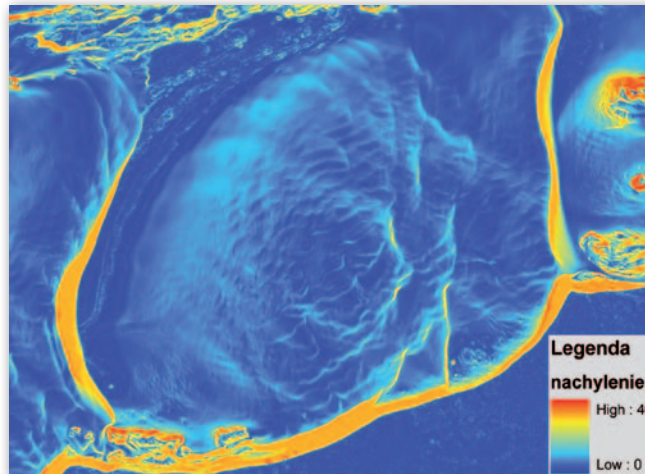


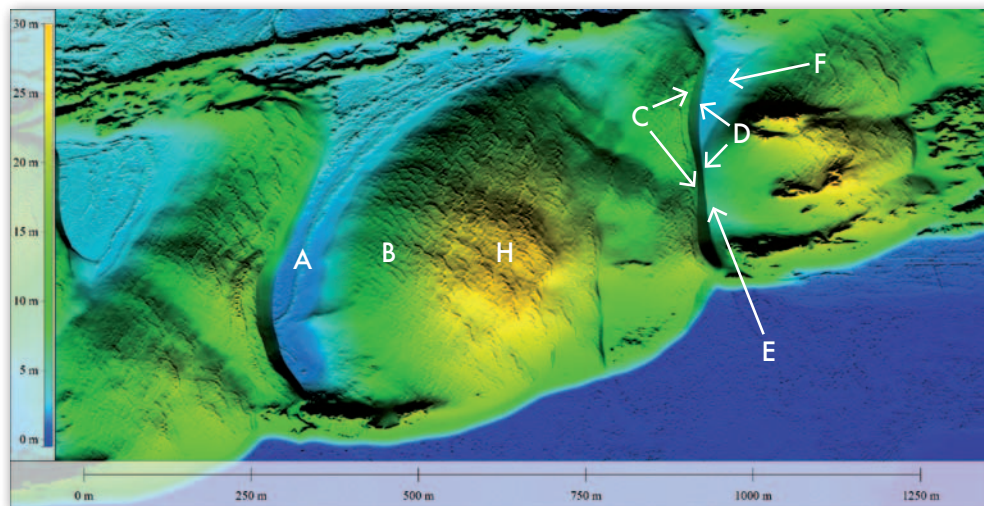
Monitoring wydm Mierzei Łebskiej z wykorzystaniem teledetekcji lidarowej

Piaskowe giganty

W GEODECIE 7/2014 (odcinek pt. „Powódź w Świniarach”) zwróciliśmy uwagę na możliwości dokonywania precyzyjnych pomiarów wolumetrycznych (objętościowych) na podstawie danych LiDAR i monitorowania środowiska. Jeżeli na danym obszarze występują zjawiska o dużej dynamice (istotna zmiana zachodzi w okresie kilku miesięcy czy lat), to zastosowanie systematycznie powtarzanej rejestracji pozwala nie tylko dokładniej zbadać te zjawiska, ale rów-



Rys. 1. Wydma Łącka, mapa nachyleń (rejestracja: wrzesień 2013 r.)



Rys. 2. Rejon Wydmy Łąckiej. Numeryczny model terenu (rejestracja: kwiecień 2013 r.)

