

**PRZYDATNOŚĆ SKANOWANIA LASEROWEGO
DO BADAŃ STREFY BRZEGOWEJ POŁUDNIOWEGO BAŁTYKU**

**SUITABILITY OF LASER SCANNING
IN THE SOUTHERN BALTIC COASTAL ZONE RESEARCH**

Joanna Dudzińska-Nowak

Uniwersytet Szczeciński, Instytut Nauk o Morzu,
Zakład Teledetekcji i Kartografii Morskiej

SŁOWA KLUCZOWE: skanowanie laserowe, NMT, NMPT, strefa brzegowa

STRESZCZENIE: Strefa brzegowa ze względu na swą niedostępność i dynamiczne procesy w niej zachodzące stanowi bardzo ciekawy, ale równocześnie, trudny obszar badawczy. Zróżnicowanie środowisk wymagało do tej pory stosowania różnych technik badawczych, a analiza pozyskanych w ten sposób wyników nie pozwalała na pełny opis skomplikowanych zjawisk i prawidłowości rozwoju. Nowe możliwości w badaniach strefy brzegowej pojawiły się wraz ze skonstruowaniem zintegrowanych urządzeń skanowania laserowego (LiDAR) pozwalających na równoczesną, szybką i precyzyjną rejestrację rzeźby dna morskiego i przylegającej do niego powierzchni lądu. Wykonanie pomiarów w okresie największej przejrzystości wody i przy sprzyjających warunkach pogodowych, uwzględniających siłę wiatru i falowania, pozwala na rejestrację dna do 2.5÷3 głębokości krążka Secchi'ego, co w warunkach południowego Bałtyku odpowiada ok. 30 m. Analiza otrzymanego modelu pokrycia powierzchni terenu (*DSM*) oraz po odfiltrowaniu roślinności i innych obiektów - trójwymiarowego modelu powierzchni terenu (*DTM*), może pozwolić na powiązanie przyczyn i skutków procesów dynamicznych obserwowanych zarówno w podwodnej jak i nadwodnej części strefy brzegowej. Stwarza, więc nieporównanie większe możliwości zrozumienia uwarunkowań i przebiegu zjawisk decydujących o skutkach, jakie obserwujemy w strefie brzegowej, szczególnie w aspekcie zniszczeń posztormowych zagrażających infrastrukturze.

1. WPROWADZENIE

Dynamika procesów zachodzących w strefie brzegowej oraz ograniczone możliwości przeprowadzenia bezpośrednich badań w jej obszarze stwarzają duże problemy, które w znaczny sposób utrudniają opisanie zjawisk i wywołujących je czynników. Zróżnicowanie badanych środowisk wymagało dotychczas stosowania różnych metod pomiarowych w części nadwodnej i podwodnej. Ponadto stosowane techniki posiadały cały szereg uwarunkowań i ograniczeń, które znacznie zawężyły możliwości ich stosowania. W efekcie nie pozwalało to na pełną integrację danych pomiarowych dla stref nadbrzeża i podbrzeża, zarówno pod względem dokładności uzyskanych wyników jak i termin wykonania pomiarów. Dodatkowo stosowane metody badawcze pozwalały jedynie na uzyskiwanie szczegółowych danych dla bardzo małych obszarów, najczęściej wyznaczane

w profilach rejestracje sonarem, sondą wielowiązkową czy pomiary geodezyjne, lub danych o mniejszej szczegółowości dla większych obszarów takie jak zdjęcia lotnicze i sceny satelitarne. W efekcie określano prawidłowości rozwoju osobno dla strefy nadbrzeża i podbrzeża, nie otrzymując pełnego obrazu złożonego systemu, jakim jest strefa brzegowa.

