

Paweł Terefenko
Wydział Nauk o Ziemi
Uniwersytet Szczeciński
ul. Mickiewicza 18
70-383 Szczecin

Szczecin, 23.10.2018

ZAŁĄCZNIK 2a

I. **Imię i nazwisko:** Paweł Terefenko

II. **Posiadane dyplomy oraz stopnie naukowe:**

1. Dyplom magistra geografii ze specjalnością geografia morza – 2002, Uniwersytet Szczeciński
2. Stopień naukowy doktora nauk o Ziemi w dyscyplinie: geografia – nadany uchwałą Rady Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Szczecińskiego z 28.06.2012; tytuł rozprawy doktorskiej: *Czynniki kształtujące morfologię wybrzeża Algarve w ujęciu GIS*

III. **Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:**

1. Od 01.10.2002 do 30.09.2009: asystent naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Teledetekcji i Kartografii Morskiej Instytutu Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego
2. 01.10.2010 – 30.09.2012: wykładowca w Zakładzie Teledetekcji i Kartografii Morskiej Instytutu Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego
3. 01.10.2012 – obecnie: adiunkt w Zakładzie Teledetekcji i Kartografii Morskiej Instytutu Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego

IV. **Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz.U. z 2016 r. poz. 1311.):**

a) **Tytuł osiągnięcia:**

ANALIZA I METODOLOGICZNE UWARUNKOWANIA MONITORINGU
ZAGROŻEŃ NATURALNYCH W MORSKIEJ STREFIE BRZEGOWEJ

b) **Publikacje składające się na osiągnięcie habilitacyjne:**

Jako osiągnięcie naukowe przedstawiono pięć recenzowanych publikacji naukowych, które zostały opracowane i opublikowane po otrzymaniu stopnia naukowego doktora. Składają się na nie artykuły opublikowane w czasopismach znajdujących się na tzw. liście filadelfijskiej (Web of Science), w których w pracach I-III jestem pierwszym autorem.

Sumaryczny impact factor (IF) prac wynosi 8,642, a sumaryczny pięcioletni impact factor (5yr IF) prac wynosi 9,716. Mój udział w publikacjach został przedstawiony w załączniku nr 3, a zakres prac współautorów potwierdzony oświadczeniami (załącznik 4).

Dla każdej z wymienionych prac podaję Impact Factor (IF – za rok publikacji bądź najnowszy dostępny) i pięcioletni Impact Factor (5yr IF – najnowszy dostępny) wg Journal Citation Reports. Liczbę cytowań podaję wg Web of Science (WoS) oraz Scopus. Pełna analiza bibliometryczna moich prac potwierdzona przez Bibliotekę Główną Uniwersytetu Szczecińskiego znajduje się w załączniku 3.

Tab. 1. Prace zgłaszane jako osiągnięcie habilitacyjne.

Nr	Tytuł publikacji, wskaźniki bibliometryczne oraz liczba cytowań		
I	Terefenko P. , Terefenko O. Determining the role of exposure, wave force, and rock chemical resistance in marine notch development. <i>Journal of Coastal Research</i> , 2014, SI 70, 706-711.		
	IF: 0,980	5yr IF: 1,064	Liczba cytowań (WoS/Scopus): 2/1
II	Terefenko P. , Zelaya-Wziątek D., Dalyot S., Boski T., Lima-Filho Pinheiro F. A High-Precision LiDAR-Based Method for Surveying and Classifying Coastal Notches. <i>ISPRS International Journal of Geo-Information</i> , 2018, vol. 7/8, 295. doi:10.3390/ijgi7080295.		
	IF: 1,723	5yr IF: 1,960	Liczba cytowań (WoS/Scopus): 0/0
III	Terefenko P. , Giza A., Paprotny D., Kubicki A., Winowski M. Cliff retreat induced by series of storms at Międzyzdroje (Poland). <i>Journal of Coastal Research</i> , 2018, SI 85, 181-185, doi.org/10.2112/SI85-037.1		
	IF: 0,804	5yr IF: 1,064	Liczba cytowań (WoS/Scopus): 1/2
IV	Paprotny D., Andrzejewski P., Terefenko P. , Furmańczyk K. Application of empirical wave run-up formulas to the Polish Baltic Sea coast. <i>PLOS ONE</i> , 2014, vol. 9/8, art no. e105437, 10.1371/journal.pone.0105437		
	IF: 3,234	5yr IF: 3,352	Liczba cytowań (WoS/Scopus): 0/2
V	Paprotny D., Terefenko P. New estimates of potential impacts of sea level rise and coastal floods in Poland. <i>Natural Hazards</i> , 2017, 85/2, 1249-1277, 10.1007/s11069-016-2619-z		
	IF: 1,901	5yr IF: 2,276	Liczba cytowań (WoS/Scopus): 6/7

c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Cel przedkładanego cyklu publikacji

Nadrzędnym celem przedkładanego osiągnięcia jest zwiększenie użyteczności metod analizy przestrzennej i statystycznej w monitoringu zagrożeń naturalnych w morskiej strefie brzegowej, a także weryfikacja i uszczegółowienie dotychczas stosowanych metod w celu poprawienia możliwości ich aplikacyjnego wykorzystania. Poniżej zamieszczam krótkie omówienie przedkładanego cyklu publikacji, ich wkład w rozwój dyscypliny wraz z charakterystyką praktycznego wykorzystania.

Wstęp

Morska strefa brzegowa to obszar niezwykle atrakcyjny, wybierany jako kierunek wypoczynku letniego. Pięknej nadmorskiej pogodzie często towarzyszą także wiatry generujące falowanie oraz inne procesy, takie jak wahania poziomów morza oraz różnego rodzaju prądy. Stale rosnąca liczba sztormów o podwyższonych poziomach spiętrzeń wody (Suursaar i in., 2006; Tonnison i in., 2013), które wspólne z cieplejszymi zimami powodują znaczne przyśpieszenie tempa erozji brzegu (Bugajny i Furmańczyk, 2014, Paprotny i Terefenko, 2017) stanowią główne efekty zwiększającej się aktywności cyklonalnej. Są to zjawiska o dużej nieprzewidywalności, często zmieniające swoją charakterystykę i bezpośrednio związane z globalnymi zmianami klimatycznymi (Zhang i in., 2013).

Chociaż poczyniono znaczące postępy w zrozumieniu procesów przybrzeżnych (Subotowicz, 1982; Trenhaile, 2002; Lee, 2008; Deng i in., 2014), to aby określić potencjalne zagrożenia, potrzebna jest większa wiedza o mechanizmach kontrolujących te zjawiska, a przede wszystkim o metodach umożliwiających ocenę potencjalnego ryzyka. Jest to szczególnie istotne ze względu na ograniczenia ekonomiczne uniemożliwiające zaprojektowanie, sfinansowanie i budowę rozwiązań inżynierskich, które chroniłyby turystów przed wszystkimi zagrożeniami naturalnymi. Istnieje zatem potrzeba opracowania uniwersalnego sposobu zarządzania brzegiem morskim, który umożliwi dostosowanie się do potencjalnego ryzyka, podniesie poziom bezpieczeństwa na wybrzeżu i zminimalizuje skutki procesów zachodzących w tej strefie.

Kluczowym elementem każdego systemu zarządzania jest dostęp do aktualnych i szczegółowych danych. W ciągu ostatnich kilku lat realizowano liczne przedsięwzięcia naukowe i praktyczne oraz stworzono systemy, mające na celu dostarczenie nowych, szczegółowych danych dotyczących morskiej strefy brzegowej (Furmańczyk i in., 2012, 2014). W większości tych systemów stosowane były klasyczne metody pozyskiwania danych, z wykorzystaniem taniej, ale czasochłonnej technologii RTK GPS, czy dokładniejszych i szybszych, ale bardziej kosztownych metod skaningu laserowego (lotniczego i naziemnego) oraz relatywnie taniej i praktycznej, ale posiadającej ograniczenia przestrzenne metody wideomonitoringu. Jednocześnie podejmowano próby wykorzystania stosunkowo młodej w porównaniu do metod klasycznych, ale zyskującej coraz większą popularność metody monitoringu w wykorzystaniem bezzałogowych statków powietrznych.

Jednakże wszystkie istniejące i gromadzone dane oraz informacje dotyczące strefy brzegowej, jeśli nie zostaną wykorzystane do realnej oceny i analizy zagrożeń, z jakimi spotykamy się na obszarach przybrzeżnych, pozostaną tylko i wyłącznie dobrze uzupełnionym zasobem o wysokim potencjale. W praktyce dane o ograniczonym zasięgu przestrzennym dają możliwość oceny zagrożeń na brzegach jedynie dla miejsca lub okresu, w których zostały wykonane. Dlatego też szczególnego znaczenia nabierają prace badawcze, które z jednej strony dokonują takiej analizy w ujęciu konkretnego obszaru badawczego, a z drugiej prezentują uniwersalną metodologię, która może zostać zastosowana w dużo większej skali.

Aby zrealizować główny cel przedstawianego osiągnięcia, wszystkie wymienione prace prezentują zarówno metodologiczne uwarunkowania monitoringu, jak również wyniki analiz zagrożeń naturalnych w strefie brzegowej. Ze względu na różnorodność światowych wybrzeży, w prezentowanym osiągnięciu podjąłem również próbę przedstawienia wszechstronności wykorzystywanych przestrzennych i statystycznych metod analitycznych, bez względu na typ i charakter analizowanego brzegu.

Przedstawione powyżej podejście otwiera szerokie możliwości praktycznego zastosowania uzyskiwanych innowacyjnych wyników na różnorodnych typach wybrzeży. Jest to niezwykle istotne, ponieważ rezultaty badań naukowych to bardzo często ważne odkrycia przyczyniające się do dalszego rozwoju nauki oraz postępu naukowo-technicznego. Ważne jest, aby ich wyniki były w większym niż dotychczas stopniu wykorzystywane w praktyce gospodarczej i stanowiły podstawę umożliwiającą wprowadzanie na rynek nowych produktów oraz usług.

Ze względu na mnogość stosowanych technik i typów analizy statystycznej i przestrzennej kolejność prezentowanych poniżej prac usystematyzowana została w pierwszej kolejności według rodzaju monitorowanego wybrzeża, a w drugiej – według typu i charakterystyki wykorzystywanej metody badawczej.

Wybrzeża skaliste

Tematyka ewolucji systemu przyrodniczego morskiej strefy brzegowej, zwłaszcza na obszarze Polski, kojarzy się najczęściej z procesami kształtującymi wybrzeża nieskonsolidowane. Tymczasem szacuje się, że obecnie około 80% wybrzeży Ziemi to wybrzeża skaliste (Naylor i in., 2009). Obszary te cechuje niezwykła złożoność, wynikająca z mnogości i zmienności czynników powodujących określone procesy hydrodynamiczne i morfodynamiczne, kształtujące rzeźbę takich wybrzeży (Terefenko, 2014).

Wybrzeża skaliste definiowane są jako strefy bezpośredniego kontaktu lądu i morza, mające strome, odporne na erozję zbocze (Anthony, 2009). Pojęcie „odporne na erozję”, użyte w definicji wybrzeża skalistego, jest stwierdzeniem ogólnym i stosunkowo nieprecyzyjnym. W literaturze przedmiotu brakuje ilościowego kryterium określającego stopień odporności skały na erozję. Przyjmuje się, że zbudowane są one ze skał litych, w których minerały są silnie zespolone (Emery i Kuhn, 1982).

