

ANALIZA RZEŻBY BRZEGU NA PODSTAWIE NUMERYCZNEGO MODELU TERENU

DIGITAL TERRAIN MODEL-BASED COAST RELIEF ANALYSIS

Paweł Terefenko, Kazimierz Furmańczyk, Michał Łapiński

Instytut Nauk o Morzu, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Szczeciński

SŁOWA KLUCZOWE: brzeg, bezpieczeństwo, rzeźba, NMT, TIN

STERESZCZENIE: Strefa brzegowa morza to bardzo ważny gospodarczo i społecznie obszar wzajemnej interakcji pomiędzy trzema żywiołami: lądem, morzem i atmosferą a obecnością i działalnością ludzką. Od wieków człowiek obserwuje i bada wybrzeże w celu przewidzenia jego zmiennej natury i ujarznienia jej. Ochrona brzegu morskiego zmierza przede wszystkim do powstrzymania i usuwania skutków niszczącej działalności morza. Aby działania takie mogły przynieść pożądany skutek niezbędna jest wiedza o miejscu występowania najbardziej wrażliwych i narażonych części brzegu. W tym celu przeprowadzono analizę rzeźby dla pasa technicznego Urzędu Morskiego w Szczecinie z wykorzystaniem numerycznego modelu terenu. Numeryczny model terenu z uwagi na duże możliwości jakie daje informatyka stał się istotnym elementem w modelowaniu różnorodnych zjawisk przestrzennych w systemach GIS. W niniejszym opracowaniu model utworzony na podstawie mapy zasadniczej z roku 2002 w skali 1:2000 był podstawą do przeprowadzenia analiz i w rezultacie pozwolił na stworzenie klasyfikacji morfologicznej badanego terenu i jego ocenę pod kątem zagrożeń od strony morza. Niniejsze badania mogą służyć jako podstawa do bardziej złożonych analiz zmian rzeźby brzegu morskiego z uwzględnieniem dodatkowych parametrów takich jak tempo erozji i akumulacji oraz wzrost poziomu morza.

1. WSTĘP

Problem zapewnienia bezpieczeństwa brzegów morskich rósł w miarę jak wzrastała gęstość zaludnienia obszarów przybrzeżnych, a zwłaszcza stopnia ich zagospodarowania. Obecne od strony morza niebezpieczeństwa zagrażające rozrastającym się miejscowościom wypoczynkowym uzasadniają wzrastające inwestycje na ochronę brzegu. Jednak każda ingerencja w naturalny system ma swoje konsekwencje. I tak budowa portów z wysuniętymi daleko w morze falochronami wywołała zakłócenia w naturalnym transporcie osadów. Osady rzeczne wynoszone są od razu daleko od brzegu, na większe głębokości, a wzdłuż-brzegowy transport osadów jest zatrzymany w pachwinach falochronu, powodując jego niedobór po drugiej stronie. Niedobór transportowanego materiału osadowego powodował silną erozję brzegu, która zmuszała do jeszcze bardziej intensywnych procesów ochronnych. Budowa kolejnych umocnień brzegu doprowadziła w konsekwencji do sytuacji kiedy to w 1993 roku odnotowano, że 22% całego polskiego wybrzeża jest chronione różnorodnymi

konstrukcjami (Basiński, et al., 1993). W 2005 roku wskaźnik ten wzrósł do 26% (Furmańczyk, 2005).

2. OBSZAR BADAŃ

W polskim prawie definicja strefy brzegowej zastąpiona jest definicją pewnych obszarów całkowicie lub częściowo wchodzących w skład strefy brzegowej (Furmańczyk 2005). W ustawie „O obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej” wyróżnia się obszary morskie Rzeczypospolitej Polskiej oraz pas nadbrzeżny. Pas nadbrzeżny jest obszarem lądowym przyległym do brzegu morskiego, w skład którego wchodzi pas ochronny oraz pas techniczny – stanowiący strefę wzajemnego, bezpośredniego oddziaływania morza i lądu. Jest on przeznaczony do utrzymania brzegu w stanie zgodnym z wymogami bezpieczeństwa i ochrony środowiska (ustawa z dn. 21.03.1991 r.). Właśnie obszar pasa technicznego, podlegającego jurysdykcji Urzędu Morskiego w Szczecinie, objęty został badaniami, których celem było wydzielenie klas związanych z morfologią brzegu. Cały analizowany obszar obejmuje 82 km brzegu rozciągającego się od granicy polsko-niemieckiej w rejonie Świnoujścia, aż do zachodniej granicy gminy Mrzeżyno Gryfickie, gdzie kończy się zakres obowiązków Urzędu Morskiego w Szczecinie.