Wykorzystanie aktywnej techniki teledetekcyjnej - skanowania laserowego (LiDAR – *Light Detection and Ranging*), pozwalającej na równoczesną rejestrację rzeźby dna morskiego i przylegającej do niego powierzchni lądu, jaką dają urządzenia SHOALS i Hawk Eye II, otwiera nowy rozdział w badaniach strefy brzegowej. Analiza otrzymanego w wyniku rejestracji ciągłego modelu pokrycia powierzchni terenu (DSM) oraz po odfiltrowaniu roślinności i innych obiektów - trójwymiarowego modelu powierzchni terenu (DTM), może pozwolić na powiązanie przyczyn i skutków procesów dynamicznych obserwowanych zarówno w podwodnej jak i nadwodnej części strefy brzegowej. Stwarza, więc nieporównanie większe możliwości zrozumienia uwarunkowań i przebiegu zjawisk decydujących o skutkach, jakie obserwujemy w strefie brzegowej, szczególnie w aspekcie wzebrań sztormowych i zjawisk ekstremalnych.

2. TECHNOLOGIA SKANOWANIA LASEROWEGO

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) należy do tzw. aktywnych systemów teledetekcyjnych wykorzystujących do obrazowania wiązkę promieniowania elektromagnetycznego. W ogromnym uproszczeniu LiDAR składa się z zazwyczaj z modułu emitującego światło lasera (nadajnika; diody), systemu wirujących luster, których zadaniem jest równomierne „rozrzucenie wiązki po obiekcie badań, teleskopu skupiającego promieniowanie powracające (odbite) oraz rejestrującego go detektora. Ze względu na zastosowane rozwiązania mechaniczne, skanery tego typu klasyfikowane są jako optyczno-mechaniczne. Działanie skanera laserowego polega na pomiarze odległości od badanych obiektów, który jest realizowany poprzez pomiar czasu, jaki upływa od momentu wystania światła do jego powrotu do urządzenia po uprzednim odbiciu od celu. Przy znanej prędkości rozchodzenia się fali elektromagnetycznej (światła) w różnych ośrodkach i rejestracji czasu, można obliczyć odległość obiektu od urządzenia. Rejestrowane parametry jednoznacznie pozwalają na określenie współrzędnych pomierzonych obiektów w przestrzeni trójwymiarowej x, y, z. Znając położenie urządzenia bądź też dowolnych pomierzonych punktów, cały pomiar 3D można wpasować w dowolny układ współrzędnych. W wyniku rejestracji na drodze przetworzeń chmury punktów pomiarowych (*point cloud*) uzyskuje się Numeryczny Model Powierzchni Terenu (*DSM – Digital Surface Model*) oraz po odfiltrowaniu roślinności i innych obiektów - Numeryczny Model Terenu (*DTM – Digital Terrain Model*). Technologia skaningu laserowego może być stosowana zarówno w pomiarach naziemnych (*Terrestrial Laser Scanning – TSL*) jak i z pokładu samolotu czy śmigłowca (*Airborne Laser Scanning – ALS*). W badaniach strefy brzegowej najczęściej wykorzystuje się lotnicze skanowanie laserowe (*ALS*), a w przypadku wybrzeży klifowych, ze względu na możliwość precyzyjnego obrazowania aktywnej powierzchni klifu, naziemne skanowanie laserowe (*TSL*). W przeprowadzonych przez Brock'a i innych (2002) eksperymentach badawczych potwierdzono przydatność technologii skaningu laserowego do precyzyjnego określania miejsc osuwisk wybrzeży klifowych i przylądków oraz do kartowania w skali regionalnej zmian geomorfologii

powstałych w wyniku sztormów lub procesów sedymentacyjnych wybrzeży różnych typów (Brock *et al.*, 2002, Lindstaedt, Kersten, 2005).