Niezaprzeczalny jest jednak fakt, że zmiany odnotowywane na skalistym klifowym wybrzeżu są zdecydowanie wolniejsze, niż np. na podlegających intensywnej erozji wybrzeżach nieskonsolidowanych. Jednak tempo to jest na tyle szybkie, że proces ten w niektórych klifach jest zauważany już w czasie historycznym, czyli skali wieków, a nie tylko geologicznym. Związane z tym nagłe i nieprzewidywalne ruchy masowe, spowodowane destabilizacją klifu na skutek procesów erozyjnych, mogą być bezpośrednim zagrożeniem dla życia znajdujących się w pobliżu ludzi, gdyż zarówno same klify, jak i przylegające do nich „plaże kieszeniowe” cieszą się dużą popularnością wśród turystów.

Identyfikacja historycznych i aktualnie powstających nisz erozyjnych na wybrzeżach skalistych to jeden najważniejszych nurtów badawczych realizowanych na tego typu obszarach. Opis profilu niszy oraz zależności między zasięgiem pływów a jej wysokością zostały uznane za podstawę wyznaczania średnich historycznych poziomów morza. Jednocześnie właściwe rozpoznanie etapu rozwoju niszy pozwala na potencjalną ocenę stopnia zagrożenia przemieszczenia się masywów skalnych. W podejmowanej tematyce badawczej istnieje jednak wciąż wiele niewyjaśnionych zagadnień, zwłaszcza w zakresie rozpoznania zależności pomiędzy czynnikami sprawczymi a ich morfologicznymi efektami.

Metodykę analiz statystycznych i przestrzennych na przykładzie wybrzeża skalistego podejmują prace I i II (tab. 1).

Głównym celem pracy pt. „Determining the role of exposure, wave force, and rock chemical resistance in marine notch development” (praca I, tab. 1) jest przedstawienie metodyki analiz geostatystycznych i statystycznych wykorzystywanych do rozpoznawania zależności pomiędzy wybranymi czynnikami sprawczymi kształtującymi rzeźbę wybrzeża a ich morfologicznymi efektami, jakimi są nisze erozyjne. Przykładowe analizy przeprowadzone zostały dla wybranego fragmentu skalistego wybrzeża Algarve (południowa Portugalia), obszaru o wysokim poziomie ryzyka obrywów masywów skalnych (Oliveira, 2005; Fall i in., 2006). W pracy wykorzystane zostały dane pozyskane w ramach okresowego monitoringu wybrzeża Algarve. Dla każdej skartowanej niszy określone zostały: przynależność genetyczna, kształt, kombinacja współtworzona z innymi niszami oraz szacowana względna wysokość w profilu klifu. W trakcie kampanii pomiarowych pobierane były również próby skalne, dla których za pomocą metod laboratoryjnych określona została procentowa zawartość węgla wapnia. Z powodu ograniczonej dostępności wielu fragmentów wybrzeża niemożliwy był pobór prób dla wszystkich zidentyfikowanych nisz erozyjnych. W związku z niniejszym niezbędne było przeprowadzenie geoanalizy umożliwiającej pozyskanie brakujących danych.

W tym celu zastosowane zostały metody geostatystyczne, do grupy których zaliczamy całą rodzinę technik związanych z krigingiem, opierającą się na statystycznym modelu, uwzględniającym autokorelację danych. Największą zaletą metod geostatystycznych jest możliwość określenia za ich pomocą nie tylko najbardziej prawdopodobnej wartości w dowolnej komórce rastra, ale przede wszystkim ocena spodziewanego błędu jego określenia (Urbański, 2010; Terefenko, 2014; Terefenko i Terefenko, 2014).

Do estymacji zawartości węgla wapnia w opisanych badaniach wykorzystano podstawową metodę estymowania powierzchni ciągłych, jaką jest kriging zwyczajny. Na podstawie przeprowadzonej analizy geostatystycznej umożliwiony został odczyt estymowanej wartości węgla wapnia w każdym miejscu klifu. Pozwoliło to na pozyskanie średniej wartości CaCO_3 dla każdej zidentyfikowanej niszy erozyjnej.

Na podstawie danych z monitoringu oraz wyników analizy geostatystycznej, przeprowadzona została statystyczna analiza czynników kształtujących wybrzeże skaliste. Do analizy wykorzystano między innymi nieparametryczny test Kruskala-Wallisa. Wyboru metody dokonano ze względu na niemierzalność analizowanych cech kształtu i kombinacji nisz, będących danymi jakościowymi, oraz brak rozkładu normalnego zmiennych niezależnych, na podstawie których została przeprowadzona analiza zależności pomiędzy zawartością węgla wapnia, ekspozycją, mocą falowania a ich wpływem na kształt profilu niszy i jej kombinacji. Równoległe do analizy istotności czynników prowadzono badania korelacji pomiędzy średnią zawartością węgla wapnia w skałach budujących nisze, mocą falowania a rodzajem kształtu niszy. Posłużono się w tym celu wykresem rozrzutu oraz wykorzystano drzewa klasyfikacyjne pozwalające na grupowanie monitorowanych obiektów na podstawie oddziałujących na nie parametrów.

Zaprezentowana w niniejszej pracy metodyka analizy geostatystycznej i statystycznej pozwoliła na zdefiniowanie wielu zależności występujących w procesie kształtowania rzeźby skalistego wybrzeża. Określono, że kształty nisz zmieniają się wraz z ekspozycją, a jeszcze bardziej wraz z rosnącą mocą falowania.

Podsumowując, praca I stanowi ważny wkład w rozwój wiedzy o procesach erozji na wybrzeżach skalistych z czterech głównych powodów:

- 1) przedstawia nowe możliwości analityczne, niewykorzystywane do tej pory przy analizach brzegów skalistych,
- 2) pokazuje, że w systemie strefy brzegowej skalistego wybrzeża, w zależności od ekspozycji klifu, występuje zmienność dominujących czynników, które warunkują powstawanie nisz i rozwój procesów erozyjnych,
- 3) ukazuje brak zależności pomiędzy rodzajem kombinacji tworzonym przez nisze a ekspozycją klifu, mocą falowania oraz zawartością węgla wapnia, tym samym odrzucając hipotezę o wzmożonej erozji brzegu w przypadku klifu z dużą ilością nisz w profilu,
- 4) udowadnia przydatność metod geostatystycznych w procesie uzupełniania danych monitoringu wybrzeży skalistych.

Podczas prac monitoringowych przy realizacji opisywanych powyżej badań terenowych, jednym z głównych problemów praktycznych była jednoznaczna identyfikacja typu i kształtu nisz erozyjnych. Monitorowanie zmian geometrii nisz i rozpoznawanie mechanizmów ich rozwoju odgrywa kluczową rolę w ocenie ryzyka oberwania się klifu, gdyż jak wskazują otrzymane wyniki, wszelkiego rodzaju nisze są główną przyczyną destabilizacji klifów i ich ostatecznego obrywania się (Andriani i Walsh, 2006; Kogure i in., 2006; Castedo i

in., 2012). Okresowa kontrola głównych parametrów nisz pozwala więc na ocenę stopnia rozwoju procesów erozyjnych i może służyć do definiowania obszarów zagrożonych obrywami mas skalnych. Podjęto więc próbę opracowania metody umożliwiającej automatyzację tego procesu. Efektem prac międzynarodowego zespołu jest publikacja pt. „A High-Precision LiDAR-Based Method for Surveying and Classifying Coastal Notches” (praca II, tab. 1).

W pracy tej zaprezentowana została nowa metodyka wykorzystania naziemnego skaningu laserowego (TLS – ang. *terrestrial laser scanner*) do oceny i parametryzacji nisz erozyjnych na wybrzeżach skalistych. Do testów wybrano 200-metrowy odcinek linii brzegowej w centralnej części regionu Algarve w południowej Portugalii. Jest to obszar zróżnicowany geomorfologicznie, obejmujący: klify, plaże kieszonkowe, jaskinie morskie i nisze erozyjne. Badana ściana klifu to bioklastyczne skały wapienne i piaszkowe formacji Lagos-Portimão, podlegające intensywnym procesom krasowienia. W pracy wykorzystano chmurę punktów pozyskaną za pomocą TLS. Aby zapewnić wiarygodność danych i umożliwić weryfikację punktów kontrolnych (GCP – ang. *Ground Control Points*), pomiary wykonywano z dwóch niezależnych stanowisk znajdujących się 50 metrów od siebie.

Celem prowadzonych prac było opracowanie powtarzalnej metody analizy parametrów nisz erozyjnych, która mogłaby być stosowana bez specjalistycznego oprogramowania. Dlatego do dalszych analiz zdecydowano się wykorzystać utworzony na podstawie chmury punktów 3D numeryczny model klifu. Podejście takie stanowiło kompromis, w którym nastąpiła utrata części oryginalnych danych z chmury punktów, ale sam proces analityczny mógł być prowadzony w szeroko dostępnych Systemach Informacji Geograficznej.

W pierwszej kolejności opracowana została metodyka wstępnej identyfikacji nisz na podstawie mapy cieniowania oraz wygenerowanych w interwałach co 10 cm konturów. Następnie kształt nisz identyfikowano przy użyciu miar ich geometrii, w tym wysokości, głębokości, wysokości strefy wycofywania i zakresu strefy wycofywania. Wszystkie te parametry mierzono na podstawie profili topograficznych nisz. Głównym kryterium oceny kształtu niszy było to, czy wysokość strefy wycofywania przekraczała 25% całkowitej wysokości niszy. Wyniki przedstawione w pracy wskazują na to, że przyjęty przez nas model klasyfikacji kształtu nisz daje lepsze rezultaty niż metody tradycyjne, bazujące często na szacunkowych wartościach lub założeniach co do kształtu. Tym niemniej, choć wartości progowe ustalone do oszacowywania parametrów nisz pozwoliły uzyskać spodziewane wyniki, należy podjąć dalsze prace nad ustaleniem wartości dodatkowych parametrów nisz, stanowiących kryterium odróżniania naturalnych nisz od obiektów antropogenicznych.

Kolejnym parametrem, obliczanym na podstawie danych skaningu laserowego (LiDAR – ang. *Light Detection and Ranging*), była porowatość powierzchni. Klasyfikowanie rodzaju nisz na podstawie porowatości przy użyciu tradycyjnych technik jest utrudnione. Z uwagi na wysokość nisz na klifie w badaniach terenowych często niemożliwe jest obliczenie porowatości powierzchni niszy lub nawet jej ocena jakościowa. W takich przypadkach genetyczny rodzaj niszy określany jest według kształtu i pozycji w płaszczyźnie pionowej profilu klifu: jeśli nisza ma kształt litery U i jest umiejscowiona w górnej części klifu, to zakłada się, że jest strukturalna. Wypiętrzanie tektoniczne klifów może jednak odsłonić nisze pływowe na wysokościach, na których oczekuje się nisz strukturalnych. Możliwość identyfikacji nisz pływowych na stosunkowo wysokich obszarach klifu może okazać się przydatna w badaniach dawnych poziomów morza, jeśli ustalono kontekst geochronologiczny. W takich przypadkach wyniki uzyskane przy pomocy skaningu laserowego mogą okazać się bardzo cenne, ponieważ udostępniane są dane o powierzchniach wewnętrznych nisz, co umożliwia dokonanie klasyfikacji na podstawie kształtu i porowatości powierzchni. Dzięki takim informacjom i

klasyfikacji można określić zakres czasowy ewolucji krajobrazu w skali lokalnej i regionalnej. Przedstawiona tu metoda, dzięki rozróżnianiu rodzajów nisz, umożliwia określenie ograniczeń modeli zmiany poziomu morza lub wypiętrzenia tektonicznego w przypadkach, w których stosowanie takich modeli wymaga dokładnej interpretacji cech morfologicznych klifu.

