

Nebki – formy wymuszonej akumulacji eolicznej*

Maciej Dłużewski

Instytut Nauk Fizycznogeograficznych
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski
e-mail: dluzewski@uw.edu.pl

Lidia Dubis

Katedra Geografii Stosowanej i Kartografii
Wydział Geografii, Uniwersytet im. Iwana Franka we Lwowie
e-mail: dubis@mail.lviv.ua

Barbara Woronko

Instytut Nauk Fizycznogeograficznych
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski
e-mail: bworonko@uw.edu.pl

Nebki są efemerycznymi formami będącymi efektem wymuszonej akumulacji eolicznej za przeszkodą roślinną (ryc. 1). Akumulacja materiału wynika ze zmniejszenia prędkości strumieni powietrza w obrębie przeszkody roślinnej i za nią, gdy roślina jest zwarta, lub tylko w jej cieniu, gdy roślinę można określić jako „przewiewną”. Ze schematu przebiegu strumieni powietrza przez przeszkodę roślinną (ryc. 2) wynika, że największa ilość piasku jest akumulowana bezpośrednio za rośliną. Jest to związane z wytworzeniem się obszaru obniżonego ciśnienia i gwałtownym zmniejszeniem się prędkości wiatru. Ilość zakumulowanego piasku maleje wraz ze wzrostem odległości od przeszkody. Akumulację powodują nie tylko strugi powietrza przepływające bezpośrednio nad przeszkodą, ale także przepływające obok przeszkody, za którą zmieniają rodzaj ruchu na wirowy.

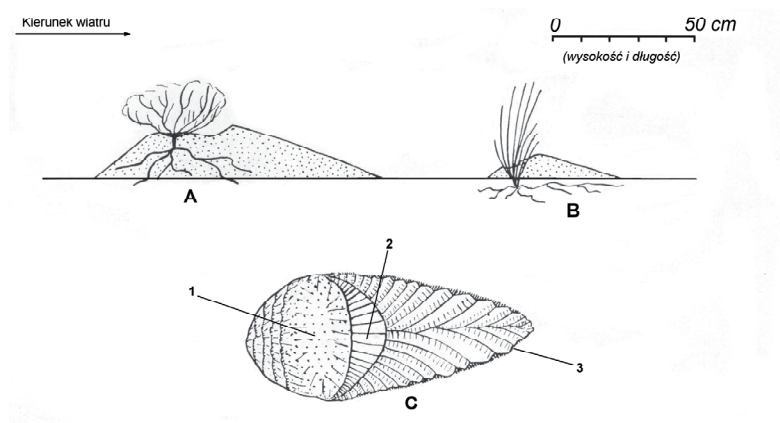
Nebki są nieodłącznym elementem rzeźby obszarów suchych i półsuchych. Występują wokół oaz (Pietrow 1962, Dłużewski i in. 2002), na najniższych terasach rzek okresowych (Coque 1962, Tengberg 1994), jak również na obrzeżach wysychających jezior (Kosmowska-Suffczyńska 1980, Gunatilaka, Mwango 1987, Dłużewski i in. 2000). Tam też upatruje się źródła materiału budującego nebkę (Tengberg 1994). Natomiast według Szczypka (1994) występowanie nebek nie ogranicza się do wymienionych obszarów, ich rozmieszczenie jest chaotyczne – nie wykazuje żadnych prawidłowości. Niejednokrotnie nebkę są porównywane do zasp tylnych (Szczypek 1994), czy do tzw. wydm cieni rozwijających się na wybrzeżach morskich (Hesp 1981), czy też do tzw. coppies dunes (Tengberg, Chen 1998). Powstanie nebek bardzo często związane jest z obniżeniem się poziomu wód gruntowych i wynikającą z tego zmianą w gęstości szaty roślinnej (Gile 1975, Pietrow 1976).

Powszechnie uważa się, że wymiary nebek są ściśle uwarunkowane rodzajem oraz rozmiarami roślin, za którymi jest akumulowany materiał (Tengberg 1994 i in., Tengberg, Chen 1998). Przypuszcza się, że dużą rolę w kształtowaniu tych form odgrywają również cechy teksturalne materiału, siła i zmienność wiatru oraz czas trwania procesu (Coque 1962, Tengberg, Chen 1998). Orientacja ich osi dłuższej zmienia się każdorazowo, gdy zmienia się kierunek aktywnego wiatru.

Wyniki dotychczasowych badań pokazują, że stosunek wysokości przeszkody roślinnej do długości formy zawiera się w przedziale od 1:6 do 1:8 (1:6 wg Pietrowa 1976, 1:7 bądź 1:8 wg Kosmowskiej-Suffczyńskiej 1980). Pomiary tego typu form z rejonu szottu Dżerid (Środkowa Tunezja) pokazują natomiast,

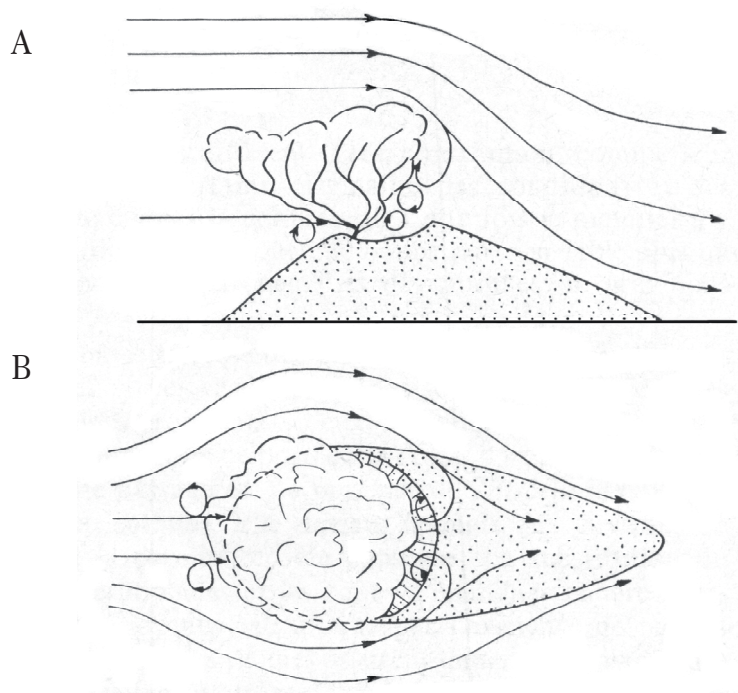
* Artykuł publikowany w książce pt.: Współczesna ewolucja środowiska przyrodniczego regionu Coude du Dra (Maroko) i jej wpływ na warunki życia ludności pod redakcją Macieja Dłużewskiego, Wydawnictwo Akademickie Dialog, Warszawa 2003, s. 135–155.