Rejestracja ASL w badaniach strefy brzegowej w USA (NASA 2002) odbywa się z pokładu samolotu zazwyczaj z wysokości względnej 700 m. Lot na wysokości poniżej 1000 m minimalizuje wpływ atmosfery na rozpraszanie sygnału lasera. Nalot prowadzony jest wzdłuż wybrzeża przy jednoczesnej rejestracji obrazu powierzchni znajdującej się bezpośrednio pod samolotem. W efekcie otrzymuje się pas o szerokości ok. 50% wartości wysokości lotu samolotu (300-400 m). Trajektoria lotu samolotu jest rejestrowana i aktualizowana za pomocą kinematycznej techniki DGPS. Równocześnie rejestrowane są warunki meteorologiczne, takie jak: ciśnienie powietrza, temperatura i wilgotność względna, w celu interpretacji anomalii uzyskanego obrazu. Pozycja wyznaczana jest z dokładnością ± 5 cm w wyniku korekcji na podstawie najbliższej stacji referencyjnej różnicowego GPS (Brock *et al.* 2002).

Największą zaletą skanowania laserowego w badaniach strefy brzegowej jest równoczesna, szybka i precyzyjna rejestracja rzeźby dużego obszaru nadbrzeża i podbrzeża, która pozwala na analizę dynamiki zjawisk całego, złożonego systemu, jakim jest strefa brzegowa. Dotychczas stosowane, tradycyjne techniki pomiarowe wykorzystywały różne metody dla rejestracji lądowej i podwodnej części brzegu. Długi okres pozyskiwania danych uniemożliwiał uchwycenie chwilowego stanu brzegu, zaś zróżnicowanie pod względem dokładności i terminu wykonania pomiaru skutkowało odrębną interpretacją części lądowej i podwodnej. Efektem tych badań były zestawy odrębnych danych, które uniemożliwiały całościową interpretację zmienności strefy brzegowej w wyniku, czego określano osobno prawidłowości rozwoju części nadwodnej i podwodnej (Dudzińska-Nowak, Wężyk 2006).

Dotychczas w badaniach strefy brzegowej wykorzystywano do rejestracji rzeźby nadbrzeża skanery laserowe topograficzne, wysyłające promieniowanie elektromagnetyczne w bliskiej podczerwieni (*Near-IR* 1064 nm), zaś do rejestracji podbrzeża skanery laserowe batymetryczne, wysyłające sygnały w zakresie światła zielonego (*Green* 532 nm). Obecnie wykorzystywane skanery np. SHOALS (Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey - OPTTECH) i HAWK EYE II (BLOM) stanowią zintegrowane urządzenia do równoczesnej rejestracji rzeźby dna i nadbrzeża zbiorników wodnych, a także pozwalają na rejestrację pokrycia terenu (zdjęcia lotnicze). Lidar batymetryczny SHOALS pracuje z częstotliwością 1 000 Hz, zaś topograficzny 10 000 Hz, zaś skaner Hawk Eye II batymetryczny z częstotliwością 1 000 Hz, a topograficzny 8 000 Hz. Urządzenia wysyłają sygnały świetlne w zakresie promieniowania zielonego (*Green* o długości 532 nm) i bliskiej podczerwieni (*Near-IR* o długości 1064 nm). Następnie rejestrują sygnał powrotny w zakresie bliskiej podczerwieni odbity od powierzchni wody (odbicie zwierciadlane) oraz promieniowania zielonego odbity od dna zbiornika (sygnał odbity od dna i odbicie rozproszone). Każdy sygnał powrotny jest analizowany w celu określenia głębokości dna, a następnie korygowany ze względu na zmiany poziomu morza pod wpływem falowania i pływów (Wozencraft, Lillycrop, 2003).

Szczegółowość danych pozyskanych w wyniku skanowania laserowego znacznie przewyższa dane pozyskiwane tradycyjnymi dla badań strefy brzegowej metodami. Chociaż nie dorównują one dokładnością większości skanerów lądowych, to są zgodne

międzynarodowym standardem pomiarów hydrograficznych International Hydrographic Organisation Order 1, Numer 44 April 1998. Dokładność danych pomiarowych wynosi:

- dla skanowania podbrzeża – współrzędne x,y - $1\div 3$ m, z - $\pm 0,15$ m (SHOALS), ± 0.5 (Hawk Eye II);

- dla skanowania nadbrzeża - współrzędne x,y,z - $\pm 0,15$ m (SHOALS), $\pm 0,2$ m (Hawk Eye II).