Podsumowując, praca II (tab. 1) stanowi nie tylko ważny przykład metodologiczny możliwości zastosowania skaningu laserowego do monitoringu wybrzeży skalistych, ale również wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy o procesach erozji na tego typu wybrzeżach z trzech głównych powodów:

- 1) udowadnia, że technologia skaningu laserowego, dzięki lepszej rozdzielczości, niezakłóconej iluminacją, kontrastami barw czy też czynnikami subiektywnymi, związanymi z osobą obserwatora, jest bardziej wiarygodna niż tradycyjne metody wizualne,
- 2) pokazuje, że chociaż opisane rezultaty klasyfikacji nisz dzięki danym LiDAR są do osiągnięcia przy użyciu tradycyjnych metod opisowych, to oczywiste jest, że skaningu laserowego zapewnia dokładniejsze informacje na temat nisz erozyjnych (w tym ich kształtu, porowatości i symetrii), co jest niezwykle istotne w procesie przewidywania ruchów masowych na wybrzeżu skalistym,
- 3) udostępnia uniwersalną metodę, której warunki brzegowe są ogólnie prawidłowe i można je wdrażać na całym świecie w odniesieniu do klifów skalistych.

Wybrzeża nieskonsolidowane

Doświadczenia zdobyte podczas realizacji prac z naziemnym skanowaniem laserowym, wykorzystane zostały do badań prowadzonych również na polskim wybrzeżu. Precyzyjny, ilościowy monitoring skutków procesu erozji z wykorzystaniem technologii TLS zrealizowany został dla trzech wybranych odcinków testowych południowego Bałtyku (dwa w Polsce i jeden w Niemczech) w ramach otrzymanego grantu badawczego „Kształtowanie wybrzeży klifowych pod wpływem lokalnych i globalnych procesów sprawczych ujętych w zróżnicowanych skalach czasowych”, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki (numer projektu: UMO-2015/17/D/ST10/02191). Wyniki badań realizowanych w ramach projektu zostały przedstawione w pracy pt. „Cliff retreat induced by series of storms at Międzyzdroje (Poland)” (praca III, tab. 1.).

W publikacji tej podejmuję tematykę monitoringu dynamiki morskiej strefy brzegowej, która staje się bardzo istotnym problemem dla społeczności mieszkujących nad morzami i oceanami świata. Na Morzu Bałtyckim odnotowywana jest stale rosnąca liczba sztormów o podwyższonych poziomach spiętrzeń wody (Wolski i in., 2014). Związane są one z globalnymi zmianami klimatycznymi (Zhang i in., 2013) i w efekcie powodują znaczne przyspieszenie tempa erozji brzegu (Bugajny i in., 2014; Paprotny i Terefenko, 2017). Ochrona i zrównoważony rozwój obszarów pobrzeży coraz częściej są zasadniczym celem działań badawczych i planistycznych w skali zarówno poszczególnych krajów, jak i na poziomie międzynarodowym (Cieślak, 1995).

Głównym skutkiem zmian sztormowości na wybrzeżu Morza Bałtyckiego jest wzrost tempa erozji wybrzeża klifowego, co stanowi bezpośrednie zagrożenie dla infrastruktury zlokalizowanej bardzo często na zapleczu wybrzeża. Na podstawie literatury ustalono, że na Bałtyku, gdzie rozmiar pływów nie przekracza dziesięciu centymetrów, fala sztormowa oraz chwilowy poziom morza ma największe znaczenie w aspekcie erozji wybrzeża (Furmańczyk i in., 2011). Udokumentowano również, że na morfologię wybrzeży klifowych Bałtyku, poza

oddziaływaniem sztormów, wpływają także opady atmosferyczne, poziom wilgotności gleby i oddziaływanie słońca (Kostrzewski i in., 2015).

W omawianej pracy jednym z głównych celów jest wykorzystanie wysokorozdzielczych danych do odnalezienia zależności przyczynowo-skutkowych pomiędzy tempem erozji wybrzeży klifowych a warunkami meteorologiczno-hydrograficznymi, takimi jak: wahania poziomu morza i charakterystyka wezbrań sztormowych. Tak postawiony cel określenia rzeczywistej, a nie jedynie szacowanej objętości wyerodowanego materiału możliwy był do zrealizowania przy cyklicznym monitoringu geomorfologii wybranych odcinków wybrzeży klifowych. Monitoring realizowany był dwutorowo: interwencyjnie w powiązaniu z określonymi warunkami hydrometeorologicznymi zdarzeń sztormowych, to jest po każdym sztormie, oraz systematycznie, jako element monitoringu stałego, mający na celu uchwycenie wpływu opadów atmosferycznych i innych czynników pozasztemowych. W zakresie pozyskiwania danych empirycznych wykonywane badania były badaniami pionierskimi. W Polsce nie prowadzono dotychczas tak szczegółowych i powtarzalnych ilościowych pomiarów erozji wybrzeży klifowych.

Każdy skan laserowy to szereg danych przedstawiających powierzchnię klifu jako „chmurę punktów”. Każdy pojedynczy punkt niesie ze sobą informację o jego położeniu geograficznym (wartości dyskretne x , y , z), które uzyskuje się na podstawie odległości i kąta z położenia skanera. Do celów badawczych ustalono, że 500-metrowy odcinek klifu i plaży skanowany jest z 10 stanowisk skanera przy ustawieniach minimalnej liczby 100 punktów pomiarowych na 1 m^2 powierzchni klifu lub plaży. Przy wykorzystaniu pozyskanej „chmury punktów” wygenerowane zostały pełne przestrzenne modele powierzchni ściany klifu, jak również plaży aż do linii wody. Taki rodzaj badań umożliwił pozyskanie informacji o bilansie zmiany objętości klifu oraz o wielkości erozji lub akumulacji na odcinku plaży w bezpośrednim jego sąsiedztwie.

Omawiana publikacja przedstawia wyniki uzyskane na podstawie analizy pięciu spośród planowanych 16 kampanii pomiarowych. W opracowaniu znajduje się publikacja obejmująca analizy wszystkich 16 kampanii dla trzech różnych odcinków wybrzeża prowadzonych z wykorzystaniem zaawansowanej metody modelowania za pomocą sieci bayesowskich (*omówienie planów badawczych na najbliższe lata: punkt VI załącznika 2a*).

Cykliczne i interwencyjne pomiary pozwoliły szczegółowo zarejestrować zmiany zachodzące na klifie oraz przyległej do niego plaży oraz ocenić wpływ pięciu istotnych wezbrań sztormowych.

Na podstawie wygenerowanych numerycznych modeli terenu opracowano modele różnicowe zmian rzeźby, określono rzeczywisty bilans objętości wyerodowanego materiału z klifu i plaży dla całego analizowanego obszaru z podziałem na pięć sekcji oraz zidentyfikowano miejsca o największych zmianach erozyjnych i akumulacyjnych.

Szczegółowa analiza miejsc o największej dynamice zmian wyraźnie wskazuje na duży wpływ bezpośredniego wystąpienia dwóch następujących po sobie zdarzeń sztormowych o różnej charakterystyce. Odnotowano, że głównym efektem orkanu Barbara (26-29.12.2016) była znaczna erozja plaży. W skrajnych przypadkach jej poziom obniżył się o ponad pół metra. Niewielkie zmiany zaobserwowane zostały natomiast na klifie. W kilku miejscach nastąpiły niewielkie obrywy, powodujące nieznaczne cofanie się korony klifu. Ze względu na bardzo krótki czas do nadejścia orkanu Aleks (zaledwie osiem dni) plaża nie mogła zostać odbudowana. Wysoki poziom wody podczas sztormu oraz dodatkowo nieodbudowana plaża spowodowały, że efekty oddziaływania kolejnego sztormu zostały zaobserwowane bezpośrednio na klifie.

Drugi problem, jaki podejmuje niniejsza praca to zbadanie hipotezy stwierdzającej, że wzrost tempa erozji wybrzeża klifowego związany jest bezpośrednio z występowaniem szeregu następujących po sobie zdarzeń sztormowych o różnej charakterystyce, a tylko pośrednio ze wzrastającymi parametrami sztormów. Osiągnięte wyniki potwierdzają, że osłabiona szeregiem sztormów struktura klifu oraz sposób dystrybucji wyerodowanego podczas pojedynczego sztormu materiału mogą w takiej sytuacji być przyczyną wzmożonej erozji, która występować będzie od razu podczas kolejnego spiętrzenia sztormowego lub w okresie pomiędzy sztormami, np. podczas intensywnych opadów deszczu.

Podsumowując, praca III stanowi ważny wkład w rozwój wiedzy o procesach erozji na klifowych wybrzeżach nieskonsolidowanych z czterech głównych powodów:

- 1) pozwala sprawdzić istniejące i nowe hipotezy badawcze dotyczące erozji klifowego wybrzeża nieskonsolidowanego na podstawie wysokorozdzielczych danych powierzchniowych,
- 2) umożliwia ocenę zależności erozji nie tylko od procesów związanych ze zdarzeniami ekstremalnymi, ale również ze względu na procesy występujące w okresie pomiędzy nimi,
- 3) udowadnia i wyjaśnia związki wzrostu tempa erozji z szeregami następujących po sobie zdarzeń sztormowych o różnej charakterystyce,
- 4) stanowi przykład prawidłowego sposobu pozyskiwania danych empirycznych przy wykorzystaniu technologii skaningu laserowego.

Zaprezentowane powyżej prace I, II i III (tab. 1) koncentrują się na metodologii wykorzystania nowych technologii monitoringu oraz wypracowaniu metod analizy zagrożenia strefy brzegowej procesami erozji wybrzeży klifowych. W przypadku każdej z nich proces monitoringu prowadzony był osobiście, samodzielnie lub przez cały zespół badawczy, a metody analityczne stosowane po raz pierwszy dla tego typu danych oraz rodzaju obszaru badawczego. Prace IV i V (tab. 1) charakteryzują się innym podejściem, zarówno w kwestii wykorzystywanych danych, jak i samego procesu analizy. W pierwszej kolejności wychodzą one naprzeciw światowym trendom, w których do badań procesów przybrzeżnych często stosowane są proste lub zaawansowane, jedno- lub wielowymiarowe modele. Ich największą zaletą jest możliwość nie tylko ciągłego monitorowania zmian zachodzących w strefie brzegowej, ale również prognozowanie efektów zdarzeń ekstremalnych. Obie przedstawione poniżej prace prezentują podejście modelowe z wykorzystaniem zebranych, najczęściej ogólnie dostępnych danych.