że stosunek ten wynosi od 1:10 do 1:23, co tłumaczy się obecnością skorupy gipsowej na ich powierzchni, która chroni formę przed przewiewaniem i sprzyja jej rozbudowywaniu, zarówno jeżeli chodzi o wysokość, jak i długość (Dłużewski i in. 2000).



Ryc. 1. Schemat nebki (wg Coque'a 1962). A – forma za przeszkodą roślinną krzaczastą z gatunku *arfej*, B – forma za przeszkodą roślinną trawiastą z gatunku *drinn*, C – części składowe nebki: 1. wierzchowina, 2. misa deflacyjna, 3. część dystalna nebki (ogon).

Uważa się, że nebki są formami mało atrakcyjnymi pod względem geomorfologicznym, dlatego też nie poświęca się im szczególnej uwagi. Wynika to z przeświadczenia, że są to formy mało zróżnicowane morfometrycznie, których geneza została już wyjaśniona. Nie tworzą one ponadto znaczących form w krajobrazie (Szczypek 1994).



Ryc. 2. Schemat przebiegu strumieni powietrza przez przeszkodę roślinną (wg Coque'a 1962). A – przekrój, B – rzut.

Wyniki badań przeprowadzonych na obszarze Coude du Dra odbiegają od powyższych stwierdzeń. Wykazały one, że nebkki te mają zróżnicowane cechy morfometryczne, a ponadto odmienne od opisywanych cech nebek występujących w innych regionach. Istotnym uzasadnieniem podjęcia badań nebek występujących na obszarach narażonych na proces pustynnienia jest fakt, że są one formami wpływającymi na ograniczenie dynamiki rozprzestrzeniania się pól wydmywanych.

Metody badań

Badaniami zostały objęte trzy pola nebek (ryc. II), różniące się morfologią form, jak również charakterem podłoża, na którym występowały. Na badanym obszarze występowały jedynie nebkki małe, tzn. takie, których wysokość nie przekracza 40 cm. W obrębie każdego pola przebadano co najmniej 10 form, mierząc długość, wysokość i szerokość nebkki oraz wysokość i szerokość rośliny, za którą następowała akumulacja. Wykonano również pomiary azymutu nebek oraz kierunku i prędkości wiatru, który wiał w czasie wykonywania pomiarów. Wśród badanych form wyróżniono takie, które miały jedynie charakter akumulacyjny, jak również takie, których morfologia jest związana z erozyjną działalnością wiatru. Szczególną uwagę poświęcono analizie wzajemnych relacji nebkka-podłoże. Wykonane zostały również analizy uziarnienia materiału budującego badane formy.

Wyniki badań

Pole nebek numer 1

Pole nebek nr 1 znajduje się w zachodniej części regionu Coude du Dra, we wschodniej części obniżenia wyschniętego obecnie jeziora Iriqui (ryc. II). Rozwijają się one na zwiezłym, ilastym podłożu, na powierzchni którego stwierdzono obecność niewielkich poligonów z wysychania, o powierzchni kilkudziesięciu centymetrów kwadratowych.

Przedstawione poniżej wyniki opierają się na analizie morfometrycznej 32 nebek, akumulowanych za przeszkodą roślinną przez wiatr wiejący z sektora NE (tab. 1). Azymut ich dłuższej osi wynosi od 49 do 67°. Nebkki te należą do form małych, ponieważ ich przeciętna wysokość wynosi około 15 cm. Były one akumulowane za roślinami słonolubnymi z gatunku arfej, których wysokość mieści się w przedziale od 15 do 43 cm. Z pomiarów wynika, że istnieje dość duża korelacja między wysokością rośliny i wysokością nebkki (ryc. 3). Długość badanych form nie przekracza 3 m. Występują one w dwóch klasach długości: około 1,5 m oraz około 2,5 m (tab. 1, ryc. 3). Na długość badanych form ma istotny wpływ zarówno wysokość, jak i szerokość przeszkody roślinnej (ryc. 4, 5). W przypadku badanych form stosunek wysokości do długości wynosi od 1:4 do 1:28 (średni 1:15). Podobne wyniki zostały uzyskane jedynie w przypadku nebek obrzeżenia szottu Dżerid (środkowa Tunezja). Nieproporcjonalnie duża długość nebek, w stosunku do ich wysokości, była tam tłumaczona obecnością oskorupienia, które chroni osad przed przewiewaniem i zmianą orientacji osi nebkki, nawet w czasie silnego wiatru (Dłużewski i in. 2000). W przypadku nebek występujących na badanym obszarze nie stwierdzono oskorupień na ich powierzchni. Szerokość badanych form wykazuje bardzo dużą zależność od szerokości przeszkody roślinnej (ryc. 6).

Nebkki zbudowane są z materiału charakteryzującego się dużym podobieństwem do materiału wydmy występujących w zachodniej części badanego obszaru. Są to luźne piaski średnio i drobnoziarniste (ryc. 7), o średniej średnicy ziaren (M_z) wynoszącej 2,88 Φ , średnio wysortowane ($\sigma_1 = 0,51$) o równomiernym rozkładzie uziarnienia ($Sk_1 = -0,01$). Transport materiału odbywał się w znacznej przewadze w procesie saltacji, na co wskazują krzywe kumulacyjne uziarnienia wykreślone w skali prawdopodobieństwa (ryc. 8).