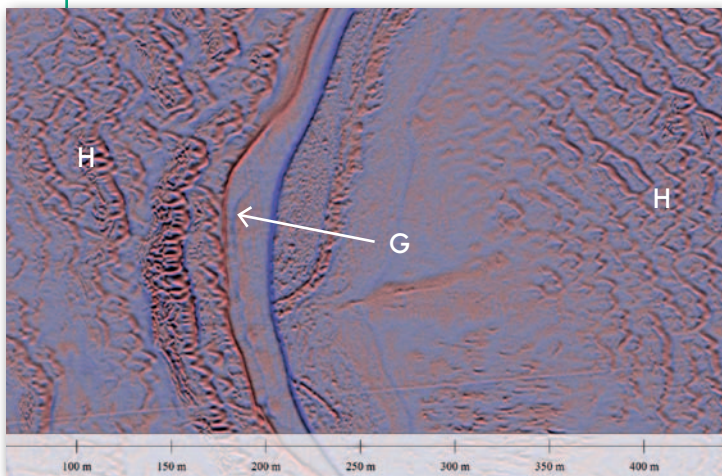
nież zmiany w otoczeniu mające wpływ na ich charakter.

Kontynuując wątek geomorfologiczny, przyjrzymy się jednej z przyrodniczych perełek

Polski – wydom znajdującym się na terenie Słowińskiego Parku Narodowego. Szeroki pas piaszczystej Mierzei Łebskiej, oddzielającej Jezioro

Łebsko od Morza Bałtyckiego, to miejsce sprzyjające występowaniu wielkich form wdmowych. Dogodne warunki do ich powstawania i rozwoju wynikają ze znacznej zasobności w drobnoziarnisty piasek wywiewany z nadmorskiej plaży, odpowiedniego położenia mierzei względem przeważających wiatrów (wiejących wzdłuż, a nie w poprzek mierzei) oraz braku pokrywy roślinnej w wyniku wyrębu i pożarów sprzed kilkuset lat.

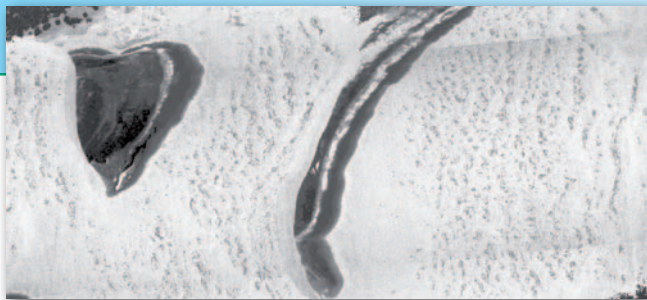
Rys. 3. LRM na podstawie NMT (rejestracja: kwiecień 2013 r.)



Rzeźba, budowa, geneza i rozwój wydm na Mierzei Łebskiej od lat stanowią temat wielu studiów i opracowań, prowadzonych również z wykorzystaniem zdjęć lotniczych (Miszański, 1973; Borówka, Rotnicki, 1999). Uzyskiwane wyniki badań mają znaczenie dla określania stanu wydm, tempa ich przemieszczania, oceny zagrożeń wskutek zasypywania obszarów lasów, łąk, zabudowań i brzegów jeziora. Istotna jest tu także ocena ilości przemieszczanych piasków w relacji do rozwoju i ochrony brzegu morskiego.

Zastosowanie monitoringu z wykorzystaniem teledetekcji lidarowej umożliwia obecnie (poprzez uzyskanie numerycznego modelu terenu i przeprowadzenie na nim analiz) dokładne, całościowe opracowanie morfologii wydm, ich objętości i tempa przemieszczania, charakteru powierzchni i w rezultacie oceny ich stanu oraz tendencji rozwoju. Dla badanego obszaru firma MGGP Aero wykonała pomiary ALS czterokrotnie: w listopadzie 2009 r. (skaner Riegl LMS-Q580i), w listopadzie 2011 r., w kwietniu 2013 r. oraz we wrześniu 2013 r. (skaner Riegl LMS-Q680i).

Ruchome wydmę mają wysokość 30-40 m, z najwyższą Łącką Górą – 42 m n.p.m. Są to głównie wydmę paraboliczne oraz barchanopodobne (o różnym stopniu ukształtowania), o asymetrycznych stokach. Z mapy nachyleń (rys. 1) wygenerowanej na podstawie danych ALS możemy odczytać, że krótkie, strome stoki zewnętrzne mają nachylenie ponad 30 stopni, natomiast długie stoki wewnętrzne są łagodniej nachylone – około 10 stopni.