Praca pt. „Application of empirical wave run-up formulas to the Polish Baltic Sea coast” (praca IV, tab. 1) jest wynikiem realizacji projektu SatBałtyk – „Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego”, którego celem było przygotowanie i uruchomienie bazy technicznej oraz praktycznych procedur operacyjnych systemu monitorowania satelitarnego, wspomaganego ekohydrodynamicznymi modelami prognostycznymi, umożliwiającego sprawne, rutynowe określanie stanów środowiska Bałtyku (www.satbaaltyk.pl). Jednym z opracowywanych parametrów był wskaźnik zasięgu zalewania plaży, określany z porównania maksymalnego zasięgu nabiegania fali na brzeg z całkowitą szerokością plaży.

W praktyce inżynierii brzegowej ekstremalne nabieganie fali na plażach oszacowywane jest zwykle przy użyciu prostych, doświadczalnych formuł, które zaprojektowane były przede wszystkim do oceny charakterystyki wybrzeży oceanów (Hunt, 1959; Mase, 1989; Melby, 2012), gdzie fale przepływają inaczej niż w na wpół zamkniętych zbiornikach. W niniejszym artykule zastosowano te formuły do wybrzeża Morza Bałtyckiego.

Zostały one jednak zaadaptowane tak, by pasowały do miejscowych warunków w dwóch testowych lokalizacjach: Międzyzdrojach i Dziwnówku, gdzie plaże są stale monitorowane z wykorzystaniem technik wideomonitoringu. Do prac wykorzystane były dane z modelu falowania WAM i nadbrzeżnych stacji pomiarowych oraz z dokładnych pomiarów przekrojów plaż.

W prezentowanej pracy obliczone zostało ekstremalne nabieganie fali z 2-procentowym prawdopodobieństwem wydarzenia się (tzn. 1 na 50 fal) i przedstawione jako wartość procentowa, wskazując, jaka część plaży została zalana. Zależnie od lokalizacji testowej, metoda ta była obciążona błędem średnim kwadratowym od 6,1 do 6,5 punktów procentowych. Opracowana metodologia okazała się bardzo szybka i niewymagająca pod względem obliczeniowym w porównaniu z alternatywnymi modelami morfodynamicznymi.

Adaptacja zastosowanej formuły do warunków polskiego wybrzeża wykonana została na podstawie pomiarów terenowych w dwóch wybranych przekrojach umiejscowionych w okolicy punktów 414,2 i 386,2 km według kilometrażu Urzędu Morskiego. Na obu badanych brzegach znajdują się średnio rozwinięte wydmy o wysokości do 5–7 m powyżej poziomu morza. W lokalizacjach tych brak jest struktur ochrony wybrzeża, poza falochronami z drewnianych pali w Dziwnówku. Obie lokalizacje są również objęte stałym wideomonitoringiem. Obserwowane przekroje mierzone były przy użyciu urządzeń GPS RTK, przy równoległej rejestracji przez kamery, tak aby możliwa była jednoznaczna identyfikacja położenia każdego punktu wzdłuż profilu na wszystkich obrazach pochodzących z monitoringu wizyjnego.

Nabieganie fali obliczano na podstawie dwóch wybranych okresów czasu dla każdego dnia od 20 czerwca do 8 grudnia 2013 roku. Podejście takie różni się od przyjętego w innych eksperymentach (Stockdon i in., 2006), w których przez kilka dni lub tygodni przeprowadzano bardzo szczegółowe analizy. W niniejszym badaniu zdecydowaliśmy się na mniej szczegółowe analizy, jednak przeprowadzane przez dłuższy okres, aby zapewnić ważność metody w dłuższej perspektywie czasowej, a w rezultacie utworzenie narzędzia prognostycznego. Przeanalizowanych zostało 667 zdarzeń: 367 w Międzyzdrojach i 300 w Dziwnówku. W przypadku badanych zdarzeń poziomy wody osiągały wartości od 426 cm do 596 cm; znaczące wysokości fal sięgały od 0,01 do 3,99 m, a szczytowe wartości okresów fal – od 2,0 do 10,2 sekund. Duża różnorodność wartości wskazuje na to, że ujęto zarówno wezbrania sztormowe, jak i okresy niskiej wody, a także okres spokojnej pogody. Po wykonaniu obliczeń rzeczywistych wartości nabiegania fal, parametry empiryczne zmodyfikowane zostały tak, aby linia regresji liniowej wykreślona przy użyciu danych dla każdej z lokalizacji przechodziła przez punkty o równej wartości faktycznego i modelowanego nabiegania, tzn. tworzyła linię 1:1.

Na podstawie analizy otrzymanych wyników zastosowana metoda okazała się być najdokładniejsza w Międzyzdrojach dla małych nabiegań – do 30%, a większe fale były nieco niedoszacowane. W Dziwnówku wyniki były odwrotne. Były to jednak tylko drobne odchylenia od linii równości. Niestety odnotowane zostało tylko kilka przypadków nabiegania o wartości 60–80%, przez co pozostała niepewność co do tego, jak wiarygodna jest omawiana metoda w zastosowaniu do sztormów, chociaż prawidłowo oszacowano blisko 90% przypadków zalania plaż.

Podsumowując, praca IV stanowi ważny wkład w rozwój wiedzy o procesach nabiegania fali na brzeg oraz metodach monitoringu tego zjawiska z trzech głównych powodów:

- 1) stanowi materiał źródłowy i umożliwia obliczenia wskaźnika zasięgu zalewania plaży,

- 2) dostosowuje formuły dotychczas wykorzystywane na otwartych wybrzeżach oceanicznych do warunków zbiorników półzamkniętych,
- 3) umożliwia statystyczne prognozowanie wartości nabiegania fali na brzeg piaszczysty.

Praca pt. „New estimates of potential impacts of sea level rise and coastal floods in Poland” (praca V, tab. 1) jest przykładem analizy kolejnego typu zagrożenia naturalnego na wybrzeżu, jakim jest ryzyko powodziowe występujące w strefie brzegowej. Proces badawczy przeprowadzony został przy użyciu statycznego modelu uwzględniającego morfologię obszaru i potencjalne zmiany poziomu morza. Prace o podobnej charakterystyce były już wykonywane dla polskiego wybrzeża (Rotnicki i Borówka, 1991; Rotnicki i in., 1995; Zeidler, 1997; Pruszek i Zawadzka, 2005, 2008). Charakteryzują się one jednak wykorzystaniem niskorozdzielczych danych źródłowych i brakiem automatyzacji procesu analitycznego. Niniejsza publikacja pozwala na uszczegółowienie dotychczas stosowanych metod analiz zagrożeń powodziowych. Ponadto weryfikuje pozyskane wyniki również z przyszłymi scenariuszami wzrostu poziomu morza opisanymi w ostatnim raporcie IPCC (Church i in., 2013).

Zaprezentowana w publikacji analiza zagrożenia powodziowego obejmuje obliczenia zasięgu zalanych obszarów. W celu obliczenia strefy powodziowej wykorzystano tzw. podejście „batchtub fill” (Bates i De Roo, 2000; Poulter i Halpin, 2008). Przyjmuje się, że morze w przypadku niektórych scenariuszy pokryje cały obszar znajdujący się poniżej założonego poziomu wody, pod warunkiem, że źródło powodzi nie zostanie odcięte. Opis ten jest właściwy dla analizy zalewu spowodowanego podniesieniem się poziomu wody. Jednak w przypadku powodzi spowodowanych sztormami takie podejście jest oczywistym uproszczeniem, bowiem metoda ta nie bierze pod uwagę kinematyki pływów ani procesów sedymentacyjnych oraz zakłada, że powódź jest procesem natychmiastowym. Kolejnym czynnikiem określającym zasięg zalewu jest tymczasowa zmiana w poziomach wody. Scenariusze obejmujące powodzie spowodowane sztormami zakładają wystąpienie najgorszego wydarzenia (Apel i in., 2009; Breilh i in., 2013). Największą korzyścią płynącą z tej metody jest możliwość przeprowadzenia wszystkich obliczeń bezpośrednio z wykorzystaniem geograficznych systemów informacyjnych, bez skomplikowanych obliczeń modelowych. Z drugiej strony należy wspomnieć, że przy jej opracowaniu nie uwzględniono dynamicznych efektów, takich jak erozja i sedymentacja.

Dane dotyczące rzeźby terenu wykonywane zostały w ramach programu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju) i udostępne są przez CODGiK (Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej). Rozdzielczość pozyskanego Numerycznego Modelu Terenu (NMT) jest wystarczająco dobra, aby uwzględnić zabezpieczenia przeciwpowodziowe. Z tej przyczyny odizolowane obszary, niemające bezpośredniego połączenia z morzem, leżące poniżej poziomu wody branego pod uwagę w danym scenariuszu, można uznać za chronione otaczającym terenem. Przy tworzeniu ostatecznego obszaru powodziowego, dzięki wykorzystaniu zasady czterech ścian, można te obszary pominąć. Oznacza to, że nie wykluczono możliwości przepływu wody w kierunkach diagonalnych (Poulter i Halpin, 2008). Oczywiście, istnieje możliwość, że tamy oraz inne konstrukcje nie spełnią swojej funkcji i wody powodziowe przedostaną się w głąb lądu, jednak proponowany model nie porusza tego zagadnienia. Nie bierze on również pod uwagę zdarzenia, w którym woda poprzez przepusty zalewa obszar znajdujący się za konstrukcjami ochronnymi. W obliczeniach wzięto natomiast pod uwagę ochronę przeciwpowodziową zapewnianą przez tamy, brzegi, wały oraz śluzy.

Podnoszenie się poziomu morza oraz zalania spowodowane sztormami przeanalizowano w interwałach co 5 cm, dzięki temu otrzymano scenariusze 5, 10, 15, itd. cm aż do 5 m powyżej średniego poziomu morza. Dzięki takiemu podejściu możliwe było szczegółowe przeanalizowanie wpływu działania wody na ludność i dobra materialne przy różnych scenariuszach powodzi. Wartość graniczną 5 m określono na podstawie zaokrąglonej wartości maksymalnego wzniesienia poziomu morza opisanego w literaturze (1,4–2 m u Rahmstorf, 2007; Pfeffer i in., 2008) w połączeniu z danymi dotyczącymi powodzi przybrzeżnych z ostatniego tysiąclecia (ok +2,5 m MSL wg Wolski i in., 2014). Średni poziom morza wzdłuż polskiego wybrzeża różni się nieznacznie i na przestrzeni 1947–2006 wyniósł średnio o 7 cm więcej w Gdańsku niż w Świnoujściu (Wiśniewski i Wolski, 2009). Pewnym uproszczeniem jest zastosowanie średniego poziomu morza jako linii bazowej wszystkich polskich pomiarów przyptywów na poziomie 500 cm, co odpowiada wartości ok. +0,10 m w Europejskim Wertykalnym Systemie Odniesienia EVRS-2007 (Urbański, 2010).

Wyniki zestawiono również z przyszłymi scenariuszami wzrostu poziomu morza opisanymi w ostatnim raporcie IPCC (Church i in., 2013), uwzględniając trzy scenariusze: średni RCP4.5, jak również najniższy i najwyższy (przyjmujące odpowiednio wartości 2,6 i 8,5 W/m²). Według uwzględnionych scenariuszy poziomy wody wzrastają stopniowo do 28, 53 i 98 SLR do 2100 roku w odniesieniu do poziomów z lat 1986–2005. Jednak należy wziąć pod uwagę fakt, że polskie wybrzeże poddane jest ruchom izostatycznym, w wyniku których rocznie poziom wody wzrasta o 0,4–0,5 mm. Wzrost poziomów wody jest również nierównomierny bez względu na ruch wybrzeża; według satelitarnych pomiarów trendu SLR w latach 1992–2015 widać, że wzrost ten wynosił pomiędzy 4,2 a 4,3 mm na rok w Bałtyku wzdłuż polskiego wybrzeża. Jedynie w partiach wysuniętych znacznie na zachód był nieco wyższy i wynosił 4,5 mm na rok (NOAA, 2016). Te dwa czynniki przekładają się na różnicę zaledwie kilku centymetrów na przestrzeni wieku. Większe różnice przestrzenne w poziomach SLR mogą być spowodowane osiadaniem gruntu, co jest czynnikiem uwarunkowanym lokalnie.