Obecny krajobraz obszaru badań jest efektem wielu działających wspólnie czynników, wśród których do najważniejszych należą: wpływ ostatniego zlodowacenia, zmiany poziomu morza oraz procesy brzegowe. Działające siły ukształtowały, wyraźnie dziś widoczne dwie dominujące struktury, czyli nisko położone równiny aluwialne i zastoiskowe oraz wysoczyzny morenowe. Równiny oddzielone są od morza pasem nadmorskich wydm. Wyraźny wzrost poziomu morza w ostatnich dziesięcioleciach stwarza realne zagrożenie przerwania bariery wydmowej i zalania zaplecza. Konsekwencje takiej sytuacji mogą być bardzo poważne, zwłaszcza gdy powodnią sztormową zostanie dotknięta infrastruktura miejscowości wypoczynkowych.

W związku z powyższym zdecydowano się, przy wykorzystaniu numerycznego modelu terenu, przeprowadzić analizę rzeźby brzegu podlegającego administracji Urzędu Morskiego w Szczecinie.

3. NUMERYCZNY MODEL TERENU

W dobie map numerycznych i komputerowego przetwarzania danych istnieje możliwość przedstawienia rzeźby terenu w formie numerycznego modelu terenu – NMT (ang. Digital Terrain Model – DTM). NMT jest to w uproszczeniu zbiór punktów o znanym położeniu (współrzędne x i y) i wysokości (h), reprezentujących na danym obszarze fizyczną powierzchnię terenu. Punkty te są na tyle gęsto rozmieszczone, że reprezentują quasi-ciągłą powierzchnię terenu z jej formami. Punkty NMT mogą tworzyć regularną siatkę kwadratów zwaną GRID, o znanym „oczku” (tj. długości boku kwadratu) lub nieregularną sieć trójkątów zwaną TIN (Kurczyński, et al., 2007).

Podczas budowy modelu wykorzystanego w niniejszym opracowaniu wykorzystano istniejące mapy pasa technicznego Urzędu Morskiego w Szczecinie z roku 2002 w skali 1:2000. Opracowanie NMT polegało na wektoryzacji w programie ArcGIS 9.1 punktów wysokościowych przedstawionych na mapach. Sporządzona została mapa punktów sytuacyjnych wraz z ich wysokościowym oznaczeniem w tabeli atrybutów. W obrębie

obszaru badań na mapie źródłowej znajdowało się około 25000 punktów pomiarowych. Jednocześnie wykorzystano otrzymaną od Urzędu Morskiego cyfrową mapę poziomic w formacie „dxf” wraz z ich oznaczeniem wysokościowym. W celu ujednoczenia bazy danych format „dxf” przetworzony został za pomocą programu ArcGIS 9.1 do formatu „shp” a następnie zaimportowany do geobazy stworzonej na potrzeby przygotowywanego modelu numerycznego terenu. Na podstawie przygotowanej w ten sposób bazy danych opracowano numeryczny model terenu. Wykonany został model TIN (Triangular Irregular Network), który powstaje w wyniku triangulacji spełniającej warunek Delaune’a (Makowski, 2005). Model taki w pełni zachowuje informacje o położeniu punktów pomierzonych w celu określenia formy powierzchni terenu. Do zbudowania siatki wybiera się bok początkowy łączący dwa kolejne punkty, a następnie znajduje się trzeci wierzchołek trójkąta położonego na okręgu opisanym na tym trójkącie w ten sposób, aby żaden inny punkt nie znajdował się wewnątrz tego okręgu (Kurczyński, et al., 2007).

