

Analiza obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej i jej wartość interpretacyjna

Elżbieta Mycielska-Dowgiało*, Barbara Woronko*

Analiza obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej ma duże znaczenie przy rekonstrukcji środowisk sedymentacji, dynamiki i długości transportu oraz warunków klimatycznych. Najbardziej wszechstronną analizę można przeprowadzić stosując mikroskop optyczny a w przypadkach wątpliwych skaningowy mikroskop elektronowy (SEM). Wykorzystując podział obtoczenia ziarn według Krumbeina (1941) oraz klasyfikację stopnia obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych według Cailleuxa (1942) autorki proponują siedem grup ziarn: nieobrobione, matowe okrągłe, błyszczące okrągłe, matowe pośrednie, błyszczące pośrednie, pęknięte oraz inne.

Słowa kluczowe: analiza obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych

Elżbieta Mycielska-Dowgiało & Barbara Woronko — **Rounding and frosting analysis of quartz grains of sand fraction, and its interpretative value.** Prz. Geol., 46: 1275–1281.

S u m m a r y. Rounding and frosting analysis of quartz grains has a particular informative value. It enabled the authors to recognize the sedimentation environment, the dynamic and duration of transport, as well as the climatic conditions. Rounding and frosting analysis of quartz grains may be carried out in optical microscope and in the case of doubt — in the electron microscope (SEM). The authors distinguished seven classes of rounding and frosting of quartz grains basing of the Krumbein scale (Fig.1) and the modified Cailleux classification: angular, frosted, shiny, transitional frosted, transitional shiny and broken grains (Fig.2). The last group comprises all other grains.

Key words: rounding and frosting, analysis of quartz grains

W badaniach sedymentologicznych osadów czwartorzędowych stosuje się powszechnie analizę stopnia obtoczenia ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej. Do najbardziej popularnych metod stosowanych w Polsce należy metoda Morawskiego (1955) i Krygowskiego (1964). Znacznie rzadziej do analizy stopnia obtoczenia ziarn dołącza się klasyfikacje charakteru ich powierzchni. Analizę łączoną, dotyczącą stopnia obtoczenia ziarn i charakteru ich powierzchni, po raz pierwszy zastosował Cailleux (1942) wyróżniając trzy typy ziarn (Cailleux, 1961): nieobtoczone (NU), obtoczone błyszczące (EL) i okrągłe matowe (RM). Metodę Cailleux po raz pierwszy na szeroką skalę zastosowała w Polsce Balińska-Wuttke (1963), uzupełniając klasyfikację autora o typ pośredni (EM). Dalsze uzupełnienia do tej klasyfikacji wprowadził Goździk (1973, 1980, 1995), wydzielając grupę ziarn pękniętych (C), zaś Klatkowa (1982) i Nalewajko (1982) podzielili ją jeszcze dalej na grupę ziarn pękniętych obtoczonych błyszczących (C_L) i pękniętych obtoczonych matowych (C_M).

Ostatnie lata przyniosły ogromny rozwój badań mikromorfologii powierzchni ziarn kwarcowych w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) zarówno w Polsce jak i na świecie, co pozwoliło na pełniejszą klasyfikację typu zmatowienia ziarn kwarcowych obserwowanych dotychczas jedynie w mikroskopie optycznym (Goździk & Mycielska-Dowgiało, 1982, 1988). Higgs (1979) zastosował po raz pierwszy w SEM analizę ilościową form abrazyjnych i wietrzeniowych na powierzchni ziarn kwarcowych w celu określenia genezy ziarn. Badając osady lessowe w Polsce podobną analizę przeprowadziła Rywocka-Kenig (1997).

Cel i metody pracy

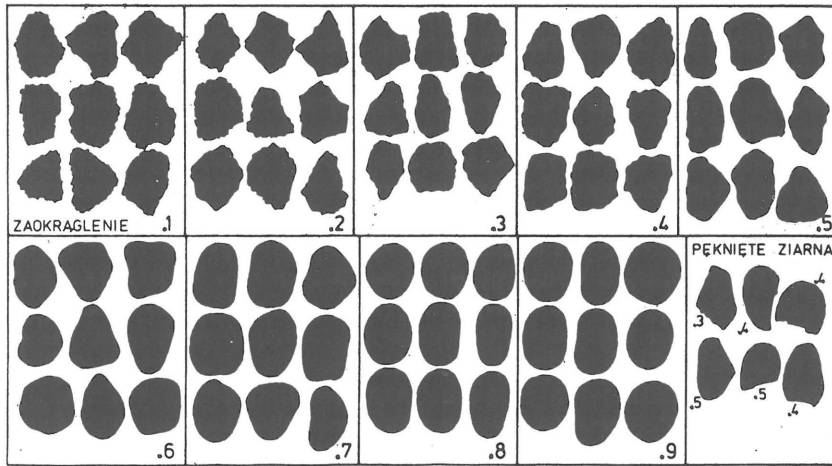
Celem przedstawionego artykułu jest przybliżenie polskiemu czytelnikowi metody badania obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej z zastosowaniem mikroskopu optycznego i elektronowego, jak również wykazanie jej interpretacyjnej wartości. Do badań obtoczenia i zmatowienia ziarn wyseparowuje się najczęściej ziarna kwarcowe w przedziałach wielkości 0,5–0,8 i 0,8–1,0 mm. W celu usunięcia domieszek węglanowych przemycywa się je w 10% HCL, a następnie płucze w wodzie destylowanej.

Pierwszy etap prac dotyczy klasyfikacji ziarn pod mikroskopem optycznym, w świetle odbitym. Dla tej analizy wybiera się 100–200 ziarn kwarcowych, a następnie z charakterystycznych dla danej próbki grup ziarn wyseparowuje się w odpowiedniej proporcji 12 ziarn do analizy w SEM, jeżeli jest ona konieczna (Mycielska-Dowgiało, 1995). Dla klasyfikacji stopnia obtoczenia autorki proponują (za Goździkiem, 1980, 1995) podział ziarn w skali Krumbeina (1941) (ryc. 1). Następnie należy ją połączyć z oceną stopnia zmatowienia powierzchni (ryc. 2). Pozwala to na wydzielenie siedmiu grup ziarn. Symbole grup odpowiadają francuskim terminom a liczba określa stopień obtoczenia według Krumbeina.

