

Charakter powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej budujących wydmy regionu Coude du Dra

Barbara Woronko

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

Wstęp

Na powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej zapisane są zarówno efekty abrazji mechanicznej, jak również wietrzenia chemicznego (Krinsley, Doornkamp 1973, Pell, Chivas 1995, Mycielska-Dowgiałło i in. 1997). Ziarna te dostarczają zatem cennych informacji o środowisku, w którym były transportowane, o czasie działania procesów je modelujących, stopniu przekształcenia osadów źródłowych, jak również o wszelkich procesach postsedymencyjnych (Krinsley, Doornkamp 1973, Kenig 1987, Woronko 2001). Każde środowisko wykształca właściwy sobie zespół mikrostruktur, odróżniający je od innych środowisk (Margolis, Kennett 1971, Krinsley, Doornkamp 1973, Mahaney 2001). Szczególnie interesująco na tym tle przedstawiają się osady eoliczne pustyń gorących. Wyniki pierwszych badań wskazywały, że pustynne piaski eoliczne są dobrze lub bardzo dobrze obtoczone (np. MacCarthy 1935 za Tsoar, Pye 1990, Kuenen 1960). Późniejsze prace zweryfikowały to stanowisko. Dzisiaj powszechnie uznaje się, że ich stopień obtoczenia zazwyczaj jest niski (Tsoar, Pye 1990, Bullard i in. 2004) i zależy od wielkości ziarn (Lucchi, Casa 1998). Ponadto ich powierzchnia jest oskorupiona (Kuenen, Pedrok 1961, Lucchi, Casa 1968, McCoy 1978, Mycielska-Dowgiałło 1988, Mycielska-Dowgiałło i in. 1997, Mycielska-Dowgiałło i in. 1998, Mycielska-Dowgiałło, Woronko 1996, 1998, 1999, Woronko 2000).

Charakter mikrorzeźby powierzchni ziarn frakcji piaszczystej analizowanej w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM), budujących wydmy regionu Coude du Dra, jest przedmiotem szczegółowej analizy. Celem prezentowanych badań jest ustalenie źródła osadów wydmy, jak również stopnia przekształcenia osadów źródłowych.

Metody badań

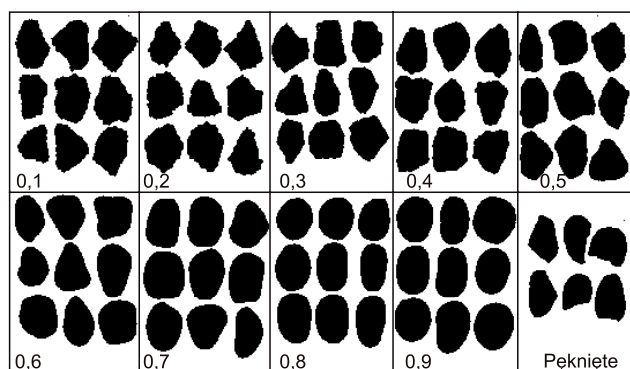
Analizę charakteru powierzchni ziarn frakcji piaszczystej przeprowadzono w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM). Badaniom poddano 4 próbki osadów pobranych z grzbietów wydmy typu barchan (wydmy nr 1, 5, 11, 13) (ryc. II). Wydmy te wędrują po powierzchni zbudowanej z osadów jeziornych, osadach stożków aluwialnych lub piaszczystych aluwialnych rzeki Dra. Ponadto przebadano jedną próbkę z grzbietu wydmy znajdującej się w dnie epizodycznego, obecnie wyschniętego jeziora Iriqui (wydmy nr 4) (ryc. II), traktując ją jako wydmy, którą budują słabo przekształcone osady jeziorne.

Każda próbka, bez uprzedniego przesiewania, przemywania i trawienia została przebadana w SEM. W każdym przypadku losowo wybrano około 30 ziarn, określając ich wielkość (mierząc osie x i y), stopień obtoczenia powierzchni stosując 9-cio stopniową skalę wg Krumbeina (1941) (ryc. 1) oraz charakter mikrorzeźby powierzchni ziarn, wydzielając 4 jej typy:

