

Ekstremalny opad eoliczny na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin w dniach 29 i 30 czerwca 2002 r.

Marcin Hojan

*Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Paleogeografii i Geoekologii
ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań
homas@amu.edu.pl*

Wprowadzenie

Na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin szczególne znaczenie mają procesy eoliczne zachodzące na klifie. Ruch suchego piasku zaczyna się przy prędkości około 4 m/s (Stankowski 1963). Przy tej prędkości transport eoliczny jest niewielki, wiatr o prędkości 20 m/s transportuje 600 razy więcej materiału niż wiatr o prędkości 5 m/s (Borówka 1980). Charakter i przebieg procesów eolicznych na wybrzeżu klifowym uwarunkowany jest: prędkością i kierunkiem wiatru, temperaturą i wilgotnością powietrza oraz liczbą dni bez opadów poprzedzającą wystąpienie silnego wiatru. Procesy ekstremalne wywołują skutki morfologiczne, jakie w przeciętnych warunkach pogodowych powstawałyby przez kilka lub więcej lat.

W powiązaniu z wysokością nieustannie abradowanego wybrzeża klifowego wyspy Wolin osiągającego 20–93 m n.p.m. oraz jego ekspozycją na dominujące kierunki wiatru na obszarze badań występują dogodne warunki do zaistnienia procesów erozji, transportu i akumulacji eolicznej. Uwarunkowania te sprawiają, że wybrzeże morskie jest geoekosystemem o dużej dynamice przemian energetyczno-materialnych (Kostrzewski, Stryjakiewicz 1978, 2003). Budowa geologiczna i związana z nią morfologia wybrzeża wpływają na charakter i intensywność procesów brzegowych (Musielak 1980). Urozmaicona litologia i rzeźba klifu przyczyniają się, w sprzyjających warunkach pogodowych, do zwiększenia dynamiki procesów eolicznych. Efektem tych procesów są składane współcześnie na koronie klifu pokrywy eoliczne o zróżnicowanej miąższości i rozkładzie przestrzennym.