Do analizy powodzi przybrzeżnych niezbędne jest obliczenie okresów powtórnego wystąpienia zalania spowodowanego sztormami. Obliczenia wykonano na podstawie maksymalnych rocznych poziomów wody odnotowanych w wybranych punktach kontrolnych w latach 1948–2007 z wykorzystaniem danych dotyczących poziomu wody opracowanych przez Wiśniewskiego i Wolskiego (2009), a następnie wykonano obliczenia modelu dystrybucji prawdopodobieństwa opracowanego przez Gumbla. Szczegóły dotyczące zagadnień metodologicznych odnaleźć można u Paprotnego (2014).

Ryzyko powodziowe obliczane jest na podstawie kombinacji elementów:

- zagrożenia, rozumianego jako czynnik, który może spowodować niekorzystne skutki,
- ekspozycji, czyli zestawienia dóbr, które potencjalnie mogą być wystawione na działanie czynników niebezpiecznych,
- podatności, definiowanej jako skłonność zestawionych dóbr do odniesienia szkód podczas wydarzenia określonego mianem niebezpiecznego (Kron, 2005; Cardona i in., 2012).

Posługując się modelem Hallegatte'a (2012), odnoszącym się do wpływu wzrostu poziomu morza (SLR) na wzrost gospodarczy, zbadano ekspozycję na poszczególne elementy:

- trwałe straty w kapitale naturalnym: wartość rynkowa ziemi, z uwzględnieniem szacunkowej wartości obszarów chronionych,

- trwałe straty w kapitale fizycznym: koszt brutto wymiany ruchomych i nieruchomych dóbr trwałych,
- trwałe straty kapitału społecznego: liczba mieszkańców.

Ich wartości obliczono na podstawie najświeższych dostępnych i kompletnych danych statystycznych, pochodzących między innymi z danych udostępnianych na stronach Głównego Urzędu Statystycznego.

Budynki komercyjne podzielono na trzy grupy (przemysłowe, usługowe i rolnicze) i oszacowano wartość dla każdego typu. Dane dotyczące dóbr trwałych pozyskano natomiast z danych Eurostat.

W przypadku podniesienia przeciętnego poziomu wód teren, a także znajdujące się na nim nieruchomości zostają permanentnie pokryte wodą, a co za tym idzie – strata jest całkowita. Dobra ruchome, takie jak np. maszyny i urządzenia mechaniczne, przedmioty gospodarstwa domowego, pojazdy oraz żywy inwentarz mogą być ewakuowane z zagrożonego obszaru pod warunkiem, że wzrost poziomu SLR jest stopniowy. Z tego też względu nie założono żadnych strat w tej kategorii. W przypadku powodzi przybrzeżnych nie zakłada się również strat gruntu, ponieważ woda pokrywa go tylko tymczasowo (Apel i in., 2009). Funkcje określenia szkód, które odnoszą głębokość wody do względnych strat majątkowych, oparto na Emschergerossenschaft/Hydrotec (2004), stworzonym na podstawie HOWAS – bazy danych zawierającej straty powodziowe (Merz i in., 2004).

Najważniejszym elementem analizy jest oszacowanie liczby ludności zagrożonej przez zmiany poziomu morza oraz powodzie występujące wzdłuż linii brzegowej. Dane dotyczące liczebności populacji pochodziły ze spisu ludności z danych GUS. Połączenie tych danych z obszarami zamieszkanymi, dostępnymi w topograficznych bazach danych obiektów, umożliwiło uzyskanie średniej liczby osób na obszarach zamieszkałych w osadach i miastach. Populację żyjącą na obszarach nawet częściowo pokrytych wodą uznano za dotkniętą skutkami niebezpiecznego wydarzenia. Podobnie, na podstawie podziału liczby turystów i dóbr hotelowych spędzonych w obiektach świadczących usługi hotelarskie, oszacowano zmniejszone nasilenie ruchu turystycznego.

Wyniki przedstawione w pracy V (tab. 1), a przede wszystkim zaprezentowana w niej metodologia, stały się podstawą do tworzonego systemu monitorowania zagrożenia powodziowego strefy brzegowej na obszarze województwa zachodniopomorskiego. Wdrożenie wyników badań do działań praktycznych zrealizowane zostało w ramach projektu „Opracowanie i wdrożenie systemu wczesnego ostrzegania i przeciwdziałania skutkom powodzi w województwie zachodniopomorskim” realizowanego przy wsparciu Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Zachodniopomorskiego na lata 2014–2020 i polegało na stworzeniu pilotażowego systemu komunikacji, zarządzania i optymalizacji sił, środków i zasobów Wodnego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego Województwa Zachodniopomorskiego (WOPR WZ), opartego na prognozowanych zagrożeniach, wynikających z systemu wczesnego ostrzegania przed skutkami powodzi.

Podsumowując, praca V stanowi ważny wkład w rozwój wiedzy o metodach monitoringu i modelowania zagrożeń powodziowych na obszarach morskiej strefy brzegowej z czterech głównych powodów:

- 1) stanowi przykład wykorzystania istniejących metod wyznaczania obszarów zagrożonych powodzią w nowym ujęciu analitycznym, przy wykorzystaniu możliwości dostępu do danych o wysokiej rozdzielczości,

- 2) pozwala na ocenę i weryfikację prezentowanych dotychczas w literaturze i stosowanych w praktyce sposobów obliczania strat wynikających z zagrożeń powodziowych dla polskiej strefy brzegowej,
- 3) umożliwia ocenę ryzyka i strat będących efektem powodzi,
- 4) poprzez wykorzystanie zaprezentowanej metodologii w funkcjonującym w praktyce systemie podnosi poziom bezpieczeństwa zdrowia i życia mieszkańców województwa zachodniopomorskiego.

Podsumowanie

Problematyka poruszona w cyklu prezentowanych pięciu publikacji łączy metodyczne rozważania związane z monitoringiem strefy brzegowej z analizą tendencji rozwojowych wybrzeży morskich. Pomimo różnych uwarunkowań środowiskowych (budowa geologiczna, rzeźba, klimat) i typów zagrożeń (erozja brzegu, zalewanie, powódzie) analizowanych na różnych europejskich wybrzeżach – możliwe okazało się wypracowanie podejścia metodologicznego wykorzystywanego do interdyscyplinarnych badań w strefie brzegowej.

Przedstawione wyniki badań wypełniają lukę w literaturze przedmiotu, opisując zagadnienia eksperymentalne z wykorzystaniem nowych technik badawczych oraz podejmując tematykę koncepcyjną związaną z prognozowaniem i zapobieganiem potencjalnym zagrożeniom naturalnym na wybrzeżu. Jednocześnie stanowią one element badań podstawowych, dotyczących tendencji i dynamiki rozwoju brzegu morskiego. Niezwykle ważnym aspektem jest również aplikacyjna użyteczność proponowanych rozwiązań metodycznych.

Z perspektywy realizacji głównego, długofalowego celu pracy naukowej, za który uważam zwiększenie użyteczności metod analizy przestrzennej i statystycznej w monitoringu zagrożeń naturalnych w morskiej strefie brzegowej, najważniejsze uniwersalne wyniki uzyskane w cyklu moich prac można podsumować w następujących punktach:

1. Stwierdzono, że zastosowanie technologii skaningu laserowego otwiera nowe możliwości analityczne w badaniach zagrożeń naturalnych w morskiej strefie brzegowej. Jak wykazano, wykorzystanie danych o wysokiej rozdzielczości pozwala dostrzec i precyzyjnie zdefiniować, do tej pory nieopisane, zależności pomiędzy czynnikami sprawczymi a ich skutkami morfologicznymi, bez względu na typ i charakter wybrzeża.
2. Udowodniono, że odpowiednio wykorzystane metody statystyczne i geostatystyczne mogą stanowić doskonałe uzupełnienie danych monitoringu. Równocześnie umożliwiają one budowę prostych modeli statystycznych. Prawidłowo skalibrowane, na podstawie pomierzonych w terenie rzeczywistych danych, pozwalają na prognozowanie procesów zachodzących w strefie brzegowej. Stanowi to tanią i szybką, choć obarczoną ograniczeniami, alternatywę dla skomplikowanych modeli morfodynamicznych.
3. Wykazano, że zaprezentowane metody analizy przestrzennej i statystycznej są wystarczające, aby w sposób mierzalny identyfikować zagrożenia w strefie brzegowej morza. Precyzyjny opis metodologii pozwolił na ich zastosowanie w praktyce i operacyjne wdrożenie w formie funkcjonalnych systemów wczesnego ostrzegania.
4. Zebrano materiał badawczy, który uzupełnia dotychczasowe obserwacje strefy brzegowej o zakres danych do tej pory niepozyskiwanych lub zbieranych z dużo

mniejszą częstotliwością i rozdzielczością przy wykorzystaniu klasycznych metod pomiarowych.

V. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Poza pięcioma pracami, wchodzącymi w skład osiągnięcia habilitacyjnego, jestem autorem bądź współautorem 36 recenzowanych publikacji naukowych (załącznik 3). Współredagowałem dwa tomy naukowe czasopisma z tzw. listy filadelfijskiej, poświęcone multidyscyplinarnym badaniom morskiej strefy brzegowej (tab. 2) oraz jestem współautorem jednego atlasu, w którym byłem odpowiedzialny za redakcję kartograficzną 37 map. Większość zaprezentowanego dorobku jest efektem współpracy naukowej w ramach krajowych i międzynarodowych projektów badawczych. Do chwili obecnej uczestniczyłem w realizacji ośmiu projektów badawczych, w dwóch sprawując funkcję kierownika. Pod moim nadzorem jako kierownika zrealizowanych zostało również pięć projektów wdrożeniowych i edukacyjnych (załącznik 3).

Tab. 2. Współredagowane tomy naukowe czasopisma z listy filadelfijskiej.

I	Journal of Coastal Research, Special Issue 64, Volume I. Red. Kazimierz Furmańczyk, Andrzej Giza, Paweł Terefenko ; Szczecin: CERF, Szczecin, 2011, s. 1–1142 (j. angielski) ISSN 0749-0208	
	IF 2017: 0,804	5yr IF 2017: 1,064
II	Journal of Coastal Research, Special Issue 64, Volume II Red. Kazimierz Furmańczyk, Andrzej Giza, Paweł Terefenko ; Szczecin: CERF, Szczecin, 2011, s. 1142–2083 (j. angielski) ISSN 0749-0208	
	IF 2017: 0,804	5yr IF 2017: 1,064

W ujęciu ogólnym cały mój dorobek poświęcony jest badaniom morskiej strefy brzegowej. W ujęciu bardziej szczegółowym, problematykę poruszaną w moich publikacjach niewchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego można sprowadzić do trzech podstawowych zagadnień:

1. Zastosowanie Systemów Informacji Geograficznej w badaniach morskiej strefy brzegowej.
2. Zintegrowane Zarządzania Obszarami Przybrzeżnymi (ZZOP).
3. Czynniki warunkujące rozwój brzegu morskiego w różnych skalach czasowych.