Maksymalna, rejestrowana głębokość zależy od przejrzystości wody tj. zawartości cząstek powodujących rozpraszanie sygnału, zależnej od ilości i składu zawiesiny zarówno organicznej jak i nieorganicznej. Wykonanie pomiarów w okresie największej przejrzystości wody i przy sprzyjających warunkach pogodowych, uwzględniających siłę wiatru i falowania, pozwala na rejestrację dna do $2.5\div 3$ głębokości krążka Secchi`ego, co w warunkach wód oceanicznych przekłada się na ok. $60\div 70$ m (Finkl *et al.* 2005, Wozencraft, Lillycrop, 2003), a w Morzu Bałtyckim na ok. 30 m.

Dodatkowymi atutami skanowania laserowego są możliwości rejestracji obiektów bezpośrednio niedostępnych (np. wybrzeży skalistych, raf koralowych) oraz powtarzalność pomiarów. Ponowna rejestracja pozwala na określenie zarówno krótkookresowych zmian liniowych, powierzchniowych jak i objętościowych strefy brzegowej z dużo większą dokładnością, niż stosowane do tej pory tradycyjne techniki pomiarowe (Young, Ashford, 2006).

3. OGRANICZENIA METODY

Jak każda metoda badawcza, również skanowanie laserowe posiada ograniczenia, które w pewnych warunkach uniemożliwiają jej zastosowanie. Dotyczą one głównie lasera batymetrycznego, wysyłającego promieniowanie w zakresie światła zielonego (532 nm), którego sygnał ulega silnemu osłabieniu, rozproszeniu i odbiciu w czasie przechodzenia przez środowisko wodne. Maksymalna głębokość rejestracji rzeźby dna morskiego zależy, więc w dużej mierze od warunków hydro-meteorologicznych tj. siły wiatru i falowania panujących w momencie wykonywania pomiarów oraz właściwości fizyko-chemicznych wody tj. ilości zawiesiny organicznej i nieorganicznej.

Badania przeprowadzone przez Aarup`a (2002) dotyczące zróżnicowania przezroczystości wody w Morzach Północnym i Bałtyckim jednoznacznie wykazały znaczne zróżnicowanie głębokości Secchi`ego tych obszarów. Wyraźnie widoczna jest również sezonowa (kwartalna) zmienność tego parametru, zależna od warunków hydro-meteorologicznych i produkcji biologicznej akwenu. W zachodniej części Bałtyku zakwit fitoplanktonu rozpoczyna się przeważnie w drugiej połowie kwietnia, zaś w sierpniu i wrześniu notowany jest drugi, mniejszy zakwit. Sezonowa zmienność przezroczystości wody podkreśla jak ważny jest właściwy dobór terminu wykonania skanowania laserowego. Jednakże jak wskazuje autor (Aarup, 2002) obecnie, ze względu na niedostateczną ilość pomiarów, niemożliwe jest stworzenie map miesięcznego zróżnicowania tego parametru, które mogłyby znacznie ułatwić wybór terminu pomiarów.

Badania prowadzone przez IMGW w Gdyni w oparciu o Program Monitoringu Wód Morskich COMBINE wykazały, że na zmiany przezroczystości wód mają wpływ intensywność rozwoju fitoplanktonu oraz stężenie chlorofilu "a". Średnia roczna przezroczystość Zatoki Pomorskiej w latach 2004/05 utrzymywała się na poziomie zbliżonym do lat poprzednich i wynosiła odpowiednio 1.9 i 2.3 m. Najwyższą wartość

odnotowano w październiku 2005 i wynosiła ona 6.8 m (Raport o stanie środowiska..., 2007).