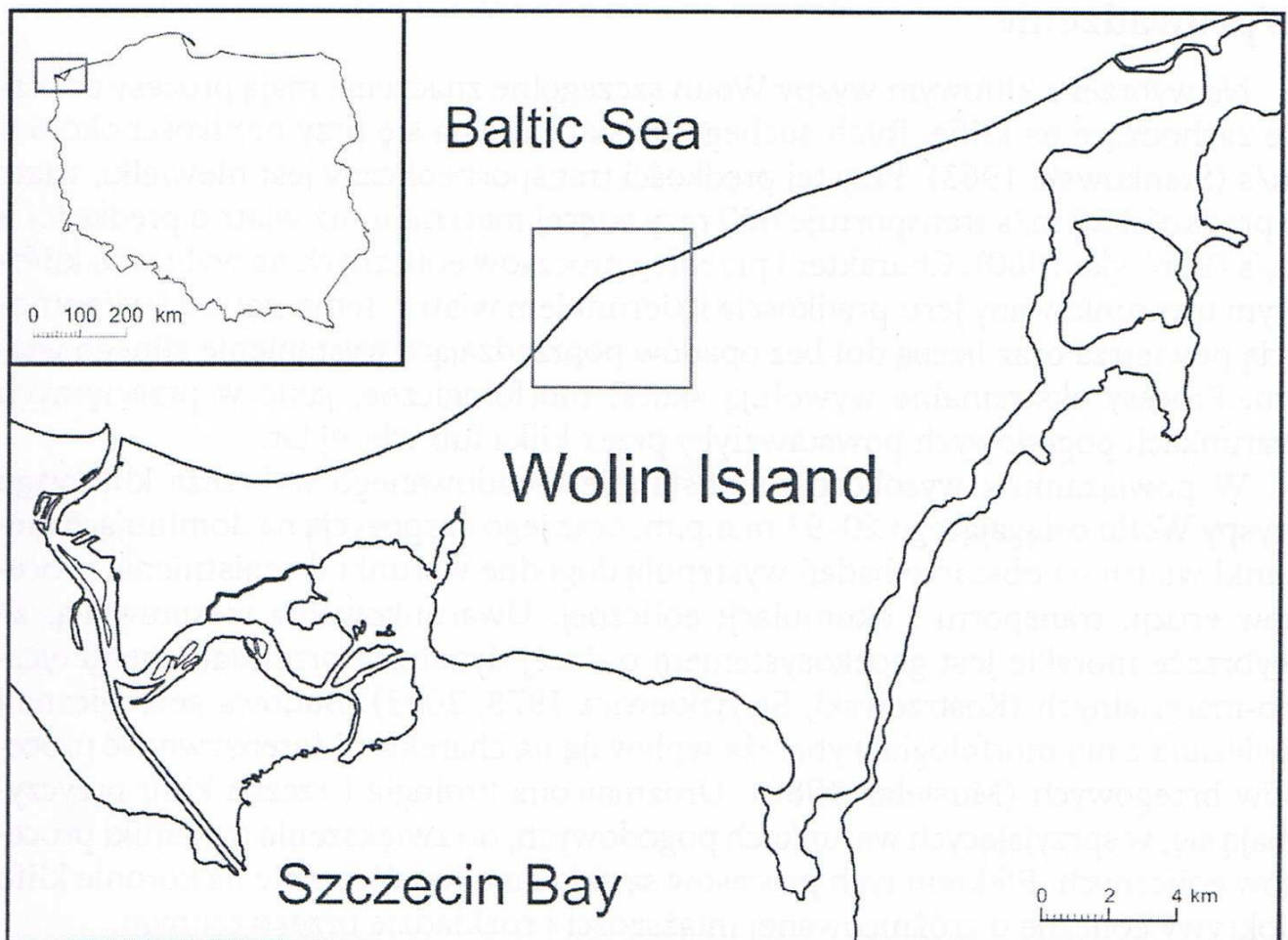
Obszar badań

Badania prowadzono w północno-zachodniej części Polski, na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin (ryc. 1). Obszar badań położony jest w północnej części Wolińskiego Parku Narodowego, około 1,5 km na zachód od miejscowości Grodno. Obejmuje on wzniesienie Świdna Kępa oraz jego wschodnią i zachodnią stronę. Teren objęty badaniami częściowo znajduje się w obszarze ochrony ścisłej im. prof. Z. Czubińskiego. W odległości około kilometra na południe od obszaru badań znajduje się kulminacja Wolińskiej Moreny Czołowej – Grzywacz 115,4 m n.p.m.

Subotowicz (1982), ze względu na zróżnicowaną lokalizację, wysokość i budowę geologiczną, dzieli wybrzeże klifowe Wolina na dwie części:

- wschodnią (397,400–404,150 km UM),
- zachodnią (406,600–411,550 km UM).

Pomiary ekstremalnego opadu eolicznego przeprowadzono w części zachodniej wybrzeża klifowego wyspy Wolin, na 407,950 km UM. Linia brzegowa w tej części wybrzeża wyspy Wolin zmienia swój bieg z kierunku SW–NE na WSW–ENE, co sprawia, że na stosunkowo krótkim fragmencie wybrzeża można prześledzić wpływ kierunku wiatru na intensywność procesów eolicznych w różnych sytuacjach morfologicznych. Budowa geologiczna wybrzeża klifowego jest zróżnicowana. W dolnej części brzeg klifowy zbudowany jest z gliny zwałowej o miąższości około 15 m, powyżej zalega około 25-metrowa warstwa piasków fluwioglacjalnych



