

ANNALES  
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA  
LUBLIN – POLONIA

VOL. XLVIII, 12

SECTIO B

1993

Państwowy Instytut Geologiczny  
Zakład Geologii Czwartorzędu (Warszawa)

Krystyna KENIG

**Less w profilu Nieledew w świetle badań litologicznych i mikroskopii elektronowej**

Loess in the Nieledew Profile in the Light of Lithological Studies and Electron Microscope Investigations

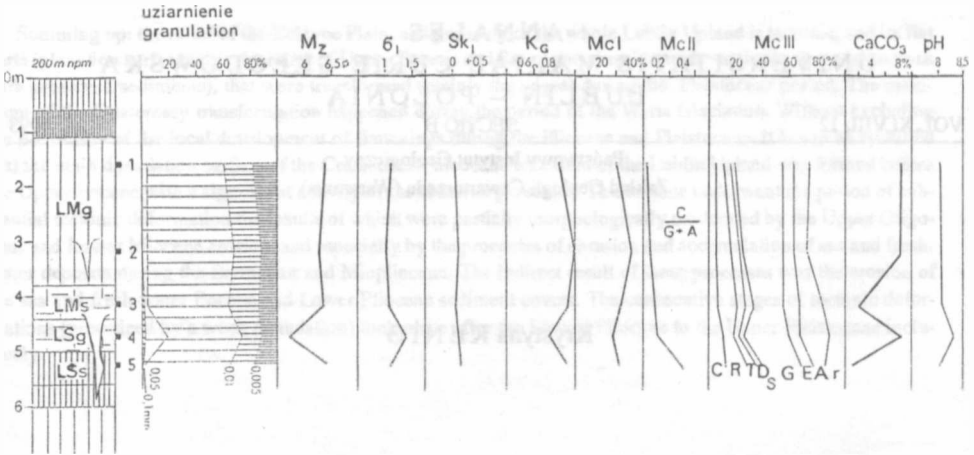
Profil lessowy w Nieledewi należy do lepiej udokumentowanych litostratygraficznie, o charakterze reperowym, profili w Polsce i od dawna cieszył się zainteresowaniem wielu badaczy. Dlatego też stanowił odpowiednią podstawę do zastosowania przez autorkę nowego narzędzia metody sedymentologicznej, jaką stanowi analiza mikrorzeźby powierzchni ziarn kwarcu z lessów w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM).

Profil ten opisany został po raz pierwszy przez J. Trembaczowskiego, a następnie dokładne badania podjął J. E. M o j s k i (1972). W następnych latach zajmowało się nim wielu autorów, m.in. L. D o l e c k i (1987), a ostatnio na podstawie wyników TL oraz badań litologicznych interpretuje je H. M a r u s z c z a k (1991 b), podając historię badań.

Profil Nieledew znajduje się w dolnej części lewego eksponowanego na zachód, zbocza doliny Białki, dopływu Huczwy, w odległości około 6 km od Hrubieszowa w kierunku Grabowca. Próby do badań pochodzą z dobrze czytelnej części odsłonięcia opisanej przez J. E. M o j s k i e g o (1972), znajdującej się około 100 m na północ od pieca starej cegielni (odsłonięcie „A” wg H. M a r u s z c z a k a 1991 b). Podział stratygraficzny i nazwy poziomów lessowych dostosowane zostały do wyników uwzględniających datowanie TL (H. M a r u s z c z a k 1991a).

CHARAKTERYSTYKA LITOLOGICZNA PROFILU NIELEDEW

Analizy litologiczne wykonane są zgodnie z metodyką podaną przez K. Kenig (1994). Zespół cech litologicznych stanowi pełne tło, do którego nawiązują wyniki mikrorzeźby powierzchni ziarn kwarcu występującego w osadzie lessowym. Ziarna te podlegały bowiem takim samym wpływom jak less, a dodatkowo posiadają też zapis cech



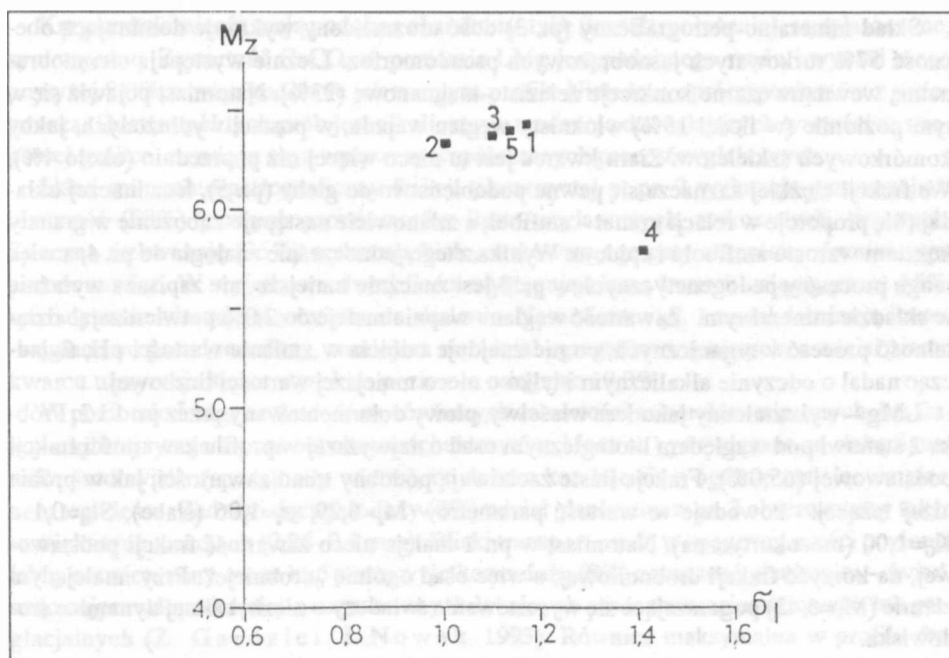
Ryc. 1. Profil Niedzwiedz, cechy litologiczne lessów. Parametry uziarnienia:  $M_z$  – średni rozmiar ziarna,  $\sigma_1$  – współczynnik wysortowania,  $Sk_1$  – współczynnik skośności,  $K_G$  – kurtioza. Minerality ciężkie:  $Mc_I$  – minerały nieprzezroczyste,  $Mc_{II}$  – współczynnik zwietrzenia: cyrkon/amfibol+granat,  $Mc_{III}$  – minerały przezroczyste: C – cyrkon, R – rutil, T – turmalin, D, S – dysten, staurolit, G – granat, E – epidot, A – amfibol, r – pozostałe Niedzwiedz profile, lithological features of loesses, Grain-size parameters:  $M_z$  – mean grain diameter,  $\sigma_1$  – sorting index,  $Sk_1$  – skewness index,  $K_G$  – kurtosis index. Heavy minerals:  $Mc_I$  – opaque minerals,  $Mc_{II}$  – weathering index: zircon/amphibole + garnet,  $Mc_{III}$  – transparent minerals: C – zircon, R – rutile, T – tourmaline, D – disthene, S – staurolite, G – garnet, E – epidote, A – amphibole, r – others

ich wcześniejszej historii. Prześledzenie tych wzajemnych relacji jest pomocne w końcowej interpretacji.

Poziom LSs wykształcony w postaci gleby interglacjalnej reprezentowany przez próbkę 5 (ryc. 1) pod względem litologicznym stanowi osad drobnopylasty, tj. z przeważającą zawartością frakcji podstawowej (0,05–0,01 mm) (63,8%) i prawie jednakowymi zawartościami obu frakcji ilastych (16–17%) (ryc. 2). Średnia średnica ziarna wynosi dla tego osadu  $M_z=6,40 \mu m$ , wysortowanie jest słabe. Krzywa uziarnienia charakteryzuje się skośnością dodatnią (jedyną w profilu) i jest mezokurtyczna ( $K_G=0,93$ ), stroma.

W składzie mineralno-petrograficznym frakcji piaszczystej (1,0–0,5 mm) główną masę (58%) stanowią fragmenty rurek po roślinach – pseudomorfoz ilasto-węglanowych, jasnobrunatnych. Pseudomorfozy te bardzo łatwo kruszą się, tworząc drobniejsze frakcje. Nieco mniej jest białych, wydłużonych skupień węglanowych typu pseudomorfoz. Ziarna kwarcu wyjątkowo liczne w tej próbce osiągają 8%. W składzie minerałów ciężkich frakcji 0,1–0,05 mm zaznacza się asocjacja granat–rutil–cyrkon, z najmniejszą w profilu zawartością amfibolu. Relatywnie wysoka wartość współczynnika zwietrzenia (0,45) potwierdza rangę osadu – z zaznaczonymi procesami pedogenezy. Osad ten jest w zasadzie odwapniony, zawiera tylko 1,6% węgla wapnia i wykazuje charakter alkaliczny, osiągając pH 8,03.

LSg (pr. 4) wykształcony w postaci lessu w facji deluwialno-eolicznej według H. M. Arusaćaka (1991 a, b) wyjątkowo odbiega cechami uziarnienia od pozostałych prób (poziomów). Maleje w nim zawartość frakcji podstawowej do 53,6%, osiągając najniższą wartość w profilu, kosztem wzrostu zawartości frakcji grubopyłowej do najwyższej w



Ryc. 2. Zależność parametrów uziarnienia  $M_z/\sigma_1$  profil Nieledew  
Relationship of grain-size parameters  $M_z/\sigma_1$  in the Nieledew profile

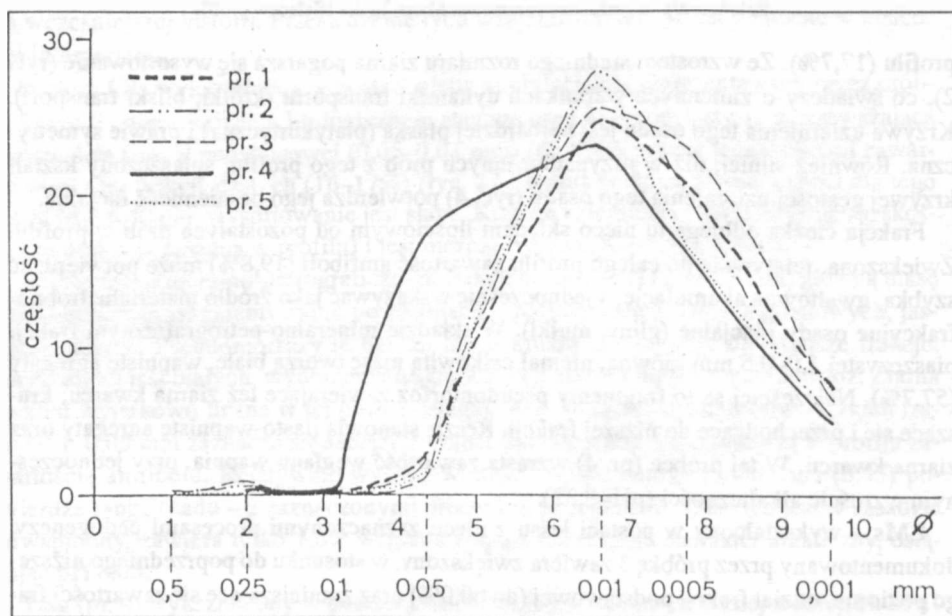
profilu (17,7%). Ze wzrostem średniego rozmiaru ziarna pogarsza się wysortowanie (ryc. 2), co świadczy o zmiennych warunkach dynamiki transportu (krótki, bliski transport). Krzywa uziarnienia tego osadu jest najbardziej płaska (platykurtyczna) i prawie symetryczna. Również silniej, niż w przypadku innych prób z tego profilu, spłaszczony kształt krzywej gęstości uziarnienia tego osadu (ryc. 4) potwierdza jego odmienność facjalną.