- A – świeże, o ostrych krawędziach i narożach. Rzeźba jest efektem mechanicznego niszczenia ziarn.
- B – oskorupione skorupą, którą charakteryzuje obecność mikrostruktur określanych mianem „raindrop”. Stanowią one nieregularne zagłębienia o średnicy 10–25 μm . Ten typ skorupy tworzy

się w warunkach permanentnego niedoboru wilgoci. W warunkach klimatu suchego i gorącego nawet niewielka ilość wilgoci np. w postaci rosy, powoduje rozpuszczanie między innymi chlorków, co sprawia, że pH roztworu staje się bardzo wysokie (Kuenen, Pedrok 1961). Dochodzi do rozpuszczania niewielkiej ilości krzemionki na powierzchni kwarcu. Gdy w ciągu dnia temperatura na powierzchni gruntu osiąga nawet kilkadziesiąt stopni Celsjusza, następuje całkowite wyparowanie wody z roztworu, co prowadzi do wytrącenia wcześniej rozpuszczonej krzemionki (Krinsley, Doornkamp 1973, Pell i in. 1995). Procesy oskorupiania i rozpuszczania już istniejącej skorupy następują w cyklu dobowym (Kuenen, Pedrok 1961, Lucchi i Casa 1968, Krinsley, McCoy 1978, Mycielska-Dowgiałło 1988, Mycielska-Dowgiałło i in. 1997, Mycielska-Dowgiałło i in. 1998, Mycielska-Dowgiałło, Woronko 1996, 1998, 1999, Woronko 2000, Pell i in. 1995).

- C – oskorupienie skorupą łuskowo-ziarnistą. Skorupa ma charakter postrzępionej lub gładkiej powierzchni, którą budują minerały ilaste oraz bezpostaciowa krzemionka, wytrącona w postaci niewielkich rozmiarów globulek o średnicy 1–2 μm lub ciągłej, gładkiej powłoki. Skorupę buduje przede wszystkim bezpostaciowa krzemionka (SiO_2), z niewielkim udziałem innych jonów (Pell i in. 1995). Według Pell'a i in. (1995) obecność skorupy w postaci globulek świadczy o niewielkim tempie oskorupiania, natomiast gładka powłoka – o bardzo szybkim i intensywnym procesie. Na powierzchni ziarn nie obserwujemy śladów trawienia, co może wynikać z mniejszej agresywności krążących roztworów. Niejednokrotnie, w obrębie skorupy obserwuje się owalne lub poligonalne mikropęknięcia (*circular* lub *poligonal cracking*). Pell i in. (1995) sugerują, że struktury te są wynikiem dehydratacji minerałów ilastych znajdujących się poniżej warstwy zbudowanej z bezpostaciowej krzemionki.
- P – pęknięte;
- T – o powierzchni intensywnie trawionej chemicznie.



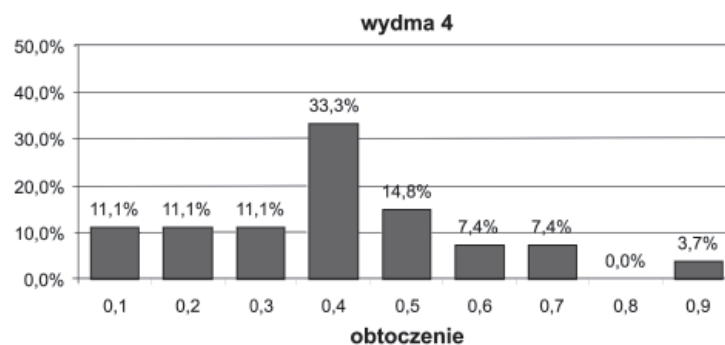
Rys. 1. Wzorzec stopnia obtoczenia powierzchni ziarn wg Krumbeina (1941).

Znaczne oskorupienie powierzchni ziarn uniemożliwiło odróżnienie ziarn kwarcowych od nie kwarcowych. W tej sytuacji wyżej wymienione parametry określano dla wszystkich ziarn znajdujących się na ekranie monitora przy powiększeniu 500 razy. Jedynie ziarna mające jednoznacznie blaszkową strukturę nie były analizowane.

Analiza wyników badań

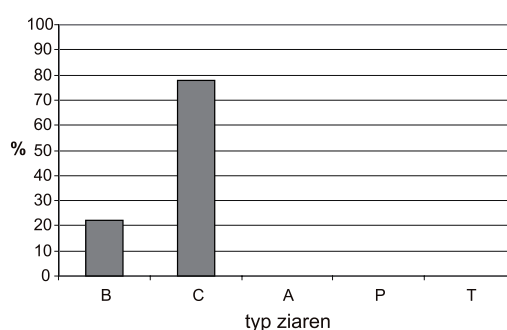
Osady z wydmy (nr 4), znajdującej się w dnie wyschniętego jeziora Iriqui (ryc. II), charakteryzują się bardzo zróżnicowanym stopniem obtoczenia powierzchni ziarn (ryc. 2). Ponad 30% stanowią ziarna o skrajnie złym stopniu obtoczenia (0,1–0,3 wg skali Krumbein'a, 1941). Charakteryzują się one ostrymi krawędziami i narożami. Świadczyć to może o tym, że nie podlegały one obróbce w środowisku eolicznym, która w pierwszej kolejności zaznacza się na najbardziej wystających fragmentach ziarn i doprowadza do ich zaokrąglenia, bądź też transport ziarn odbywał się na bardzo krótkim dystansie, uniemożliwiając tym samym przytępienie krawędzi i naroży. Obok ziarn o skrajnie złym stopniu obróbki, stwierdzono obecność ziarn o dobrym (0,4–0,6) i bardzo dobrym stopniu obtoczenia (0,7–0,9). Te ostatnie stanowią około