1. Nieobrobione (NU); 0,1–0,2.
2. Matowe okrągłe (RM); $\geq 0,7$.
3. Błyszczące zaokrąglone (EL); $\geq 0,7$.
4. Matowe pośrednie (EM/RM); 0,3–0,6.
5. Błyszczące pośrednie (EM/EL); 0,3–0,6.
6. Pęknięte (C).
7. Inne.

Wydzielenie grupy ziarn „nieobrobionych” nie stwarza trudności nawet dla niewprawnego obserwatora. Zalicza się tu ziarna całkowicie kanciaste, ze świeżymi krawędziami i narożami bez wtórnej obróbki. Powstanie tych ziarn jest najczęściej łączone z wietrzeniem mrozowym. Dużą ich

*Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa



Ryc. 1. Wzorec wizualnej oceny stopnia obtoczenia ziarn wg Krumbeina (1941)
Fig. 1. Chart of visual evaluation of the degree of particle roundness acc. to Krumbein (1941)

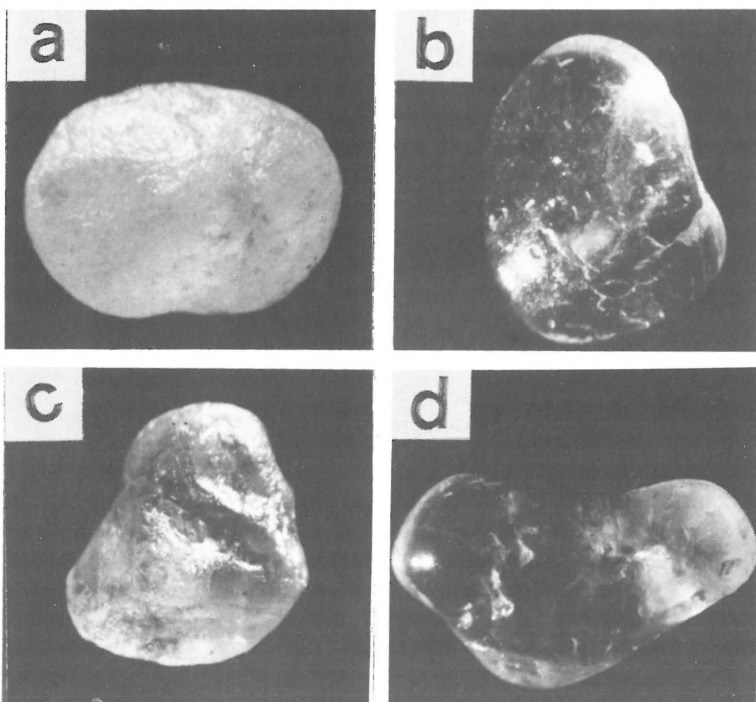
ilość spotyka się również w glinach morenowych. Wyjaśnienie tego zjawiska zostanie omówione w dalszej części artykułu.

Grupa ziarn matowych obejmuje ziarna o wysokim stopniu obtoczenia i o matowej powierzchni (ryc. 2a–5). W tej grupie ziarn wprawne oko obserwatora potrafi łatwo wyróżnić ziarna w pełni matowe, które całkowicie nie przepuszczają promieni odbitych w mikroskopie optycznym. Ziarna o tym typie zmatowienia i obtoczenia są najbardziej powszechne w osadach czwartorzędowych w Polsce i są niewątpliwie genezy eolicznej (Mycielska-Dowgiałło, 1988b). Równocześnie ich procentowy skład w osadach różnej genezy, wieku i położenia jest niejednakowy. Na ogół niższy w osadach glacialnych — wyraźnie wzrasta w osadach rzecznej i eolicznej genezy (w osadach rzecznych ziarna matowe są na wtórnym złożu). W przekroju czasowym wzmożony udział ziarn matowych zauważa się w Polsce w osadach (niezależnie od ich genezy) akumulowanych w okresie poprzedzającym zlodowacenie środkowopolskie i w czasie schyłku ostatniego zlodowacenia. W przekroju południko-

wym przez Polskę udział ziarn matowych rośnie z północy ku południowi (Goździk, 1991).

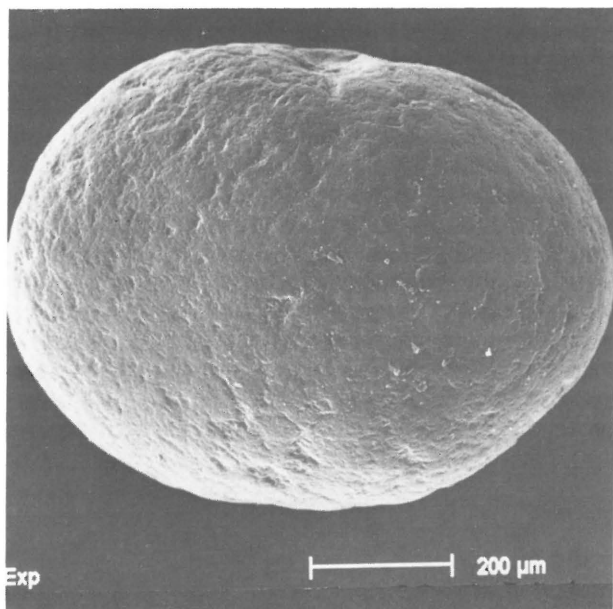
Do grupy ziarn matowych należy zaliczyć również ziarna o płytkim zmatowieniu. Obserwacja w świetle odbitym w mikroskopie optycznym sprawia wrażenie, że błyszczą one poniżej zewnętrznej powierzchni matowej. Równocześnie cała powierzchnia ziarna robi wrażenie postrzępionej. Wyróżnienie tej grupy ziarn w mikroskopie optycznym jest trudne dla niewprawnego oka, równocześnie bardzo łatwe dla każdego przy zastosowaniu mikroskopu elektronowego. Są to ziarna o znacznym stopniu oskorupienia bezpostaciową krzemionką. Są one charakterystyczne dla obszarów z niedoborem wilgoci, gdzie potencjalne parowanie często wielokrotnie przewyższa ilość opadów. Oskorupianie może być równoczesne z procesami eolicznymi, wówczas powierzchnia ziarna jest ospowata (Mycielska-Dowgiałło, 1992) (ryc. 6, 7). Niekiedy skorupa krzemionkowa wraz z zaznaczoną na niej abrazją eoliczną może pokrywać rzeźbę innej genezy (np. plażowej) (Mycielska-Dowgiałło i in., w druku) (ryc. 8, 9). Ten typ ziarn został opisany z pustyni Negev w Izraelu (Mycielska-Dowgiałło & Woronko, 1996). W przypadku zastosowania analizy obtoczenia ziarn w graniformetrze spychaczowym Krygowskiego cała grupa ziarn matowych mieści się na ogół w grupie ziarn staczającej się przy nachyleniu płytki szklanej od 0–8°.