Fracja ciężka odbiega tu nieco składem ilościowym od pozostałych prób w profilu. Zwiększona, relatywnie do całego profilu zawartość amfiboli (19,8%) może potwierdzać szybką, gwałtowną akumulację, a jednocześnie wskazywać jako źródło materiału drobnofrakcyjne osady glacialne (gliny, mułki). W składzie mineralno-petrograficznym frakcji piaszczystej 1,0–0,5 mm główną, niemal całkowitą masę tworzą białe, wapniste agregaty (57,7%). Najczęściej są to fragmenty pseudomorfoz zawierające też ziarna kwarcu; kruszące się i przechodzące do niższej frakcji. Resztę stanowią ilasto-wapniste agregaty oraz ziarna kwarcu. W tej próbce (pr. 4) wzrasta zawartość węgla wapnia, przy jednoczesnym wzroście alkaliczności ( $\text{pH}=8,32$ ).

LMs – wykształcony w postaci lessu z nieco zaznaczonymi procesami pedogenezy, dokumentowany przez próbkę 3 zawiera zwiększony, w stosunku do poprzedniego niższego poziomu, udział frakcji podstawowej (do 60,0%) oraz zmniejszające się zawartości frakcji ilastych (23,1 i 14,0 %). Wartość  $M_z$  wzrasta do 6,38 phi,  $\sigma_1=1,1$  (słabe), krzywa nadal prawie symetryczna i stroma (mezokurtyczna). A więc osad ponownie staje się „drobniejszy”. Zawartość  $\text{CaCO}_3$  spada tu do 2,04%, a pH wynosi 8,14.

Skład mineralno-petrograficzny (pr. 3) dość urozmaicony wykazuje dominującą obecność 57% rurkowatych jasnobrązowych pseudomorfoz. Licznie występują ciemnobrunatne, wewnątrz czarne konkracje żelazisto-magnanowe (23%). Natomiast pojawia się w tym poziomie (w ilości 15%) włóknisty węglan wapnia, w postaci wydłużonych, jakby komórkowych szkieletów. Ziam kwarcu jest tu nieco więcej niż poprzednio (około 4%). We frakcji ciężkiej zaznacza się pewne podobieństwo do gleby (pr. 5), lecz inaczej układają się proporcje w relacji granat – amfibol, a mianowicie następuje zubożenie w granaty kosztem wzrostu amfibolu i epidotu. Wynika z tego jednocześnie analogia do pr. 4, a więc ranga procesów pedogenetycznych w pr. 3 jest znacznie mniejsza, nie zapisana wyraźnie w składzie mineralnym. Zawartość węglanu wapnia maleje do 2,0% potwierdzając działalność procesów organicznych, co nie znajduje odbicia w zmianie wartości pH, świadcząc nadal o odczynie alkalicznym i tylko o nieco mniejszej wartości liczbowej.

LMg – wylusztakony jako less właściwy, płowy dokumentowany przez pr. 1 i 2. Próbką 2 stanowi pod względem litologicznym osad o najwyższej w profilu zawartości frakcji podstawowej (65,0%). Frakcje ilaste zachowują podobny trend zawartości, jak w próbce niżej leżącej. Powoduje to wartość parametrów  $M_z=6,29$ ,  $\sigma_r=1,06$  (słabe),  $Sk_1=0,1$  a  $K_G=1,00$  (mezokurtyczna). Natomiast w pr. 1 maleje nieco zawartość frakcji podstawowej, na korzyść frakcji drobnoilastej, a więc osad ogólnie „drobniej”. Przy malejącym ziamie ( $M_z=6,43$ ) pogarszające się wysortowanie świadczy o niezbyt silnej dynamice środowiska.



Ryc. 3. Krzywa gęstości uziarnienia lessów z profilu Nieledeń  
Frequency curve of grain-size parameters of loesses from the Nieledeń profile

Krzywe uziarnienia mają podobną charakterystykę (kształt, położenie), są spłaszczone, symetryczne. Zawartość  $\text{CaCO}_3$  w poziomie LMg jest podobnego rzędu i wynosi nieco powyżej 8,0%, a więc podobnie jak w całym profilu Nieledeu, oprócz poziomów z pedogenezą. Odczyn pH tych prób jest alkaliczny, z tendencją do malejących wartości w stropowej próbce, co wiąże się z wpływem współczesnych procesów glebowych.

Skład mineralno-petrograficzny frakcji piaszczystej w pr. 2 wykazuje przeważającą obecność (58%) płowych pseudomorfoz ilasto-węglanowych, rurkowatych, kruchych. Znaczną frekwencję (25%) wykazują białe, rurkowane agregaty wapniste, również typu pseudomorfoz. W wyjątkowo dużej ilości występują ziarna kwarcu osiągające aż 15%, sporadycznie zdarzają się zwiertzałe skalenie. Natomiast w pr. 1 nadal dominują ilasto-węglanowe pseudomorfozy, zmniejsza się udział agregatów wapnistych, a udział ziaren kwarcu utrzymuje się na wysokim poziomie osiągając 19,0%.

W poziomie LMg, na tle dość wyrównanych zawartości minerałów odpornych, we frakcji ciężkiej rysuje się wzrost obecności chlorytów. Może to być związane ze słabą dynamiką środowiska (spadek siły wiatru), co dobrze koreluje się z ogólnie malejącym ziarnem tego lessu. Zadziwiający jest duży (8%) udział glaukonitu w pr. 2 obserwowany także w większych frakcjach (0,25–0,1 mm). Bliski transport osadu w spagowej części poziomu LMg potwierdzony może być przez wyjątkowo dużą (8%) zawartość glaukonitu – świadcząc najprawdopodobniej o rozwiewanych lokalnych osadach trzeciorzędowych lub preglacjalnych (Z. Gardziel, J. Nowak 1993). Również maksymalna w profilu frekwencja chlorytu potwierdza ten pogląd.

#### ZARYS HISTORII BADAŃ POWIERZCHNI ZIARN KWARCU W ELEKTRONOWYM MIKROSKOPIE SKANINGOWYM (SEM)

Możliwość zastosowania mikroskopu elektronowego, ze względu na uzyskiwanie dużych powiększeń, pozwoliła wyróżnić szczegółowe rodzaje form rzeźby zapisanej na po-

POZIOM	SYMBOL PROBKI	CECHY			
		eoliczne	podwodne	postsedymentacyjne	
				korozyjne	mineraty wtórne
LMg	1				
	2				
L Ms	3				
L Sg	4				
L Ss	5				



Ryc. 4. Szacunkowy udział głównych cech mikrorzeźby ziarn kwarcu w profilu Nieledeu  
Approximate occurrence of main microrelief features of quartz grains in the Nieledeu profile

wierzchni ziarna kwarcowego, które jest dobrym nośnikiem informacji na temat swojej historii oraz osadu, w którym się znajduje.

W latach sześćdziesiątych po raz pierwszy zaczęto wykorzystywać w badaniach przyrodniczych transmisyjny mikroskop elektronowy (TEM) (J. J. Porter 1962; D. H. Krinsley, T. Takahashi 1962). Ze względu jednak na stosowaną metodykę przygotowania preparatu w postaci replik węglowych nie był on zbyt wygodny w użyciu.

Zastosowanie w następnych latach elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) dającego możliwości przestrzennego oglądania obrazu w jeszcze większych powiększeniach, z dużą głębią ostrości i prostą preparatyką (metodą napyłania) zapoczątkowało szybki rozwój tej metody. Pozwoliła ona bowiem na uwidocznienie form rzeźby niemożliwej do zaobserwowania przy stosowaniu metod konwencjonalnych. Stosowana była w badaniach różnych środowisk sedymentacyjnych, m.in. S. V. Margolis (1968), D. H. Krinsley, J. Donahue (1968).

Lata siedemdziesiąte przyniosły znaczący rozwój badań z zastosowaniem SEM. Po początkowo były to prace na temat ogólnych cech mikrorzeźby powierzchni ziarna kwarcu (H. E. Schneider 1970; S. V. Margolis, D. H. Krinsley 1974) oraz możliwości powstawania takich cech w zależności od budowy krystalograficznej ziarna (E. Waugh 1970) czy wielkości frakcji (A. J. Moss, R. Green 1975). W tym czasie L. Le Ribault (1977) zastosował pojęcie egzoskopia, jako określenie badania wyglądu powierzchni ziarna kwarcu i potraktował ją jako metodę do określania geologicznej przeszłości kwarców detrytycznych. Znaczna liczba prac z tego okresu poświęcona była osadom środowiska glacialnego (m.in. D. H. Krinsley, L. Cavellero 1970; W. B. Whalley, D. H. Krinsley 1974; P. I. Vincent 1975; W. B. Whalley 1978). Również bogatą literaturę mają osady eoliczne, zwłaszcza pyłowe pochodzenia pustynnego lub wydmowe (m.in. D. H. Krinsley, F. W. McCoy 1978; R. L. Folk 1978; K. Pye 1987).

W Polsce zastosowanie metod mikroskopii elektronowej do badań ziarna kwarcu z różnych środowisk zaczyna się z początkiem lat siedemdziesiątych (S. Kozarski 1972). Początkowo były to prace z zastosowaniem TEM, a następnie SEM ze środowiska glacialnego (R. Krzywobłocka-Laurow, E. Mycielska-Dowgiałło 1973; E. Mycielska-Dowgiałło i in. 1976; E. Mycielska-Dowgiałło 1978; K. Kenig 1980, 1988), jak również eolicznego (H. Klatkova 1976, 1991; E. Mycielska-Dowgiałło 1988, 1992, 1993). Na tle już dość obfitej literatury światowej, zawierającej wyniki badań mikropowierzchni ziarna kwarcu z osadów eolicznych, w tym i lessowych (I. J. Smalley, I. J. Cabrera 1970; D. A. Warnke 1971; C. Vita-Finzi, I. J. Smalley, D. H. Krinsley 1973; Z. Borsy i in. 1984; E. Derbyshire 1984; K. Pye 1984; G. Coude-Gassen, S. Balescu 1987; C. W. Mahaney, W. Andres 1991; N. Gaozhong, H. Deming 1991) właściwie bardzo skromną historię mają takie badania lessów w Polsce.