Decyzja o zastosowaniu modelu TIN wynikała z możliwości jego bezpośredniej rozbudowy o nowe elementy bez potrzeby ich ponownej interpolacji, w przypadku gdy wielkość i orientacja nowych trójkątów nie pokrywała się z już istniejącymi oczkami siatki. Jednocześnie model TIN pozwala na łatwiejsze przedstawienie wszelkich nieciągłości terenu (Kurczyński, et al., 2007), co w przypadku analizy obszarów klifowych miało istotne znaczenie.

Wadą zastosowanej metody kartograficznej pozyskiwania danych do numerycznego modelu terenu są trudności z rekonstrukcją form terenowych przedstawianych na mapach za pomocą znaków umownych, takich jak skarpy, nasypy. W związku z powyższym w celu weryfikacji poprawności przygotowanego modelu TIN konieczne było przeprowadzenie wizji lokalnej i sprawdzenie czy automatyczny proces triangulacji nie spowodował błędów przy odwzorowywaniu charakterystycznych form rzeźby terenu. Fragmenty modelu, które zidentyfikowano jako błędnie przedstawione poddane zostały przetworzeniu poprzez manualną korektę sieci punktów. Taki zabieg był tym bardziej czasochłonny im sieć punktów była rzadsza, a rzeźba terenu bardziej urozmaicona. Efektem błędnej triangulacji były przekłamanie płaskie obszary, nienaturalnie ostre lub gładkie krawędzie, gwałtownie kończące się formy rzeźby terenu o charakterze ciągłym. Korekta polegała na weryfikacji konstrukcji linii szkieletowych modelu i lokalizacji miejsc, w których niezbędne było wprowadzenie nowych obiektów pozwalających aby model po interpolacji odzwierciedlił rzeczywisty układ rzeźby terenu.

W wyniku przeprowadzonych prac powstał numeryczny model terenu oparty na skali 1:2000 obejmujący 82 kilometry pasa technicznego brzegu o szerokości od stu pięćdziesięciu metrów do jednego kilometra. Przykładowe fragmenty modelu przedstawiają rys. 1-5.

4. ANALIZA RZEŻBY TERENU

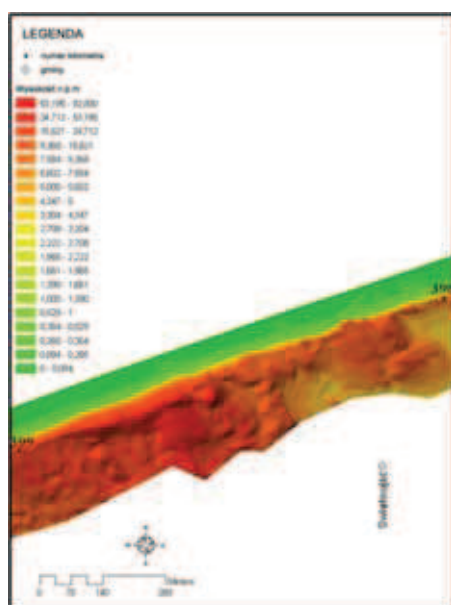
Analiza rzeźby badanego terenu za pomocą numerycznego modelu terenu pozwoliła na jego klasyfikację na odcinki o dominującym tam typie ukształtowania. Należą do nich następujące odcinki:

- klify
- brzeg wydmowy wielo-wałowy
- brzeg wydmowy jedno, dwu-wałowy wysoki
- brzeg wydmowy jedno, dwu-wałowy niski