Do trzeciej z wyróżnionych grup ziarn należą ziarna błyszczące. Charakteryzują się one wysokim stopniem obtoczenia i wygładzoną



Ryc. 2. Ziarna kwarcowe o różnym stopniu obtoczenia i zmatowienia widziane w mikroskopie optycznym, a — ziarno matowe (RM), b — ziarno błyszczące (EL), c — ziarno matowe pośrednie (EM/RM), d — ziarno błyszczące pośrednie (EM/EL)

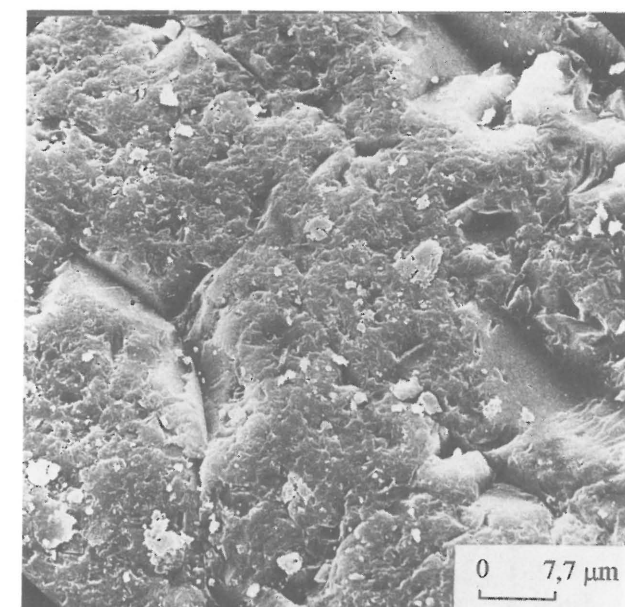
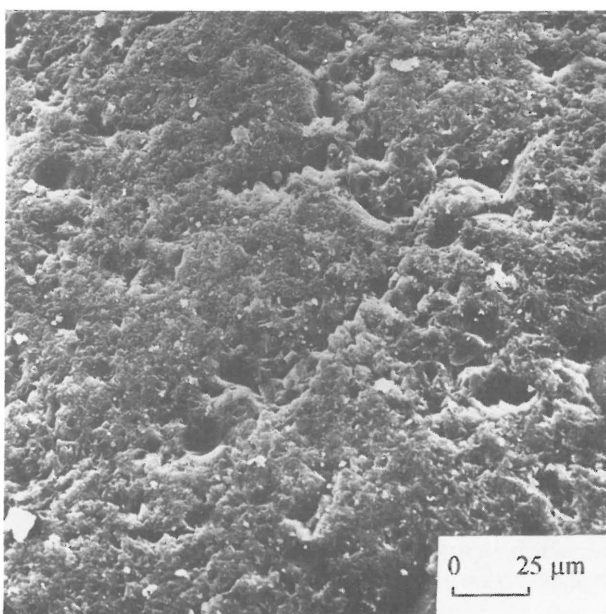
Fig. 2. Quartz grains of various degree of rounding and frosting, in optical microscope, a — frosted grain (RM), b — shiny grain (EL), c — transitional frosted grain (EM/RM), d — transitional shiny grain (EM/EL)



Ryc. 3. Ziarno kwarcowe matowe w SEM
Fig. 3. Frosted quartz grain in SEM

powierzchnią. Są łatwe do rozpoznania w mikroskopie optycznym (ryc. 2b). Powstają one w wysokoenergetycznym środowisku wodnym (np. plażowym) i charakteryzują się łatwo do rozróżnienia mikrorzeźbą, widoczną w mikroskopie elektronowym (ryc. 10, 11) (Mycielska-Dowgiałło, 1988a).

W grupie ziarn błyszczących, podobnie jak i w grupie ziarn matowych, można wyróżnić w mikroskopie optycznym ziarna o płytkim zmatowieniu. Równocześnie na ziarnach tych błyszczenie podpowierzchniowe jest na ogół wyraźniejsze. Ziarna o typie delikatnego zmatowienia błyszczącej powierzchni charakteryzują się silnie wyrównaną powierzchnią. I znów wyróżnienie ich w mikroskopie optycznym wymaga wprawnego oka, natomiast w mikroskopie elektronowym jest łatwe i nie budzi wątpliwości (Mycielska-Dowgiałło, 1988a). Do tej grupy należą ziarna o genezie wodnej wysokoenergetycznej (np. plażowej), które były formowane przy współdziałaniu intensywnych procesów wietrzenia chemicznego (ryc. 12, 13). Są opisywane jako charakterystyczne dla piasków plażowych Florydy (Setlow,



Ryc. 5. Powiększony fragment powierzchni ziarna kwarcowego matowego (ryc. 4) w SEM. Świeże nacięcia i starta powierzchnia wypukła
Fig. 5. Magnified fragment of the surface of frosted quartz grain (Fig. 4) in SEM. Fresh incisions and attrition of convex fragments are visible

1978), Konga, Indii (Mycielska-Dowgiałło, 1988a), jak również zostały rozpoznane z osadów kopalnych, np. z piasków plioceńskich z Bełchatowa i mioceńskich z Konina (Goździk & Mycielska-Dowgiałło, 1982, 1988).