Pierwsze wyniki zastosowania mikroskopu skaningowego do badań cząstek lessu frakcji pylastej z profilu Głogówek i Kraków – Zwierzyniec opublikowali J. Cegła, T. Buckley, I. J. Smalley (1971). Następnie ukazała się mało znana praca K. Pye'a (1983), dotycząca ziarna kwarcu frakcji poniżej 0,063 mm, m.in. z profilu Tyszowce i Komarów Gómy. W końcu lat osiemdziesiątych badania takie na szerszą skalę podjęła autorka, stosując różne przedziały frakcji (K. Kenig 1987, 1991, 1994).

## CHARAKTERYSTYKA MIKORZEŻBY POWIERZCHNI ZIARN KWARCU – WYNIKI SEM

Analizie mikroskopowej (SEM) podlegały ziarna kwarcu frakcji piaszczystych w zakresie 1,0–0,5 mm, 0,5–0,25 mm i 0,25–0,1 mm oraz frakcji grubopylej 0,1–0,05 mm. Metodyka badań mikroskopowych podana jest w pracy K. Kenig (1994).

Zastosowana klasyfikacja form mikrorzeźby ziarn kwarcu wynika z uwzględnienia zespołu cech diagnostycznych, powstałych w trakcie transportu ziarn, w miejscu ich depozycji chwilowej bądź ostatniej oraz w obszarze źródłowym (K. Kenig 1994) z odniesieniem do literatury (D. H. Krinsley, J. C. Doornkamp 1973; L. Le Ribault 1977).

Prezentowana charakterystyka mikrorzeźby powierzchni ziarn kwarcu jest sumą obserwacji uzyskanych z fotografowanych, jak i opisywanych tylko form. Wychodząc z założenia, że dokładna ewidencja cech wielu ziarn i z wielu prób eliminuje przypadkowość, a jednocześnie wzbogaca wiedzę o rzetelną informację, przedstawiono wyniki analizy mikroskopowej każdej próbki.

**Profil Niele dew pr. 5. LSs, frakcja 1,0–0,5 mm**

LSs – reprezentowany przez pr. 5, a będący interstadialną glebą kopalną, wykazuje obecność ziarn o różnym stopniu obtoczenia, błyszczących, o niskim reliefie powierzchni i małej gęstości mikrocech zapisanych na powierzchni ziarn (fot. 1, 2). Najczęściej spotykaną formą widoczną już przy małym powiększeniu na powierzchni tych ziarn są łukowate nacięcia wielkości 5–10  $\mu\text{m}$  (fot. 3), bezładnie rozrzucone, czasem układające się w ciągi. Na powierzchni takiej, pozornie gładkiej, w powiększeniu 6000 x uwidaczniają się drobne, v-kształtne nacięcia, typowe dla wysokoenergetycznego środowiska plażowego.

Drugim typem mikrorzeźby, występującym w podobnej intensywności są wyraźne, rozległe trójkątne nacięcia 10–120  $\mu\text{m}$ , o charakterystycznym kącie rozwarcia około  $120^\circ$  i czystych, prostych krawędziach (fot. 4). Niektóre z tych form, zwłaszcza mniejszych rozmiarów, są nieco podobne do v-kształtnych form abrazyjnych. Pomimo że omawiane ziarna kwarcu pochodzą z lessu przeobrażonego procesami glebowymi, zawierają one mało oznak procesów postsedymentacyjnych.

W kawernach obserwuje się efekty procesów dezintegracji granulamej, spowodowanej cyklicznymi zmianami warunków kriohydrogenicznych (fot. 5). Wytwarza się niemal druzgot. W innych miejscach – predysponowanych mechanicznym trójkątnym nacięciem, występują ślady rozpuszczania krzemionki. Przenikanie roztworów wzbogaconych w rozpuszczalne węglany i siarczany sugeruje obecność wykrywalnych wtórnie w formie pałeczek siarczanów czy sześciokątnych form kalcytu. Z form mechanicznych, głównie na przelamanych ziamach, nielicznie występują zeberkowate przelamy muszlowe (fot. 6).

Na ziamach kwarcu obtoczonych, błyszczących redeponowanych ze środowiska plażowego (transport wodny) zapisane są późniejsze ślady transportu eolicznego. Transport ten był raczej krótki, epizodycznie intensywny, tzn. silniejsze kolizje doprowadzały do przelamania ziarn. Pomimo działalności procesów pedogenezy w tym poziomie nie miały one wyraźniejszego wpływu na mikrostruktury powierzchni ziarn kwarcu. Słabo zaznaczyło się tu rozpuszczanie krzemionkowej powierzchni, a więc nie było zmian wartości pH środowiska, które obecnie ma odczyn alkaliczny. Z krążących roztworów, zawierają-

cych rozpuszczone węglany i siarczany wytworzyły się kryształy neogenicznego kalcytu i gipsu. Fakt ten nie ma jednak bezpośredniego związku ze współczesną niską zawartością  $\text{CaCO}_3$  w tym poziomie, wtórną spowodowaną zawartością kwasów organicznych. Pomimo że poziom glebowy LSs w Nielewki jest starszy niż porównywalny LSg pr. 5 w Obrowcu, mniej ma zapisanych cech korozyjnych. Prawdopodobnie istniały tu inne, lokalne warunki nie sprzyjające rozwinięciu się intensywnych procesów postsedymentacyjnych.

Źródłem zasilania w ziarna frakcji 1,0–0,5 mm poziomu LSs w Nielewki były prawdopodobnie osady plejstoceńskie zawierające ziarna obtoczone, błyszczące, przy czym nie można wykluczyć, że ziarna te pochodzą z trzeciorzędu, byłyby wtedy re-redeponowane. Krótki transport eoliczny nie spowodował większych przeobrażeń ich powierzchni. Po depozycji ziarna zachodziły mało agresywne w stosunku do ziarna kwarcu procesy pedogenezy.

#### **Profil Nielewki pr. 4. LSg, frakcja 1,0–0,5 mm**

LSg – dokumentowany przez pr. 4 stanowi less o grubszym średnim ziarnie, o czym świadczy najniższa w profilu wartość Mz (5,77 phi). Wartość ta nie miała jednak wpływu na zawartość frakcji piaszczystych i na ilość ziarna kwarcu we frakcji 1,0–0,5 mm.

Ziarna kwarcu występujące w tej próbce są obtoczone, błyszczące (fot. 7) lub matowe (fot. 8), rzadziej częściowo obtoczone, matowe, (fot. 9), o niskim stopniu urzeźbienia powierzchni. Na ziarnach trudno wyróżnić jeden dominujący typ urzeźbienia. Zaznacza się tu ogólna zależność, potwierdzająca się w tej pracy, jak i poprzedniej (K. Kenig 1988), że ziarna obtoczone, błyszczące zawierają mniej form mikrorzeźby niż ziarna matowe (bez względu na kształt). Na ziarnach błyszczących obserwuje się drobne, łukowate nacięcia typu „uderzenia paznokcia”.

Powierzchnia między nimi pokryta jest drobnymi nacięciami, które dopiero w powiększeniu 2000 x uwidaczniają się jako v-kształtne nacięcia wysokoenergetycznego środowiska plażowego. Na ziarnach tych występują też wielkoskalowe formy trójkątne (fot. 10), nie osiągając jednak dużej częstotliwości. Nieliczne ziarna z cechami dość świeżego przełamania, zawierają wyraźne przełamy muszlowe, o zestopniowanej powierzchni. Przełamy ten pokryty jest drobnym pyłem krzemionkowym, co związane jest z gwałtownym odłupaniem części kwarcu (rozerwaniem sieci krystalograficznej).

Zniszczona, starta powierzchnia typu ospowatej, eolicznej, obserwowana jest jedynie na ziarnach matowych i występuje z różną intensywnością łącznie z innymi mniej lub bardziej wyraźnie wykształconymi cechami (fot. 11). W zasadzie na wszystkich typach obserwowanych ziarna występują obszary obniżenia – kawern z rozwijającą się dezintegracją granulacją (fot. 12) i łuskową. Zaznaczają się też różne stopnie zaawansowania tego procesu, od inicjalnych spękań, do odpadających, lecz jeszcze utrzymywanych siłami adhezji – łusek  $\text{SiO}_2$ , jakby przyklejonych do powierzchni. Między łuskami występują nieregularne dziurki wytrawień chemicznych pogłębiające procesy złuszczenia. Ziarna kwarcu o średnicy 1,0–0,5 mm z LSg (pr. 4) w Nielewki zawierają na swej powierzchni zapis transportu z dwu źródeł. Jednego – bliższego; o krótkim, słabo intensywnym transporcie eolicznym, zapisanym na ziarnach obtoczonych, błyszczących, pochodzących ze środowiska podwodnego, plażowego, prawdopodobnie – trzeciorzędowego. Drugie źródło reprezentują ziarna z cechami długotrwałego, odległego transportu, powodującego zmatowienie powierzchni. Być może ziarna te były wielokrotnie przewiewane. Potwierdzeniem takich



sugestii jest cecha zmiennych warunków dynamiki transportu, wynikająca z analizy uziarnienia. Osad ten ma bowiem cechy lessu facji deluwialno-eolicznej. Natomiast procesy postsedymentacyjne zapisały się w tym poziomie formami dezintegracji łuskowej, spowodowanej procesami fizyczno-chemicznymi typu kriohydrogenicznego. W zasadzie równocześnie zachodziły procesy niewielkiego wytrawiania w kawernach. Odbywało się to już po depozycji ziarn w osadzie lessowym. Procesy te nie były zbyt intensywne, a więc sądzić można, że nie zmieniało się pH środowiska, a krążące roztwory były ubogie w kwasy próchnicze i o nieziennej zawartości węglanów.