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań

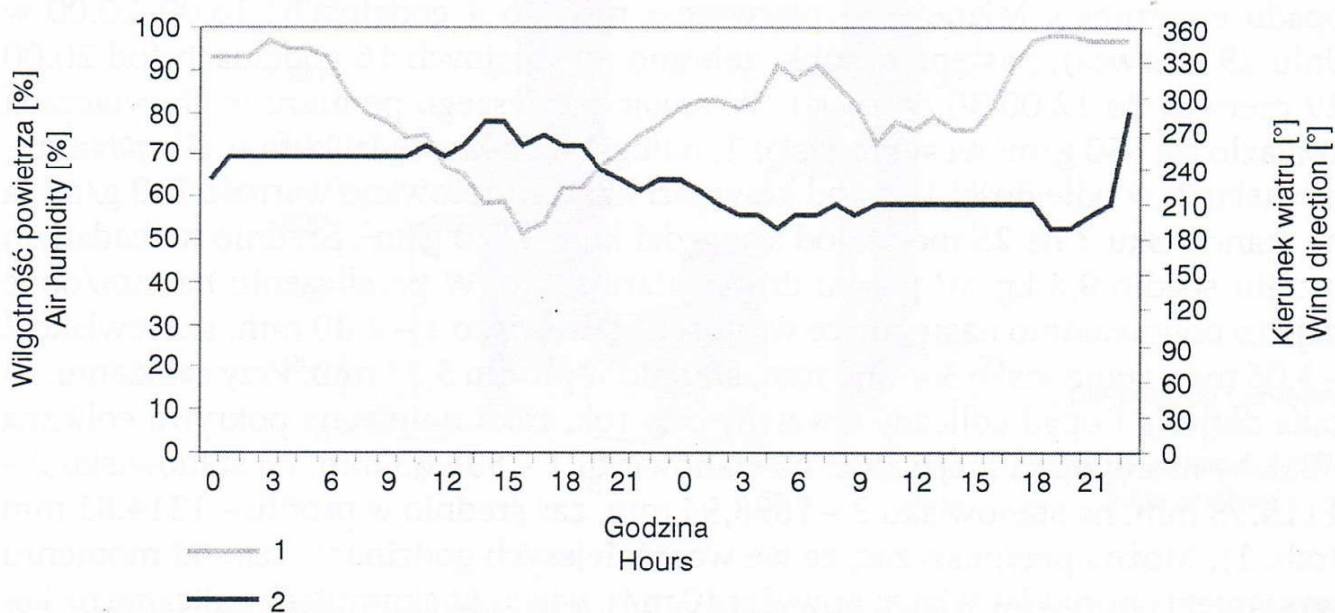
Fig. 1. Study area location

z przewarstwieniami mułkowymi. Natomiast w górnej części klifu występują różnowiekowe eoliczne piaski pokrywowe z leżącymi na nich piaskami współczesnej akumulacji określanymi jako naspa przyklifowa (Prusinkiewicz 1971).

Warunki pogodowe mają istotny wpływ na przebieg procesów morfogenetycznych zarówno w cyklu rocznym, jak i wieloletnim (Kostrzewski, Zwoliński 1998). Klimat wyspy Wolin jest najbardziej oceaniczny spośród klimatów Polski. W wieloletniu 1996–2005 średnia roczna temperatura powietrza wyniosła 8,4°C, zaś roczna suma opadów 703 mm. Na podstawie analizy warunków termiczno-opadowych (Lorenz 1998) rok 2002 z roczną sumą opadów 731 mm i średnią roczną temperaturą 8,8°C należy uznać za rok lekko suchy normalny. W dniach 29/30.06.2002 na 407,95 km UM wystąpiła ekstremalna deflacja na klifie i akumulacja drobnego piasku na koronie klifu. Klif na badanym fragmencie wybrzeża ma wysokość około 45 m n.p.m., na zachód od niego znajduje się kulminacja o wysokości około 60 m n.p.m.

Wyniki

W dniach 23–27 czerwca w stacji meteorologicznej w Warnowie nie odnotowano opadów. 28 czerwca spadło 5,4 mm deszczu, natomiast 29 czerwca 0,3 mm. Z uwagi na oddalenie Warnowa o około 6 km od obszaru badań opady na klifie mogły różnić się pod względem ilości bądź nie wystąpić wcale. Utwory budujące klif były mocno przesuszone. W dniu 29 czerwca około godziny 5 wzrosła prędkość wiatru, osiągając w porywach w Świnoujściu 11 m/s. Porywy występowały do godziny 17, z maksimum 14 m/s, które odnotowano o godz. 15. Wiatr wiał w tym czasie z kierunku WSW, przy maksymalnych porywach zmienił kierunek na WNW. W miarę zmniejszania się prędkości wiatru w późniejszych godzinach jego kierunek zmienił się na SW i SSW (ryc. 2). W stosunku do linii brzegowej był to kierunek wzdłużplażowy oraz dolądowy skośny.