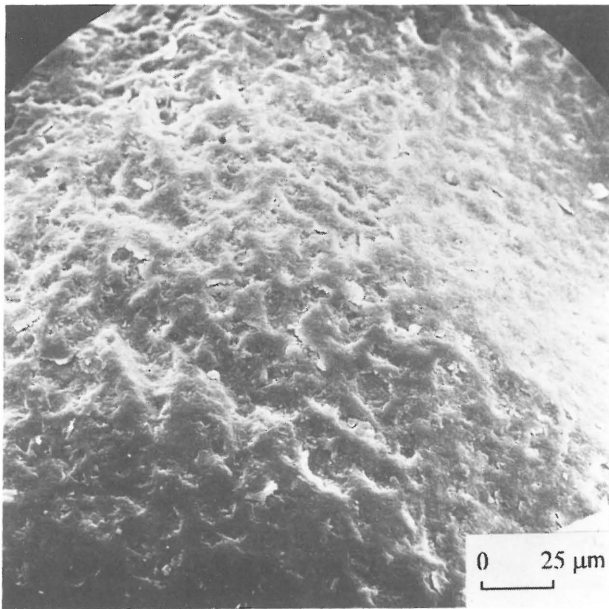
Grupa ziarn matowych pośrednich obejmuje szeroką grupę ziarn pośrednich pod względem obtoczenia, jak i zmatowienia. Do tej grupy należą ziarna o zróżnicowanym stopniu obtoczenia, od 0,3–0,6 wg klasyfikacji Krumbeina (ryc. 2c).

Do grupy ziarn matowych pośrednich zalicza się ziarna zarówno całkowicie matowe, ale o niższym stopniu obtoczenia jak i ziarna błyszczące lub nieobrobione o zmatowiałych jedynie krawędziach i narożach (ryc. 14). W środowisku eolicznym najbardziej wypukłe fragmenty ziarna są narażone w pierwszej kolejności na abrazyję eoliczną, na nich również najczęściej możemy obserwować rzeźbę charakterystyczną dla tego środowiska. W przypadku wątpliwości warto uzupełnić analizę w mikroskopie optycznym analizą w SEM.

W przypadku całkowicie matowych ziarn, ale o niższym stopniu obtoczenia obserwacja ich powinna być ukierunkowana na wychwyceniu różnych typów matowości opisanych przy omawianiu grupy ziarn matowych. Ziarna błyszczące

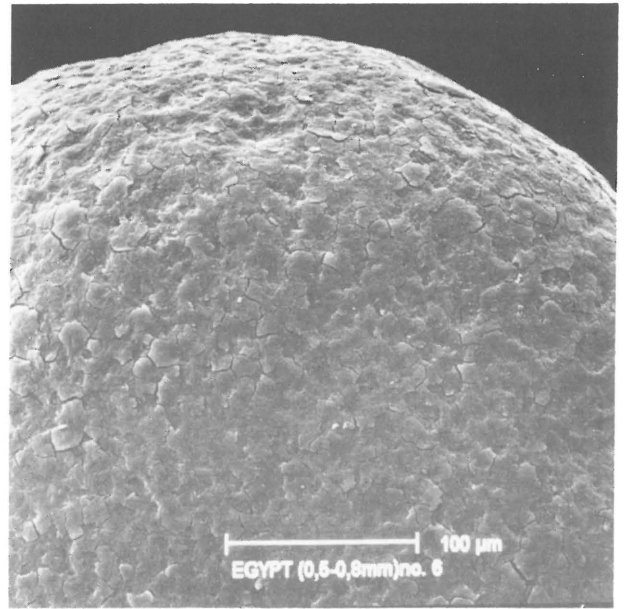
Ryc. 4. Fragment powierzchni ziarna kwarcowego matowego w SEM. Widoczne V-kształtne i półkolisty nacięcia. Fragmenty wypukłe powierzchni silnie starte i zluszczone. Mikromorfologia charakterystyczna dla środowiska eolicznego umiarkowanego i zimnego klimatu

Fig. 4. Fragment of the surface of frosted quartz grain in SEM. V-shaped and semicircular incisions are visible. Convex fragments of surface are strongly abraded and chipped. Texture of aeolian environment characteristic of temperate and cold climate



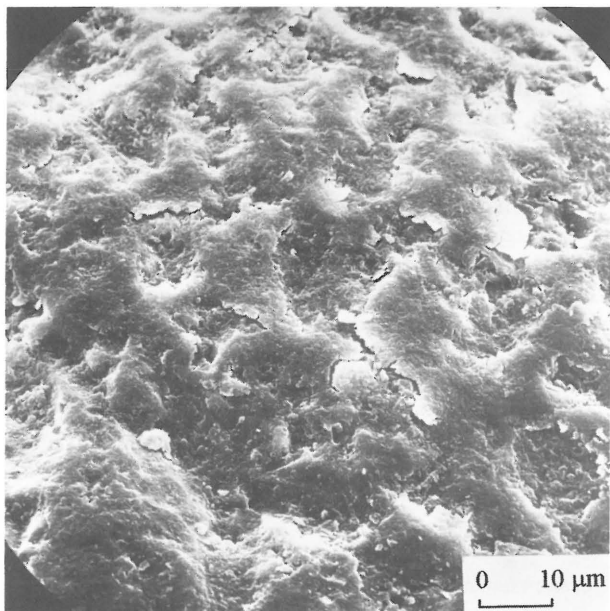
Ryc. 6. Fragment powierzchni ziarna kwarcowego matowego w SEM (o „płytkim” zmatowieniu w mikroskopie optycznym) (Erg Admer–Algeria). Rozwój skorupy krzemionkowej pokrywającej ziarno jest równoczesne z formowaniem się ospowatej rzeźby eolicznej. Mikrorzeźba charakterystyczna dla środowiska eolicznego z gorącego i suchego klimatu

Fig. 6. Fragment of the surface of frosted quartz grain in SEM, (Erg Admer, Algeria) classified as only „superficially” frosted in optical microscopy. Development of amorphous silica cover synchronous with formation of pitting aeolian relief. Texture of aeolian environment characteristic of warm and dry climate



