, jednak jego przyrost jest niewielki. Ujemny bilans osadu plaży stwierdzono w rejonie 423 km brzegu, gdzie od 2009r. trwa budowa falochronów gazoportu. Dynamika osadu wydmy przedniej jest naturalnie mniejsza niż plaży górnej, jednak także największa w środkowej części mierzei. Bilans osadu wydmy przedniej za okres 2002-2010 jest wyraźnie największy na odcinku środkowej części mierzei (ok. 20-40 m³ na metr bieżący brzegu).

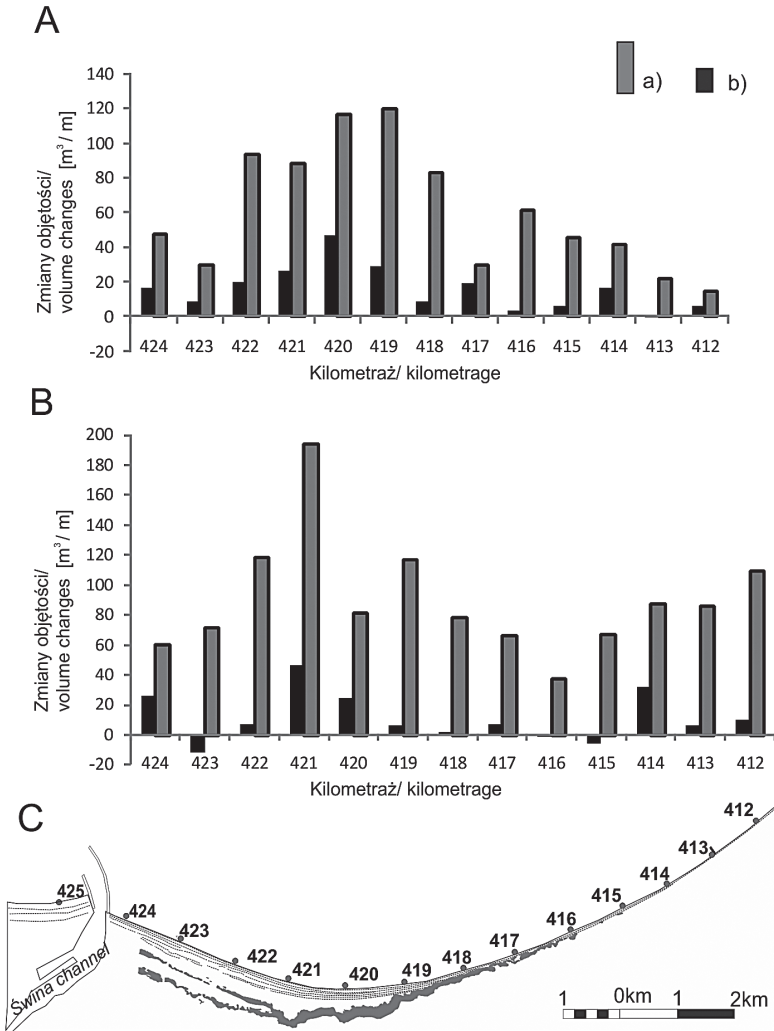
DYSKUSJA I WNIOSKI

Rozpoczynając badania na Mierzei Bramy Świny stwierdzono znaczne zróżnicowanie rzeźby wydm nadmorskich oraz gęstości pokrycia roślinnością plaż

górnym. W starszych opracowaniach, Piotrowska i Celiński (1965) wskazują na duży udział roślinności psammofilnej – wydmotwórczej w rozwój wydm w środkowej i zachodniej części mierzei. Jej gęstość określana była jako największa na plażach całej mierzei. Zjawisko to powtarzało się co roku w trakcie badań, pomimo spiętrzeń sztormowych, które niszczył szatę roślinną. Od rozpoczęcia badań w 1997r. wielokrotnie obserwowano zmiany rzeźby brzegu i nadbrzeża, w tym powodowanych przez spiętrzenia sztormowe. Tam, gdzie plaże miały wysokość niższą niż 3 m npm wydmy były co roku podcinane przez sztormy. Zmiany objętości osadu wskazują na jego dodatni bilans na odcinkach plaży górnej pokrytych roślinnością. Bilans ten jest największy w środkowej części mierzei pomiędzy 419,5 a 421,5 km. Podczas występowania wiatrów o dużej prędkości osad wywiewany był spomiędzy kęp roślinności. Chroniły one zgromadzone osad pomiędzy źdźbłami traw prowadząc do stałej akumulacji i rozwoju wydm przednich w latach 1997-2001 i 2007-2010. Wiatry te towarzyszyły również silnym spiętrzeniom sztormowym, powodując chwilową akumulację na plaży tuż przed jej rozmywaniem, a także trwałą na grzbiecie wydmy (Łabuz 2007a). Środkowy, akumulacyjny odcinek mierzei ma ekspozycję brzegu sprzyjającą akumulacji piasku w wyniku oddziaływania najczęstszych i silnych wiatrów z sąsiednich sektorów. Arens (1994) stwierdził, że ekspozycja brzegu na wiatr sprzyjające akumulacji osadu jest głównym czynnikiem odpowiedzialnym za powstawanie nowych wałów wydmy. Ponad połowa wiatrów wiejących nad Mierzeją Bramy Świny pochodzi z sektorów skośnych do brzegu środkowej części, zapewnia to dostawy piasku z sąsiednich plaż części zachodniej i wschodniej. Plaże środkowej części mierzei o wysokości ponad 3 m i pokryte przez roślinność od 2005r. stale wykazywały dodatni bilans osadu. Na plażach o niższej wysokości, pomimo dużej dynamiki osadu bilans osadu był niewielki. Tam, gdzie na plaży górnej notowano stały dodatni bilans osadu, wał wydmy przedniej przestał się rozwijać i obecnie jest ustabilizowany przez roślinność. Ten sam wał rozwija się dalej na odcinkach, gdzie na plaży nie ma trwałej akumulacji.