Ryc. 2. Wilgotność powietrza (1) i kierunek wiatru (2) w Świnoujściu w dniach 29 i 30 czerwca 2002 r.

Fig. 2. Air humidity (1) and wind direction (2) in Świnoujście on 29 and 30 June 2002

Wraz z wystąpieniem pierwszych porywów wiatru zaczęła spadać wilgotność powietrza z 95% o godz. 5 do 51% o godz. 16, po czym zaczęła wolno rosnać. Te warunki meteorologiczne oraz litologia klifu spowodowały proces deflacji i transport drobnoziarnistego piasku na koronę klifu. Na zwiększenie rozwiewania piaszczystego skłonu klifu dodatkowy wpływ miała kilkunastometrowej szerokości kępa sosen (o wysokości około 4 m) porastających klif po zachodniej stronie dobrze wykształconej niszy osuwiskowej. Takie usytuowanie drzew powodowało powstawanie zawirowań powietrza we wspomnianej niszy po przejściu wiatru nad koronami drzew i uruchomienie deflacji materiału piaszczystego w niszy. Część piasku grawitacyjnie osypywała się w dół klifu. Piasek ten, trafiając na progi przewarstwień mułkowych bardziej odpornych na erozję eoliczną, tworzy niewielkie strumienie piaszczyste i część drogi w dół klifu przebywa w powietrzu. W momencie utraty kontaktu z podłożem drobniejsze frakcje piasku porywane są przez podmuchy wiatru i wynoszone w górę, ponad koronę klifu. Strumienie wiatru po przejściu nad krawędzią klifu tworzą liczne zawirowania i zmniejszają siłę transportową wskutek spadku ciśnienia tuż za krawędzią klifu. Prędkość wiatru maleje również pod wpływem roślinności, która porasta koronę i zaplecze klifu. Spadek prędkości wiatru powoduje akumulację drobnego piasku na podłożu mineralnym, liściach niewysokich drzew i krzewów. Materiał zdeponowany na liściach drzew i krzewów ulega następnie redepozycji na podłoże wskutek działania kolejnych podmuchów wiatru lub później wraz z opadami deszczu.

W trakcie obserwowanego zdarzenia ekstremalnego zebrano liście na wysokości około 1 m od podłoża z zakumulowanym na nich materiałem mineralnym. Następnie materiał mineralny umieszczano w tyglach, zważono i spalono w celu wyeliminowania cząstek organicznych. Zmierzono również powierzchnię liści, na których był zdeponowany piasek. W ten sposób określono wielkość depozycji na liściach na $34,58 \text{ g/m}^2$.