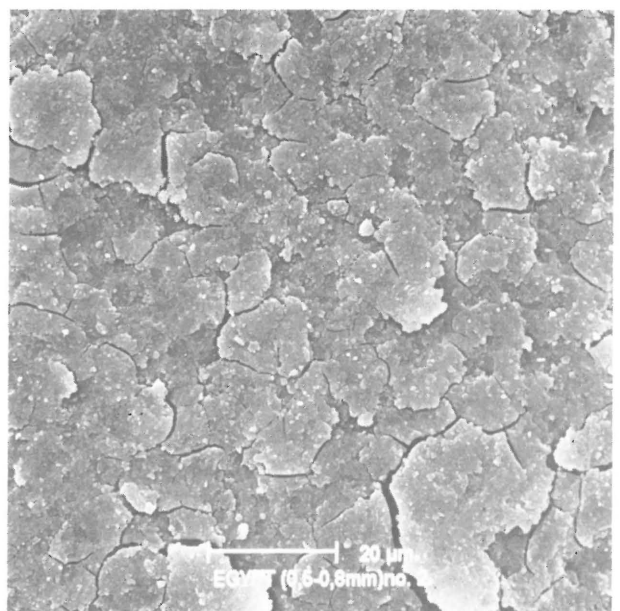
Ryc. 8. Matowe ziarno kwarcowe w SEM o „płytkim” zmatowieniu w mikroskopie optycznym (oaza Kharga, środkowy Egipt). Skorupa bezpostaciowej krzemionki pokrywa ziarno o wysokim stopniu obtoczenia (przypuszczalnie ze środowiska wysokoenergetycznego wodnego). Powierzchnia skorupy jest ospowata, uformowana przez abrazję eoliczną

Fig. 8. Frosted quartz grain in SEM (oasis Kharga, central part of Egypt) classified as only „superficially” frosted in optical microscopy. Amorphous silica covers the grain of a high degree of rounding (probably from the environment of high energy water). The pitted cover surface is formed by aeolian abrasion



Ryc. 7. Powiększony fragment poprzedniego ziarna (ryc. 6). Złuszczona pokrywa bezpostaciowej krzemionki i ospowata powierzchnia ziarna

Fig. 7. Magnified fragment of the above shown grain (Fig. 6). Pitted surface and chipped cover of amorphous silica

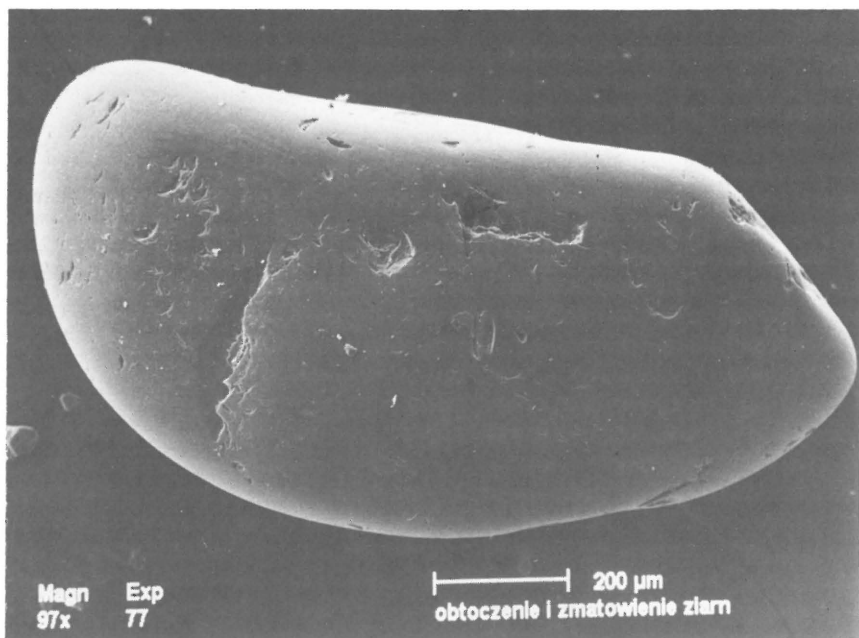


Ryc. 9. Fragment matowego ziarna kwarcowego (ryc. 8) w SEM. Widoczna spękana skorupa amorficznej krzemionki

Fig. 9. Fragment of quartz grain (Fig. 8) in SEM. Cracked amorphous silica cover is visible

lub nieobrobione o matowych jedynie krawędziach i narożach natomiast, zaliczane też do grupy ziarn matowych

pośrednich, są najczęściej związane z oddziaływaniem krótkotrwałym środowiska eolicznego modelującym ziarna o wcześ-



Ryc. 10. Ziarno błyszczące o wygładzonej powierzchni (SEM), z różnej wielkości nacięciami. Mikromorfologia charakterystyczna dla wysokoenergetycznego środowiska wodnego (np. plaża) klimatu umiarkowanego

Fig. 10. Shiny quartz grain in SEM, with incisions of various size. Texture characteristic of the high energy water environment of temperate climate (e.g. beach zone)

niejszej innej genezie (Mycielska-Dowgiałło, 1988c, 1992, 1993). W przekroju południkowym przez Polskę wysoki udział ziarn matowych ulega obniżeniu z południa ku północy na korzyść wzrastającego w tym kierunku udziału ziarn pośrednich matowych. W ten sposób została zapisana długość trwania procesów eolicznych, ograniczona na północy Polski długimi okresami z pokrywą lodolodów (Goździk, 1991).

Grupa ziarn błyszczących pośrednich obejmuje szeroką pod względem stopnia obtoczenia (0,3–0,6 wg skali Krumbeina) grupę ziarn (ryc. 2d). Należą do niej wyłącznie ziarna całkowicie błyszczące. Autorki zalecają zwrócenie baczniejszej uwagi na krawędzie i naroża czy nie zaznaczają się na nich ślady zmatowienia (w takim przypadku należałoby dołączyć te ziarna do grupy poprzedniej). Ziarna błyszczące