### **Nieledew pr. 3. LMs, frakcja 1,0–0,5 mm**

LMs – reprezentowany przez pr. 3 ukazuje less o cechach pedogenezy, lecz zaznaczonej mniej wyraźnie niż w pr. 5 (LSs). Ziarna obtoczone (fot. 13, 14) i częściowo obtoczone (fot. 15) wykazują różny stopień zmatowienia najwyraźniejszy na fot. 14. Najczęściej cała powierzchnia ziarna ma charakter jednolicie zniszczonej, jakby startej i ponacinanej mechanicznymi kolizjami (fot. 16) różnej intensywności (fot. 17). Nieliczne są tu przełamy muszlowe, tworzące świeże odłupania, na których zaczynają się pojawiać ślady procesów mechanicznych i chemicznych. W próbce tej (analogicznie do pr. 5) występują na powierzchni ziarn, raczej w częściach obniżen, neogeniczne kryształy dolomitu (kalcytu) (fot. 17). Zagłębienia powstałe na skutek kolizji i odpadania większych fragmentów krzemionkowej powierzchni stają się miejscem predysponowanym do rozpuszczania powierzchni w postaci nieregularnych dziurek, wżerek miejscami o liniowym zarysie (fot. 18).

Powierzchnia ziarn kwarcu pochodzącego z LMs (pr. 3) zawiera zapis w zasadzie tylko jednego środowiska – eolicznego. Można wnioskować, że ziarna kwarcu poddawane były transportowi eolicznemu w długim okresie, ponieważ cała ich powierzchnia została równomiernie zniszczona, co powoduje efekt zmatowienia, widoczny zwłaszcza przy małych powiększeniach. Może to być wynikiem wielokrotnego przewiania lub długiego dystansu od źródła. Trudno określić tu jednak typ materiału źródłowego, ponieważ nie zachowały się ślady poprzedniego środowiska. Można przypuszczać, że były to raczej przerobione osady plejstoceńskie, ponieważ obecny kształt ziarn zbliżony do kulistego mógł szybciej powstać z ziarn wyjściowych, które miały już pewien stopień obróbki. Można też przypuszczać, że w ostatnim, końcowym epizodzie transportu nastąpiło wzmoczenie siły uderzeń – zapisanych jako młode przełamy muszlowe bądź większe trójkątne nacięcia. Procesy postsedymentacyjne rozwijały się powoli i dały wynik w postaci nielicznie zaznaczonych wytrawień chemicznych. Z roztworów wzbogaconych w węglany miały możliwość wykrystalizować wtórne pałeczkowate kryształy (dolomitu) – kalcytu. Widocznie środowisko, które pozwoliło na wytworzenie licznych agregatów żelazisto-manganowych w tym poziomie nie spowodowało podwyższenia alkaliczności (obecnie odczyn obojętny) i co za tym idzie nie zachodziły wzmoczone procesy rozpuszczania chemicznego powierzchni ziarn kwarcu. W poziomie tym obecnie obserwowane zmniejszenie zawartości  $\text{CaCO}_3$  nie pociąga za sobą innych zmian cech litologicznych, co może świadczyć o młodym wieku tego poziomu.

### **Nieledew pr. 2 i 1. LMg, frakcja 1,0–0,5 mm**

Analiza powierzchni ziarn kwarcu w SEM wykazuje obecność ziarn obtoczonych, błyszczących (fot. 19), z wylamaniami o różnym stopniu wielkości (fot. 20). W pr. 2 wystę-

pują także ziarna o cechach zmatowienia, niektóre przełamane. Zgodnie z uwagami podanymi w opisie pr. 4 na ziarnach obtoczonych, o pozornie gładkiej powierzchni zaznaczone są nacięcia o różnej intensywności, łukowate lub v-kształtne (fot. 21). Są to cechy powierzchni ziarna pochodzącego z wysokoenergetycznego środowiska plażowego. Dość powszechne są też wielkoskalowe trójkątne nacięcia, czasem układające się w zębowałą krawędź (fot. 22).

Natomiast na niemal wszystkich ziarnach matowych częstą formą są trójkątne nacięcia, gęsto usytuowane, o różnej skali, dające ogólny wygląd „zniszczenia” ziarna. Różna intensywność nacięć powoduje typ powierzchni zbliżony do eolicznej (fot. 23), dając efekt zmatowienia obserwowany przy mniejszych powiększeniach. Niektóre przełamy muszlowe są tu stare, o złagodzonych już krawędziach lub świeże, nabyte w końcowym etapie transportu. Niezbyt powszechnie występują efekty chemicznego rozpuszczania powierzchni, głównie w zagłębieniach, powstałych na skutek mechanicznych zderzeń ziarn. W niektórych częściach takich obniżek, gdzie zachodzą procesy dezintegracji granularnej, być może wspomaganą chemicznie, wywołanej prawdopodobnie procesami krio-hydrogenicznymi, gromadzi się pył  $\text{SiO}_2$  (fot. 24). W poziomie LMg we frakcji 1,0–0,5 mm zmniejsza się stopniowo, w stosunku do LMs – pr. 3, udział ziarn eolizowanych. W stropowej próbce (nr 1) w profilu ziarna takie już nie występują.

W niższej części poziomu (pr. 2) na ziarnach obtoczonych, matowych, o raczej niskim i średnim reliefie dominują cechy mechanicznej abrazyj. Natomiast gładkie, błyszczące ziarna obtoczone z obu próbek pochodzą z osadów plażowych, prawdopodobnie trzeciorzędowych, redeponowanych w plejstocenijskie osady glacialne. „Pozornie” gładka powierzchnia tych ziarn dopiero przy powiększeniach 1000–3000 x wykazuje obecność drobnych nacięć typu mechanicznego. I generacja form (nie sięgając już procesów, które spowodowały obecny obtoczony kształt ziarna) to drobne v-kształtne nacięcia oraz łukowate formy uzyskane w środowisku plażowym na wygładzonej powierzchni, II generację stanowią przełamania, a następnie efekty ścierania krawędzi. Niemal równocześnie mogły powstać różne trójkątne odłupania oraz spękania. A więc ziarna wieku przedplejstocenijskiego o cechach plażowych, w czasie krótkiego transportu eolicznego, zostają poddane kolizjom o różnym stopniu intensywności, ale nie na tyle silnych, by pokryć nacięciami całą powierzchnię. Nie można też wykluczyć, że ziarna te pod wpływem zmieniających się warunków mrozowych uległy spękaniu, a dopiero później zostały transportowane przez wiatr. Po depozycji ziarn, mrozowa działalność z udziałem roztworów wodnych doprowadzała do powstania pyłu  $\text{SiO}_2$ . Ziarna pyłu utrzymują się jeszcze adhezyjnie na powierzchni, następnie mają szansę odpaść i przejść do drobniejszej frakcji. Nieduży jest też udział procesów chemicznego rozpuszczania powierzchni ziarn w stosunku do poziomów starszych. Być może jest to czynnik stosunkowo krótkiego czasu po depozycji i braku zmian alkaliczności osadu. Nawet obecność kongrecji Fe i Mn w tej części profilu nie znalazła odzwierciedlenia w procesach pozwalających na korozję ziarn kwarcu.

W dolnej części poziomu LMg część ziarn frakcji 1,0–0,5 mm pochodzi z transportu eolicznego o wzrastającej sile wiatru w końcowym epizodzie, a przed depozycją. Udział ziarn pochodzących z bliskiego transportu wzrasta w stropowej części poziomu.

### Nieledew pr. 2 i 1. LMg, frakcja 0,25–0,1 mm

We frakcji tej występują ziarna kwarcu częściowo obtoczone i kanciaste: matowe (fot. 25). Większość ziarn o średnim reliefie ma zmatowiałą powierzchnię (fot. 26, 27). Liczne są tu trójkątne i v-kształtne abrazyjne nacięcia. Stosunkowo mały jest udział form ospowatej powierzchni z eolicznego transportu (fot. 28). Również niezbyt powszechne są formy z rozpuszczania, powodujące rozpad łuskowaty, pogłębiony rozpuszczaniem i odkłuciami w kawernie o heksagonalnym zarysie (fot. 29). Miejscowo zapisane są też procesy wytrawiania predysponowanego krystalograficznie (fot. 30). Ziarna kwarcu o niskim reliefie w pr. 2 i nieco wyższym w pr. 1, przy nieobecności cech subakwaticznych, wykazują mniejsze zróżnicowanie jakościowe mikroform w tej frakcji niż w większej, omawianej powyżej, w profilu Nieledew. Jest to wynik nie tyle zmiany obszaru alimentacji, lecz analizowanej frakcji, w której trudno ziarnom uzyskać większy stopień obtoczenia. Analizowane ziarna transportowane były eolicznie. Wykazują przewagę cech mechanicznych i stosunkowo mały udział cech chemicznych. Jedno źródło alimentacji.

### Nieledew pr. 2. LMg, frakcja 0,1–0,05 mm

We frakcji tej występują tylko ziarna kanciaste, matowe (fot. 31, 32). Wykazują one pewne złagodzenie naroży na skutek oskorupienia krzemionkowego (fot. 33). Dominują cechy typu wygładzonej skorupy z rozpuszczania i wytrącania krzemionki (fot. 34). Chemiczną cechą podobną do występującej na ziarnach większych frakcji jest dezintegracja łuskowa obserwowana dość powszechnie na każdym niemal ziarnie (fot. 35). Wyjątkowo zupełnie ukazują się kryształy wzrostu kwarcu (fot. 36), spod odpryśniętej skorupy krzemionkowej. Brak cech mechanicznych procesów wiąże się ściśle z wielkością frakcji i typowym dla tej frakcji rodzajem transportu w zawieszynie. Szczególne cechy chemicznego działania powodującego oskorupienie związane są z warunkami klimatycznymi panującymi w obszarze źródłowym, nie zostały uzyskane po depozycji. W tym to czasie mogły jedynie powstać łuskowate wytrącenia i dziurki z rozpuszczenia krzemionki. Ziarna te transportowane były w zawieszynie z obszarów deflacji odleglejszych, o cechach klimatu suchego, być może z południowo-wschodniej części Nizy Europejskiego.

## PODSUMOWANIE

Zbadanie mikropowierzchni ziarn kwarcu kilku frakcji piaszczystych i grubopyłowej pozwoliło na zaobserwowanie różnic w rodzajach transportu (np. aeralny czy wodny), w źródłach materiału (np. dalsze obszary alimentacji w warunkach klimatu o niedoborze wilgoci) oraz do starczyło informacji na temat warunków sedymentacji lessów (np. nasilenie procesów postsedymentacyjnych – kriohydrogenicznych). Równocześnie pozwoliło na sprawdzenie, jak procesy transportu eolicznego zapisały się na ziarnach kwarcu zawartego w lessach. W profilu Nieledew przeważają cechy ze środowiska podwodnego, nie występują one jedynie w pr. 3 – LMs w poziomie glebowym (może uległy zniszczeniu?), natomiast w mniejszej ilości występują tu ziarna z cechami eolicznej. Na ogół obecność tych dwu typów cech jest odwrotnie proporcjonalna, co potwierdza też ujemna wartość współczynnika korelacji -0,434.