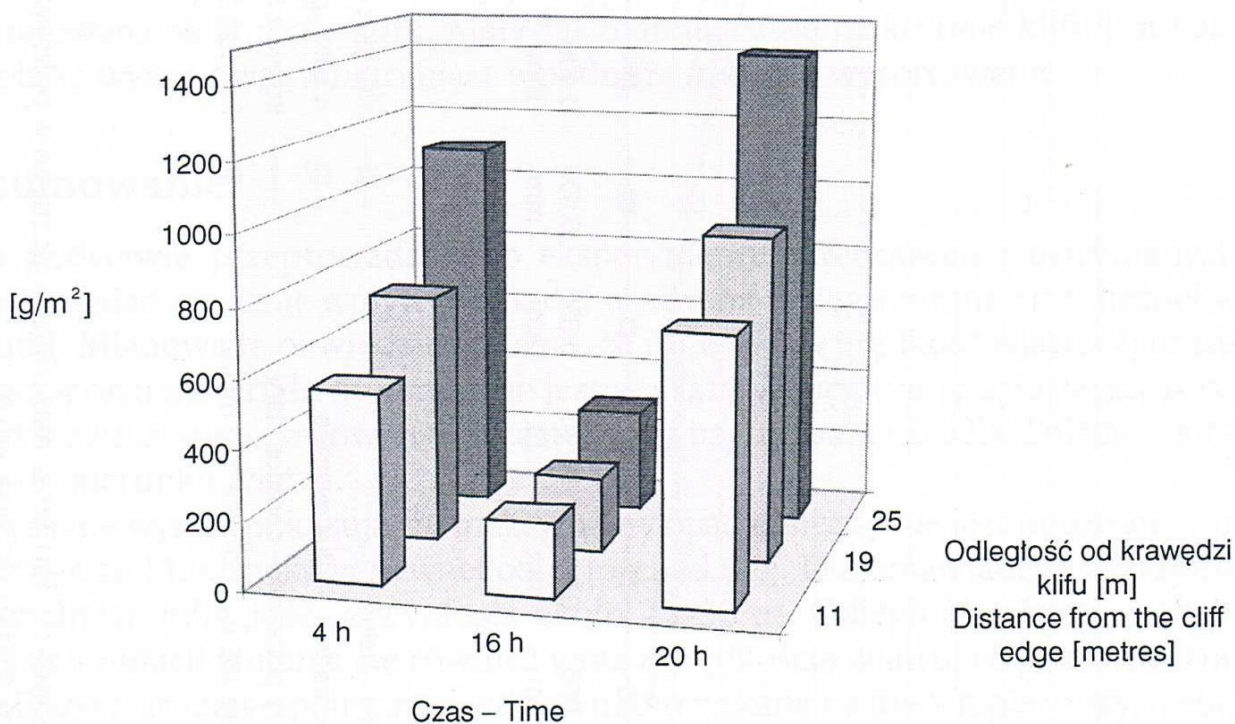
Podczas prezentowanego zdarzenia ekstremalnego dwukrotnie zebrano próbki opadu eolicznego. Mianowicie pierwsze z nich po 4 godzinach (16.00–20.00 w dniu 29 czerwca), następne próbki zebrano po kolejnych 16 godzinach (od 20.00 29 czerwca do 12.00 30 czerwca). W czasie pierwszego pomiaru w chwytaczach znalazło się 550 g/m^2 na stanowisku 1, odległym od krawędzi klifu o 11 m. Na stanowisku 2, w odległości 19 m od krawędzi klifu, zanotowano wartość 730 g/m^2 , a na stanowisku 3 na 25 metrów od krawędzi klifu 1110 g/m^2 . Średnio na badanym profilu spadło $0,8 \text{ kg/m}^2$ piasku drobnoziarnistego. W przeliczeniu na mm/dobę daje to odpowiednio następujące wartości: stanowisko 1 – 2,30 mm, stanowisko 2 – 3,06 mm, stanowisko 3 – 4,63 mm, średnio w profilu 3,33 mm. Przy założeniu, że taka deflacja i opad eoliczny trwałyby cały rok, zakumulowana pokrywa eoliczna miałaby następującą miąższość: na stanowisku 1 – 838,63 mm, na stanowisku 2 – 1115,95 mm, na stanowisku 3 – 1698,94 mm, zaś średnio w profilu – 1214,81 mm (tab. 1). Można przypuszczać, że we wcześniejszych godzinach, tzn. od momentu wystąpienia porywów wiatru powyżej 10 m/s, wielkość akumulacji eolicznej na koronie klifu była zbliżona. Drugi pomiar opadu eolicznego wykonany po kolejnych 16 godzinach dał już dużo mniejsze wartości. Na otrzymany wynik wpłynęło zmniejszenie prędkości wiatru, zmiana jego kierunku oraz wzrost wilgotności po-

Tabela 1. Miąższość pokrywy eolicznej złożonej na stanowiskach pomiarowych w dniach 29 i 30 czerwca 2002 r.

Table 1. Thickness of the eolian cover deposited at the measurement stations on 29 and 30 June 2002