11% analizowanych ziarn (ryc. 2) i są to ziarna, których średnica jest większa niż 0,35 mm. Tak duża różnorodność stopnia obtoczenia ziarn sugeruje, że pochodzą one z różnych źródeł, w których długość działania procesów eolicznych była niejednakowa (Woronko 2003).



Rys. 2. Stopień obtoczenia powierzchni ziarn budujących wydmy numer 4, wg skali Krumbeina (1941).

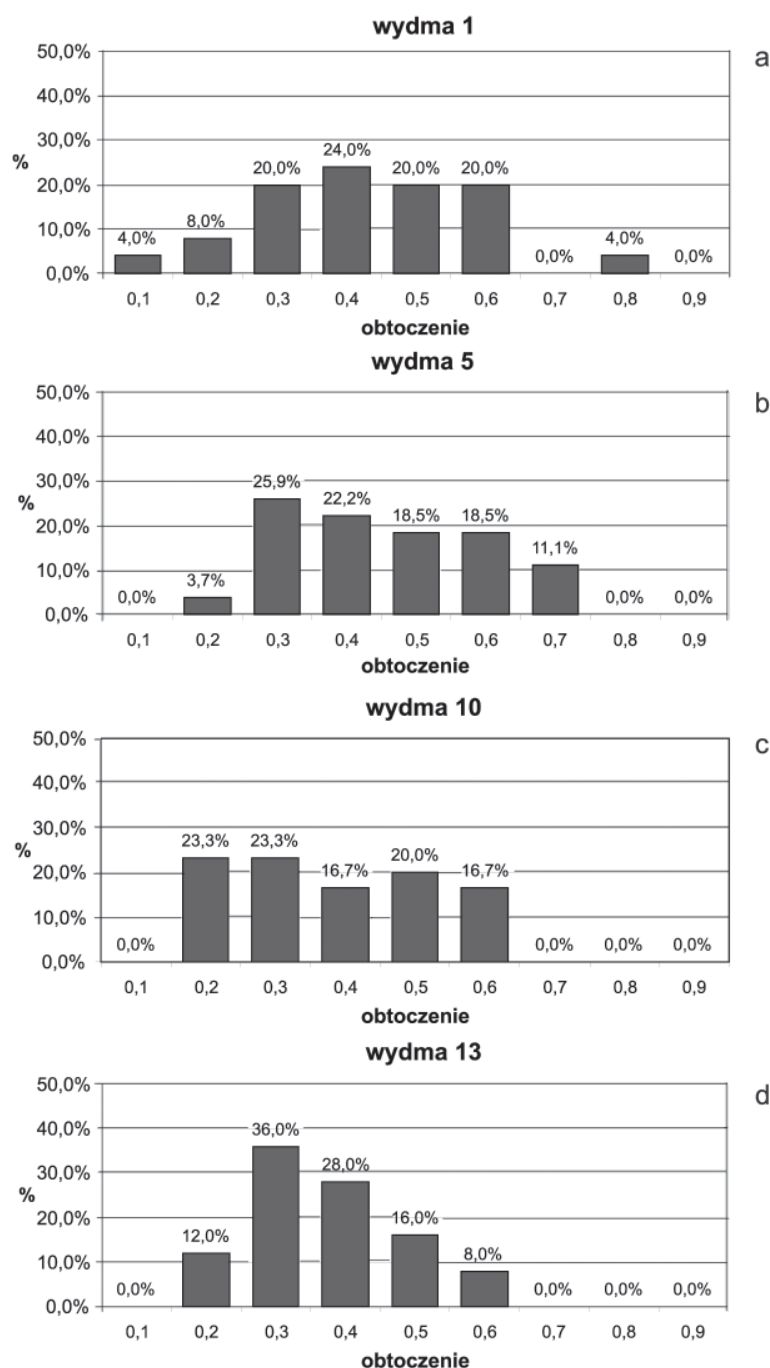
Wszystkie analizowane w tej próbce ziarna są oskorupione, przy czym około 80% stanowią ziarna pokryte skorupą o charakterze łuskowo-ziarniastym (typ C) (ryc. 3). Skorupa ta ma charakter ciągłej, grubej skorupy, w której tkwią blaszki minerałów ilastych, maskującej wszelkie nierówności mikrorzeźby powierzchni ziarn. W zagłębieniach obserwujemy poligonalne lub owalne pęknięcia. W obrębie skorupy nie stwierdzono obecności efektów abrazji eolicznej oraz śladów jej trawienia. Charakter skorupy wskazuje, że proces oskorupiania był bardzo szybki, zdecydowanie szybszy niż tempo abrazji (Woronko 2000). Według badań eksperymentalnych już po pięciu godzinach ciągłego uczestniczenia ziarn w procesie saltacji, na powierzchni ziarn kwarcowych stwierdza się obecność śladów abrazji eolicznej. Pozostałe około 20% stanowią ziarna, o powierzchni pokrytej skorupą o charakterze bulwiastym – „raindrop” (typ B) (ryc. 3), w obrębie której zaznaczają się efekty trawienia. Przy czym tego typu struktury stwierdzono jedynie na ziarnach dużych (powyżej 0,35 mm). Najprawdopodobniej powierzchnia tych ziarn powstawała w warunkach większej agresywności krążących roztworów, a tym samym związana jest z bardziej suchymi warunkami klimatycznymi. Ponadto wszystkie ziarna tego typu są lepiej obtoczone, niż ziarna typu C. W badanej próbce nie stwierdzono ziarn całkowicie świeżych (A), pękniętych (P) oraz o powierzchni trawionej chemicznie (T) (ryc. 3).