Udział cech pochodzenia chemicznego maleje w kierunku stropu i najmniejszą obecność wykazuje w poziomie LMG. Najwyraźniej procesy te zapisane są na ziarnach w pr. 4, pochodzącej z lessu facji deluwialno-eolicznej, co znajduje potwierdzenie także w zmianie cech litologicznych tego osadu. Minerale wtórne wykształciły się tylko w poziomach z procesami pedogenezy (pr. 3 i pr. 5, ryc. 4). Należy zaznaczyć, że charakterystyka mikrorzeźby ziarn kwarcu frakcji piaszczystych, zwłaszcza z poziomu LM (lessów młodszych) w profilu Nieledeu jest inna aniżeli ziarn z cechami eoliczacji. Mianowicie w innych obszarach lessowych w Polsce, nawet w pobliskim Obrowcu, zaznacza się wyraźny wzrost udziału ziarn eolicznych na granicy LMs i LMG (K. Kenig 1994). Takie zmniejszenie udziału tych ziarn na korzyść ziarn ze środowiska podwodnego można wytłumaczyć zupełnie lokalnym zasilaniem tego lessu z odstaniających się osadów trzeciorzędowych lub plejstocenijskich z zawartością ziarn redeponowanych z trzeciorzędu.

Natomiast ziarna kwarcu 0,1–0,05 mm z lessów profilu Nieledeu, podobnie jak w innych profilach lessowych Polski wskazują na jedno źródło alimentacji – obszary o warunkach klimatu suchego, o stałym niedoborze wilgoci. Pochodzą one z transportu dalszego, wysokiego, najprawdopodobniej z kierunków wschodnich. Jednocześnie ziarna kwarcu frakcji piaszczystych są z bardzo bliskiego, lokalnego i krótkotrwałego transportu.

#### LITERATURA

- Borsy Z., Féliszterfalvy J., Lóki J. 1984; Electronmicroscopic investigation of the sand material from the loess exposure at Paks. [W:] Lithology and stratigraphy of loess and paleosols. Proceeding of the symposium organized by INQUA Commission on loess and paleopedology. Ed. M. Pécsi, s. 123–133, Budapest.
- Cegła J., Buckley T., Smalley I. J. 1971; Microtextures of particles from some European loess deposits. *Sedimentology*, vol. 17, s. 129–134.
- Coudé-Gaussen G., Balescu S. 1987; Etude comparée de loess périglaciaires et péri-desertiques: premiers résultats d'un examen des grains de quartz au microscope électronique à balayage. [W:] Loess and environment, *Catena supplement* 9, s. 129–144, Braunschweig.
- Derbyshire E. 1984; Granulometry and fabric of the loess at Liuzhoutai, Lanzhou, People's Republic of China. [W:] Lithology and stratigraphy of loess and paleosols. Proceeding of the symposium organized by INQUA Commission on loess and paleopedology, s. 95–103, Budapest.
- Dolecki L. 1987; Differentiation of grain size of the Vistulian loesses on the Grzęda Horodelska Plateau (SE Poland). *Ann. UMCS, sec. B, XLI* (1986), s. 165–178, Lublin.
- Folk R. L. 1978; Angularity and silica coating of Simpson Desert sand grains, Northern Territory, Australia, *Jour. Sedim. Petrol.*, vol. 48, nr 2, s. 611–624.
- Gaozhong N., Deming H. 1991; A new explanation regarding the provenances of material of China's Xiaohu loess. The series of the XIII INQUA Congress Loess, Environment and Global Change. Ed. Liu Tungsheng, Science Press, s. 213–226, Beijing.
- Gardziel Z., Nowak J. 1993; Wstępna charakterystyka litologiczna osadów preglacialnych Grzędy Horodelskiej. II Seminarium. *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, s. 28–29, Poznań.
- Goździk J., Mycielska-Dowgiatto E. 1988; Geneza zmatowienia powierzchni dobrze zaokrąglonych ziarn kwarcu w świetle badań w mikroskopie elektronowym. [W:] *Geneza osadów i gleb w świetle badań w mikroskopie elektronowym*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, s. 57–64, Warszawa.
- Kenig K. 1980; Skład mineralny osadów moreny czołowej lodowca Gas Spitsbergen z uwzględnieniem analizy powierzchni ziarn kwarcu w SEM. *Kwart. Geol.* nr 3, s. 711–740, Warszawa.
- Kenig K. 1987; Microstructures of surfaces of quartz grains from loess and underlying till from the area of Sandomierz (South Poland). Abstract. XII Congress INQUA 87, s. 199, Canada.

- Kenig K. 1988; Cechy urzeźbienia powierzchni ziarn kwarcu z glin morenowych profilu Wólka Pietkowska (Międzyrzecze Bugu i Narwi) – próba ilościowego oszacowania. [W:] *Geneza osadów i gleb w świetle badań w mikroskopie elektronowym*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, s. 73–80, Warszawa.
- Kenig K. 1991; Profil lessów w Sandomierzu: cechy litologiczne z uwzględnieniem wyników analizy powierzchni ziarn kwarcu za pomocą SEM. [W:] *Podstawowe profile lessów w Polsce*, Red. H. Maruszczak, Wyd. UMCS, s. 75–83, Lublin.
- Kenig K. 1994; Mikromorfologia powierzchni ziarn kwarcu z lessów – jako podstawa do wnioskowania o cechach środowisk alimentacyjnych, transportu i sedymentacji tych osadów. Arch. PIG, Warszawa.
- Klatkova H. 1976; Ślady środowiska eolicznego w rzeźbie powierzchni ziarn kwarcowych, wyniki analiz w elektronowym mikroskopie skaningowym. *Acta Geogr. Lodzensia*, no. 37, s. 93–112, Łódź.
- Klatkova H. 1991; Wyniki analizy morfoskopowej wybranych osadów czwartorzędowych środkowej Polski. [W:] *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*. Wyd. Naukowe UAM, s. 277–287, Poznań.
- Kozarski S. 1972; Mikroskopia elektronowa w badaniu morfologicznych cech powierzchni kwarcowych ziarn piasku wybranych środowisk sedymentacyjnych. *Pozn. Tow. Przyj. Nauk, Wydz. Mat.-Przyr. Prace Komisji Geogr.-Geol. t. XIII, z. 1*, s. 179–189, Poznań.
- Krinsley D. H., Takahashi T. 1962; The surface textures of sand grains, an application electron microscopy: glaciation. *Science*, no. 138, s. 1262–1264.
- Krinsley D. H., Donahue J. 1968; Environmental interpretation of sand grain surface textures by electron microscopy. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 79, s. 743–748.
- Krinsley D. H., Cavellero L. 1970; Scanning electron microscope examination of periglacial aeolian sands from Long Island. *New York, Jour. Sedim. Petrol.*, vol. 40, s. 1345–1350.
- Krinsley D. H., Doornkamp J. C. 1973; *Atlas of quartz sand surface textures*. Cambridge, University Press.
- Krinsley D. H., McCoy F. W. 1978; Aeolian quartz sand and silt. [W:] *Scanning electron microscopy in study of sediments*. Ed. W. B. Whalley, *Geo Abstracts*, s. 249–260, Norwich.
- Krzywobłocka-Laurow R., Mycielska-Dowgiatto E. 1973; Zastosowanie mikroskopii elektronowej w badaniach cech morfologicznych powierzchni ziarn piasku kwarcowego. *Prace III Ogólnopolskiej Konferencji Mikroskopii Elektronowej Ciała Stałego*, Kraków, s. 3–4.
- Le Ribault L. 1977; *L'exoscopie des quartz*. Masson, Paris.
- Mahaney C. W., Andres W. 1991; Glacially crushed quartz grains in loess as indicators of long-distance transport from major European centers during the Pleistocen. *Boreas*, vol. 20, s. 231–239, Oslo.
- Margolis S. V. 1968; Electron microscopy of chemical solution and mechanical abrasion features on quartz sand grains. *Geology* 9.
- Margolis S. V., Krinsley D. H. 1974; Processes of formation and environmental occurrence of microfeatures on detrital quartz grains. *Am. J. Sci.* vol. 275/5, s. 449–464.
- Maruszczak H. 1991 a; Zróżnicowanie stratygraficzne lessów polskich. [W:] *Podstawowe profile lessów w Polsce*, Wyd. UMCS, s. 13–35, Lublin.
- Maruszczak H. 1991 b; Profil lessów w Nieledu. [W:] *Podstawowe profile lessów w Polsce*, s. 27–34.
- Mojski J. E. 1972; Profil lessowy w Nieledu. [W:] *Przewodnik sympozjum krajowego: Litologia i stratygrafia lessów w Polsce*, s. 182–187, Lublin.
- Moss A. J., Green R. 1975; Sand and silt grains: predetermination and properties by microfractures in quartz. *Jour. Geol. Aust.* vol. 22, p. 458–511.
- Mycielska-Dowgiatto E. 1978; A scanning electron microscope study of quartz grain surface textures from boulder clays of North and Central Poland. [W:] *Scanning electron microscopy in the study of sediments*, Ed. W. D. Whalley, *Geo Abstracts*, s. 243–248, Norwich.
- Mycielska-Dowgiatto E. 1988; Cechy urzeźbienia powierzchni ziarn kwarcu z wydm różnych regionów świata. [W:] *Geneza osadów i gleb w świetle badań w mikroskopie elektronowym*. Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, s. 47–56, Warszawa.
- Mycielska-Dowgiatto E. 1992; Desertification in the light of sedimentological features of dune deposits. *Geogr. Pol.*, vol. 60, s. 181–194, Warszawa.
- Mycielska-Dowgiatto E., Krzywobłocka-Laurow R. 1976; Electron microscopic analysis of surface textures of quartz grains from boulder clays. [W:] *Till – its genesis and diagenesis*, *Zesz. Nauk. UAM Ser. Geogr.* nr 12, s. 168–173.