Ad. 1. Zastosowanie Systemów Informacji Geograficznej w analizach morskiej strefy brzegowej

Analizując prace badawcze, realizowane na obszarach w morskiej strefie brzegowej, zaobserwować można szybki postęp technologiczny dotyczący możliwości nie tylko prezentacji danych, ale przede wszystkim ich analizy. Podobną zależność można zaobserwować w moich publikacjach dotyczących tematyki zastosowania Systemów Informacji Geograficznej (GIS) w analizach morskiej strefy brzegowej. W początkowych pracach przede wszystkim wykorzystywane były opracowania kartograficzne. Mapa postrzegana w nich była jako modelowe odwzorowanie rzeczywistości, zaprezentowane w graficznej postaci, przy zastosowaniu odpowiedniej skali oraz ustandaryzowanej symbolizacji kartograficznej. Rozwiązania informatyczne pozwoliły przenieść klasycznie pojmowaną mapę

na ekrany monitorów. Kolejnym krokiem było już tworzenie typowych Systemów Informacji Geograficznej, które uwzględniły nie tylko graficzną prezentację obiektu czy zjawiska wraz z jego lokalizacją, ale przede wszystkim zależności wynikające z wzajemnej relacji obiektów. Podejście takie stawało się coraz bardziej popularne, a często nawet niezbędne przy realizowanych multidyscyplinarnych projektach (Urbański, 2010).

Podejmowane przeze mnie zagadnienia dotyczące zastosowania geoinformacji w analizach morskiej strefy brzegowej dotyczyły głównie sposobów pozyskiwania danych przestrzennych, tworzenia baz danych GIS oraz opracowania metodyki wykorzystania danych pochodzących z różnych źródeł oraz ich integracji, analizy i wizualizacji. Podejście takie bezpośrednio wiąże się z głównym tematem prezentowanego osiągnięcia habilitacyjnego i w dużym stopniu determinowało moje zainteresowania badawcze związane z metodologicznym podejściem do analiz procesów zachodzących w morskiej strefie brzegowej.

Realizacja badań z wykorzystaniem Systemów Informacji Geograficznej, ze względu na ich dynamiczny rozwój i popularność, prowadzona była w bardzo szerokim wymiarze i w wielu przypadkach, w szczególności na początkowym etapie kariery naukowej, uzależniona była od dostępności danych oraz uczestnictwa w krajowych i międzynarodowych grantach badawczych i wdrożeniowych. Na szczególną uwagę zasługują prace związane z wykorzystaniem systemów GIS w badaniach krajobrazu obszarów nadmorskich – prace II–IV, VI–VII (tab. 3), opracowania metodologiczne pozwalające wykorzystać GIS jako narzędzia służące do zarządzania nadmorskimi obszarami chronionymi – prace I i V (tab. 3) oraz prace VIII i X dotyczące analiz zagadnień związanych z turystyką w morskiej strefie brzegowej, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów bezpieczeństwa wodnego. Ważnym etapem podsumowującym szereg doświadczeń z zakresu wykorzystywania GIS w badaniach strefy brzegowej jest praca pt. „Czynniki kształtujące morfologię wybrzeża Algarve w ujęciu GIS” (praca IX w tab. 3). Monografia ta jest jednocześnie opublikowaną rozszerzoną wersją mojej pracy doktorskiej, obronionej w czerwcu 2012 roku.

Tab. 3. Wybrane publikacje dotyczące zagadnienia zastosowania Systemów Informacji Geograficznej w analizach morskiej strefy brzegowej

I	Benedyczak Rafał, Terefenko Paweł , Geograficzne Systemy Informacyjne – Narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji w zarządzaniu obszarami włączonymi do projektu Natura 2000 – Problemy organizacji i funkcjonowania systemu ostoi siedliskowych Natura 2000 w Polsce, Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i Środowisko” nr 38, 2004, s. 167–174 (j. polski), ISSN 0860-8296
II	Furmańczyk Kazimierz, Benedyczak Rafał, Dudzińska-Nowak Joanna, Łęcka Agnieszka, Szakowski Igor, Terefenko Paweł , Zastosowanie geoinformacji w analizie morskiej strefy brzegowej w Uniwersytecie Szczecińskim, Roczniki Geomatyki, 2005, zeszyt 4, tom III, s. 69–75 (j. polski), ISSN 1731-5522
III	Terefenko Paweł , Furmańczyk Kazimierz, Wykorzystanie GIS w badaniach zmian krajobrazu, Roczniki Geomatyki, 2005, zeszyt 4, tom III, s. 189–197 (j. polski), ISSN 1731-5522
IV	Terefenko Paweł , Boski Tomasz, Furmańczyk Kazimierz, Mazurkiewicz Anna, Stosowanie technologii GIS oraz modelowania trójwymiarowego w badaniach geologicznych strefy brzegowej, Roczniki Geomatyki, 2005, zeszyt 4, tom III, s. 181–188 (j. polski), ISSN 1731-5522
V	Benedyczak Rafał, Terefenko Paweł , Systemy Informacji Geograficznej jako narzędzie wspomagające zarządzanie terenami chronionymi; Przegląd Przyrodniczy XVI, 2005, zeszyt 1–2, strony 25–31 (j. polski), ISSN 1230-509X
VI	Terefenko Paweł , Geoinformatyczna analiza stopnia przekształceń krajobrazu w strefie brzegowej. W: Człowiek i środowisko przyrodnicze Pomorza Zachodniego. III. Środowisko

	przyrodnicze i problemy społeczno-ekonomiczne. Red. Czesław Koźmiński, Marek Dutkowski, Teresa Radziejewska (materiały z III Ogólnopolskiego Sympozjum „Człowiek i środowisko przyrodnicze Pomorza Zachodniego”, Szczecin, 10-12.05.2006); Szczecin: Printgroup Daniel Krzanowski, 2006, s. 84–90 (j. polski), ISBN 83-60065-64-0, 978-83-60065-64-8; 200 s.
VII	Loureiro Carlos, Terefenko Paweł , O Sistema de Informação Geográfica do Estuário do Guadiana. W: Forum Guadiana 2006. Red. Universidad de Huelva (materiały z IV Simpósio Interdisciplinar sobre Processos Estuarinos, Fórum Guadiana; Castro Marim, Portugal, 20-21.10.2006); 2006, s. 3-4 (j. portugalski).
VIII	Terefenko Paweł , Zastosowanie Geograficznych Systemów Informacyjnych w turystyce – wybrane przykłady. W: Problemy turystyki i rekreacji, tom 2. Red. Marek Dutkowski; Szczecin: Oficyna In Plus, 2009, s. 149–152 (j. polski); ISBN 9788389402769; 160 s.
IX	Terefenko Paweł , Czynniki kształtujące morfologię wybrzeża Algarve w ujęciu GIS; Szczecin: Uniwersytet Szczeciński, 2014 (j. polski), 168 s. ISBN 978-83-7241-983-5 ISSN 0860-2751
X	Terefenko Paweł , Giza Andrzej; Systemy informacji geograficznej w bezpieczeństwie wodnym. W: Bezpieczeństwo wodne na Pomorzu – wybrane uwarunkowania. Red. Tomasz Zalewski, Małgorzata Świątek, Szczecin: Grupa „COPY PLANET”, 2017, s. 135–149 (j. polski), ISBN 978-83-947135-1-5, 178 s.

Ad. 2. Zintegrowane Zarządzanie Obszarami Przybrzeżnymi (ZZOP)

Praktyka i doświadczenia, jakie zdobywałem w początkowym okresie kariery naukowej, w szczególności w zakresie tematyki związanej z zastosowaniem Systemów Informacji Geograficznej, zaowocowały uczestnictwem w wielu krajowych i międzynarodowych projektach, realizowanych we współpracy ze stowarzyszeniami pozarządowymi, zajmującymi się między innymi ochroną przyrody i zarządzaniem obszarami przybrzeżnymi. Nawiązane w czasie realizacji projektów kontakty i wymiana doświadczeń pozwoliły mi aktywnie włączyć się w badania na temat szeroko rozumianej problematyki Zintegrowanego Zarządzania Obszarami Przybrzeżnymi (ZZOP). Ze względu na swój interdyscyplinarny charakter ZZOP budzi coraz większe zainteresowanie przedstawicieli różnych dyscyplin naukowych, zajmujących się szeroko pojmowaną działalnością człowieka w strefie brzegowej. Jest to bowiem obszar, który cechuje się niezwykle złożonością, wynikającą ze zmienności działających w tej strefie czynników. Prowadząc badania w strefie brzegowej, z uwzględnieniem specyfiki oddziaływania w niej człowieka, należy pamiętać, że przenikanie i współdziałanie tak wielu czynników musi być analizowane kompleksowo. Zmiana jakiegokolwiek elementu naturalnego funkcjonowania systemu obszarów przybrzeżnych, w tym wszelka ingerencja człowieka, pociąga za sobą trudne do przewidzenia zmiany. Ten trudny do zdefiniowania temat analizy wpływu działalności człowieka na rozwój strefy brzegowej, a w szczególności obszarów przyrodniczo cennych lub szczególnie wrażliwych, podejmowany był w pracach I, III-IV oraz publikacji VI (tab. 4).

Ważnym aspektem Zintegrowanego Zarządzania Obszarami Przybrzeżnymi są również działania edukacyjne. W ramach międzynarodowej współpracy w projekcie CoastLearn, realizowanym w ramach programu Leonardo da Vinci „Multimedia distance training package for Central and Eastern Europe on Integrated Coastal Management” współtworzyłem wielojęzyczny pakiet edukacyjny zdalnego nauczania CoastLearn (www.coastlearn.org), a doświadczenia i aspekty naukowe z zakresu procesu dydaktycznego przedstawione zostały w publikacjach II i V (tab. 4).