Z obserwacji wynika, że spiętrzenia sztormowe pełnią ważną rolę w rozwoju wydm przednich, kształtując również dodatni bilans tych form. Niszczenie form embrionalnych na plaży umożliwiało stałą dostawę osadu na wały wydmy. Tam, gdzie sztormy nie niszczyły form i roślinności plaż górnych, notowano stały wzrost ich wysokości. W tych rejonach procesy akumulacji eolicznej na wydmach przednich stopniowo zanikły, a formy zostały utrwalone przez roślinność kolejnych faz sukcesji (w tym przez mchy).

Z badań wynika, że nowy wał wydmy przedniej może powstać w okresie 2 lat, a stabilizowany jest w ciągu kolejnych 5-8 lat (Bird 1969, Hesp 1984). Przyczynia się do tego przede wszystkim dodatni bilans osadu na plażach, powodowany przez najczęściej wiejące wiatry o dużych prędkościach z sektorów



Ryc. 8. Zmiany objętości osadu brzegu Mierzei Bramy Swiny za okres 2002-2010 na 1 mb brzegu: a) dynamika osadu, b) bilans osadu; A – wydma przednia, B – plaża górna, C – położenie profili, opis ryc. 1.

Fig. 8. The Sand volume changes in period of 2002-2010 of the Swina Gate Sandbar per 1 m of the coast length: a) sand dynamics, b) sand balance; A – foredune, B – upper beach, C – profiles location, description fig. 1.

skońnych do brzegu oraz obecność roślinności zatrzymującej osad (Arens 1994). Analizowane w pracy najmłodsze wały wydym przednich mierzei powstały w ciągu 3-4 lat w okresie 1997-2001 i 2007-2010. Starszy z nich utrwaleniu przez roślinność i stabilizacji podłoża uległ w okresie następnych 5 lat od powstania (do 2006). Dotyczyło to tylko odcinka o stałych tendencjach akumulacyjnych.

Według wcześniejszych badań przeprowadzonych do 2005 r. ustalono, że na tym odcinku do 2009 r. powstanie nowy wał wydm przednich (Łabuz 2006). Proces jego rozwoju na plaży górnej widoczny był już od 2006 r., a rok później osiągnął kształt wału i wysokość 3,5-4 m n.p.m. Do końca 2010 r. w akumulacyjnej części mierzei ukształtował się nowy wał wydmy przedniej na odcinku brzegu o długości około 2 km (419,5-421,5 km) osiągający ponad 4,5 m wysokości oraz szeroki (do 20 m) pas kolejnych wydm embrionalnych o wysokości do 3,5 m. Rozwój nowego wału wydmy przedniej o objętości osadu zbliżonej do poprzedniego zachodzi w środkowej części mierzei średnio co 8 lat, co potwierdzono analizami dokumentów i materiałów archiwalnych od 1908 r. W czasie ostatnich 100 lat na tym odcinku powstało 12 wałowych wydm nadmorskich. rozwój ostatnich 2-ch obejmują analizy omówione w niniejszej pracy (w okresie 1997-2010).