Rys. 3. Typy powierzchni ziarn budujących wydmy numer 4.

Ziarna budujące osady wydymowe centralnej części regionu Coude du Dra (ryc. II) charakteryzują się minimalnie lepszym stopniem obtoczenia (fot. 1), niż analogiczne osady wydymowe występujące na jego zachodniej granicy – na powierzchni wyschniętego jeziora Iriqui (ryc. 4). Przejawia się to przede wszystkim brakiem ziarn o bardzo złym stopniu obtoczenia (0,1). Równocześnie nie znaleziono ziarn o obtoczeniu powyżej 0,7. Wyjątkiem są osady budujące wydmy numer 1, znajdującą się na zachodnim obrzeżeniu tegoż ergu (ryc. II). Udział ziarn bez jakichkolwiek śladów obróbki, całkowicie kanciastych, wynosi w tejże próbce zaledwie 4%, podobnie jak ziarn o bardzo dobrym stopniu obtoczenia (powyżej 0,7) (ryc. 4a). Dominują natomiast ziarna o stopniu obtoczenia 0,3–0,6 (fot. 2). W zasadzie stopień

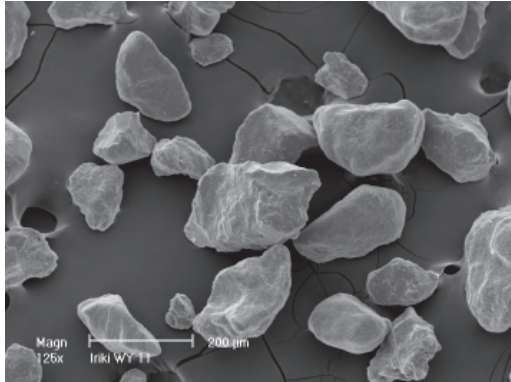
obtroczenia powierzchni ziarn nie jest zależny od ich średnicy, jednakże im większe ziarno, tym jest ono lepiej obtoczone. Lepsze obtroczenie ziarn w osadach wydmyowych ergu jest najprawdopodobniej efektem abrazji eolicznej powierzchni ziarn, która prowadzi do stępienia najbardziej wystających fragmentów.



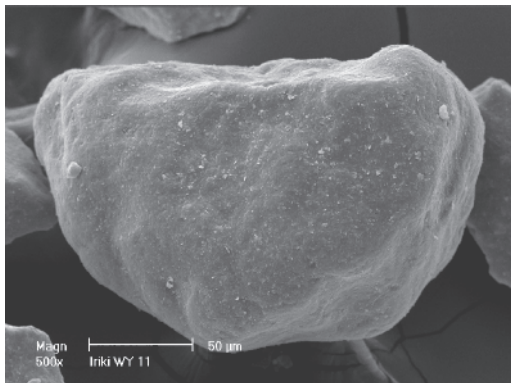
Rys. 4. Stopień obtroczenia powierzchni ziarn (wg skali Krumbeina, 1941) budujących wydmy numer: a) 1; b) 5; c) 11; d) 13.