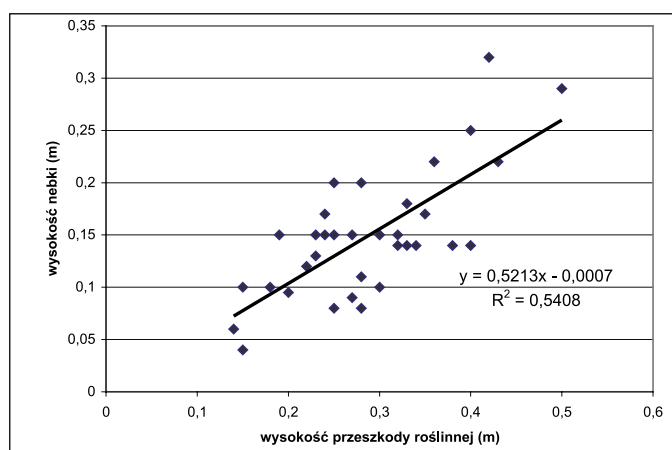
Wydaje się, że duża długość nebkki w stosunku do jej wysokości, nietypowa dla większości nebek występujących na obszarach klimatu suchego i półsuchego, pozbawionych oskorupienia, związana jest z nieznaczną wysokością przeszkody roślinnej, a w konsekwencji z małą wysokością formy.

Pomiary kątów nachylenia stoków wykazały nieznaczną asymetrię badanych form. Stoki o ekspozycji NW mają w większości mniejsze nachylenie, niż stoki SE (ryc. 9). Różnice dochodzą nawet do 10° i są prawdopodobnie związane z erozją stoku SE i akumulacją na stoku NW, spowodowaną przez wiatr południowo-wschodni, prostopadły do osi podłużnej nebkki. Stok o ekspozycji SE stał się stokiem dowietrznym. Siła wiatru jednak była na tyle mała, że nie następowała reorientacja nebek. Zaobserwowano,

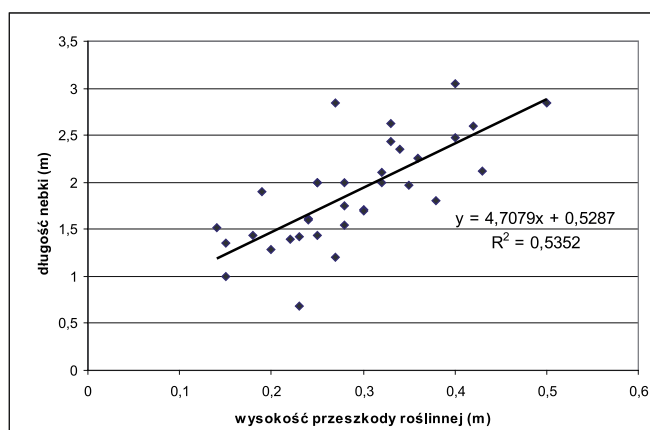
że w miejscu, gdzie miąższość piasku jest najmniejsza, następuje skręt tej części nebk, wraz z kierunkiem wiejącego wiatru. Natomiast w części centralnej nebk i tuż za rośliną, gdzie miąższość piasku jest największa, dochodziło do rozwiewania i zwiększania kąta nachylenia stoku. Kosmowska-Sufczyńska (1980) w kotlinie Palmyry na Pustyni Syryjskiej stwierdza podobną asymetrię stoków i również wiąże ją z erozją. Asymetrię stoków nebek obserwuje się również w utrwalonych skorupą gipsową nebkach szottu Dżerid (Tunezja). W tym przypadku jest ona jednak wynikiem dobudowywania stoku dowietrznego w czasie występowania wiatru o kierunku prostopadłym do osi nebk, czyli zmniejszenia kąta nachylenia przez poszerzenie nebk od strony dowietrznej.

Tabela 1. Cechy metryczne nebek i przeszkód roślinnych – pole nr 1.

Azymut osi dłuższej	długość nebk	szerokość nebk	wysokość nebk	wysokość przeszkody roślinnej	szerokość przeszkody roślinnej	nachylenie stoku NW	nachylenie stoku SE
(stopnie)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(stopnie)	(stopnie)
54	3,05	0,92	0,14	0,40	0,60	-	-
54	1,52	0,32	0,06	0,14	0,30	-	-
61	2,00	0,75	0,15	0,25	0,61	19	27
58	1,00	0,28	0,04	0,15	0,28	27	16
61	2,47	1,16	0,25	0,40	0,90	27	17
67	2,00	1,00	0,20	0,25	0,85	18	29
54	1,75	0,83	0,20	0,28	0,75	27	27
58	2,00	0,65	0,15	0,32	0,60	10	14
58	1,80	0,70	0,14	0,38	0,55	10	27
57	1,55	0,62	0,08	0,28	0,55	16	16
57	1,35	0,63	0,10	0,15	0,55	14	19
54	1,62	0,70	0,15	0,24	0,65	34	30
55	1,42	0,45	0,13	0,23	0,52	28	29
49	1,44	0,62	0,08	0,25	0,55	10	18
54	1,44	0,50	0,10	0,18	0,42	6	16
55	1,90	1,02	0,15	0,19	0,67	10	16
57	2,12	0,88	0,22	0,43	0,75	24	28
57	1,60	0,85	0,17	0,24	0,50	10	22
63	2,84	0,87	0,15	0,27	0,83	24	23
75	2,85	1,50	0,29	0,50	1,05	19	16
59	2,25	1,08	0,22	0,36	0,95	12	27
67	2,62	1,22	0,18	0,33	1,02	16	20
58	1,97	0,86	0,17	0,35	0,68	18	26
54	2,44	1,14	0,14	0,33	0,80	10	20
57	2,60	1,40	0,32	0,42	1,11	8	19
45	2,10	1,07	0,14	0,32	0,80	7	18
61	2,35	1,20	0,14	0,34	0,72	9	18
61	0,68	0,92	0,15	0,23	0,70	18	27
61	2,00	0,60	0,11	0,28	0,54	14	21
54	1,71	0,68	0,15	0,30	0,75	10	18
63	1,69	0,49	0,10	0,30	0,36	27	21
62	1,29	0,46	0,95	0,20	0,32	35	24
64	1,20	0,53	0,09	0,27	0,35	15	18
54	1,40	0,56	0,12	0,22	0,70	3	16



Ryc. 3. Zależność wysokości nebki od wysokości przeszkody roślinnej – pole nr 1.