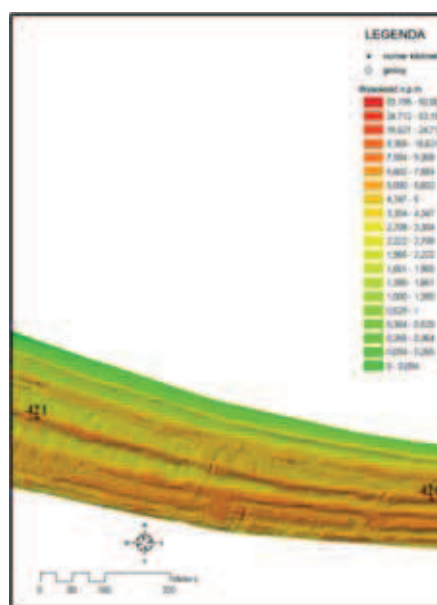
- obszar ujścia rzek

Wybrzeże klifowe (rys.1.) na badanym obszarze występuje w dwóch odcinkach, po wschodniej stronie wybrzeża od okolic Niechorza (367,6 km – według kilometraża polskiego wybrzeża) po kilometr 385,3 oraz po stronie zachodniej, od 297,3 w okolicach Świętougścia poprzez Woliński Park Narodowy do 411,8 km w okolicach Międzyzdrojów. Na pierwszym odcinku wysokości ściany klifu są umiarkowanie średnie od około 9 m w okolicach Pobierowa do prawie 17 metrów w Trzęsaczu. Na drugim odcinku wysokości są zdecydowanie wyższe i sięgają nawet blisko 90 metrów. Najwyższa, zanotowana wysokość znajduje się kilkanaście metrów za krawędzią klifu w stronę lądu przy kilometrze 409,3 i osiąga 92,8 m n.p.m..

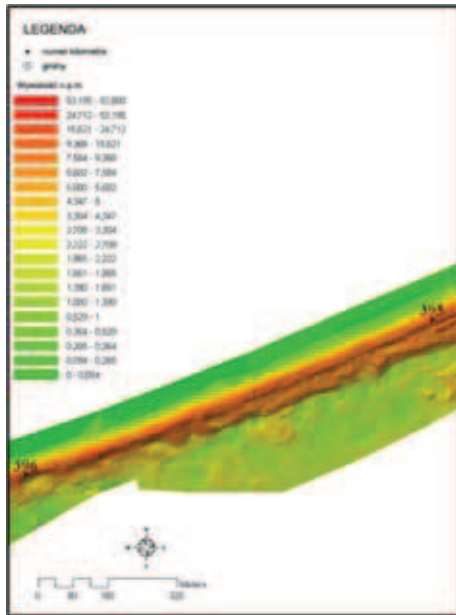
Brzeg wydmy wielo-wałowy (rys.2.) obecny jest tylko w zachodniej części obszaru badań o zasięgu około 11 kilometrów długości. Jego obecność związana jest z ujściem rzeki Świny, a obszar ten nazywany jest Bramą Świny. Układ wydmy wyraźnie świadczy o historii tego obszaru i po raz pierwszy opisany został przez Keilhacka (Keilhack, 1914).



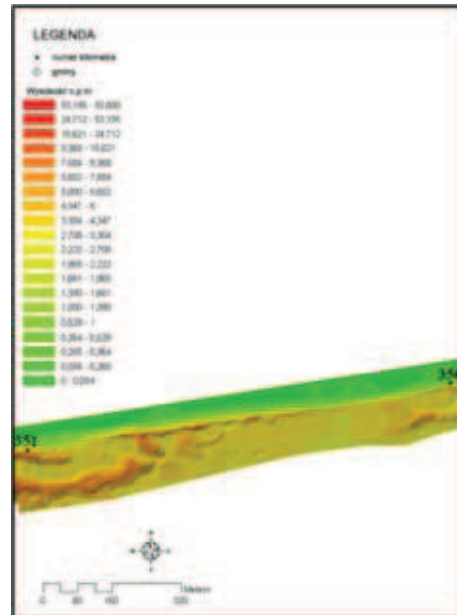
Rys. 1. Przykład wybrzeża klifowego



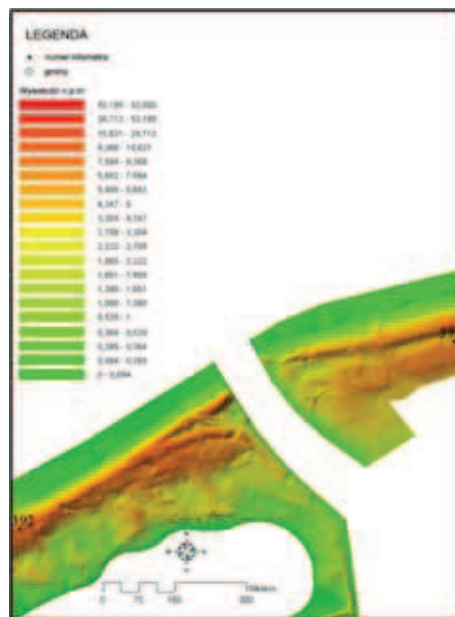
Rys. 2. Przykład wybrzeża wydmy wielowałowego



Rys. 3. Przykład wybrzeża wydmyowego jedno lub dwuwałowego wysokiego



Rys. 4. Przykład wybrzeża wydmyowego jedno lub dwu-wałowego niskiego



Rys. 5. Przykład ujścia rzeki przedstawiony na numerycznym modelu terenu

Brzeg wydmy jedno lub dwu-wałowy wysoki (rys.3.) reprezentowany jest przez obszary, których pierwszy lub drugi wał wydmy jest dobrze ukształtowany.