- Porter J. J. 1962; Electron microscopy of sand surface textures. *Jour. Sedim. Petrol.* vol. 32, s. 124–135.
- Pye K. 1983; Grain surface textures and carbonate content of late Pleistocen loess from West Germany and Poland. *Jour. Sedim. Petrol.* vol. 53, 3, s. 973–980.
- Pye K. 1984; SEM investigation of quartz silt micro-textures in relation to the source of loess. [W:] *Lithology and stratigraphy of loess and paleosols. Proceeding of the symposium organized by INQUA Commission on loess and paleopedology.* Ed. M. Pécsi, s. 139–151, Budapest.
- Pye K. 1987; Aeolian dust and dust deposits. Academic Press, Cambridge.
- Schneider H. E. 1970; Problems of quartz grain morphoscopy. *Sedimentology*, vol. 14, no. 3/4, s. 325–335.
- Smalley I. J., Cabrera J. G. 1970; The shape and surface textures of loess particles. *Geol. Soc. Am. Bull.* 81, s. 1591–1595.
- Vincent P. J. 1975; Urzeźbienie powierzchni ziarn kwarcowych z osadów morenowych różnego wieku oraz wynikające z tego ogólne wnioski geomorfologiczne. *Prz. Geogr. z.* 3, s. 577–582.
- Vita-Finzi C., Smalley I. J., Krinsley D. H. 1973; Crystalline overgrowths on quartz silt particles. *Journ. Geol.* 81, s. 106–108.
- Warnke D. 1971; The shape and surface texture of loess particles: discussion. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 82, 8, s. 2357–2360.
- Waugh E. 1970; Formation of quartz overgrowths in the Penrith Sandstone (Lower Permian) of Northwest England as revealed by scanning electron microscopy. *Sedimentology*, vol. 14, no. 3/4.
- Whalley W. B. 1978; An SEM examination of quartz grains in sub-glacial and associated environments and some methods of their characterization. [W:] *Scanning Electron Microscopy, SEM INC*, vol. 1, s. 353–360.
- Whalley W. B., Krinsley D. H. 1974; A scanning electron microscope study of surface textures of quartz grains from glacial environments. *Sedimentology* no 21.

#### OBJAŚNIENIA FOTOGRAFII

Tablica I. Niele dew, pr. 5, LSs, frakcja 1,0–0,5 mm

Fot. 1. Ziarno obtoczone, błyszczące, o niskim reliefie powierzchni, pow. 48 x

Fot. 2. Ziarno obtoczone, nieco nieregularnego kształtu, błyszczące, pow. 54 x

Fot. 3. Łukowate nacięcia na powierzchni ziarna z Fot. 1, średnicy 5–10 m, pow. 360 x

Fot. 4. Rozległe trójkątne nacięcia, o charakterystycznym dla kwarcu kącie rozwarcia około 120, pow. 1000 x

Fot. 5. W ławernie zgromadzony druzgot krzemionkowy, jako efekt procesów kriohydrogeniczných, pow. 1000 x

Fot. 6. Fragment stosunkowo świeżego przełamu muszlowego na przełamanej ziarnie, pow. 3000 x

Tablica II. Niele dew pr. 4, LSg, frakcja 1,0–0,5 mm

Fot. 7. Ziarno obtoczone, błyszczące, pow. 60 x

Fot. 8. Ziarno obtoczone, matowe, pow. 66 x

Fot. 9. Ziarno częściowo obtoczone, matowe, pow. 78 x

Fot. 10. Trójkątne nacięcia, pojedynczo występujące na ziarnie błyszczącym, pow. 2000 x

Fot. 11. Fragment eolicznej powierzchni ziarna matowego, pow. 1000 x

Fot. 12. W rozległym obniżeniu na powierzchni ziarna matowego rozwijające się procesy dezintegracji granularnej i huskowej, granulki pyłu SiO<sub>2</sub> około 1,5 μm, huski około 4 μm wielkości, pow. 4000 x

Tablica III. Niele dew pr. 3, LMs, frakcja 1,0–0,5 mm

Fot. 13. Ziarno obtoczone, o małym stopniu zmatowienia, pow. 60 x

Fot. 14. Ziarno obtoczone, silnie zmatowione, pow. 66 x

Fot. 15. Ziarno częściowo obtoczone, matowe, pow. 66 x

Fot. 16. Fragment powierzchni matowej, powstałej w wyniku silnych kolizji ziarn, pow. 1000 x

Fot. 17. Inny fragment matowej powierzchni z większym nacięciem trójkątnym, o złagodzonych już krawędziach. Widoczne też są dobrze wykształcone pałeczki węglanowe, wielkości 5–15 μm, pow. 2000 x

Fot. 18. Ślady rozpuszczania chemicznego w obniżonych częściach powierzchni ziarna matowego, pow. 2000 x

Tablica IV. Niele dew pr. 2 i 1, LMg, frakcja 1,0–0,5 mm

Fot. 19. Ziarno obtoczone, błyszczące, pow. 72 x

Fot. 20. Ziarno obtoczone, błyszczące z dużym wylaniem, pow. 94 x

- Fot. 21. Fragment powierzchni ziarna obtoczonego, błyszczącego, z licznymi nacięciami v-kształtnymi, wielkości 2,5–20  $\mu\text{m}$ , powstałymi w środowisku plażowym, pow. 1000 x
- Fot. 22. Duże nacięcia trójkątne, w ich zagłębieniu powstaje pył krzemionkowy, pow. 1000 x
- Fot. 23. Fragment słabo eolizowanej powierzchni, pow. 3000 x
- Fot. 24. W zagłębieniach powierzchni ziarna matowego, powstający wskutek procesów kriohydrogenicznych pył  $\text{SiO}_2$ , pow. 4000 x
- Tablica V. Nieledeu, pr. 2 i 1, LMg, frakcja 0,25–0,1 mm
- Fot. 25. Ziarna kwarcu częściowo obtoczone i kanciaste, pow. 54 x
- Fot. 26. Ziarno częściowo obtoczone, matowe, pow. 220 x
- Fot. 27. Ziarno kanciaste, matowe, lecz już o pewnym złagodzeniu naroży i krawędzi, pow. 300 x
- Fot. 28. Fragment ospowatej (eolicznej) powierzchni, pow. 1000 x
- Fot. 29. W kawernie o heksagonalnym zarzysie gromadzi się pył  $\text{SiO}_2$ , jako produkt rozpuszczania powierzchni ziarna, pow. 1500 x
- Fot. 30. Trójkątne figury wytrawienia chemicznego na gładkim przełamie muszlowym, pow. 1000 x
- Tablica VI. Nieledeu, pr. 2, LMg, frakcja 0,1–0,05 mm
- Fot. 31. Widok ogólny ziarn kanciastych w pow. 120 x
- Fot. 32. Ziarno kanciaste, matowe, pow. 720 x
- Fot. 33. Oskorupienie krzemionkowe ziarna kanciastego, matowego, pow. 480 x
- Fot. 34. Fragment oskorupionej, wygładzonej powierzchni krzemionkowej, pow. 4000 x
- Fot. 35. Inny fragment oskorupionej powierzchni krzemionkowej z widocznymi nieregularnymi obszarami rozpuszczania, pow. 2000 x
- Fot. 36. Dobrze wykształcone kryształy wzrostu kwarcu, widoczne spod odprysniętej skorupy krzemionkowej, pow. 2600 x

#### SUMMARY

Examinations of microsurfaces of quartz grains from several sandy and coarse silt fractions showed the differences in transport types (e.g. aerial or water), in material sources (e.g. more distant alimentation areas in the climatic conditions with moisture deficit), and provided information about the conditions of loess accumulation (e.g. intensification of postdeposition-cryohydrogenic processes). At the same time they resulted in finding how the processes of eolian transport were recorded on the quartz grains occurring in loesses.

In the Nieledeu profile, features of the subaqueous environment prevail; they do not occur only in the sample No 3 – in the soil horizon of LMs (perhaps they were blurred?). Grains with features of eolian abrasion occur in smaller quantities in this profile. In general, the relationship between these two types of features is inversely proportional, which is confirmed by a negative value of the correlation coefficient: -0.434.

The features of chemical origin became less distinct here upwards and are almost absent in the LMg bed. Chemical processes are recorded most distinctly on grains in sample No 4 coming from loess of deluvial-eolian facies, which is confirmed also by changed lithologic features of this deposit. Secondary minerals were formed only in horizons affected by pedogenetic processes (sample No 3 and 5, Fig. 4).

It should be noticed that the microrelief of quartz grains in sandy fractions in the Nieledeu profile, especially in the LM (younger loess) bed, points to its separate character as regards the occurrence of grains with features of eolian abrasion. In other loess areas in Poland, even in the neighbouring Obrowiec, a distinct increase of the amount of eolian grains is pronounced on the boundary between LMs and LMg (K. Kenig 1994). In the Nieledeu profile the decrease of the amount of these grains in favour of those from the subaqueous environment can be explained by complete local alimentation of this loess from the exposed Tertiary deposits or Pleistocene deposits containing grains redeposited from the Tertiary formation.

On the other hand, the character of quartz grains 0.1–0.05 mm from the loesses in the Nieledeu profile, like in other loess profiles in Poland, indicates one alimentation source – areas of dry climate with permanent moisture deficit. These grains were transported from a far distance in high layers of the atmosphere, probably from east directions. At the same time quartz grains of the sandy fractions were transported at a short distance from a neighbouring source.

## EXPLANATION OF PHOTOGRAPHS

Table I. Niele dew, sample No 5, LSs, 1.0–0.5 mm fraction.

Photo 1. Rounded shining grain with low surface relief, magn. 48 x.

Photo 2. Rounded grain, of somewhat irregular shape, shining, magn. 54 x.

Photo 3. Arched incisions of 5–10  $\mu\text{m}$  diameter on surface of grain from the Photo 1, magn. 360 x.

Photo 4. Large triangular incisions with obtuse angle about  $120^\circ$  typical for quartz, magn. 1000 x.

Photo 5. Siliceous rubble in cavity as a result of cryohydrogenic processes, magn. 1000 x.

Photo 6. Fragment of relatively fresh conchoidal breakage in broken grain, magn. 1000 x.

Table II. Niele dew, sample No 4, LSg, 1.0–0.5 mm fraction.

Photo 7. Rounded shining grain, magn. 60 x.

Photo 8. Rounded mat grain, magn. 66 x.

Photo 9. Partly rounded mat grain, magn. 78 x.

Photo 10. Triangular incisions, occurring individually on the shining grain, magn. 2000 x.

Photo 11. Fragment of eolian surface of mat grain, magn. 1000 x.

Photo 12. Processes of granular and scaly disintegration developing in an extensive depression on the mat grain surface, silt granules about 1.5  $\mu\text{m}$ , scales about 4  $\mu\text{m}$  in size, magn. 4000 x.

Table III. Niele dew, sample No 3, LMs, 1–0.5 mm fraction.

Photo 13. Rounded grain, mat to a small degree, magn. 60 x.

Photo 14. Rounded grain, strongly mat, magn. 66 x.

Photo 15. Partly rounded mat grain, magn. 66 x.

Photo 16. Fragment of mat surface formed as a result of strong collisions of grains, magn. 1000 x.

Photo 17. Other fragment of mat surface with a bigger triangular incision with smoothed edges. Well developed carbonate rods, 5–15  $\mu\text{m}$  in size, are also visible, magn. 2000 x.

Photo 18. Traces of chemical dissolution in lower parts of mat grain surface, magn. 2000 x.