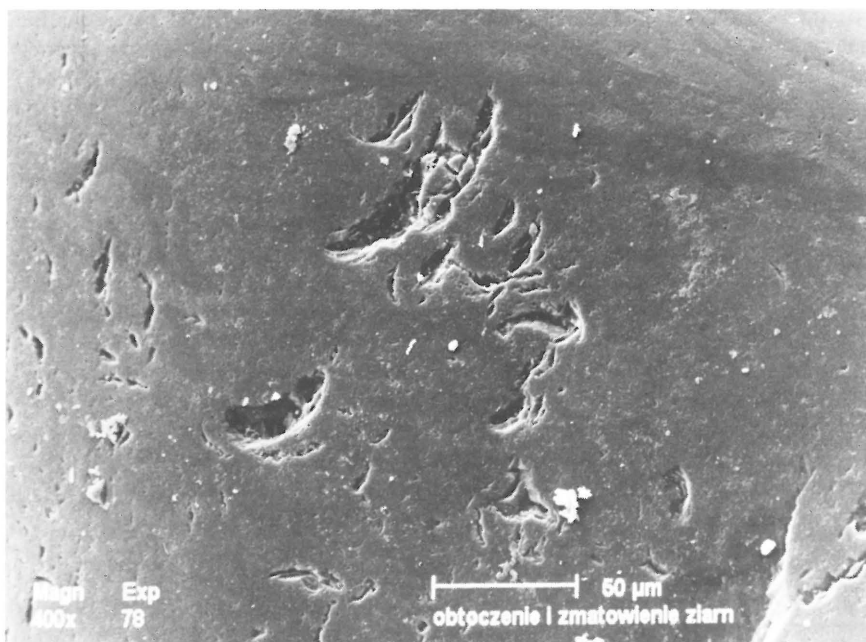
pośrednie są związane, podobnie jak ziarna błyszczące, z wysokoenergetycznym środowiskiem wodnym. Niższy stopień ich obtoczenia sugeruje krótszy czas oddziaływania tego środowiska.

Do grupy ziarn pękniętych zaliczono (Goździk, 1980) wszystkie te ziarna, w których ubytek wywołany pęknięciem przekroczył 30% pierwotnego ziarna. Grupę tą można traktować łącznie, niezależnie do której grupy ziarna pęknięte należą lub też oddzielnie, jak proponowali Klatkova (1982) i Nalewajko (1982).

Ostatnia grupa: inne — dotyczy ziarn niemieszczących się w wyróżnionych grupach. Należą tu np. ziarna o mikrorzeźbie powierzchni, powstałej pod wpływem intensywnych procesów wietrzenia mechanicznego np. mrozowego. Jak dotychczas ten typ rzeźby powierzchni ziarna jest trudny do odróżnienia od rzeźby będącej efektem abrazji mechanicznej. Dla tej grupy ziarn analiza w SEM jest ogromnie pomocna w ustaleniu genezy badanego ziarna.

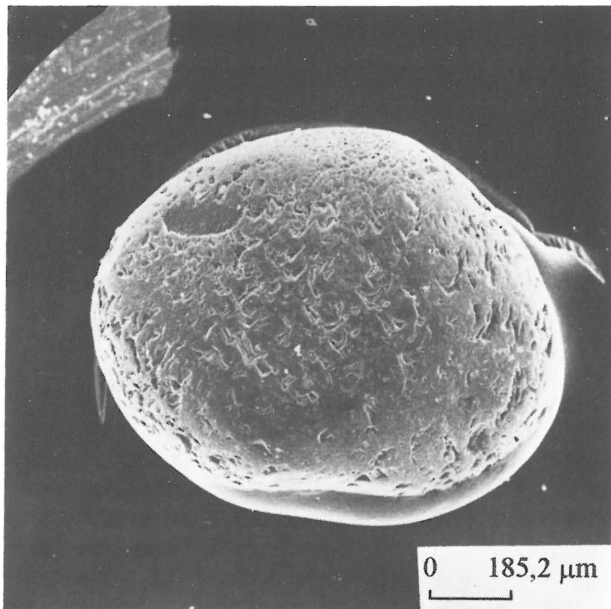
Wartość interpretacyjna analizy obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej

Obtoczenie i zmatowienie ziarn kwarcowych, obserwowane w mikroskopie optycznym oraz mikromorfologia ich powierzchni, analizowana w SEM, są jednymi z ważniejszych cech teksturalnych osadów, pozwalających na wyróżnienie środowisk sedymentacyjnych, dynamiki transportu, jak również warunków klimatycznych (Mycielska-Dowgiałło, 1995). Szczególnie duże znaczenie mają one dla wyróżnienia osadów ze środowisk eolicznych i plażowych, z różnych stref klimatycznych świata (Mycielska-Dowgiałło, 1988a, 1988b) oraz poziomów wietrzeniowych, zarówno wietrzenia chemicznego



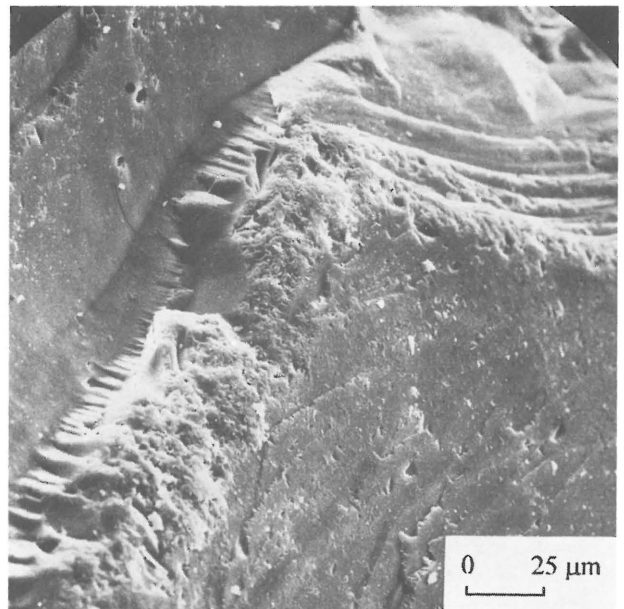
Ryc. 11. Fragment ziarna błyszczącego (ryc.10) w SEM z półkolistymi nacięciami

Fig.11. Fragment of shiny grain (fig.10) in SEM, with semicircle incisions



Ryc. 12. Ziarno kwarcowe błyszczące w SEM (o „płytkim” zmatowieniu w mikroskopie optycznym). Mikromorfologia charakterystyczna dla wysokoenergetycznego środowiska wodnego (np. plaża) klimatu gorącego wilgotnego. Abrazja mechaniczna była równoczesna z trawieniem powierzchni ziarna

Fig. 12. Shiny quartz grain in SEM („superficially” frosted in optical microscopy). Textural characteristic of the high energy water environment of hot wet climate (e.g. beach zone). Mechanical abrasion synchronous with chemical etching of grain surface