Pozostała część brzegu wydmowego mierzei ciągle znajduje się pod wpływem spiętrzeń sztormowych co spowodowane jest niższą wysokością plaży górnej niż napływ wody. Dodatkowo wały wydmowe tego odcinka cofnęły się w kierunku lądu, co jest typowe dla brzegów erozyjnych. Nie można jednak określić tego obszaru jako erozyjny, ze względu na stały przyrost osadu w wałach i ich powolny lecz jednak ciągły przyrost. Zaobserwowane na mierzei trendy rozwoju wydm są trwałe od ponad 14 lat i powtarzalne w skali ostatniego stulecia. Warunki klimatyczne, w tym częstotliwość i prędkość wiatru oraz wysokość spiętrzeń sztormowych, są co roku podobne i sprzyjają akumulacji morskiej na plaży oraz rozwojowi wydm w wyniku oddziaływania procesów eolicznych i sukcesji roślinności. Akumulacja osadu na mierzei zachodzi zarówno w płytkim podbrzeżu (Barniecki, Racinowski 1989), jak i na plażach (Musielak 1991). Należy podkreślić następujące antropogeniczne zmiany dynamiki rzeźby w zachodniej części brzegu mierzei pomiędzy 422 a 424 km brzegu, gdzie od początku 2010 r. prowadzona jest budowa gazoportu i falochronu. W związku z tym na wysokości 423 km brzegu wydma przednia została mechanicznie usunięta w celu prowadzenia wspomnianej inwestycji. Należy wnioskować, że w rejonie zewnętrznym do falochronu, 422-423 km brzegu nastąpi akumulacja i wymuszony przyrost brzegu. Wewnątrz falochronu procesy ulegną zatrzymaniu, a wydma stabilizacji. Niekorzystny bilans osadu plaży i wydm kształtuje się także w rejonie Międzyzdrojów, gdzie od 2007 r. istnieje przedłużone moło zaburzające cyrkulację wody i przenoszenie osadu. Obie te inwestycje wpłyną na dalsze kształtowanie bilansu osadu i rozwój wydm na pozostałym obszarze brzegu mierzei.

Literatura:

- Arens S. M., 1994, Aeolian processes in the Dutch foredunes, Landscape and Environmental Research Group, University of Amsterdam, 1-150.
- Baraniecki J., Racinowski R., 1989, Wykorzystanie parametrów uziarnienia rumowiska z dolnej części spływu strefy potoku przyboju do określania tendencji rozwojowych brzegu morskiego wyspy Wolin, Brzeg Morski 1, Zeszyt Prac Zebranych, Studia i Materiały Oceanologiczne 55, Ossolineum, 107-129.
- Bird E. F. C., 1969, Coasts The MIT Press, Cambridge.
- Borówka R. K., 1999, Multi-year trends of change in intensity of potential aeolian transport on the West Pomeranian coast of the Baltic in the context of the morphology and present-day development of coastal dunes, [w:] R.K. Borówka (red.), Late glacial, holocene and present-day evolution of the coastal geosystems of the Southern Baltic Quaternary Studies in Poland, Special Issue, 67-75.
- Hartnack W., 1926, Die Küste Hinterpommerns unter besonderer Berücksichtigung der Morphologie. II Beiheft zum 43/44 Jahrbuch, Geographische Gesellschaft, Greifswald, 1-112.
- Hesp P.A., 1984, Fore-dune formation of southeast Australia, [w:] B.G. Thom (red.), Coastal Geomorphology in Australia, Sydney, Academic Press, 69-97.
- Keilhack K., 1912, Die Verlandung der Swinepforte, Jahrbuch der Königlich Preussischen Geolog. Land. Bd. XXXII, T. 2, Berlin, 209-244.
- Łabuz T.A., 1998, Potencjalne procesy eoliczne wybrzeża Zatoki Pomorskiej, manuskrypt pracy magisterskiej, Uniwersytet Szczeciński, 1-101.
- Łabuz T. A., 2002, Znaczenie środowiskowe stanowisk honkenii piaskowej *Honckenya peploides* na wydmowym wybrzeżu Zatoki Pomorskiej, Chronimy Przyrodę Ojczyzną 5 (58), Inst. Och. Przyr., PAN Kraków, 57-65.
- Łabuz T.A., 2003, Initial fore-dune field as a factor of accumulative character of coastal dunes of the Świna Gate Barrier (west Polish coast), Oceanological and Hydrobiological Studies XXXII, 1, 39-58.
- Łabuz T.A., 2004, Coastal dune development under natural and human influence on Swina Gate Barrier (Polish coast of Pomeranian Bay), [w:] G. Schernewski, N., Löser (red.), Managing the Baltic Sea, Coastline Reports 2 (2004), EUCC – The Coastal Union, Warnemunde, 129-138.
- Łabuz T.A., Olechnowicz P., 2004, Rekonstrukcja rozwoju rzeźby akumulacyjnego brzegu wydmorego na podstawie struktur sedymentacyjnych – studium przypadku z Mierzei Bramy Świny, [w:] M. Błaszczewicz, P. Gierszewski (red.), Rekonstrukcja i prognoza zmian środowiska przyrodniczego w badaniach geograficznych, Prace Geograficzne 200, IG i PZ PAN, Warszawa, 237-248.
- Łabuz T.A., 2005a, Present-day dune environment dynamics on coast of the Świna Gate Barrier (West Polish Coast), Estuarine Coastal and Shelf Science 62 (3), 507-520.
- Łabuz T. A., 2005b, Brzegi wydmore polskiego wybrzeża Bałtyku, Czasopismo Geograficzne 76 (1-2), 19-47.
- Łabuz T.A., 2006, Morfodynamika brzegów wydmorenych z uwzględnieniem wpływu roślinności na przykładzie Mierzei Bramy Świny, manuskrypt rozprawy doktorskiej, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin, 1-212.