Tab. 4. Wybrane publikacje dotyczące zagadnienia Zintegrowanego Zarządzania Obszarami Przybrzeżnymi (ZZOP)

I	Benedyczak Rafał, Terefenko Paweł , Metody ochrony przyrody w okolicach Zalewu Szczecińskiego na obszarach włączonych do programu Natura 2000, na tle doświadczeń Europejskich. Problemy organizacji i funkcjonowania systemu ostoji siedliskowych Natura 2000 w Polsce, Zeszyty Naukowe Komitetu „Człowiek i Środowisko” nr 38, 2004, s. 205–214 (j. polski), ISSN 0860-8296
II	Furmańczyk Kazimierz, Giza Andrzej, Terefenko Paweł , Portal internetowy Brzeg Morski. W: ZZOP w Polsce – stan obecny i perspektywy. Problemy erozji brzegu. Red. Kazimierz Furmańczyk, Szczecin: Oficyna In Plus, 2005, s. 184–193 (j. polski); ISBN 83-89402-22-X; 224 s.
III	Furmańczyk Kazimierz, Giza Andrzej, Szakowski Igor, Terefenko Paweł , Edukacja i popularyzacja. W: ZZOP w Polsce – stan obecny i perspektywy. Problemy erozji brzegu. Red. Kazimierz Furmańczyk, Szczecin: Oficyna In Plus, 2005, s. 210–213 (j. polski); ISBN 83-89402-22-X; 224 s.
IV	Furmańczyk Kazimierz, Giza Andrzej, Terefenko Paweł , Dostępność plaży – wybrane przykłady rozwiązań. W: Zintegrowane Zarządzanie Obszarami Przybrzeżnymi w Polsce – stan obecny i perspektywy. Brzeg morski – zrównoważony. Red. Kazimierz Furmańczyk, Szczecin: Print Group Daniel Krzanowski, 2006, s. 243–250 (j. polski); ISBN 03-60065-77-2; 396 s.
V	Furmańczyk Kazimierz, Giza Andrzej, Terefenko Paweł , CoastLearn – Narzędzie wirtualnego kształcenia w zakresie zintegrowanego zarządzania obszarami przybrzeżnymi dla krajów Europy Środkowej i Wschodniej. W: Zintegrowane Zarządzanie Obszarami Przybrzeżnymi w Polsce – stan obecny i perspektywy. Brzeg morski – zrównoważony. Red. Kazimierz Furmańczyk, Szczecin: Print Group Daniel Krzanowski, 2006, s. 379–387 (j. polski); ISBN 03-60065-77-2; 396 s.
VI	Terefenko Paweł , Furmańczyk Kazimierz, Łapiński Michał, Analiza rzeźby terenu i ocena stopnia bezpieczeństwa brzegu na podstawie numerycznego modelu terenu, Archiwum Fotogrametrii, Teledetekcji i GIS. Vol.18b, 2008, s. 581–588 (j. polski), ISBN 978-83-61576-08-2.

Ad. 3. Czynniki warunkujące rozwój brzegu morskiego w różnych skalach czasowych

Wybrzeża poddane są oddziaływaniu czynników, które generują szereg zachodzących na brzegu procesów. Analizy związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy czynnikami, zachodzącymi procesami i ich efektami morfologicznymi wymagają stosowania zróżnicowanego podejścia metodycznego, gdyż rozwój wybrzeża zachodzi w różnych skalach czasowych (Musielak i in., 2017). Niezwykle istotny z punktu badawczego jest również dostęp do zweryfikowanych baz danych. Wraz ze zwiększającą się dostępnością, w szczególności wysokorozdzielczych danych z monitoringu wybrzeży, prowadzone analizy mogą uwzględniać różne czynniki mające wpływ na rozwój strefy brzegowej.

Punktem wyjścia w realizowanych badaniach rozwoju brzegu morskiego były studia przypadku – analizy chwilowe, obejmujące pojedyncze krótkookresowe zjawiska. Badania takie miały na celu powiązanie przebiegu zdarzenia i oddziaływania poszczególnych czynników sprawczych z chwilowym stanem strefy brzegowej, rejestrowanym w ramach jednorazowego monitoringu (pomiar GPS-RTK, zdjęcia lotnicze, dane z pojedynczego skanu laserowego, itp.). Przykładem mogą być badania wezbrań sztormowych lub analizy jednorazowo pozyskiwanych materiałów teledetekcyjnych, takich jak zdjęcia lotnicze czy pojedyncze kampanie pomiarowe prezentowane w pracach I-III, V (tab. 5).

W miarę dostępności danych pozyskiwanych w ramach monitoringu, w swoich analizach uwzględniałem również wpływ nie tylko pojedynczych sztormów, ale również szeregi następujących po sobie w czasie zdarzeń ekstremalnych. Osłabiona szeregiem sztormów struktura wybrzeża i sposób dystrybucji wyerodowanego podczas pojedynczego sztormu materiału mogą być przyczyną erozji, która występować będzie nie podczas spiętrzenia sztormowego, ale w okresie pomiędzy sztormami, np. podczas intensywnych opadów deszczu. Był to kolejny krok w realizacji badań w różnych zakresach czasowych, czyli analizy prowadzone w skali od roku do kilkunastu lat. Badania te z jednej strony były rozszerzeniem tematyki identyfikacji najważniejszych czynników wpływających na rozwój brzegu i szeroko rozumianego wyznaczania tendencji rozwoju brzegu, ale również stanowiły wytyczne prowadzenia monitoringu wybrzeża. Publikacje z tego etapu badań, takie jak prace IV, VII czy IX (tab. 5), stanowią podsumowanie wieloletnich doświadczeń pozyskiwanych w trakcie prac terenowych oraz wynikają z bardzo cennej krajowej i międzynarodowej współpracy naukowej w ramach wielu projektów badawczych.

Ostatni etap prac obejmuje największy horyzont czasowy. Realizowane badania, takie jak prezentowane w pracy VI (tab. 5), obejmują analizy rozwoju strefy brzegowej prowadzone w skali wielececi, wykorzystując dostępność historycznych danych kartograficznych i hydrometeorologicznych uzupełnianych danymi modelowymi. Jedną z największych zalet badań długookresowych jest możliwość implementacji ich wyników do kalibracji prac modelowych, których celem jest prognozowanie zmian brzegu na podstawie określonych wcześniej tendencji rozwojowych. Przykładowe uproszczone modele pojęciowe oraz modele numeryczne, wykorzystujące szeroki zakres aktualnych i historycznych danych, prezentują prace VIII i IX (tab. 5).

Tab. 5. Wybrane publikacje dotyczące zagadnienia „Monitoring i modelowanie morskiej strefy brzegowej”

I	Ferreira O., Ciavola, P. Armaroli C., Balouin Y., Benavente J., Del Rio L., Deserti M., Esteves L. S., Furmanczyk K., Haerens P., Matias A., Perini L., Taborda R., Terefenko P. , Trifonova E., Trouw K., Valchev N., Van Dongeren A., Van Koningsveld M., Williams J., Coastal Storm Risk Assessment in Europe: Examples from 9 study sites, <i>Journal of Coastal Research</i> , 2009, Special Issue 56, pp. 1632–1636 (j. angielski).
II	Wziątek Dagmara, Vousdoukas Michalis V., Terefenko Paweł , Wave-cut notches along the Algarve coast, S. Portugal: Characteristics and formation mechanisms, <i>Journal of Coastal Research</i> , 2011, Part 1, Special Issue 64, pp. 855–859 (j. angielski).
III	Cieszyński Łukasz, Furmańczyk Kazimierz, Terefenko Paweł , Giza Andrzej, Batymetria na zdjęciach lotniczych. W: Zintegrowane Zarządzanie Obszarami Przybrzeżnymi w Polsce – stan obecny i perspektywy. Zagrożenia i systemy ostrzegania. Red. Kazimierz Furmańczyk, Szczecin: Soft Vision, 2012, s. 113–123 (j. polski), ISBN 978-83-61070-76-4; 184 s.
IV	Furmańczyk Kazimierz, Bugajny Natalia, Dudzińska-Nowak Joanna, Andrzejewski Paweł, Terefenko Paweł , Giza Andrzej, Benedyczak Rafał, Cieszyński Łukasz, Zawisłak Tomasz, Brzegi w satelitarnym monitoringu Bałtyku (SatBałtyk). W: Zintegrowane Zarządzanie Obszarami Przybrzeżnymi w Polsce – stan obecny i perspektywy. Zagrożenia i systemy ostrzegania. Red. Kazimierz Furmańczyk, Szczecin: Soft Vision, 2012, s. 87–97 (j. polski), ISBN 978-83-61070-76-4; 184 s.
V	Terefenko Paweł , Terefenko Olga; Metodyka analizy geostatystycznej i statystycznej wybranych czynników kształtujących rzeźbę skalistego wybrzeża klifowego. W: Współczesne problemy badań geograficznych. Red. Ryszard K. Borówka, Anna Cedro, Igor Kavetsky; Szczecin: PPH ZAPOL Dmochowski, Sobczyk, 2013, s. 313–322 (j. polski), ISBN 978-83-7518-662-8.

VI	Deng Junjie, Zhang Wenyan, Harff Jan, Schneider Ralf, Dudzińska-Nowak Joanna, Terefenko Paweł , Giza Andrzej, Furmańczyk Kazimierz, A numerical approach for approximating the historical morphology of wave-dominated coasts – A case study of the Pomeranian Bight, southern Baltic Sea, GEOMORPHOLOGY, 2014, Volume 204, pp. 425–443 (j. angielski), DOI 10.1016/j.geomorph.2013.08.023.
VII	Furmańczyk Kazimierz, Andrzejewski Paweł, Benedyczak Rafał, Bugajny Natalia, Cieszyński Łukasz, Dudzińska-Nowak Joanna, Giza Andrzej, Paprotny Dominik, Terefenko Paweł , Zawisłak Tomasz, Recording of selected effects and hazards caused by current and expected storm events in the Baltic Sea coastal zone, Journal of Coastal Research, 2014, Special Issue No. 70, pp. 338–342 (j. angielski), DOI 10.2112/SI70-057.1.
VIII	Deng Junjie, Harff Jan, Zhang Wenyan, Schneider Ralf, Dudzińska-Nowak Joanna, Giza Andrzej, Terefenko Paweł , Furmańczyk Kazimierz; The Dynamic Equilibrium Shore Model for the Reconstruction and Future Projection of Coastal Morphodynamics. W: Coastline Changes of the Baltic Sea from South to East: past and future projection. Red. Jan Harff, Kazimierz Furmańczyk, Hans von Storch. Berlin, Niemcy: Springer, 2017, pp. 87–106 (j.angielski) ISBN 978-3-319-49892-8, 392 s.
IX	Terefenko Paweł , Paprotny Dominik, Giza Andrzej, Kubicki Adam, Winowski Marcin, Analiza wpływu orkanów Barbara i Aleks na morfologię wybrzeża klifowego wyspy Wolin. W: Geoekosystem wybrzeży morskich. 3, Monitoring funkcjonowania i przemian wybrzeży morskich w warunkach zmian klimatu i narastającej antropopresji. Red. Andrzej Kostrzewski, Marcin Winowski, Poznań-Biała Góra: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Stacja Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, 2017, s. 177–182 (j. polski), ISBN 978-83-932529-9-2, 204 s.
X	Aniśkiewicz Paulina, Łonyszyn Przemysław, Furmańczyk Kazimierz, Terefenko Paweł , Application of statistical methods to predict beach inundation at the polish Baltic sea coast. W: GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences. Berlin, Niemcy: Springer, 2018, pp. 73–92 (j. angielski), ISSN: 21905193.

VI. Omówienie planów badawczych na najbliższe lata

Jak wspomniałem we wstępie do niniejszego omówienia moich prac badawczych, za swój długofalowy cel naukowy uważam zwiększenie użyteczności metod analizy przestrzennej i statystycznej w monitoringu zagrożeń naturalnych w morskiej strefie brzegowej. Cel ten realizuję konsekwentnie od początku kariery naukowej, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom, jakie stawia się przed dzisiejszą nauką, czyli implementacją i komercjalizacją badań naukowych.

Plany publikacyjne na najbliższe lata wiąże z projektami badawczymi oraz prowadzoną od początku kariery współpracą międzynarodową. W ramach realizowanego obecnie grantu NCN nr 2015/17/D/ST10/02191 zgromadzony został obszerny materiał, ukazujący zmiany morfologii wybrzeży klifowych południowego Bałtyku. Na jego podstawie opracowywany jest obecnie artykuł pt. „Predicting coastal hazards for cliff coasts with a Bayesian Network”, w którym zaprezentowane zostanie innowacyjne rozwiązanie pozwalające na modelowanie tendencji rozwojowych wybrzeży klifowych z wykorzystaniem zaawansowanych technik analitycznych.