Ryc. 4. Zależność długości nebki od wysokości przeszkody roślinnej – pole nr 1.

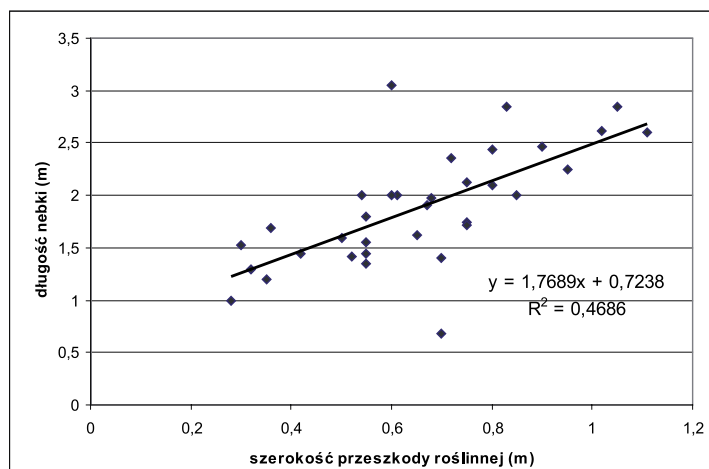
Pole nebek numer 2

Drugie z badanych pól nebek znajduje się również w zachodniej części badanego obszaru (ryc. II). Podobnie jak w przypadku pola nr 1, nebek tworzą się na zwięzłym, ilastym i spękanym poligonalnie podłożu. Były one akumulowane, podobnie jak w przypadku pola nr 1, za roślinami słonolubnymi z gatunku *arfej*, przy wietrze wiejącym z sektora NE; azymuty form wynoszą około 58° (tab. 2). Wysokość badanych form wynosi od 16 do 41 cm, długość od 1,08 do 2,82 m, natomiast średnia wysokość przeszkód roślinnych wynosi około 35 cm. Stosunek wysokości nebek do ich długości wynosi od 1:7 do 1:10. Podobne dane podawane są dla tego typu form występujących w różnych regionach świata (Pietrow 1976, Kosmowska-Suffczyńska 1980, Tengberg, Chen 1998).

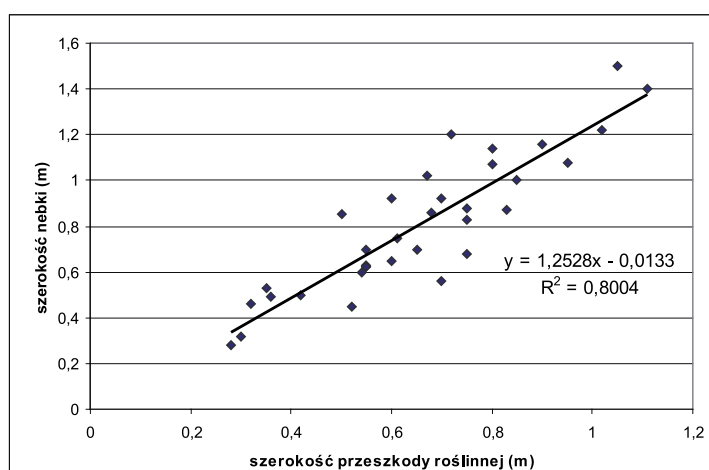
Nebki występujące na polu nr 2 charakteryzują się podobnym składem uziarnienia do nebek występujących na polu nr 1. Zbudowane są z materiału piaszczystego o średniej średnicy ziaren (M_z) wynoszącej $2,88\Phi$, dobrze wysortowane ($\sigma_1=0,40$) o skośności nieznacznie dodatniej ($Sk_1=0,05$) (ryc. 7, 8).

Nebkom tym towarzyszą, nie opisywane dotychczas, związane z nimi formy wklęsłe. Mają kilkucentymetrową głębokość i obrys odwzorowujący obrys podstawy nebek, lecz o nieco mniejszych rozmiarach: długości i szerokości nebek są większe od długości i szerokości form wklęsłych (ryc. 10). Występowanie form wklęsłych zostało stwierdzone wyłącznie w podłożu zbudowanym z osadów ilastych. Azymut form negatywnych, widocznych w ilastym podłożu, różni się zdecydowanie od azymutu nebek i wynosi około 350° .

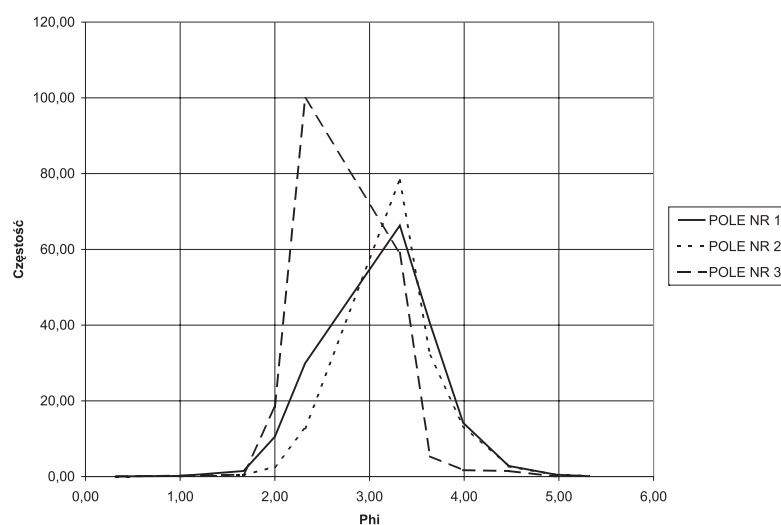
Przeprowadzone badania form wklęsłych można uznać za pilotażowe, wymagające przeprowadzenia bardziej szczegółowych pomiarów i analiz. Wydaje się, że formy te są wynikiem krystalizacji soli