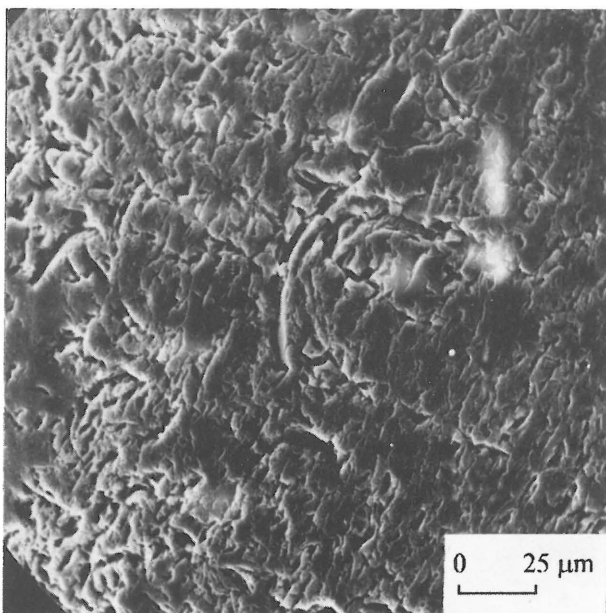
Ryc. 14. Fragment ziarna kwarcowego błyszczącego-pośredniego w SEM, o zniszczonych abrazją eoliczną krawędziach

Fig. 14. Fragment of transitional-shiny quartz grain in SEM with edges modified by aeolian mechanical abrasion

go jak i fizycznego. Ze stopnia zaawansowania przekształcenia powierzchni ziarna można również określić czas trwania procesu (Mycielska-Dowgiało, 1992). Równocześnie w proponowanej analizie mikromorfologii powierzchni ziarn kwarcowych w SEM autorki nie proponują analizy półilościowej występowania charakterystycznych mikroform rzeźby (Higgs, 1979; Rywocka-Kenig, 1997), gdyż uważają, że większe znaczenie niż zagęszczenie wyróżnionych form na powierzchni całego ziarna ma miejsce ich występowania w obrębie ziarna. W tym świetle rozpatrywać w SEM należy osobno powierzchnie wypukłe (narażone głównie na abrazję mechaniczną) i fragmenty wklęsłe (szczególnie po-

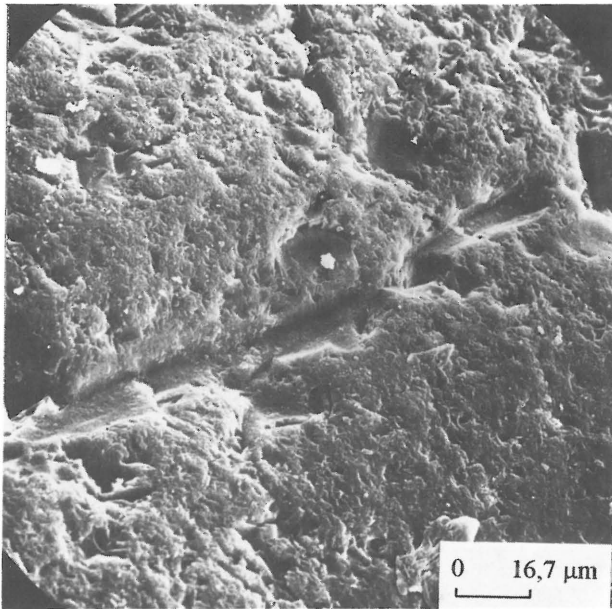
datne na wietrzenie chemiczne i fizyczne). Z tą poprawką zastosowana analiza półilościowa występowania charakterystycznych form może mieć szczególne znaczenie dla rekonstrukcji historii rozwoju powierzchni danego ziarna, a nie tylko określenie ostatniego procesu formotwórczego, który widoczny na znaczącym procesie ziarn świadczy o genezie całego osadu.

Wracając do proponowanej analizy ziarn kwarcowych w mikroskopie optycznym i SEM należy zdać sobie sprawę z ograniczeń tej metody badawczej. Na ziarnach kwarcu frakcji piaszczystej nie jest rozpoznawalna działalność abrazyjna wód rzecznych. Jest ona za mało dynamiczna i za krótko trwająca aby pozostawić zauważalne ślady na powierzchni ziarna kwarcowego (Linde & Mycielska-Dowgiało, 1980). Równocześnie ostatnie badania symulacyjne wydają się wskazywać, że w bardzo dynamicznym środowisku wody płynącej (fluwialnym i fluwioglacjalnym), przy znacznym zróżnicowaniu frakcyjnym osadu można spodziewać się powstania mikromorfologii powierzchni ziarn charakterystycznej dla wysokoenergetycznego środowiska wodnego (Wright, 1998). Z naszych badań wynika, że jedynie wysokoenergetyczne środowisko plażowe, w którym ziarna piasku przebywają drogę wielokrotnie dłuższą niż w najdłuższych rzekach świata, powoduje wytworzenie charakterystycznej mikrorzeźby powierzchni.



Ryc. 13. Fragment ziarna błyszczącego (ryc. 12) w SEM. W obrębie wygładzonej powierzchni widoczne liczne nacięcia. Wiele z nich jest krystalograficznie ukierunkowanych

Fig. 13. Fragment of quartz grain (Fig.12) in SEM. On smoothed surface numerous incisions are visible. Some of them are crystallographically directed



Ryc. 15. Fragment ziarna kwarcowego matowego ze środowiska eolicznego (SEM) z wydłużonym nacięciem powstałym w czasie transportu w środowisku glacialnym

Fig. 15. Fragment of frosted quartz grain of aeolian environment (SEM), with elongated incision forming during transport in glacial environment

Również dyskusyjny w chwili obecnej jest wpływ działalności lodowcowej na ziarno kwarcu frakcji piaszczystej transportowanej w masie lodowej. Badania prowadzone w Bełchatowie wykazały konserwującą rolę lądolodu na mikromorfologię ziarna kwarcowego (Goździk & Mycielska-Dowgiało, 1982), duże nagromadzenie ziarn kanciastych w glinach morenowych zaś jest najprawdopodobniej związane z procesami wietrzenia mrozowego na przedpolu lądolodu oraz włączaniem ich poprzez egzarację podłoża w masę lądolodu. Równocześnie jednak na ziarnach pochodzących z glin morenowych napotyka się sporadycznie głębokie rysy i duże nacięcia (ryc. 15). Nie można wykluczyć, że powstały one w czasie transportu w masie lodowej.