We wszystkich przebadanych próbkach z osadów wydmyowych ergu, niezależnie od stopnia obtroczenia, ziarna są oskorupione skorupą łuskowo-ziarnistą (typ C) (ryc. 5, fot. 3). Pozostałe typy ziarn (A, P i T) są reprezentowane w badanych osadach przez pojedyncze ziarna bądź wcale (ryc. 5). Niezależnie od stopnia obtroczenia, skorupa pokrywająca powierzchnię ziarn jest bardzo gruba. Tym samym powoduje

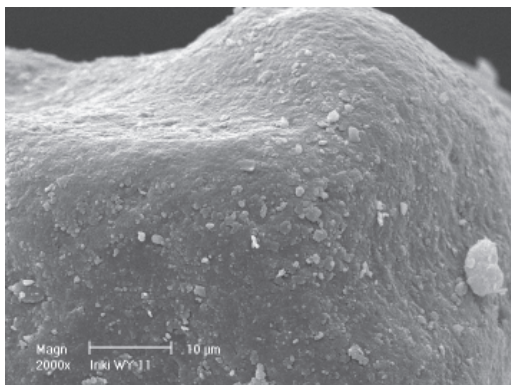
ona zaokrąglenia powierzchni poprzez przytępienie krawędzi i naroży. W zagłębieniach na powierzchni ziarn obserwujemy poligonalne mikropęknięcia (fot. 4).



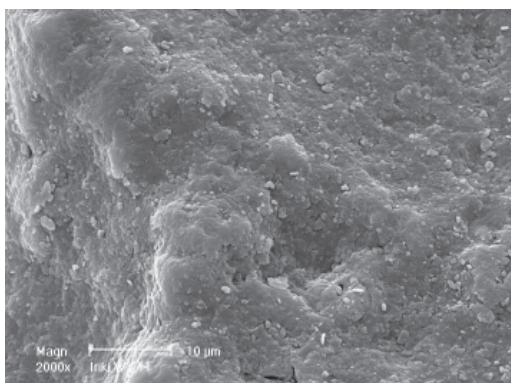
Fot. 1. Ziarna o różnym stopniu obtoczenia oskorupione skorupą łuskowo-ziarnistą (typu C) budujące wydmnę numer 1.



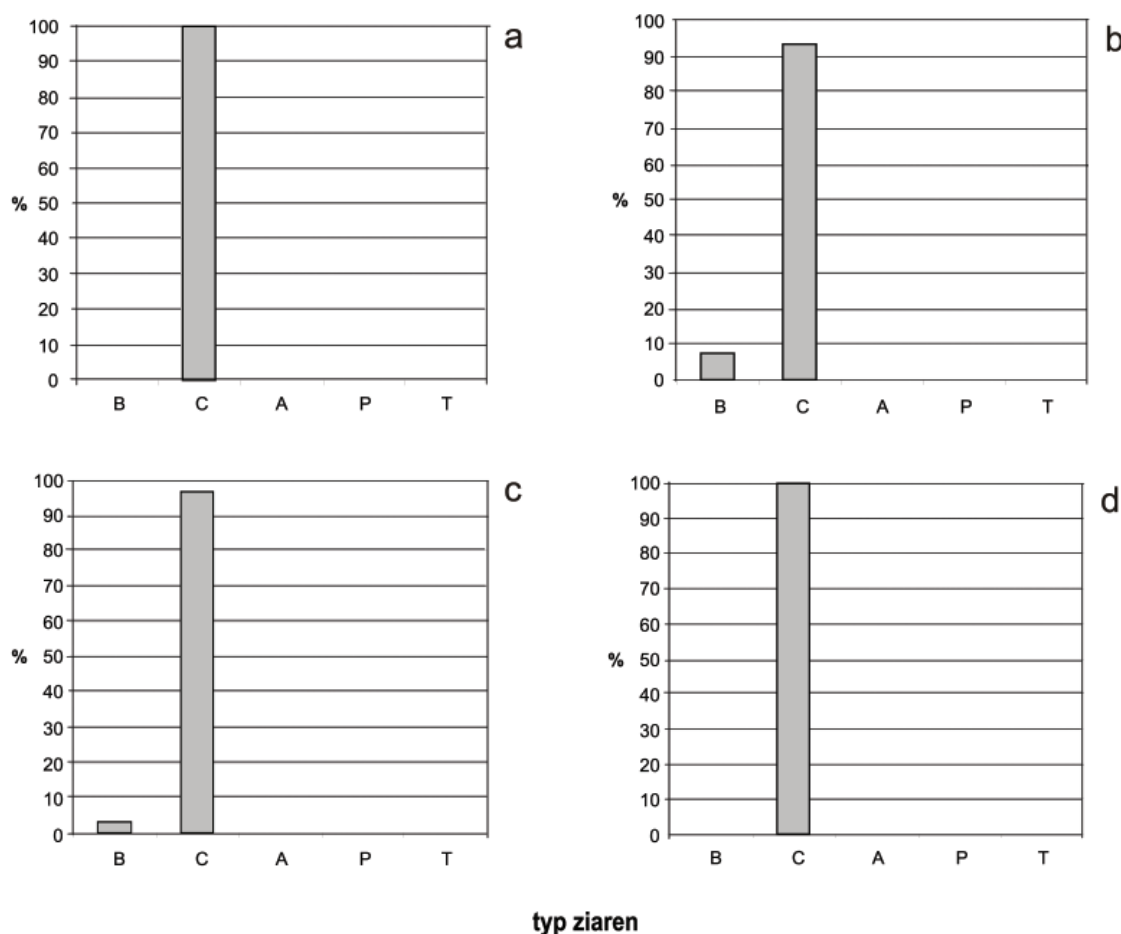
Fot. 2. Ziarno o stopniu obtoczenia powierzchni 0,6 wg skali Krumbein (1941), oskorupione skorupą łuskowo-ziarnistą (typu C).