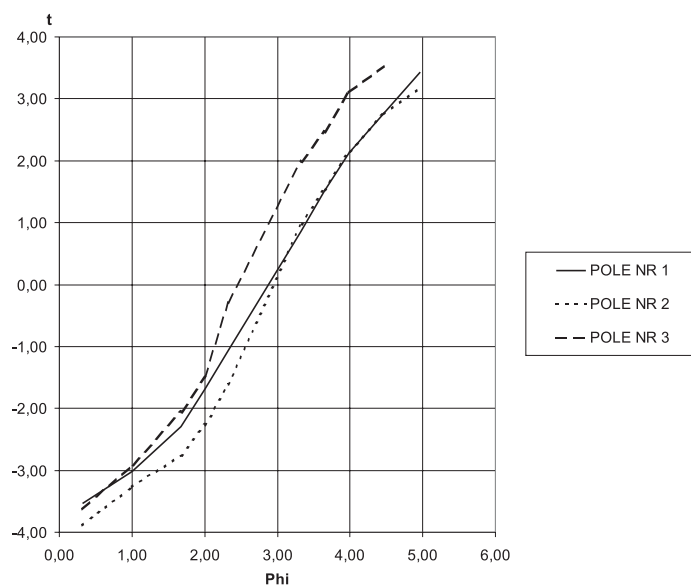
Ryc. 5. Zależność długości nebki od szerokości przeszkody roślinnej – pole nr 1.



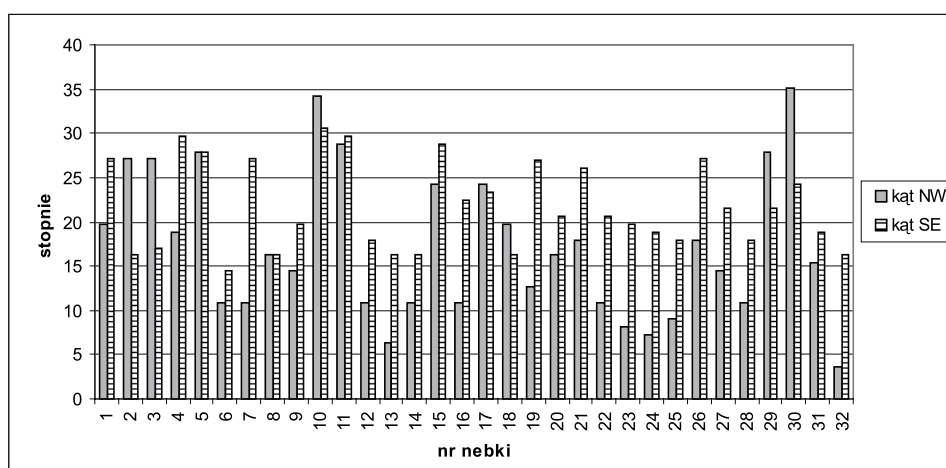
Ryc. 6. Zależność szerokości nebki od szerokości przeszkody roślinnej – pole nr 1.



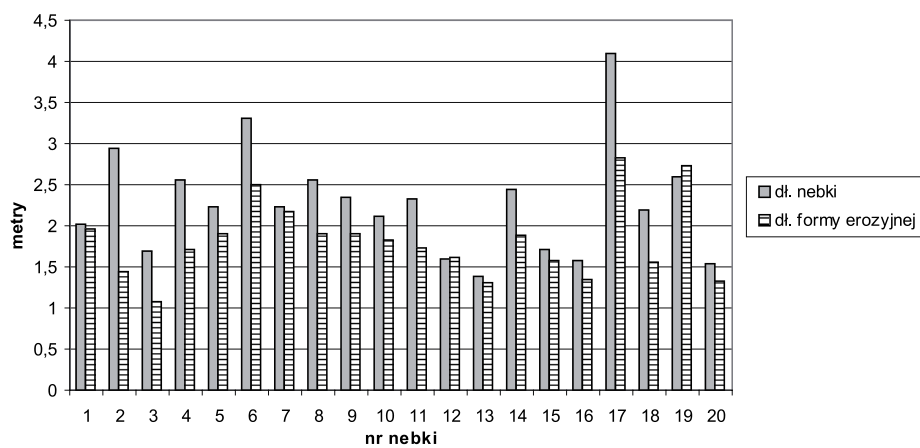
Ryc. 7. Krzywe częstości materiału budującego nebki.



Ryc. 8. Krzywe kumulacyjne uziarnienia w skali prawdopodobieństwa materiału budującego nebkę.



Ryc. 9. Nachylenie stoków NW i SE nebek – pole nr 1.



Ryc. 10. Długość nebek i form erozyjnych – pole nr 2.

w warstwach przypowierzchniowych, powodującej powstawanie na powierzchni skorup solnych, których tempo narastania zależy od intensywności parowania. Parowanie wody i związana z nim krystalizacja soli możliwa jest dzięki występowaniu na obszarze badanego pola płytko zalegających, silnie zasolonych wód gruntowych i ilastemu charakterowi podłoża, umożliwiającemu kapilarne podsiąkanie wody. Intensywność tej krystalizacji, która, jak już wspomniano, związana jest z tempem parowania, jest większa na powierzchni odsłoniętej, wystawionej na bezpośrednie działanie wysokiej temperatury, niż pod osadami nebek. Procesowi krystalizacji soli towarzyszy zwiększenie objętości przypowierzchniowych warstw podłoża i stopniowe podnoszenie jego poziomu. Piaszczysty materiał budujący nebek stanowi rodzaj izolacji spowalniającej proces krystalizacji pod osadami nebek. W ten sposób, wskutek różnic w tempie krystalizacji soli, wytwarza się różnica poziomów podłoża w obrębie nebek i poza nimi. Pod nebkami powstaje rodzaj wklęsłego śladu o kilkucentymetrowej głębokości. Różnica orientacji osi form wklęsłych w porównaniu do osi nebek świadczy prawdopodobnie o okresowo dłuższym występowaniu aktywnego północno-zachodniego wiatru, który spowodował dłuższe utrzymywanie się nebek dostosowanych do jego kierunku.