Wysokość i szerokość wału pozwala na to, aby w czasie wezbrania sztormowego stanowił on solidną barierę przed wtargnięciem wód w głąb lądu. W przypadku występowania wału pojedynczego jego szerokość waha się od 40 do 90 metrów, a wysokość mieści się w granicach 6-12 m n.p.m.. Cechą charakterystyczną jest stok odmorski, który jest stromy wskutek okresowej erozji brzegu podczas gdy stok odlądowy jest łagodny.

Brzeg jedno lub dwu-wałowy niski (rys.4.) charakteryzuje się względnie niskimi wysokościami koron wydmy i bardzo wąskimi szerokościami, stanowiącymi tym samym zagrożenie przerwania podczas wezbrania sztormowego.

Na obszarze badań znajdują się ujścia czterech rzek (rys.5.): Świny, Dziwny, Liwki i Regi. Ukształtowanie rzeźby przy każdym ujściu jest podobne. Wydma przecięta korytem rzeki jest rozczłonkowana w charakterystyczny sposób. Jej równoległe do siebie fragmenty rozchodzą się w kierunkach lądu tworząc lejkowaty kształt obniżenia, którym rzeka uchodzi do morza. Wszystkie brzegi rzek, z wyjątkiem najmniejszej Liwki są chronione falochronami.

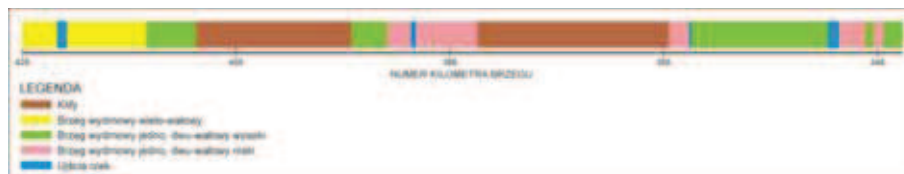
5. WYNIKI

Zgodnie z przedstawionymi powyżej zasadami podzielono badany odcinek brzegu na 5 klas. Wynik przedstawiono w postaci przestrzennego diagramu (rys. 6.). Natomiast zbilansowanie udziału poszczególnych klas w długości całego badanego obszaru o długości 82 km przedstawiono w postaci diagramu kołowego (rys.7.)

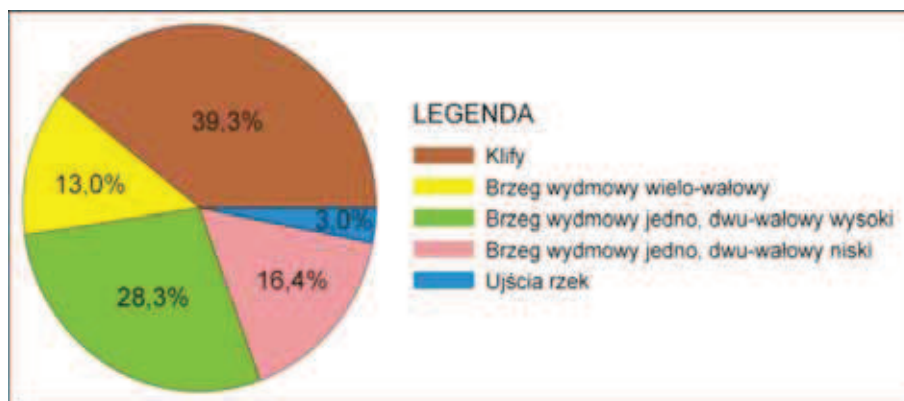
Obszary ujścia rzek: Świny, Dziwny, Liwki i Regi są, ze względu na obecność falochronów, zagrożone erozją brzegu i przerwaniem wałów wydmy. Ich łączna długość wynosi 2,5 km, co stanowi 3% badanego brzegu.