Z głównym zarzutem, z którym spotyka się analiza obtoczenia i zmatowienia ziarn kwarcowych jest jej subiektywność. Obecnie jednak, gdy w przypadku wątpliwości w mikroskopie optycznym, możemy sięgnąć po mikroskop elektronowy zarzut ten traci rację bytu.

Literatura

- BALIŃSKA-WUTTKE K. 1963 — Badania morfometryczne ziarn piasków plejstocenijskich w dorzeczu Rawki, Biul. Geol. UW, 3: 3–67.
- CAILLEUX A. 1942 — Les actions Joliennes pJriglaciaires en Europe, Mm. Soc. G.Jol. de France, 41: 1–176.
- CAILLEUX A. 1961 — Application la geomorphologie des methodes d=Jtudes des sables et des galets, Universidade de Altos Brasil. Curso de Estudos Geographicos, Rio de Janeiro.
- GOŹDZIK J. 1973 — Geneza i pozycja stratygraficzna struktur peryglacialnych w środkowej Polsce, Acta Geogr. Lodz., 31: 1–17.
- GOŹDZIK J. 1980 — Zastosowanie morfometrii i graniformetrii do badań osadów w kopalni węgla brunatnego Bełchatów, Stud. Region., 4, PWN, Warszawa–Łódź.
- GOŹDZIK J. 1991 — Sedimentological record of aeolian processes from the Upper Plenivistulian and the turn of Pleni — and Latevistulian in Central Poland, [W:] S. Kozarski (red.) Late Vistulian (Weichselian) and Holocene Aeolian Phenomena in Central and Northern Europe., Zeitschr. f. Geomorph. N.F., Supplementband, 90.
- GOŹDZIK J. 1995 — Wybrane metody analizy kształtu ziarn piasku dla celów paleogeograficznych i stratygraficznych, [W:] Mycielska-Dowgiało E. i Rutkowski J. (eds), Metody badań osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników, Warszawa.
- GOŹDZIK J., MYCIELSKA-DOWGIAŁO E. 1982 — Badania wpływu

niektórych procesów geologicznych na przekształcenia powierzchni ziarn kwarcowych, Prz. Geogr., 54: 219–240.

GOŹDZIK J., MYCIELSKA-DOWGIAŁO E. 1988 — Geneza zmatowienia powierzchni dobrze zaokrąglonych ziarn kwarcu w świetle badań w mikroskopie elektronowym [W:] Mycielska-Dowgiało E. (ed.), Geneza osadów i glin w świetle badań w mikroskopie elektronowym, Wyd. U W.

HIGGS R. 1979 — Quartz — grain surface features of mesozoic-cenozoic sands from the Labrador and Western Greenland continental margins. J. Sed. Petr. 49: 599–510.

KLATKOWA H. 1982 — Utwory ablacyjne w regionie łódzkim, Acta Geogr. Lodz., 45: 1–75.

KRUMBEIN W. C. 1941 — Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles, J. Sed. Petrol., 11: 64–72.

KRYGOWSKI B. 1964 — Graniformetria mechaniczna. Teoria, zastosowanie, Pr. Kom. Geogr.-Geol. PTPN, 2: 4.

LINDE K. & MYCIELSKA-DOWGIAŁO E. 1980 — Some experimentally produced microtextures on grain surfaces of quartz sand, Geogr. Ann., 62A: 171–184.

MORAWSKI J. 1955 — Metoda badania morfologii ziarn piasku za pomocą powiększalnika fotograficznego, Ann. UMCS., ser. B., 10: 199–216.

MYCIELSKA-DOWGIAŁO E. 1988a — Cechy urzeźbienia powierzchni ziarn kwarcu z plaż różnych regionów klimatycznych świata, [W:] Mycielska-Dowgiało E. (ed.) — Geneza osadów i glin w świetle badań w mikroskopie elektronowym, Wyd. UW: 27–32.

MYCIELSKA-DOWGIAŁO E., 1988b — Cechy urzeźbienia powierzchni ziarn kwarcu z wydm różnych rejonów świata, [W:] Mycielska-Dowgiało E. (ed.), Geneza osadów i glin w świetle badań w mikroskopie elektronowym, Wyd. UW: 47–54.

MYCIELSKA-DOWGIAŁO E. 1988c — Stopień przekształcenia eolicznego wybranych cech teksturalnych osadów wydmowych południowej Szwecji, Pr. i Stud. Geogr., 9: 115–139.

MYCIELSKA-DOWGIAŁO E. 1992 — Desertification in the light of sedimentological features of dune deposits, Geogr. Pol., 60: 181–195.

MYCIELSKA-DOWGIAŁO E. 1993 — Estimates of Late Glacial and Holocene aeolian activity in Belgium, Poland and Sweden, Boreas, 22: 165–170.

MYCIELSKA-DOWGIAŁO E. 1995 — Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna, [W:] Mycielska-Dowgiało E. & Rutkowski J. (eds) — Metody badań osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników, Warszawa.

MYCIELSKA-DOWGIAŁO E., DŁUŻEWSKI M., PEKALSKA A., SMOLSKA E., SZWARCZEWSKI P. & WORONKO B. 1998 (w druku) — Development of Dunes in Southern Tunisia as an Effect of the Process of Desertification. Preliminary Study.

MYCIELSKA-DOWGIAŁO E. & WORONKO B. 1996 — Urzeźbienie powierzchni ziarn kwarcowych z wybranych wydm pustyni Negev (Izrael) w świetle wyników uzyskanych różnymi metodami, Współczesne oraz kopalne zjawiska i formy eoliczne. Wybrane zagadnienia, Uniwersytet Śląski: 76–85.

NALEWAJKO J. 1982 — Zróżnicowanie litofacjalne warciańskich glin morenowych w regionie łódzkim, Acta Geogr. Lodz., 44: 1–159.

RYWOCKA-KENIG K. 1997 — Mikrorzeźba powierzchni ziarn kwarcu w lessach. Pr. PIG, 155.

SETLOW L. 1978 — Age determination of reddened coastal dunes in northwest Florida, US, by use of scanning microscopy. [W:] Scanning electron microscopy in the study of sediments (ed. W.B. Whalley), Geoabstracts, Norwich, England.

WRIGHT J., SMITH B. & WHALLEY B. 1998 — Mechanisms of loess-sized quartz silt production and their relative effectiveness: laboratory simulation. Geomorphology, 23: 15–34.