Tabela 2. Cechy metryczne nebek, przeszkód roślinnych i form wklęsłych – pole nr 2.

Azymut osi dłuższej	długość nebeki	szerokość nebeki	wysokość nebeki	wysokość przeszkody roślinnej	szerokość przeszkody roślinnej	szerokość nebeki przy podstawie	długość formy wklęsłej	szerokość formy wklęsłej	Azymut osi dłuższej formy wklęsłej
(stopnie)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(stopnie)
54	2,02	1,00	0,32	0,36	0,95	0,69	1,96	0,75	352
58	2,94	1,00	0,34	0,48	0,95	0,80	1,45	0,68	351
58	1,70	0,56	0,16	0,30	0,56	0,56	1,08	0,40	342
61	2,56	1,00	0,21	0,39	0,83	0,86	1,71	0,80	4
65	2,23	0,85	0,24	0,48	0,75	0,77	1,90	0,53	352
63	3,30	1,60	0,41	0,55	1,31	1,20	2,50	1,11	355
54	2,24	1,30	0,28	0,34	1,06	1,07	2,17	1,21	0
58	2,55	1,30	0,27	0,42	0,90	0,96	1,91	0,90	351
58	2,35	1,20	0,21	0,50	0,75	0,77	1,90	0,80	355
58	2,11	1,40	0,26	0,40	0,71	0,80	1,83	0,80	358
60	2,32	1,25	0,21	0,61	0,73	0,94	1,74	0,70	342
63	1,60	0,77	0,25	0,33	0,70	0,61	1,61	0,61	354
54	1,38	0,60	0,33	0,36	0,50	0,50	1,30	1,01	357
62	2,44	1,10	0,29	0,39	0,83	0,96	1,88	0,70	352
55	1,72	0,71	0,19	0,50	0,54	0,63	1,57	0,84	352
55	1,58	0,76	0,23	0,28	0,62	0,60	1,35	0,62	349
58	4,09	1,37	0,40	0,50	1,18	1,20	2,82	0,70	354
57	2,20	0,91	0,25	0,36	0,78	0,65	1,56	0,98	347
58	2,60	1,50	0,32	0,48	1,14	1,07	2,73	0,92	334
56	1,54	0,63	0,21	0,35	0,51	0,62	1,32	0,52	333

Pole nebek numer 3

Trzecie pole nebek znajduje się w środowowej części obszaru Coude du Dra, u podnóża południowych stoków Jebel Bani (ryc. II). Formy te, powstałe na słabospoistym, piaszczysto-pylastym podłożu za roślinami trawiastymi z gatunku drinn, są przykładem przemodelowania morfologii nebek w czasie burzy piaskowej. Wykonane pomiary poprzedziła pięciogodzinna burza piaskowa, w czasie której prędkość północno-wschodniego wiatru dochodziła do 14 m/s. Z dotychczasowych badań wynika, że transport materiału zaczyna się już przy prędkościach około 7 m/s (Bagnold 1941). Można zatem wnioskować, że wystąpienie burzy piaskowej miało istotny wpływ na morfometrię badanych nebek.

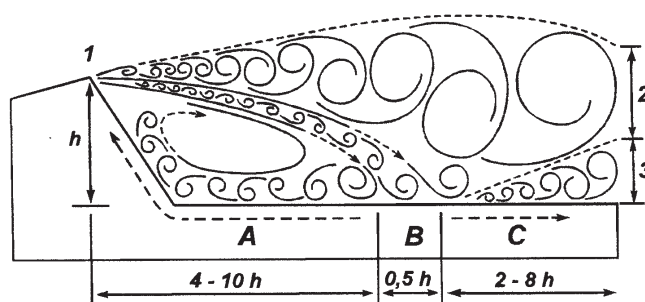
Nebki występujące na trzecim polu należą, podobnie jak poprzednie, do form niskich o wysokości od 16 cm do 45 cm, ale bardzo długich – 1,90 m do 5,50 m (tab. 3). Stosunek wysokości do długości nebk wynosi średnio 1:16. Były one akumulowane, za na ogół większymi, w porównaniu do pozostałych pól, przeszkodami roślinnymi, których wysokość wynosi od 21 cm do 78 cm, a szerokość od 51 cm do 187 cm. Wydaje się, że w przypadku analizowanych form większa długość nebek jest związana z dużą szerokością rośliny, za którą następuje akumulacja.

Tabela 3. Cechy metryczne nebek i przeszkód roślinnych – pole nr 3.