Rys. 4. Fragment wydmy. Zobrazowanie intensywności odbicia sygnału lasera na podstawie chmury punktów

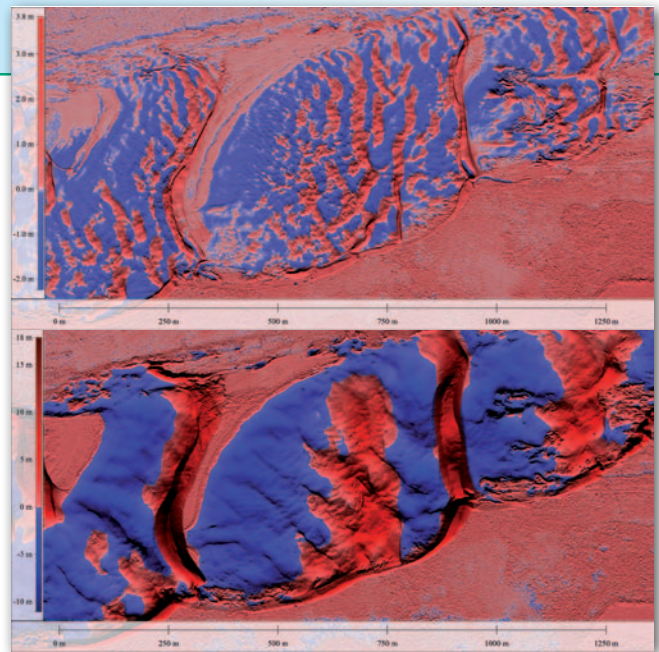
Między wydmi występują obniżenia, w których odsłaniają się szczątki dawnych lasów i poziomy gleb kopalnych (rys. 2 – A). W tym miejscu widoczne są porośnięte roślinnością miejsca akumulacji piasku (poprzeczne wały). Na rysunku 2 zaznaczono również pozostałe elementy budowy wydmy, tj. stok nawietrzny (B), krawędź (C), stok zawietrzny (D), podnóże (E) i przedpole (F). Na rysunku 4, który obrazuje wykorzystanie znanej już nam techniki wizualizacji LRM (*local relief model*), dodatkowo możemy wyróżnić gzyms (G) oraz liczne ripplemarki, czyli drobne regularne zmarszczki (bruzdy) na powierzchni piasku przypominające wyglądem fale powstałe w wyniku przesuwania ziaren piasku przez wiatry (H).

Już samo ułożenie ripplemarków pozwala wnioskować o dominującym kierunku wiatru w okresie bezpośrednio poprzedzającym pomiar (zmarszczki układają się prostopadle do kierunku wiatru). Na przykład jesienią (rys. 1) jest to wyraźnie kierunek północno-zachodni, podczas gdy wiosną (rys. 2 i 3) – zachodni i południowo-zachodni.

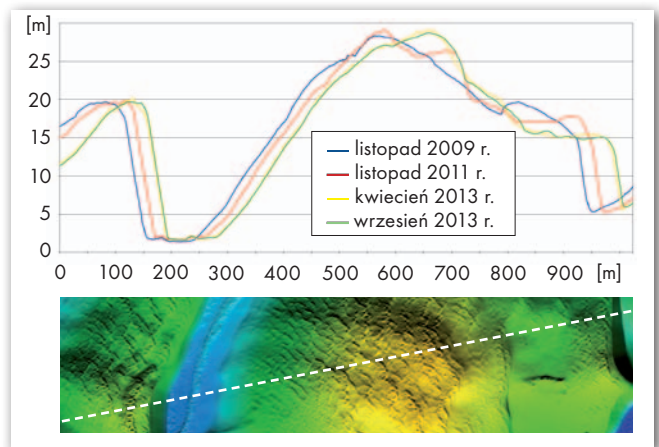
Dodatkowo można się pokusić o stwierdzenie, że upakowanie piasku wiosną było większe niż jesienią, zapewne w związku z odmiennym zawilgoceniem powierzchni. W celu uzyskania tej informacji możemy posłużyć się

obrazem intensywności odbicia (rys. 4). Słabsze odbicie sygnału mamy w miejscach o większej wilgotności gruntu. Szczególnie mocno odznaczają się obniżenia – duże ciemniejsze obszary. To tam w pierwszej kolejności możemy się spodziewać pojawienia roślinności. Również wyraźne, choć niewielkie ciemne plamki oznaczają miejsca ze zwiększoną wilgotnością.