W dotychczasowej pracy badawczej znakomite efekty przynosiło umiejętne wykorzystywanie nowoczesnych technik pomiarowych i analitycznych oraz prezentacja możliwości ich zastosowań w kontekście zarówno badań naukowych, jak i rozwiązań praktycznych. W przyszłości planuję wzbogacać zarówno warsztat metodologiczny, jak i zakres wykorzystywanych narzędzi monitoringu wybrzeża. Obecnie pracuję między innymi nad możliwościami wykorzystania danych pozyskiwanych z bezzałogowych statków powietrznych (UAV). Jedną z aktualnie realizowanych prac dotyczy monitoringu

przybrzeżnych progów podwodnych za pomocą UAV. Pozyskane w sezonach letnich 2017 i 2018 dane są obecnie analizowane i przewidziane są do publikacji w roku 2019 w pracy pt. „Application of unmanned aerial vehicles in monitoring of underwater marine hydrotechnical constructions”.

Za równie istotny cel swojej pracy naukowej uważam popularyzowanie w Polsce praktycznego podejścia do badań naukowych. Wszystkie obecnie osobiście prowadzone prace, jak również prace studentów i doktorantów przygotowywane pod moim kierunkiem, realizowane są we współpracy z polskimi i zagranicznymi firmami. Podejście takie pozwala poznać oczekiwania rynku i ułatwia wdrożenia i komercjalizację badań naukowych.

Spis cytowanej literatury

- Andriani, G.F., Walsh, N. (2006), Rocky coast geomorphology and erosional processes: A case study along the Murgia coastline South of Barri, Apulia—SE Italy. *Geomorphology*, 87, 224–238.
- Anthony, E.J. (2009). *Developments in Marine Geology. Shore processes and their palaeoenvironmental applications*. Elsevier. Hungary.
- Apel, H., Aronica, G.T., Kreibich, H., Thielen, A.H. (2009). Flood risk analyses – how detailed do we need to be? *Natural Hazards* 49: 79–98.
- Bates, P., De Roo, A.P. (2000) A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology* 236: 54–77.
- Breilh, J.F., Chaumillon, E., Bertin, X., Gravelle, M. (2013), Assessment of static flood modeling techniques: application to contrasting marshes flooded during Xynthia (western France). *Natural Hazards and Earth Systems Sciences* 13: 1595–1612.
- Bugajny, N., Furmańczyk, K. (2014) Dune coast changes caused by weak storm events in Miedzywodzie, Poland, *Journal of Coastal Research* SI 70, 211–216.
- Cardona, O.D., van Aalst, M.K., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Perez, R., Pulwarty, R.S., Schipper, E.L.F., Sinh, B.T. (2012), Determinants of risk: exposure and vulnerability. In: Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M. (eds), *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 65–108.
- Castedo, R., Murphy, W., Lawrence, J., Paredes, C. (2012), A new process-response coastal recession model of soft rock cliffs. *Geomorphology*, 177, 128–143.
- Church, J.A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D., Unnikrishnan, A.S. (2013), Sea level change. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (eds), *Climate change 2013: the physical science basis contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 1137–1216.
- Cieślak, A. (1995) Contemporary coastal Transformation – The Coastal Management and Protection Aspect. *Journal of Coastal Research* SI 22, 63–71.
- Deng, J., Zhang, W., Harff, J., Schneider, R., Dudzińska-Nowak, J., Terefenko, P., Giza, A., Furmańczyk, K. (2014), A numerical approach for approximating the historical morphology of wave-dominated coasts – A casestudy of the Pomeranian Bight, southern Baltic Sea. *Geomorphology* 204, 425–443.
- Emery, K.O., Kuhn, G.G. (1982), Sea cliffs: their processes, profiles and classification. *Bulletin. Geological Society of America* 93, 644–654.
- Emschergenossenschaft/Hydrotec (2004), Hochwasser-Aktionsplan Emscher—Methodik der Schadensermittlung. <http://www.eglv.de> Accessed 12 Sept 2015.
- Fall, M., Azzam, R., Noubactep, C. (2006), A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping. *Engineering Geology*, 82, 241–263.

- Furmańczyk, K.K., Dudzińska-Nowak, J., Furmańczyk, K.A., Paplińska-Swerpel, B., Brzezowska, N. (2011), Dune erosion as a result of the significant storms at the western Polish coast (Dziwnow Spít example). *Journal of Coastal Research*, SI 57, 756–759.
- Furmańczyk, K.K., Dudzińska-Nowak, J., Furmańczyk, K.A., Paplińska-Swerpel, B., Brzezowska, N. (2012), Critical storm thresholds for the generation of significant dune erosion at Dziwnow Spit, Poland. *Geomorphology*, vol. 143–144, 62–68.
- Furmańczyk, K., Andrzejewski, P., Benedyczak, R., Bugajny, N., Cieszyński, Ł., Dudzińska-Nowak, J., Giza, A., Paprotny, D., Terefenko, P., Zawislak, T. (2014), Recording of selected effects and hazards caused by current and expected storm events in the Baltic Sea coastal zone, *Journal of Coastal Research* 70: 338–342.
- Hallegatte, S. (2012), A framework to investigate the economic growth impact of sea level rise. *Environmental Research Letters* 7/1, no. 015604.
- Hunt, I.A. (1959), Design of seawalls and breakwaters. *Journal of the Waterways and Harbors Division* 85(WW3): 123–152.
- Kogure, T., Aoki, H., Hirose, T., Matsukura, Y. (2006), Effect of the development of notches and tension cracks on instability of limestone coastal cliffs in the Ryukyus, Japan. *Geomorphology*, 80, 236–244.
- Kostrzewski, A., Zwolinski, Z., Winowski, M., Tylkowski, J., Samolyk, M. (2015), Cliff top recession rate and cliff hazards for the sea coast of Wolin Island (Southern Baltic), *Baltica* 28 (2), 109–120.
- Kron, F. (2005), Flood risk = hazard * values * vulnerability. *Water International* 30(1): 58–68.
- Lee, E.M. (2008), Coastal cliff behaviour: Observations on the relationship between beach levels and recession rates. *Geomorphology*, 101, 558–571.
- Mase, H. (1989), Random wave runup height on gentle slope. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* 115(5): 649–661.
- Melby, J.A. (2012), Wave Runup Prediction for Flood Hazard Assessment. ERDC/CHL TR-12-24 Technical Report. Vicksburg MS: Coastal and Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Research and Development Center.
- Merz, B., Kreibich, H., Thieken, A., Schmidtke, R. (2004), Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4: 153–163.
- Musiela, S., Furmańczyk, K., Bugajny, N. (2017), Factors and Processes Forming the Polish Southern Baltic Sea Coasts on Various Temporal and Spatial Scales. In: J. Harff, K. Furmańczyk, H. von Storch (eds.), *Coastline changes of the Baltic Sea from South to East. Past and future projection*. Springer Coastal Research Library 19, 69–85.
- Naylor, L.A., Stephenson, W.J., Trenhaile, A.S. (2009), Rock coast geomorphology: Recent advances and future research directions. *Geomorphology*, SI114, vol. 1–2, 3–11.
- Oliveira, S. (2005), *Evolução Recente da Linha de Costa no Troço Costeiro Forte Novo – Garrão (Algarve)*. MSc Thesis. University of Lisbon.
- Paprotny, D. (2014), Trends in storm surge probability of occurrence along the Polish Baltic Sea coast. arXiv: 1410.2547.
- Paprotny, D., Terefenko, P. (2017), New estimates of potential impacts of sea level rise and coastal floods in Poland. *Natural Hazards*, 85 (2), 1249–1277.
- Pfeffer, W.T., Harper, J.T., O’Neel, S. (2008), Kinematic constraints on glacier contributions to 21st century sea level rise. *Science* 321: 1340–1343.
- Poulter, B., Halpin, P.N. (2008), Raster modelling of coastal flooding from sea-level rise. *International Journal of Geographical Information Science* 22: 167–182.
- Pruszek, Z., Zawadzka, E. (2005), Vulnerability of Poland’s coast to sea-level rise. *Coastal Engineering Journal* 47: 131–155.
- Pruszek, Z., Zawadzka, E. (2008), Potential implications of sea-level rise for Poland. *Journal of Coastal Research*, 24: 410–422.
- Rahmstorf, S. (2007), Sea-level rise a semi-empirical approach to projecting future. *Science* 315: 368–370.
- Rotnicki, K., Borowka, R.K. (1991), Impact of a future sea level rise in the Polish Baltic coastal zone. EPA International Sea Level Rise Studies Project Report. Division of Coastal and Environmental Studies. Rutgers University Institute of Coastal and Marine Sciences, New Brunswick.
- Rotnicki, K., Borowka, R.K., Devine, N. (1995), Accelerated sea level rise as a threat to the Polish Coastal Zone-quantification of risk. *Journal of Coastal Research*, SI22: 111–135.

- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A., Sallenger, A.H. (2006), Empirical parameterization of setup, swash, and runup. *Coastal Engineering* 53(7): 573–588.
- Subotowicz, W. (1982), *Litodynamika brzegów klifowych wybrzeża Polski*. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Ossolineum, Wrocław, 150.
- Suursaar, U., Kullans, T., Otsmann, M., Saaremaa, I., Kuik, J., Merilain, M. (2006), Cyclone Gudrun in January 2005 and modeling its hydrodynamic consequences in the Estonian coastal waters, *BOREAL ENVIRON RES*, 11, 143–159.
- Terefenko, P. (2014), Czynniki kształtujące morfologię wybrzeża Algarve w ujęciu GIS. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin.
- Terefenko, P., Terefenko, O. (2014), Determining the role of exposure, wave force and rock chemical resistance in marine notch development. *Journal of Coastal Research* SI70, 706–711.
- Tõnisson, H., Suursaar, U., Ravis, R., Kont, A., Orviku, K. (2013), Observations and analysis of coastal in the West Estonian Archipelago caused by storm Ulli (?Emil) in January 2012. *Journal of Coastal Research* SI 65, 832–837.
- Trenhaile, A.S. (2002), Rock coasts, with particular emphasis on shore platform. *Geomorphology*, 48, 7–22.
- Urbański, J. (2010), *GIS w badaniach przyrodniczych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.
- Wiśniewski, B., Wolski, T. (2009), *Katalogi wezbrań i obniżen szstormowych poziomów morza oraz ekstremalne poziomy wód na polskim wybrzeżu*. Maritime University of Szczecin, Szczecin.
- Wolski, T., Wiśniewski, B., Giza, A., Kowalewska-Kalkowska, H., Boman, H., Grabbi-Kaiv, S., Hammarklint, T., Holfort, J., Lydeikaitė, Ž. (2014), Extreme sea levels at selected stations on the Baltic Sea coast. *Oceanologia*, 56, 259–290.
- Zeidler, R.B. (1997), *Climate change vulnerability and response strategies for the coastal zone of Poland*. *Climate Change* 36: 151–173.
- Zhang, W., Deng, J., Harff, J., Schneider, R., Dudzińska-Nowak, J. (2013), A coupled modeling scheme for longshore sediment transport of wave-dominated coasts – A case study from the southern Baltic Sea, *Coastal Engineering* 72, 39–55.

Paweł Terefenko