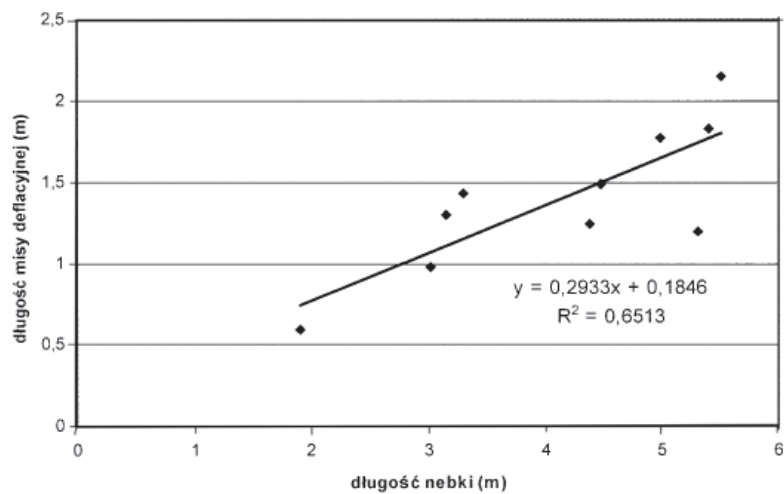
Azymut osi dłuższej	długość nebk	szerokość nebk	wysokość nebk	wysokość przeszkody roślinnej	szerokość przeszkody roślinnej	długość misy deflacyjnej	szerokość misy deflacyjnej	głębokość misy deflacyjnej
(stopnie)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
36	4,47	1,18	0,27	0,21	0,51	1,49	0,68	0,06
39	5,50	1,69	0,40	0,58	0,79	2,15	1,04	0,03
38	4,98	1,08	0,29	0,33	0,66	1,77	0,48	0,04
32	1,90	0,66	0,16	0,30	0,67	0,59	0,32	0,03
33	3,30	1,50	0,20	0,40	1,49	1,43	0,84	0,04
39	3,15	1,20	0,19	0,59	1,41	1,30	0,74	0,05
36	5,40	1,65	0,26	0,54	1,31	1,83	0,75	0,08
35	3,02	1,08	0,30	0,49	1,16	0,98	0,46	0,03
37	4,38	1,98	0,45	0,64	1,65	1,25	1,07	0,06
38	5,30	1,82	0,38	0,78	1,87	1,20	0,75	0,03

Nebki występujące na polu nr 3 zbudowane są z nieco grubszego materiału ($M_z=2,49\Phi$), charakteryzującego się lepszym wysortowaniem ($\sigma_1=0,37$) z przewagą udziału drobniejszej frakcji w stosunku do frakcji o maksymalnej częstotliwości ($Sk_1=0,18$) (ryc. 7, 8).

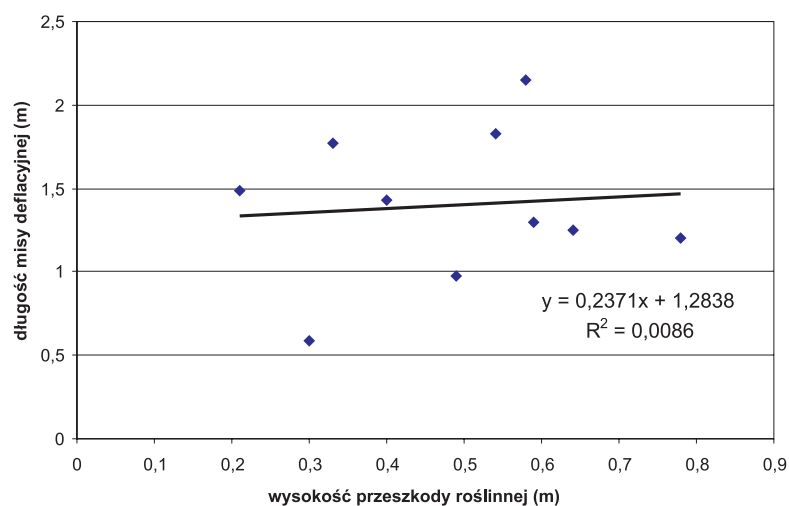
Na zapleczu przeszkody roślinnej utworzyły się w czasie silnego wiatru niewielkich rozmiarów misy deflacyjne. Są one wynikiem powstającego tam, w czasie silnego wiatru, specyficznego przepływu powietrza, któremu towarzyszą zawirowania powstające za przeszkodą (ryc. 11) (Tsoar i in. 1983, Tsoar i in. 1985, Walker, Nickling 2002). Głębokość mis deflacyjnych wynosiła od 3 cm do 8 cm, ich długość od 0,59 m do 2,15 m (tab. 3). Długość mis wykazuje istotny związek z długością nebek, w obrębie których zostały one wykształcone (ryc. 12). Wielkość tych form erozyjnych zależy natomiast w małym stopniu od wysokości rośliny i jej szerokości (ryc. 13, 14). Można wnioskować, że ich geneza i rozmiary zależne są głównie od dynamiki i prędkości wiatru.



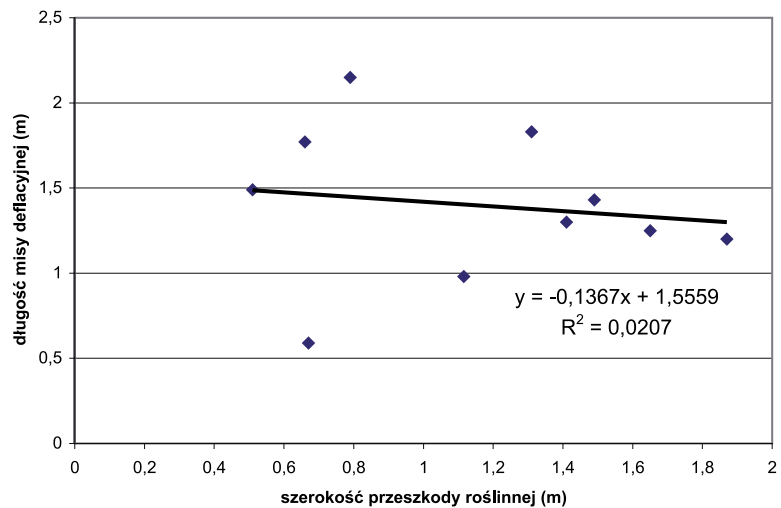
Ryc. 11. Przepływ strumienia powietrza przez przeszkodę w czasie wystąpienia silnego wiatru (wg Walkera i Nicklinga 2002 – częściowo zmienione); A – strefa akumulacji (zwrotny strumień powietrza), B – strefa deflacji (dopływający do powierzchni strumień powietrza), C – strefa akumulacji i deflacji (przypowierzchniowy strumień powietrza), h – wysokość przeszkody, 1 – oderwanie strumienia powietrza, 2 – warstwa powietrza podlegająca silnym turbulencjom, 3 – wewnętrzna warstwa graniczna.



Ryc. 12. Zależność długości misy deflacyjnej od długości nebki – pole nr 3.