Przeprowadzona 29.04.2007, przez firmę Admiralty Coastal Surveys z wykorzystaniem skanera Hawk Eye II, pierwsza, testowa rejestracja brzegu morskiego południowego Bałtyku w rejonie Świnoujścia potwierdziła jak duże znaczenie w przypadku lasera batymetrycznego mają warunki hydro-meteorologiczne, a zwłaszcza przeźroczystość wody. Nalot wykonano w ekstremalnie niekorzystnych warunkach, w czasie ucichania silnego sztormu, przy silnym falowaniu i bardzo dużym zmętnieniu wody, zarówno pod wpływem zakwitów fitoplanktonu jak i dużej ilości zawiesiny nieorganicznej. Jednak pomimo niesprzyjających warunków, dla większości obszaru zarejestrowano rzeźbę podbrzeża do głębokości ok. 5 m. Bazując na wcześniejszych opracowaniach z Morza Bałtyckiego i doświadczeniu firmy BLOM można wnioskować, że przeprowadzenie skanowania laserowego przy sprzyjających warunkach pozwoli na rejestrację rzeźby dna południowego Bałtyku do głębokości ok. 20 m. Pozyskanie tak szczegółowych danych mogłoby znacznie przyczynić się do rozpoznania rzeźby strefy brzegowej, zaś powtarzalne rejestracje pozwoliłyby na dokładne obliczenie wielkości akumulowanego i erodowanego materiału, określenie kierunków ruchu rumowiska oraz rozpoznania miejsc najbardziej zagrożonych w wyniku abrazji.

4. SKANOWANIE LASEROWE W BADANIACH STREFY BRZEGOWEJ

Prace licznych autorów głównie z USA i Wielkiej Brytanii od kilku lat opisują i jednoznacznie wskazują na potrzebę wykorzystania technologii skanowania laserowego w bardzo szerokim zakresie badań strefy brzegowej (Brock *et al.*, 2002, Gibeaut *et al.*, 2003, Sallenger *et al.*, 2003, Millar 2004, Robertson *et al.*, 2004, Moyles *et al.*, 2005, Finkl *et al.*, 2005, Young, Ashford, 2006). Podkreślana jest przydatność zarówno skanowania naziemnego jak i lotniczego rejestrującego powierzchnię lądu jak i dna morskiego.

Przeprowadzone eksperymenty badawcze potwierdzają przydatność technologii skanowania laserowego do precyzyjnego określania miejsc osuwisk wybrzeży klifowych oraz do kartowania zmian geomorfologii powstałych w wyniku sztormów i procesów sedimentacyjnych wybrzeży różnych typów (Brock *et al.*, 2002, Sallenger *et al.*, 2003, Finkl *et al.*, 2005, Young, Ashford 2006). Wykorzystanie skanowania laserowego w monitoringu brzegu pozwala na, dużo dokładniejsze niż do tej pory, precyzyjne określenie objętości zmian brzegu w wyniku oddziaływania procesów erozji i akumulacji, określenie kierunków ruchu rumowiska i bilansu osadów strefy brzegowej (Gibeaut *et al.*, 2003, Sallenger *et al.*, 2003).

W czasie eksperymentu „Sandy Duck” w 1997 roku na wybrzeżu Północnej Karoliny oceniano przydatność skanowania laserowego (ASL topograficzny) do oceny topografii i zmian plaży (Sallenger *et al.*, 2003). Dokładność danych otrzymywanych z LiDARA porównywano z trzema typami tradycyjnych naziemnych metod pomiarowych z wykorzystaniem GPS. Średni błąd kwadratowy (RMS) pomiaru wysokości obiektów technologią skanowania laserowego i metodami naziemnymi wynosił od 0.13 do 0.19 m. Natomiast średni RMS, wszystkich wykorzystanych metod, reprezentujący maksymalny błąd pomiaru wysokości pojedynczego obiektu wyniósł 0.15 m. Na tej podstawie stwierdzono, że skanowanie laserowe jest odpowiednią technologią do rozwiązywania problemów badawczych zmian plaży w wyniku spiętrzeń sztormowych, gdyż mogą one

osiągać wielkości powyżej 2m, czyli znacznie większe niż uzyskany błąd dokładności pomiaru (Sallenger *et al.*, 2003).