Table IV. Niele dew, samples No 2 and 1, LMg, 1.0–0.5 mm fraction.

Photo 19. Rounded shining grain, magn. 72 x.

Photo 20. Rounded shining grain with a large chipped spot, magn. 94 x.

Photo 21. Fragment of surface of rounded shining grain with numerous V-shaped incisions, 2.5–20  $\mu\text{m}$  in size, formed in beach environment, magn. 1000 x.

Photo 22. Big triangular incisions, siliceous silt formed in a depression, magn. 1000 x.

Photo 23. Surface fragment weakly transformed by eolian factor, magn. 3000 x.

Photo 24. Silt of  $\text{SiO}_2$  formed as a result of cryohydrogenic processes in surface depressions of a mat grain, mag. 4000 x.

Table V. Niele dew, samples No 2 and 1, LMg, 0.25–0.1 mm fraction.

Photo 25. Partly rounded and sharp-edged quartz grains, magn. 54 x.

Photo 26. Partly rounded mat grain, magn. 220 x.

Photo 27. Sharp-edged mat grain, with slightly smoothed angles and edges, magn. 300 x.

Photo 28. Fragment of pitted (eolian genesis) surface, magn. 1000 x.

Photo 29.  $\text{SiO}_2$  silt accumulated as product of dissolution of grain surface in a cavity of hexagonal shape, magn. 1500 x.

Photo 30. Triangular traces of chemical etching on smooth conchoidal breakage, magn. 1000 x.

Table VI. Niele dew, sample No 2, LMg, 0.1–0.05 mm fraction.

Photo 31. General picture of sharp-edged grains, magn. 120 x.

Photo 32. Sharp-edged mat grain, magn. 720 x.

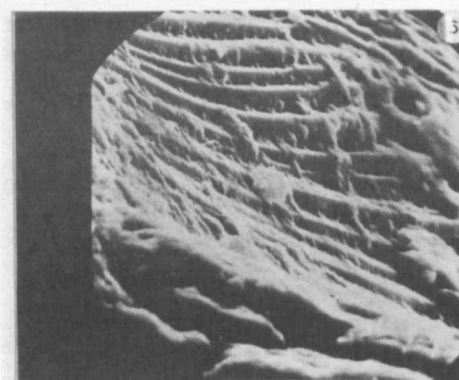
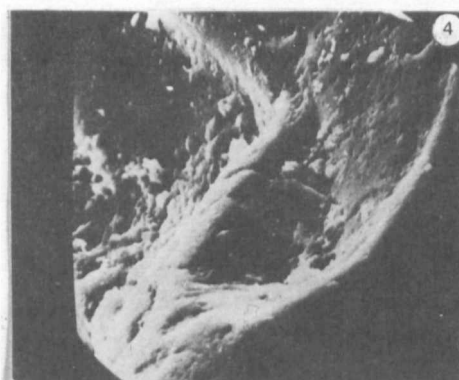
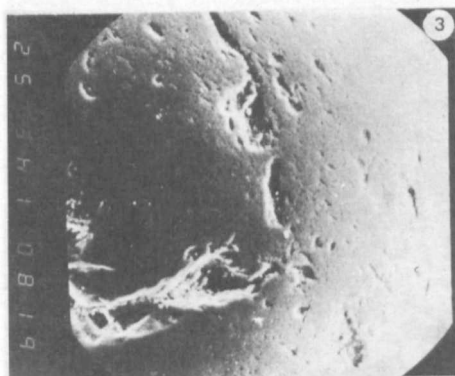
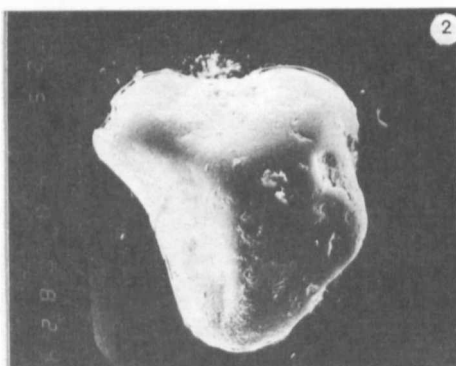
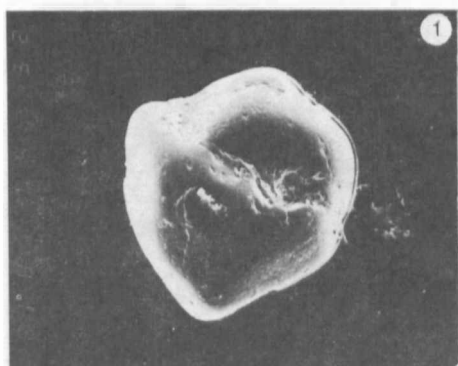
Photo 33. Silica crust on sharp-edged mat grain, magn. 480 x.

Photo 34. Fragment of encrusted, smoothed silica surface, magn. 4000 x.

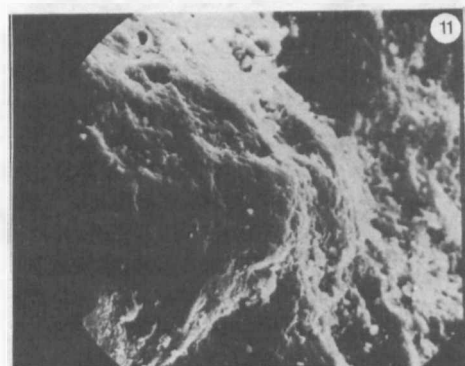
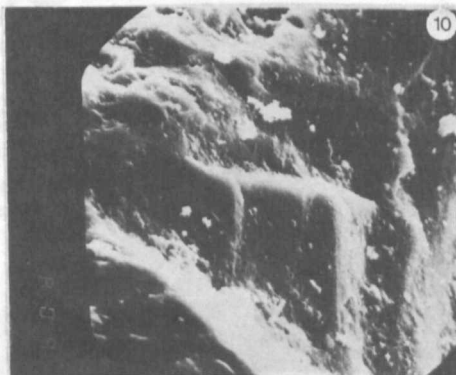
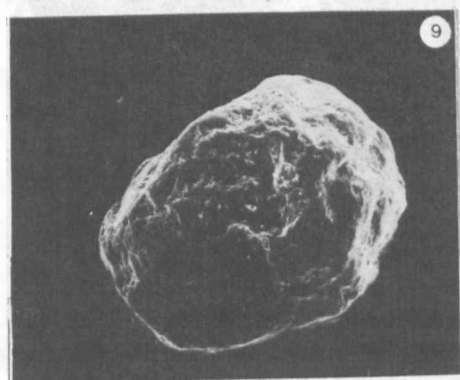
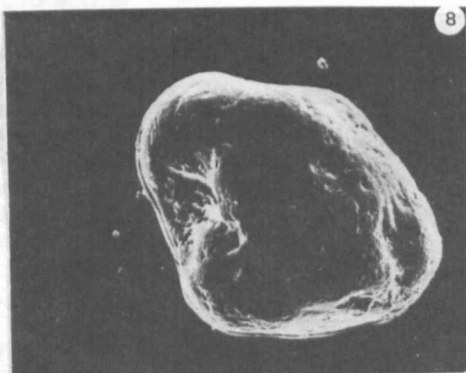
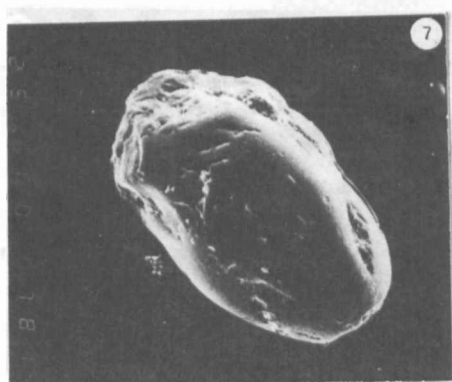
Photo 35. Another fragment of encrusted silica surface with visible irregular areas of dissolution, magn. 2000 x.

Photo 36. Well developed quartz crystals under silica crust – visible in a chipped spot, magn. 2600 x.