Ryc. 13. Zależność długości misy deflacyjnej od wysokości przeszkody roślinnej – pole nr 3.



Ryc. 14. Zależność długości misy deflacyjnej od szerokości przeszkody roślinnej – pole nr 3.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań nebek można stwierdzić, że formy występujące na obszarze Coude du Dra charakteryzują się bardzo dużą różnorodnością. Ta zmienność przejawia się w odmiennej charakterystyce morfometrycznej form związanej przede wszystkim z rodzajem przeszkody roślinnej, rodzajem i stopniem wilgotności podłoża, siłą i zmiennością kierunków wiatru oraz cechami teksturalnymi materiału budującego omawiane formy. Analizując trzy pola nebek, dla każdego z nich można zaobserwować pewne zależności lub prawidłowości:

- nebki występujące na obszarze Coude du Dra charakteryzują się, w porównaniu do opisywanych w literaturze nebek z innych regionów, znacznie większą długością w stosunku do wysokości. Wydaje się, że stosunek wysokości do długości nebek jest związany z małą wysokością przeszkody roślinnej oraz jej dużą przewiewnością, natomiast nie jest związany ze spoistością podłoża, na którym nebki powstały;
- asymetria stoków, bardzo często widoczna w morfometrii nebek, jest wynikiem erozji w przypadku form, które mają nieutrwaloną powierzchnię. Związana jest ona z wiatrem wiejącym pod pewnym kątem do osi podłużnej nebki. Natomiast w przypadku form o utrwalonej powierzchni (np. skorupą gipsową) asymetria jest wynikiem akumulacji materiału na stoku dowietrznym, przez co następuje zmniejszenie jego kąta nachylenia.
- powstanie mis deflacyjnych w obrębie nebki, po zawiętrznej stronie przeszkody roślinnej, jest najprawdopodobniej związane z wiatrem o znacznej prędkości. W takim przypadku za przeszkodą, gdzie dochodzi do zawirowań powietrza, wyodrębnia się komórka cyrkulacyjna. Rozmiary misy deflacyjnej są uwarunkowane przede wszystkim prędkością wiatru; mniejszy wpływ ma natomiast wielkość i przewiewność przeszkody roślinnej.

Przeprowadzone badania potwierdziły istotność wpływu nebek na proces rozprzestrzeniania się form wydmowych na obszarze Coude du Dra. Tam gdzie one się tworzą rozwój wydm jest ograniczony. Dowodem tego są w szczególności występujące w obrębie pola nr 2 formy wklęsłe, którym nie towarzyszą pozytywne formy akumulacyjne. Brak tych form spowodowany jest wyschnięciem przeszkody roślinnej wskutek obniżenia poziomu zwierciadła wód gruntowych. Brak wymuszania akumulacji materiału eolicznego przez nebki powoduje jego swobodne przemieszczanie i powstawanie wydm wpływając tym samym zwiększanie zasięgu pól wydmowych.

Literatura

- Bagnold R.A., 1941, *The physics of blown sand and desert dunes*. Methuen Co., London.
- Coque R., 1962, *La tunisie présaharienne*. Etude géomorphologique. Armand Colin, Paris.
- Dłużewski M., Dziurzyński T., Smolska E., 2000, *Współczesne modelowanie koryt rzek okresowych w południowej Tunezji na przykładzie Ouedu Gabès*, [w:] Stacjonari ta Eksperimentalni Dostidzenija Sydacznego Relfoutworienija, Lviv.
- Dłużewski M., Dubis L., Woronko B., 2002, *Nebki – formy wymuszonej akumulacji eolicznej N-części obniżenia Khargi*, [w:] Warsztaty geomorfologiczne, Egipt 5-22. 04. 2002. WGiSR, SGP Mat. Konf. Warszawa.
- Gunatilaka A., Mwango S., 1987, *Continental sabkhas pans and associated nebkhas in southern Kuwait, Arabian Gulf*, [w:] Froctick L., Reid I.: Desert Sediments: Ancient and Modern. Geolog. Soc. Spec. Publ. 35, 187-203.
- Hesp P.A., 1981, *The formation of shadow dunes*. J. Sediment. Petrol. 51. 101-112.
- Kosmowska-Suffczyńska D., 1980, *Formy wydmowe na sebhce Sabhet El-Muh w okolicy Palmyry*. Prace i St. Geog. t. 9, 177-188.
- Pietrow M.P., 1962, *Types de deserts de l'Asia centrale*. Ann. de Géog. 10, 131-155.
- Pietrow M.P., 1976, *Pustynie kuli ziemskiej*. PWN. Warszawa.
- Szczypek T., 1994, *Inicjalne kopczyki piaszczyste typu „nebkha”*, [w:] Nowaczyk B., Szczypek T. (red.), Vistuliańsko-holocenijskie zjawiska i procesy eoliczne (wybrane zagadnienia), Poznań, 89-99.
- Tengberg A., 1994, *Nebkhas-their spatial distribution, morphology, composition and age-in the Sidi Bouzid area, central Tunisia*. Zeitschrift für Geomorphology 33, z. 3, 311-325.
- Tengberg A., Chen D., 1998, *A comparative analysis of nebkhas in central Tunisia and northern Burkina Faso*. Geomorphology 22, 181-192.

- Tsoar H., Rasmussen K.R., Sørensen M., Willetts B.B., 1985, *Laboratory studies of flow over dunes*, [w:] Barn-dorff-Nielson O.E., Moller J.T., Rasmussen K.R., Willetts B.B. (red.), *Proceedings of international work-shop on the physics of blown sand*, 327-350.
- Tsoar H., Yaalon D.H., 1983, *Deflation of sand movement on a sinuous longitudinal (seif) dune: use of flourescent dye as tracer*. *Sedimentary Geol.* 36, 25-39.
- Walker I.J., Nickling W.G., 2002, *Dynamics of secondary airflow and sediment transport over and in the lee of transverse dunes*. *Progress in Physical Geography* 26, z. 1. 47-75.