Z punktu widzenia bezpieczeństwa żeglugi w strefie przybrzeżnej, ważna jest również możliwość dokładnej lokalizacji obiektów podwodnych, a szczególnie wraków, instalacji przemysłowych i militarnych. W publikacjach zwraca się również uwagę na przydatność skanowania laserowego do analiz falowania i cyrkulacji strefy brzegowej, bilansu osadów, topografii strefy brzegowej, zaburzeń falowania w obrębie szelfu kontynentalnego oraz wielu innych zagadnień (Brock *et al.*, 2002, Gibeaut *et al.*, 2003, Sallenger *et al.*, 2003, Finkl *et al.*, 2005, Dudzińska-Nowak, Wężyk, 2006, Young, Ashford, 2006).

Technologia skanowania laserowego pozwala nie tylko na analizę wielkości erozji i akumulacji brzegu na podstawie uzyskanych danych, ale również na ich integrację z badaniami prowadzonych innymi metodami. Mogą to być szczegółowe dane batymetryczne (punktowe X,Y,Z), dane z sonaru lub sondy wielowiązkowej (sidescan sonar, subbottom profiler) przedstawiające rzeźbę dna na większych głębokościach, ortofotomapy lotnicze lub hiperspektralne zobrazowania satelitarne przedstawiające pokrycie terenu (Gibeaut *et al.*, 2003, Miller, 2004, Moyles, 2005, Finkl *et al.*, 2005).

Badania przeprowadzone przez Robertson'a i innych (2004) wykazały przydatność LiDARA (ASL topograficzny) do aktualizowania istniejących baz danych, zawierających informacje odnośnie historycznego położenia linii brzegowej pozyskanych na podstawie różnych źródeł: map archiwalnych, zdjęć lotniczych oraz pomiarów terenowych. Fakt ten ma szczególnie duże znaczenie przy określaniu tendencji rozwojowych brzegu, gdyż jak wykazały wcześniejsze badania, porównanie pozycji linii brzegowej wyznaczonych w długich okresach czasu (ok. 100 lat) pozwala uzyskać dokładniejszych wyników, niż analizy zmian krótkookresowych (Musielak *i in.*, 1991, Dudzińska-Nowak 2006). Wykorzystanie skanowania laserowego daje, więc bardzo ważną możliwość kontynuowania wcześniejszych badań z porównywalnymi wskaźnikami, takimi jak linia wysokiej wody (HWL – High Water Level) stosowana jako miarodajny wskaźnik zmian brzegu (Leatherman 1983, 1993). Uzyskana dokładność wyznaczenia linii wysokiej wody (HWL), odpowiednika linii podstawy wydmy na wybrzeżach bezpływowych, nie odbiega od dokładności jej wyznaczenia na podstawie zdjęć lotniczych i wynosi 6.1 m (Robertson *et al.*, 2004). Dodatkowym atutem tej nowoczesnej metody jest możliwość ciągłych obserwacji zmian brzegu, która dostarcza znacznie więcej informacji o ich charakterze, niż stosowane powszechnie w monitoringu brzegu analizy w profilach.

Analiza zmian strefy brzegowej, dzięki wykorzystaniu skanowania laserowego, oprócz dokładności i szybkości pozyskiwania jednorodnych danych z dużych obszarów, wnosi powtarzalność i obiektywizm interpretacji danych, które mają fundamentalne znaczenie w analizach procesów dynamicznych.

5. PODSUMOWANIE

Badanie bardzo skomplikowanych procesów brzegowych, wiąże się z koniecznością korzystania z nowoczesnych metod badawczych. Ich koszt, mimo iż z pozoru wysoki przekłada się bezpośrednio na korzyści stosowania coraz bardziej skutecznych metod ochrony brzegu i zrównoważonego rozwoju gospodarczego obszarów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie brzegu.