- Łabuz T.A., 2007a, Rate of the sand transportation across the beach during heavy wind action – an example from Świna Gate Sandbar, International Conference on Management and Restoration of Coastal Dunes, Santander, Spain, 79-80.
- Łabuz T.A., 2007b, Zapis współczesnych procesów eolicznych na Mierzei Bramy Świny w powierzchniowych poletkach badawczych, [w:] W. Florek (red.), Geologia i geomorfologia pobrzeża i południowego Bałtyku, t. 7, PAP, Słupsk, 161-176.
- Łabuz T.A., Grunewald R., 2007, Studies on vegetation cover of the youngest dunes of the Świna Gate Barrier (West Polish coast) *Journal of Coastal Research* 23 (1), 160-172.
- Łabuz T.A., 2008, Morfodynamika brzegu wydmowego w Świnoujściu, [w:] K. Rotnicki, J. Jasiewicz, M. Woszczyk (red.), Holocenijskie przemiany wybrzeży i wód południowego Bałtyku – przyczyny, uwarunkowania i skutki Wydawnictwo Tekst sp. z o.o., Poznań-Bydgoszcz, 25-34.
- Łabuz T.A., 2009a, Distal washover fans on Świna Gate Sandbar. *Oceanological and Hydrobiological Studies* Vol. XXXVIII, Supplement 1, 79-95.
- Łabuz T.A., 2009b, The increase of the coastal dune area of the Swina Sandbar, West Polish coast, *Z. Dt. Ges. Geowiss.* 160/2, Stuttgart, 123-135.
- Łabuz T.A., 2011, Wpływ spiętrzeń sztormowych na przebudowę profilu wybrzeża wydmowego Mierzei Bramy Świny. *Czasopismo Geograficzne* 82(4) 351-371.
- Łabuz T.A., Kowalewska-Kalkowska H., 2011, Coastal erosion caused by the heavy storm surge of November 2004 in the southern Baltic Sea. *Climate Research, Special Issue* 48, 93-101.
- Musielak S., (red.), 1991, Photointerpretation Atlas of the shore dynamics of the western coast of Poland, *Urząd Morski, Instytut Nauk o Morzu, OPGK, Szczecin*, 1-22.
- Musielak S., Osadczuk K., 1995, Evolution of the Świna Gate, [w:] K. Rotnicki (red.), Polish coast: past, present, future, *Journal of Coastal Research, Special Issue* 22, 305-308.
- Osadczuk K., 2004, Geneza i rozwój wałów piaszczystych Bramy Świny w świetle badań morfometrycznych i sedymentologicznych. *Rozprawy i Studia* 552, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 1-212.
- Piotrowska H., Celiński F., 1965, Zespoły psammofilne wysp Wolina i Południowo-wschodniego Uznamu, *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią* XVI, 123-170.
- Psuty N. P., 1990, Foredune mobility and stability, Fire Island, New York, [w:] K. F. Nordstrom, N. P. Psuty, B. Carter, (eds.), *Coastal dunes, forms and processes*, John Wiley & Sons Ltd. Chichester, 159-176.
- Rosa B., 1963, O rozwoju morfologicznym wybrzeża Polski w świetle dawnych form brzegowych *Studia Societatis Scientiarum Torunensis* Vol V, Toruń, 1-174,
- Zawadzka-Kahlau E., 1999, Tendencje rozwojowe polskich brzegów Bałtyku Południowego. *IBW PAN, Gdańsk*, 1-127.
- Zeidler R. B., Wróblewski A., Miętus M., Dziadziuszko Z., Cyberski J., 1995, Wind, wave and storm surge regime at the Polish Baltic coast, [w:] K. Rotnicki (red.), Polish coast: past, present, future, *Journal of Coastal Research, Special Issue* 22, 33-55, <http://bramaswiny.szc.pl>, www.fomobi.pl.