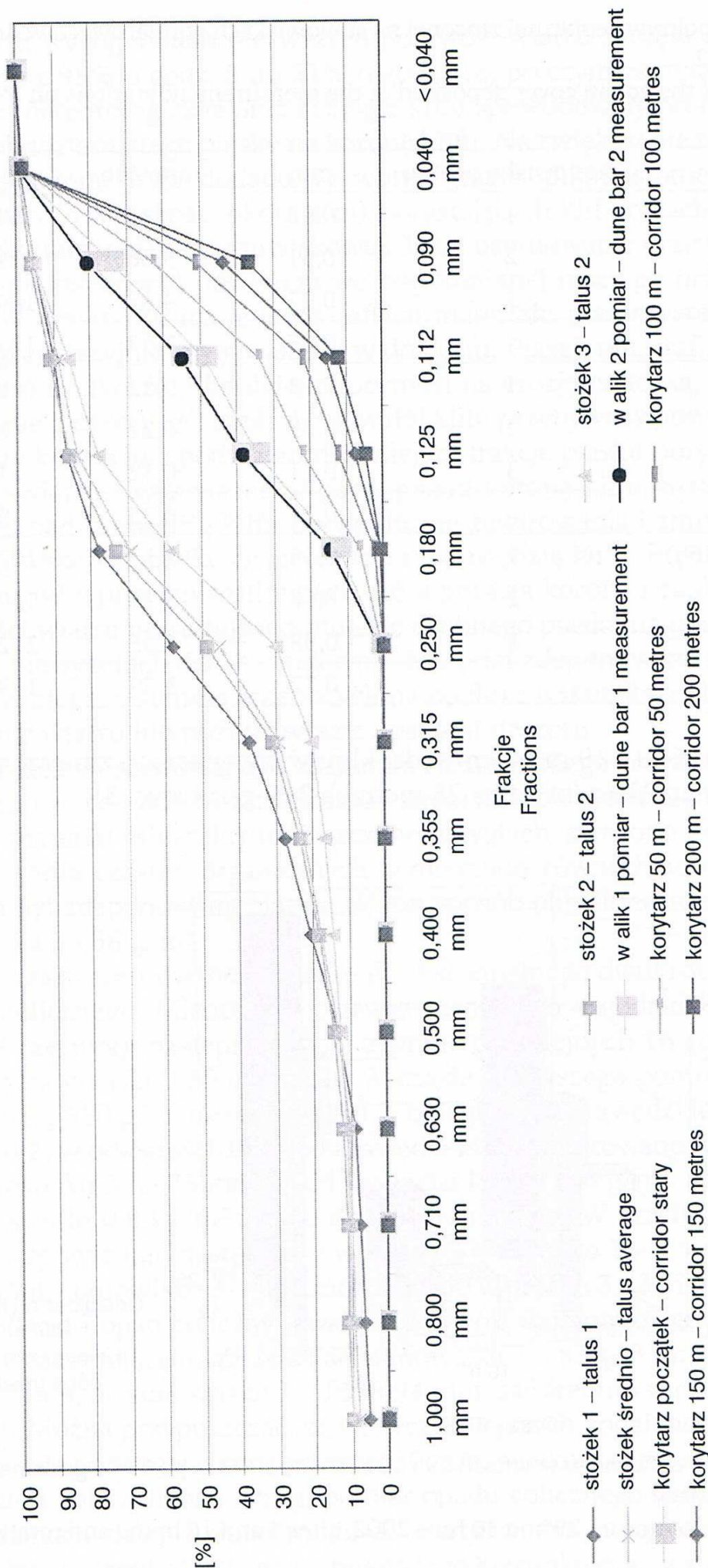
mm/4h	Stanowisko profilu	mm	mm/24h	mm/rok
	1	0,38	2,30	838,63
	2	0,51	3,06	1115,95
	3	0,77	4,63	1698,84
Średnia w profilu		0,55	3,33	1214,81
mm/16h	1	0,15	0,22	80,71
	2	0,15	0,22	81,28
	3	0,21	0,32	115,85
Średnia w profilu		0,17	0,25	92,61
suma mm/20h (4+16h)	1	0,53	2,54	1070,92
	2	0,66	3,28	1404,17
	3	0,98	4,95	2129,49
Średnia w profilu		0,72	3,59	1534,86

wietrza. W odległości 11 i 19 m od krawędzi klifu w chwytaczach zmierzono wartość opadu eolicznego 210 g/m^2 , a na 25 metrach 300 g/m^2 (ryc. 3).