Równoczesna, szybka i precyzyjna rejestracja dużego obszaru nadbrzeża i podbrzeża stwarza jedyne w swoim rodzaju możliwości poznania i zrozumienia uwarunkowań i przebiegu zjawisk, jakie obserwujemy w strefie brzegowej. Skanowanie laserowe daje jedyną możliwość rejestracji rzeźby obszarów bezpośrednio niedostępnych takich jak wybrzeża skaliste czy rafy koralowe. Powtarzalność pomiarów pozwala obiektywnie określić wielkość krótkookresowych zmian akumulacyjnych i erozyjnych zarówno liniowych, powierzchniowych, jak i objętościowych. Ma to ogromne znaczenie w wyznaczaniu rejonów bezpiecznych inwestycji i obszarów zagrożonych abrazją morską w ramach inicjatyw samorządów lokalnych i zintegrowanego zarządzania strefą brzegową.

Możliwość integracji danych pozyskanych w wyniku stosowania różnorodnych technik pomiarowych, w tym skanowania laserowego, oraz implementacji uzyskanych wyników do istniejących baz danych konstruowanych na podstawie zdjęć lotniczych ma szczególnie duże znaczenie w badaniach nad określeniem tendencji rozwojowych brzegu. Pozwala to na znaczne wydłużenie serii pomiarowych (Robertson *et al.*, 2004, Finkl *et al.*, 2005), co podnosi wiarygodność uzyskiwanych wyników i bardziej precyzyjnie opisuje zmiany systemu ląd-ocean-atmosfera.

Zastosowanie w badaniach strefy brzegowej skanowania laserowego, z wykorzystaniem skanera zielonego i czerwonego, pozwala na otrzymanie jedynych w swoim rodzaju informacji o rzeźbie podbrzeża i nadbrzeża, niemożliwych do uzyskania żadną inną techniką pomiarową. Pozwala na dokładniejsze, niż do tej pory określenie objętości przemieszczanego materiału oraz stworzenie map zmian przestrzennych strefy brzegowej obejmującej zarówno nadbrzeże jak i podbrzeże. Może to w przyszłości w znaczący sposób przyczynić się do wyjaśnienia prawidłowości interakcji zachodzących na styku ląd-ocean-atmosfera.

6. LITERATURA

- Aarup T., 2002. Transparency of the North Sea and Baltic Sea - a Secchi depth data mining study. *Oceanologia*, 44 (3), p.323-337.
- Brock J.C., Wright W., Jackson J.A., Sallanger A.H., Krabil W., Swift R.N., 2002. Basis and methods of NASA Airborne Topographic Mapper Lidar surveys for coastal Studies. *Journal of Coastal Research*, 18(1), p. 1-13.
- Dudzińska-Nowak J., 2006. Zmienność morfologii strefy brzegowej jako wskaźnik tendencji rozwojowych brzegu. Instytut Nauk o Morzu US. Szczecin. Rozprawa doktorska.
- Dudzińska-Nowak J., Wężyk P., 2006. Możliwości wykorzystania technologii LiDAR w badaniach strefy brzegowej. Zintegrowane zarządzanie obszarami przybrzeżnymi w Polsce – stan obecny i perspektywy. Brzeg morski zrównoważony. red. Furmańczyk K., Szczecin. 2, s.47-59.
- Finkl C.W., Benedet L., Andrews J.L., 2005. Interpretation of seabed geomorphology based on spatial analysis of high-density airborne laser bathymetry. *Journal of Coastal Research*, 21(3), p. 501-514.
- Gibeaut J.C., Smyth R.C., Gutierrez R., Hepner T., Jackson J.A., Jackson K.G., 2003. Surveys for coastal hazards and resource mapping. Coastal Zone Workshop. http://www.beg.utexas.edu/coastal/presentations_reports/lidar-wrkshp.
- Leatherman S.P., 1983. Shoreline mapping: A comparison of techniques. *Shore and Beach*. Vol.51. 28-33.