W ciągu roku wydmy ulegają przemieszczeniu o kilkanaście metrów, co możemy określić, porównując modele terenu z kilku okresów (patrz GEODETA 8/2014). Rysunek 5 obrazuje miejsca o dodatnim bilansie (zaznaczone na czerwono) i miejsca o bilansie ujemnym (niebieskie) w różnych okresach. Skala czasowa widocznie odzwierciedla skalę zmian (wielkość form eolicznych). Na podstawie tej prostej analizy możemy zmierzyć, z jak dynamicznymi procesami mamy do czynienia (tab. 1). Wyniki wskazują na wyraźnie równomierne przemieszczanie wydmy wynoszące ok. 10-12 m/rok. Czoło tej ogromnej formacji przemieszcza się znacznie wolniej, torując sobie drogę przez las, pochłaniając wszystko, co napotka. Łęba, będąca na drodze wydmy, prędzej doczeka się jednak kataklizmu ze strony wzrostu poziomu wody w morzach i oceanach niż zasypa-



Rys. 5. Modele różnicowe obrazujące zmiany na obszarze wydmy w okresach kwiecień-wrzesień 2013 r. oraz listopad 2009 r. - wrzesień 2013 r.



Rys. 6. Profile terenu z czterech okresów pomiarowych

nia (ok. 600 lat w zależności od zmian klimatu).

Skaning laserowy oprócz tradycyjnych pomiarów wysokości pozwala na przeprowadzenie pomiarów wolumetrycznych (tab. 2) i generowanie profili (rys. 6). Z tych danych możemy odczytać tempo przemieszczania, wysokość względną i bezwzględną oraz kształt (budowę), a więc warunki formowania wydmy. Ponadto ich podstawa jest bezpośrednio powiązana z poziomem wód gruntowych. Jest to ważna informacja w ocenie zmienności warunków rozwoju torfowisk.

Na znacznym obszarze Polski numeryczne modele terenu ujawniają pod lasami relikty wydmy, które pozwalają na odkrywanie geomorfologicznej historii tych obsza-

rów. Wydmy Mierzei Łebskiej są żywym dowodem na to, jak dynamiczny świat nas otacza również dziś, a LiDAR pozwala nam to szczegółowo badać i wizualizować.

Agnieszka Ptak
MGGP Aero
Stanisław Rudowski
Instytut Morski w Gdańsku

Literatura:

- Miszalski J., 1973: Współczesne procesy eoliczne na Półwyspie Słowińskim. Studium fotointerpretacyjne. Instytut Geografii PAN Warszawa, s. 149;
- Borówka M., Rotnicki K., 1999: Problem głównych kierunków transportu eolicznego piasku oraz jego budżetu na plaży barier piaszczystych (na przykładzie Mierzei Łebskiej) w: *Ewolucja geosystemów nadmorskich południowego Bałtyku*, R.K. Borówka, Z. Młynarczyk, A. Wojciechowski [red]. Bogucki Wyd. Nauk. Poznań-Szczecin, s. 17-24.

Tab. 1. Przemieszczenie wydmy [m], lata 2009-13

	2009-11	2011-13	2009-13
Maksymalna	29	28	57
Średnia	~ 20-25	~ 20-25	~ 40-50
Czoło wydmy	8	9	17

Tab. 2. Analiza wolumetryczna [m³], lata 2009-13

	2009-11	2011-13	2009-13
Deflacja	1 003 073	1 167 689	1 864 723
Akumulacja	1 145 629	1 188 594	2 028 184
Suma zmian	2 148 702	2 356 283	3 892 907