Ryc. 3. Wielkość opadu eolicznego w dniach 29 i 30 czerwca 2002 r., po 4 i 16 godzinach oraz suma po 20 godzinach

Fig. 3. Eolian deposit volume on 29 and 30 June 2002, after 4 and 16 hours and total after 20 hours



Ryc. 4. Zmienność uziarnienia materiału eolicznego w pokrywie eolicznej na koronie klifu i w niewielkim wale wydymowym na krawędzi klifu oraz na stożku usypiskowym
 Fig. 4. Variable eolian material grain-size distribution in the eolian cover at the cliff top and a small dune bar at the cliff edge and on talus at the cliff base

Średnio w profilu spadło 240 g/m^2 . Przeliczając te wartości podobnie jak w przypadku pierwszego pomiaru na mm/dobę, otrzymujemy następujące wartości akumulacji eolicznej: 0,22 mm, 0,32 mm i 0,30 mm.

W ciągu 20 godzin na koronie klifu badanego fragmentu wybrzeża zakumulowana została pokrywa eoliczna o miąższości około 3,6 mm. Dla porównania w okresie od marca 2001 do lutego 2002 r. w badanym profilu odnotowano średnią akumulację 8,95 mm (Hojan 2004, 2005). Zakumulowana w dniach 29/30.06.2002 pokrywa eoliczna stanowi 40% wartości akumulacji porównywanego roku.

Podczas analizowanego zdarzenia ekstremalnego zaobserwowano również transport materiału wzdłuż krawędzi klifu wymuszony lokalnymi warunkami aerodynamicznymi. Źródło deflacji znajdowało się w niszy zlokalizowanej w górnej części klifu, po wschodniej stronie Świdnej Kępy. Bardzo drobny piasek widoczny był w odległości ponad 200 m w kierunku wschodnim od krawędzi, przy której był on wynoszony ze skłonu klifu. W celu sprawdzenia zmienności uziarnienia wraz z długością transportu zebrano próbki z podłoża terenu (głównie z liści leżących na ziemi). Próbki te pobierano w odstępach 50 m od siebie. Zebrano również próbki piasku z niewielkiego wału wydmowego, który utworzył się na krawędzi klifu oraz z powierzchni stożka usypiskowego u podnóża klifu.

Uzyskane wyniki pokazują wyraźne zmniejszanie się średnicy akumulowanych ziarn wraz z odległością. Współczynnik korelacji pomiędzy średnią średnicą ziarn M_z a odległością od krawędzi klifu wyniósł 0,94. Jest to korelacja bardzo wysoka.

Wyraźnie widoczne jest zróżnicowanie składu granulometrycznego materiału piaszczystego znajdującego się na koronie klifu i na stożku usypiskowym zakumulowanym u podnóża klifu (ryc. 4). Piasek osypujący się w dół klifu został wskutek deflacji prawie zupełnie pozbawiony frakcji drobnej i bardzo drobnej, która została zakumulowana na koronie klifu. Materiał znajdujący się na koronie klifu jest bardzo dobrze wysortowany, natomiast u podnóża klifu źle wysortowany.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu terenowego i otrzymanych wyników widać wyraźnie wpływ prędkości wiatru na zasięg akumulacji eolicznej w głąb lądu. Mianowicie powiedzieć można, że im większa prędkość wiatru, tym zasięg transportu materiału mineralnego jest większy. Zasięg transportu zależy również od średnicy transportowanych cząstek oraz usytuowania źródła deflacji w stosunku do kierunku wiatru.

Uzyskane wyniki pokazują, że maksymalny opad eoliczny nie jest notowany tuż przy krawędzi klifu, tylko w pewnej odległości od niej. Dla omawianego zdarzenia ekstremalnego odległość ta wyniosła około 25–30 m. Odległość miejsca maksymalnej akumulacji zmienia się również wraz z prędkością wiatru, co jest widoczne w wynikach z drugiego pomiaru, kiedy wyniki uzyskane na dwóch pierwszych stanowiskach pomiarowych były takie same, a wynik z trzeciego stanowiska był niewiele większy. W miarę spadku prędkości wiatru miejsca maksymalnej akumulacji eolicznej przybliżają się do krawędzi klifu.