Fot. 3. Ziarno oskorupione skorupą łuskowo-ziarnistą typu C.



Fot. 4. Poligonalne mikropęknięcia skorupy typu C widoczne w obrębie mikrozagłębienia.



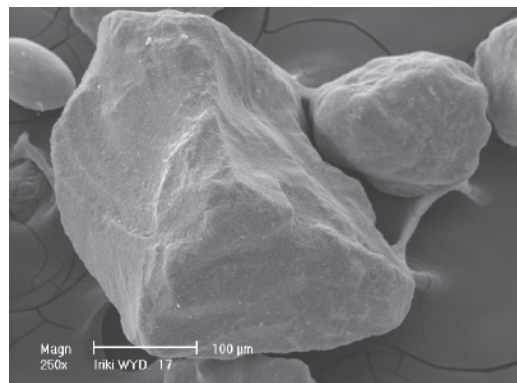
Rys. 5. Typy powierzchni ziaren budujących wydmy numer: a) 1; b) 5; c) 11; d) 13.

Na powierzchni ziarn o średnicy większej niż 0,3 mm widoczne są efekty abrazji eolicznej. Obserwuje się je jednak jedynie na krawędziach i narożach (fot. 5, 6, 7). Mają one charakter ospy i nieregularnych mikrozagłębień (fot. 6, 7). Struktury te najprawdopodobniej inicjowane są przez abrazję eoliczną, a następnie pogłębiane przez trawienie chemiczne, współdziałające z procesem oskorupiania powierzchni. Brak śladów typowej rzeźby eolicznej na ziarnach o średnicy mniejszej, niż wspomniana świadczy, że ich transport odbywał się głównie w zawieszynie, bądź też uczestniczyły w tzw. saltacji zmodyfikowanej. Według Tsoara i Pye'a (1990) biorą w niej udział ziarna o średnicy 0,074–0,125 mm. Transport poprzez saltację miał miejsce stosunkowo rzadko. Brak efektów korazji mógł być spowodowany obecnością skorupy, przez co proces abrazji eolicznej dotyczył skorupy, a nie bezpośrednio „czystej” powierzchni kwarcu.

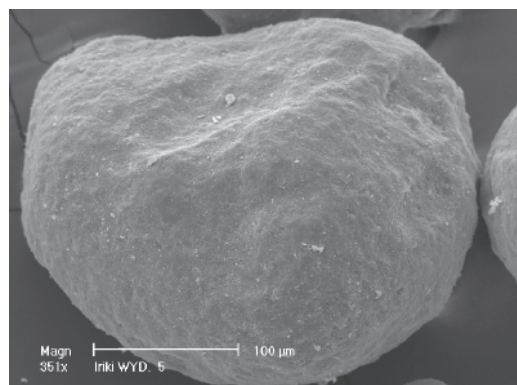
Wnioski

Przedstawione wyniki pokazują, że osady budujące wydmy regionu Coude du Dra są jednorodne pod względem charakteru powierzchni. Natomiast stopień obtoczenia powierzchni ziarn jest bardzo zróżnicowany, chociaż dominują ziarna o słabym stopniu obtoczenia (średnio 0,3–0,4 wg skali Krumbeina 1941). Dowodzi to, że badane formy są stosunkowo młode, a tym samym procesy eoliczne działały na tym obszarze relatywnie krótko. Za tym wnioskiem przemawia między innymi fakt, że na obszarach, gdzie wiatr długo przewiewał osad, udział ziarn o bardzo dobrym stopniu obtoczenia może sięgać nawet 80% (Goździk, Wiatrak 2001, Woronko 2001). W wyniku abrazji eolicznej ziarna najbardziej kanciaste bardzo szybko ulegają obtoczeniu (Wright i in. 1998), a intensywność procesu zmniejsza się wraz ze stopniem obtoczenia ziarn (Kuenen 1960). Do podobnych wniosków doszła Mycielska-Dowgiałło (1993) analizując osady wydmy południowej Szwecji, gdzie wstępują duże formy wydmy, ale osad je budujący nie ma cech typowych dla osadów wydmy. Brak wyraźnego ukierunkowania wzrostu stopnia obtoczenia