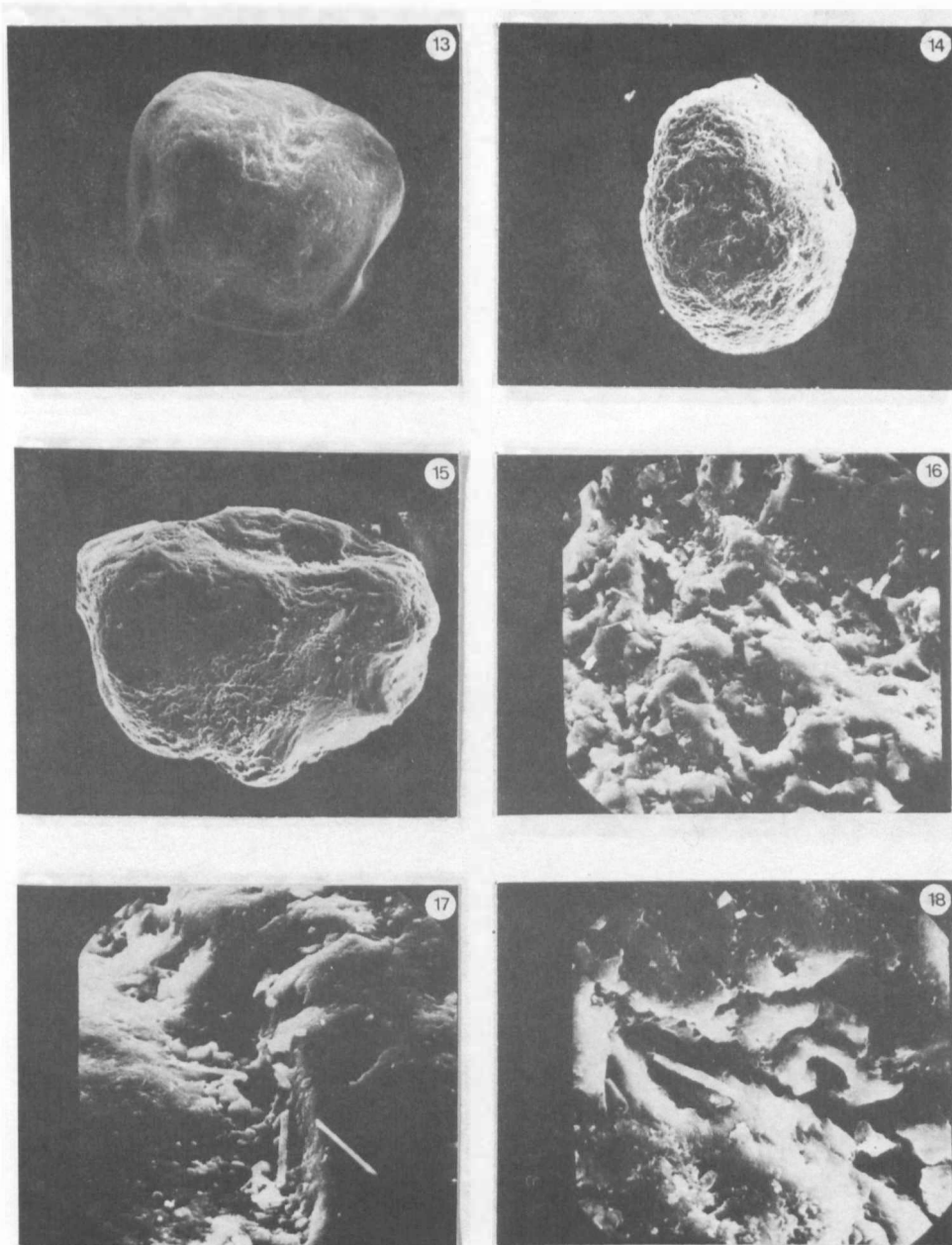




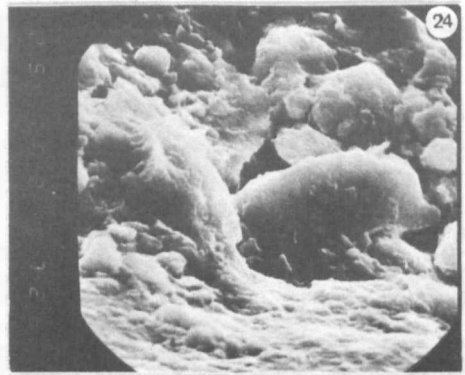
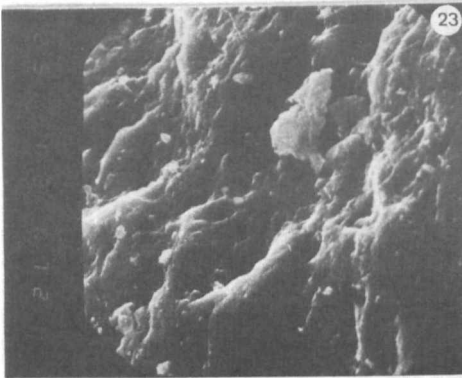
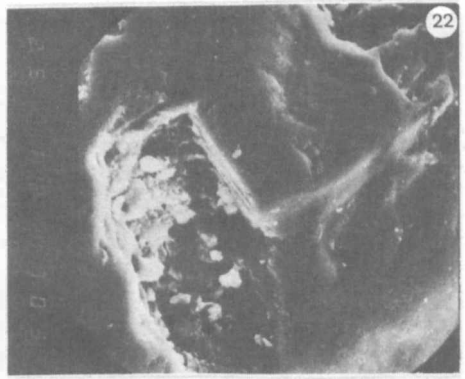
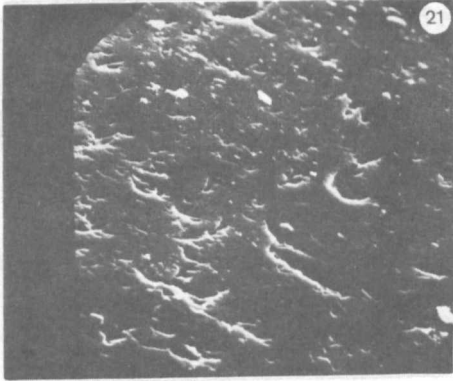
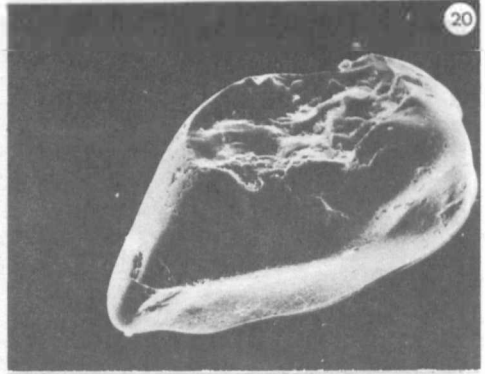
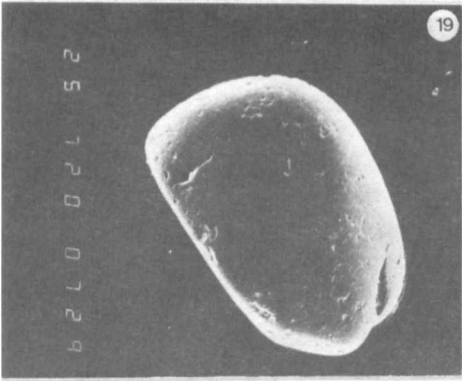
Tabl. I



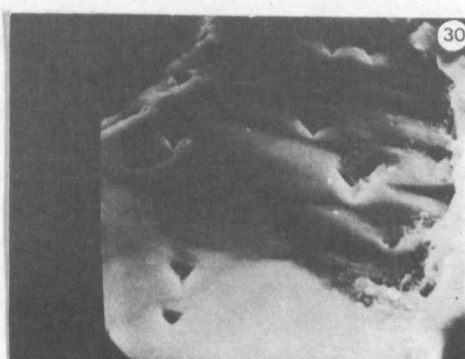
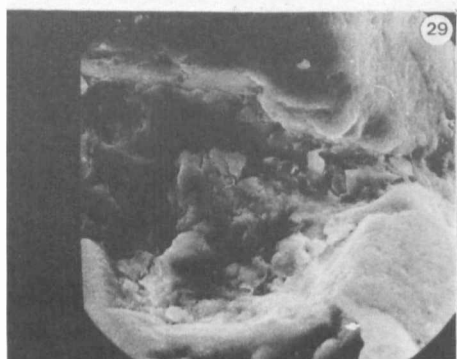
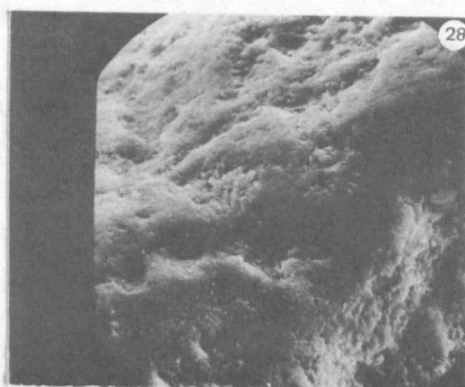
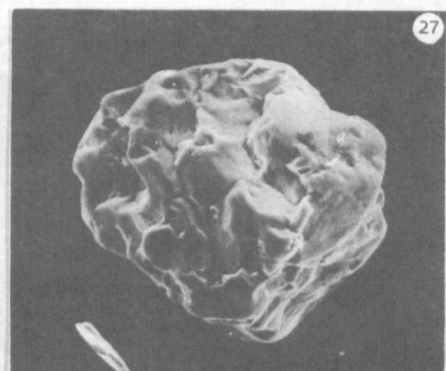
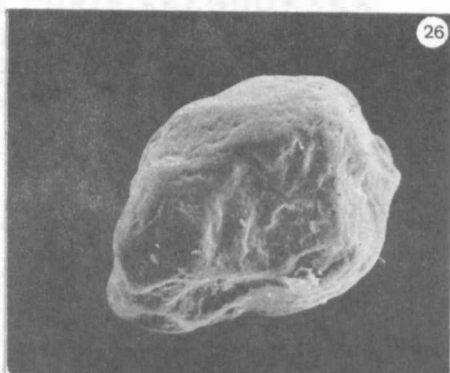
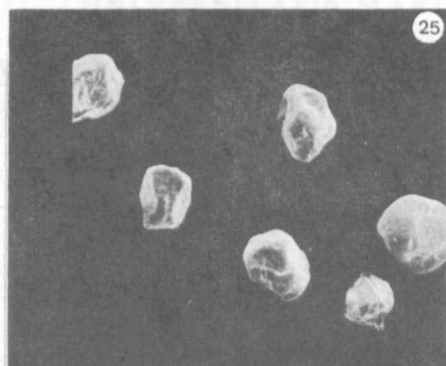
Tabl. II



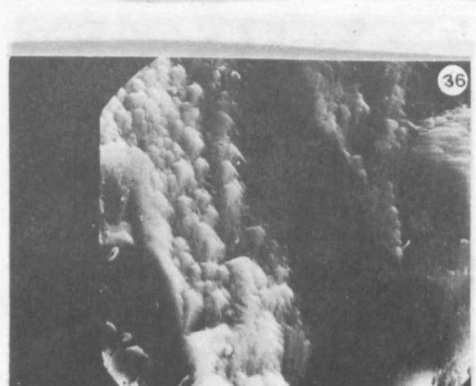
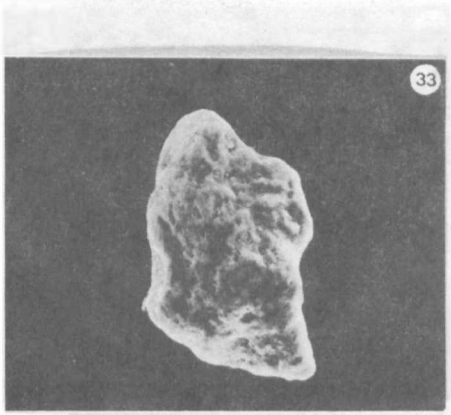
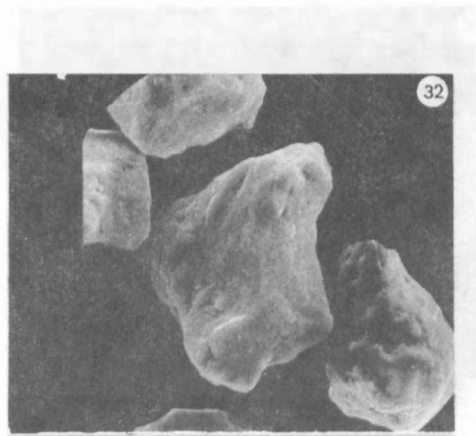
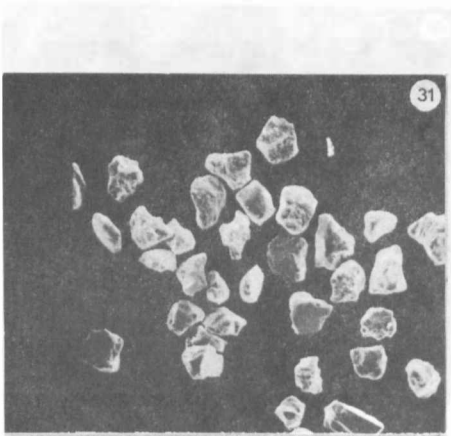
Tabl. III



Tabl. IV



Tabl. V



Tabl. VI