Niski pas jedno lub dwu-wałowych słabo ukształtowanych wydmy występuje w kilku miejscach – na odcinkach 385,3-393,8 (okolice ujścia Dziwny), 365,5-367,5 (okolice Niechorza) 349,3-351,6 (okolice Mrzeżyna) oraz 347,5 – 348,5 km (okolice Rogowa) na łącznej długości 13,5 km, co stanowi 16,4 % badanego brzegu.

Brzeg wydmy jedno lub dwu-wałowy wysoki występuje na długości 23,3 km, co stanowi 28,3% badanego brzegu, natomiast klify – występują na długości 32 km (39,3 km). Można więc stwierdzić, że brzeg, na długości 16 km (19,4%) może w przyszłości być zagrożony powodzią sztormową o ile nie zostaną podjęte odpowiednie środki zaradcze. Pozostałe 66 km brzegu (80,6%) nie powinno być dotknięte powodzią sztormową, natomiast mogą tam wystąpić zjawiska erozji brzegu, przez co może być zagrożona infrastruktura miejscowości nadmorskich.



Rys. 6. Diagram przedstawiający rozkład przestrzenny wydzielonych klas



Rys. 7. Diagram kołowy przedstawiający udział poszczególnych klas w długości całego odcinka

6. WNIOSKI

Opracowany NMT wykonany w szczegółowej skali 1:2000 pozwolił na sporządzenie klasyfikacji morfologicznej brzegu oraz określenie rodzaju i stopnia zagrożenia brzegu powodzią sztormową.

Określono, że spośród 82 km odcinka badanego brzegu, 16 km (19,4%) posiada brzeg najsłabszy gdzie wskutek ekstremalnego sztormu wały wydymowe mogą zostać rozmyte i woda może wtargnąć na ich zaplecze

7. LITERATURA

Basiński T., Pruszek Z., Tarnowska M., Seidler R. 1993. Ochrona brzegów morskich IBW PAN, Gdańsk.

Furmańczyk K., 2005. ZZOP w Polsce – stan obecny i perspektywy. Problem erozji brzegu. Wydawnictwo Oficyna In Plus, Szczecin.

Keilhack K., 1914. Erläuterungen zur Geologischen Karten von Preussen und benachbarten Bundesstaaten. Blatt Swinemunde. Berlin

Kurczyński Z., Gotlib D., Olszewski R., Kaczyński R., Butowtt J., 2007. Systemy informacji geograficznej w praktyce (Studium Zastosowań), red. M.Kunz, Wyd. UMK, Toruń.

Makowski A., 2005. Systemy informacji topograficznej kraju. Teoretyczne i metodyczne opracowanie koncepcyjne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

DIGITAL TERRAIN MODEL-BASED COAST RELIEF ANALYSIS

KEY WORDS: coast, safety, relief, DEM, TIN

Summary

The coastal zone of the sea is an economically and socially important area of interaction between three basic elements: the land, the sea and the atmosphere; it is also affected by human activities. Coastal processes have been for ages investigated to forecast, restrain, and tame their nature. Coastal defence systems are mostly designated to stop or mitigate destructive effects of the sea. Such activities can succeed only if there is sufficient knowledge on the most sensitive and fragile parts of the coast. To identify such areas, a coast strip managed by the Szczecin Maritime Office was analysed with a digital terrain model. Due to its large technical potential, the digital terrain model (DTM) has become a very important tool in modelling of a variety of spatial phenomenon within GIS systems. In this work, a TIN model developed from a 1:2000 map of a technical strip belt for 2002 was used to analyse the morphology of the Polish coast. The analysis allowed to distinguish several morphological classes; in addition, coastal safety classes were identified. The results should be analysed in a wider context taking into account additional variables such as erosion and accumulation rates or the mean sea level rise.

mgr Paweł Terefenko
e-mail: teref@univ.szczecin.pl
tel. +48 91 444 23 54
fax. +48 91 444 24 51

dr hab. prof. US Kazimierz Furmańczyk
e-mail: kaz@univ.szczecin.pl
tel. +48 91 444 23 54
fax. +48 91 444 23 51

mgr Michał Łapiński