Jak już wspomniano, ekstremalny opad eoliczny zanotowany w dniach 29/30.06.2002 r. stanowi około 40% rocznej akumulacji materiału mineralnego na koronie klifu. Warunkiem wystąpienia procesów eolicznych o takim natężeniu jest kilku-kilkunastodniowy okres bezopadowy, po którym lub w trakcie którego występują porywy wiatru powyżej 10 m/s z kierunku sprzyjającego, tzn. z kierunku, który tworzy z linią wybrzeża kąt ostry. Porywy wiatru powodują intensywną deflację na klifie i transport materiału mineralnego na koronę klifu. Zasięg dostawy tego materiału wynosi około 100 m w głąb lądu oraz około 200–300 m wzdłuż krawędzi klifu. Wraz z odległością materiał piaszczysty jest coraz lepiej wysortowany, współczynnik korelacji pomiędzy średnią średnicą ziarn a odległością jest bardzo wysoki. Procesy eoliczne są istotnym czynnikiem powodującym niszczenie klifu, szczególnie jego piaszczystych części. W wyniku procesów eolicznych na koronie klifu tworzą się pokrywy eoliczne, które powodują nieznaczny wzrost wysokości klifu.

Literatura

- Borówka R.K. 1980. Współczesne procesy transportu i sedymentacji piasków eolicznych oraz ich uwarunkowania i skutki na obszarze wydm nadmorskich. *Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej PTPN*, Warszawa–Poznań, 20, 126 s.
- Hojan M. 2004. Zmienność depozycji eolicznej na klifie wybrzeża wyspy Wolin w latach 2001–2002. W: Kostrzewski A. (red.). *IV Seminarium. Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*. Poznań.
- Hojan M. 2005. Uwarunkowania i wielkość opadu eolicznego na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin. W: Borówka R.K. (red.). *Plejstocenijskie i holocenijskie przemiany środowiska przyrodniczego Polski. Wybrane aspekty*. Wyd. IN PLUS Oficyna, Szczecin.
- Kostrzewski A., Strykiewicz T. 2003. Indywidualność przyrodnicza geosystemu Wolińskiego Parku Narodowego i jego znaczenie jako instytucjonalno-prawnej formy ochrony przyrody. W: Kostrzewski A. (red.). *Woliński Park Narodowy. Środowisko przyrodnicze – kształtowanie i ochrona*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Musielak S. 1980. Współczesne procesy brzegowe w rejonie Zatoki Gdańskiej. *Peribalticum*, 1.
- Prusinkiewicz Z. 1971. Nasypty przyklifowe – nowy typ gleb morskiego pobrzeża. *Zeszyty Naukowe UMK w Toruniu, Geografia*, 26 (8), 133–157.
- Stankowski W. 1963. Rzeźba eoliczna Polski północno-zachodniej na podstawie wybranych obszarów. *Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej PTPN*, 4, 1.
- Subotowicz W. 1982. *Litodynamika brzegów klifowych wybrzeża Polski*. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.

Summary

Extreme eolian deposit on the cliff coast of the Wolin Island on 29 and 30 June 2002

On the cliff coast of the Wolin Island, eolian processes taking place on the cliff are particularly important.

The nature and course of eolian processes on the cliff coast are affected by wind velocity and direction, air temperature and humidity, and the number of days without rain/snowfall preceding occurrence of strong wind. Extreme processes have such morphological effects as would occur under average weather conditions over several years.

Extreme eolian deposit was measured on 29 and 30 June 2002 in the western part of the cliff coast of the Wolin Island, at the 407.95 kilometre (as measured by the Maritime Office). Within 20 hours, eolian cover about 3.6 mm thick was accumulated on the cliff top of the studied coast section. By way of comparison, average accumulation on the studied profile between March 2001 and February 2002 was 8.95 mm (Hojan 2004, 2005). The eolian cover accumulated on 29 and 30 June 2002 represents 40% of the accumulation value for that comparative period. During the extreme event, transport of material along the cliff edge enforced by local aerodynamic conditions was also observed. Very fine sand could be seen more than 200 metres to the East of the edge at which it was moved from the cliff face. Measurements show that the diameter of accumulated grains clearly reduced as the distance increased. The relationship between average grain diameter (M_z) and distance from the cliff edge was 0.94. Maximum eolian deposit occurs at a certain distance from the cliff edge rather than immediately next to it. The distance was about 25–30 metres in the case of the extreme event at hand.