- Leatherman S.P., 1993. Remote sensing applied to coastal change analysis. Gurney. Foster. Parkinson [ed]. Global Change Atlas.
- Lindstaedt M., Kersten T., 2005. Ein virtueller Klon für Helgolands Lange Anna durch terrestrisches Laserscanning. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der 4. Oldenburger 3D Tage. Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, p.216-223.
- Millar D., 2004. Airborne Remote Sensing Techniques in Mapping Nearshore Coastal Environments. Alliance for Coastal Technologies Acoustic Remote Sensing Workshop. JALBTCX [FUGRO]
- Moyles D., Orthmann A., Lockhart C., DaSilva Lage J., 2005. Hydrographic mapping by combined operations using bathymetric LiDAR and multibeam echosounder in Alaska. FURGO.
- Musielak S., Furmańczyk K., Osadczuk K., Prajs J., 1991. Fotointerpretacyjny Atlas Dynamiki Strefy Brzegu Morskiego. Lata 1958-1989. Odcinek Świnoujście-Pogorzelica. Skala 1:5000. 21 sekcji. Instytut Nauk o Morzu US, OPGK Szczecin, red. Musielak. Wyd. Urząd Morski Szczecin.
- Raport o stanie środowiska w województwie zachodniopomorskim w latach 2004/2005. 2007. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska. Praca zbiorowa. www.wios.szczecin.pl
- Robertson W., Whitman D., Zhang K., Leatherman S.P., 2004. Mapping shoreline position using airborne laser altimetry. *Journal of Coastal Research*, 20(3), p. 884-892.
- Sallenger A.H. Jr., Krabill W.B., Swift R.N., Brock J., List J., Hansen M., Holman R.A. Manizade S., Sontag J., Meredith A., Morgan K., Ynkel J.K., Federick E.B., Stockdon H., 2003. Evaluation of airborne topographic lidar for quantifying beach changes. *Journal of Coastal Research*, 19(1), p. 125-133.
- Wozencraft J.M., Lillycrop W.J., 2003. SHOALS Airborne Coastal Mapping: Past, Present, and Future. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 38, p. 207-215.
- Young A.P., Ashford S.A., 2006. Application of airborne LiDAR for seacliff volumetric change and beach-sediment budget contributions. *Journal of Coastal Research*, 22(2), p.307-318.

Podziękowania: Autorka pragnie serdecznie podziękować panom Carlowi-Johanowi Stiegermarkowi z firmy BLOM Environment & Coastal Surveys oraz Januszowi Zarzyckiemu z firmy Geomar S.A. za współpracę i udostępnienie danych.

SUITABILITY OF LASER SCANNING IN THE SOUTHERN BALTIC COASTAL ZONE RESEARCH

KEY WORDS: laser scanning, DTM, DSM, coastal zone

SUMMARY: The coastal zone, due to its inaccessibility and dynamic processes, is a very interesting but difficult research area. Until recent years, the variety of coastal environments required the use of different research techniques, however the analysis of the results obtained, was not detailed enough to describe very complicated phenomena and coastal development. The integrated laser scanning

(LiDAR) technology creates new opportunities to obtain fast, accurate and simultaneous data of the sea bottom and the beach relief. Laser scanning measurements taken in the highest water transparency with good sea and weather conditions make it possible to obtain 2.5÷3 Secchi Depth, which - in case of the south Baltic Sea - equals approximately 30 meters. The analysis of Digital Surface Model (DSM) and Digital Terrain Model (DTM), obtained through filtering vegetation and other objects, allows to identify the relationship between the causes and effects of dynamic processes observed in the underwater and the land part of the coastal zone. Application of the laser scanning technique creates better opportunities to understand the conditions and phenomena observed in the coastal zone, especially storm damages posing threat to the infrastructure.

Dr Joanna Dudzińska-Nowak
e-mail: jotde@univ.szczecin.pl
telefon: (091) 444 1601
fax: (091) 444 1600