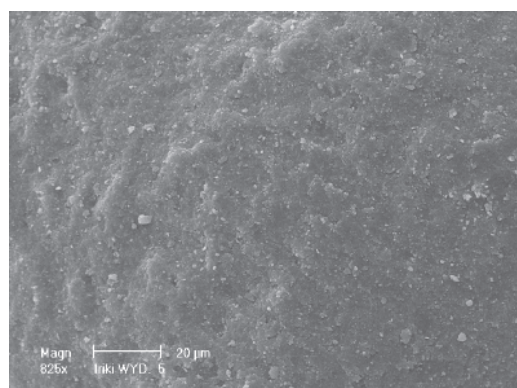
ziarn w obrębie zespołu wydm regionu Coude du Dra, np. ze wschodu na zachód bądź odwrotnie, może świadczyć, że dostawa świeżego materiału następowała z różnych kierunków, a źródłem badanych osadów mogły być najprawdopodobniej wszelkie osady, które były wystawione na deflację. Ponadto pochodzą one z różnych źródeł, w których długość działania procesów eolicznych była niejednakowa (Woronko 2003).



Fot. 5. Ślady abrazji eolicznej widoczne jedynie na krawędziach i narożach ziarna.



Fot. 6. Abrazja eoliczna widoczna na krawędziach i narożach ziarna.



Fot. 7. Ospowaty charakter mikrorzeźby będącej efektem abrazji eolicznej modyfikowanej poprzez trawienie i oskorupianie.

Obecność tylko na niektórych ziarnach mikrorzeźby, będącej efektem abrazji eolicznej może również wskazywać na relatywnie krótki okres, w którym ziarna uczestniczyły w wysokoenergetycznych kolizjach (Pell i in. 1995), jakie mają miejsce podczas saltacji (Tsoar, Pye 1990). Do podobnych wniosków doszli Pell i in. (1995) badając piaski wydymowe Pustyni Simpsona.

Dominują ziarna oskorupione skorupą łuskowo-ziarnistą (typ C). Gładka powierzchnia skorupy świadczy, że najprawdopodobniej proces oskorupiania był szybki i dosyć intensywny. Potwierdza to również duża grubość obecnej na powierzchni ziarn skorupy oraz fakt, że wszystkie analizowane ziarna (niezależnie od frakcji) są oskorupione. Obecność w obrębie skorupy poligonalnych lub owalnych mikropęknięć wg Pell'a i in. (1995) świadczy, że ich źródła należy upatrywać w osadach bardzo bogatych w materiał ilasty, np. wyściełających dna wyschniętych jezior. Stąd obecność na ziarnach warstwy złożonej z minerałów

ilastych, przykrytej obecnie skorupą składającą się przede wszystkim z bezpostaciowej krzemionki, która powstała w warunkach wyraźnego niedoboru wilgoci.

Źródłem osadów budujących wydmy regionu Coude du Dra są najprawdopodobniej wyschnięte dna jezior (Coudé-Gaussen 1991, Pell i in. 1997), rozległe stożki napływowe występujące u podnóża pasma Jebel Bani lub osady wyściełające dolinę ouedu Dra (Woronko 2003). Obecność ziarn, na powierzchni których obserwuje się struktury typu „raindrop”, świadczy że niewielka część osadów budujących wydmy pochodzi spoza regionu Coude du Dra. Potwierdzać to może również lepsze obtoczenie ziarn typu B. Brak jakichkolwiek świeżych powierzchni na analizowanych ziarnach może wynikać z dużego tempa oskórzenia, bądź też dostawa świeżych ziarn jest bardzo mała.

Literatura

- Bullard J.E., Mctainsh G.H., Pudmenzky C., 2004, *Aeolian abrasion and modes of fine particle production from natural red dune sand: an experimental study*. *Sedimentology* 51, 1103–1125.
- Coudé-Gaussen G., 1991, *Les poussières sahariennes. Cycle sédimentaire et place dans les environnements et paléoenvironnements désertiques*. John Libbey CIC Paris.
- Goździk J., Wiatrak M., 2001, *O genezie i wieku utworów czwartorzędowych z profilu wiercenia Lesiów PIG-1 w świetle analizy kształtu ziarn kwarcowych*, [w:] E. Mycielska-Dowgiałło (red.), *Eolizacja osadów jako wskaźnik stratygraficzny czwartorzędu*. Warszawa, 65–81.
- Kenig K., 1987, *Microstructures of surface of quartz grains from loess and underlying till from the area of Sandomierz (Southern Poland)*. Abstract XII Congress INQUA 1987, Canada, 199.
- Krinsley D.H., Doornkamp J.C., 1973, *Atlas quartz sand surface textures*. Cambridge .
- Krinsley D.H., McCoy F., 1978, *Aeolian quartz sand and silt*, [w:] B.H. Whalley (red.), *Scanning electron microscopy in study of sediments*. *Geo Abstract.*, 249–260.
- Kuenen Ph.H., 1960, *Experimental abrasion 4: aeolian action*. *Journal of Geology*, 68, 427–449.
- Kuenen Ph.H., Pedrok W.G., 1961, *Experimental abrasion 5: frosting and defrosting of quartz grains*. *Journal of Geology*, 70, 648–658.
- Krumbein W.C., 1941, *Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles*. *J. Sediment. Petrol.*, 11, 64–72.
- Lucchi F.R., Casa G.D., 1968, *Surface textures of desert quartz grains. A new attempt to explain the origin of desert frosting*. *Giornale di Geologia*, 2, XXXVI, 751–776
- Mycielska-Dowgiałło E., 1993, *Estimates of Late Glacial and Holocene aeolian activity in Belgium, Poland and Sweden*. *Boreas*, 22, 165–170.
- Mycielska-Dowgiałło E., Dłużewski M., Pękalska A., Smolska E., Szwarczewski P., Woronko B., 1997, *Development of Dunes in Southern Tunesia as an Effect of the Processes of Desertification. Preliminary Study*. *Acta Universitatis Carolinae, Geographica*, 32, Supplem., 109–120.
- Mycielska-Dowgiałło E., 1988, *Cechy urzeźbienia powierzchni ziarn kwarcu z wydm różnych regionów świata* [w:] E. Mycielska-Dowgiałło (red.), *Geneza osadów i gleb w świetle badań w mikroskopie elektronowym*. Wyd.UW, Warszawa, 47–54.
- Mycielska-Dowgiałło E., Woronko B., 1996, *Urzeźbienie powierzchni ziarn kwarcowych z wybranych wydm pustyni Negev (Izrael) w świetle wyników uzyskanych różnymi metodami*, [w:] T. Szczypek, J. Wach (red.), *Współczesne oraz kopalne zjawiska i formy eoliczne. Wybrane zagadnienia*. Uniwersytet Śląski, 86–92.
- Mycielska-Dowgiałło E., Woronko B., 1999, *Genetic-climatic interpretation of mineral deposits in section N and section perpendicular of it*. *Polish Archaeology in the Mediterranean*, X Raport 1998, 107–112.
- Mycielska-Dowgiałło E., Woronko B., 1998, *Analiza obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej i jej wartość interpretacyjna*. *Przegl. Geol.*, 46, 1275–1281.

- Mycielska-Dowgiałło E., Dłużewski M., Pękalska A., Smolska E., Szwarczewski P., Woronko B., 1998, *Rzeczony wydm na wybranych obszarach północnej Sahary jako efekt pustynnienia*, [w:] T. Szczypek, J. Wach J. (red.), *Współczesne procesy eoliczne*. WNoZ UŚ, Sosnowiec, 41–60.
- Pell S.D., Chivas A.R., 1995, *Surface features of sand grains from the Australian Continental Dunefield*. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 113, 119–132.
- Tsoar H., Pye K., 1990. *Aeolian Sand and Sand Dune*. Unwin Hyman, London.
- Woronko B., 2000, *The influence of climatic conditions on the surface character of aeolian sand quartz grains*, [w:] R. Dulias., J. Pełka-Gościński (red.), *Aeolian processes in different landscape zones*. Sosnowiec, 18–27.
- Woronko B., 2001, *Znaczenie analizy obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej w interpretacji genetycznej osadów czwartorzędowych*, [w:] E. Mycielska-Dowgiałło (red.), *Eolizacja osadów jako wskaźnik stratygraficzny czwartorzędu*. Warszawa, 33–39.
- Woronko B., 2003, *Charakter powierzchni ziaren jako wskaźnik stopnia eolizacji osadów wydmyowych*, [w:] M. Dłużewski (red.), *Współczesna ewolucja środowiska przyrodniczego regionu Coude du Dra (Maroko)*. Wydawnictwo „Dialog”, Warszawa, 121–134.
- Wright J., Smith B., Whalley B., 1998, *Mechanism of loess-size quartz silt production and their relative effectiveness: laboratory simulations*. *Geomorphology*, 23, 15–34.