

## Regeneracja ziarn kwarcu w piaszczystych glebach korzeniowych w złożu węgla brunatnego Lubstów k. Konina

Katarzyna Górniak\*, Krzysztof Bahranowski,\* Tadeusz Ratajczak\*, Tadeusz Szydłak\*

### Formation of quartz overgrowth in arenaceous seatearths from the Lubstów brown-coal deposit (central Poland)

**Summary.** Silicified arenaceous seatearths were found to occur within the Adamów beds (Miocene of central Polish brown-coal formation), showing the features of fluvial sediments deposited in peri-outlet zones. Four forms of silica can be distinguished in them: grains of detrital quartz, overgrowths, authigenic quartz crystals and organo-mineral aggregates. Taking into account microstructural features, the sediments in question are silcretes of quartzitic type formed in early diagenetic stage under superficial conditions. They appear of top parts of each of sedimentation cycles distinguished, directly under brown coal beds. The relations between the above forms of silica indicate multi-stage character of silification process. They consist in superposition of overgrowths, closing of authigenic quartz crystals within these overgrowths and the presence of dissolution pits in overgrowths and in detrital grains. The source of silica was local dissolution promoted by participation of organic matter. Poorly crystalline silica was primarily bound in organo-mineral aggregates and mobilized after removal of organic substance, being subjected to recrystallization process, forming authigenic quartz crystals and overgrowths. The model of circulation of silica in the environment of formation of arenaceous seatearths within the Adamów beds is presented in Fig. 15.

Piaszczyste gleby korzeniowe, nazywane również piaszczystymi sitersami (*seatearths*) lub ganisterami, są znane z różnowiekowych formacji węglonośnych (m.in. Spears, 1990; Górniak, 1991; Kus, 1993), nie są to jednak utwory pospolite. Istotnym procesem związanym z formowaniem się sitersów jest sylifikacja, która w końcowym etapie prowadzi do tworzenia się silkretów. Badane skały są ciekawym przykładem silkretów typu kwarcytowego (klasyfikacja wg Smale'a, 1973) lub typu GS (*grain-supported*) (klasyfikacja wg Summerfielda, 1983) powstałych w wyniku powierzchniowej sylifikacji piaszczystych gleb korzeniowych.

### Materiał

Przedmiotem badań są piaszczyste gleby korzeniowe występujące w środkowym fragmencie profilu formacji węglonośnej Niżu Polskiego w obrębie miocenich warstw adamowskich. Warstwy adamowskie odsłaniają się w odkrywcze Lubstów (Kopalnia Węgla Brunatnego Konin). We wschodniej ścianie wyrobiska jest widoczne ok. 15 m ich miąższości (ryc. 1). Są to brązowo-

czarne piaski, lokalnie zsylikowane zawierające liczne uwęglone szczątki roślin (m.in. szyszki). Wyróżnione w ich profilu paleogleby charakteryzują się obecnością uwęglonych korzeni drzew w pozycji wzrostu (ryc. 2), lokalnym wybieleniem oraz sylifikacją stanowiącą przyczynę ich zlitfikowania.

Do badań pobrano próbki piasków różniących się stopniem lityfikacji (ryc. 3).

### Metody badań

Próbki naturalne oraz wydzielone z nich frakcje (>60 i <60 µm) badano przy użyciu mikroskopu scanningowego (SEM EDX), optycznego oraz wykorzystując metodę rentgenograficzną (DSH). Próbki do badań powierzchni ziarn kwarcu przygotowano zgodnie z metodyką Krinsleya i Doornkampfa (1973).

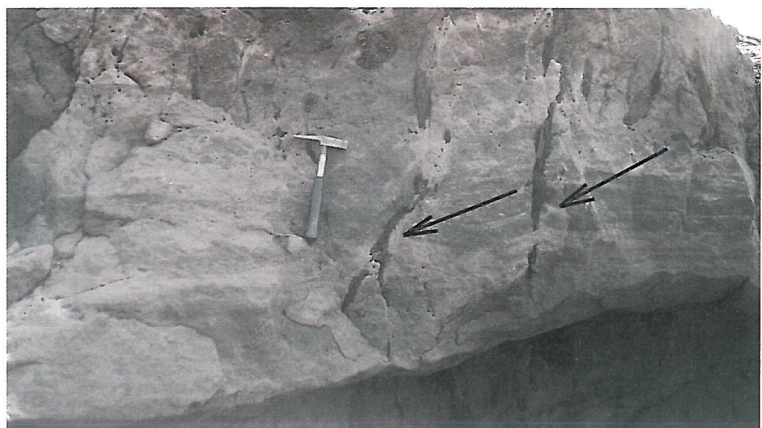
### Wyniki badań

**Profil i środowisko sedymentacji.** Warstwy adamowskie są osadem cyklicznym. W badanym odsłonięciu składają się one z trzech sekwencji piaszczystych o zmieniającej



Ryc. 1. Odsłonięcie warstw adamowskich we wschodniej ścianie odkrywki Lubstów k. Konina

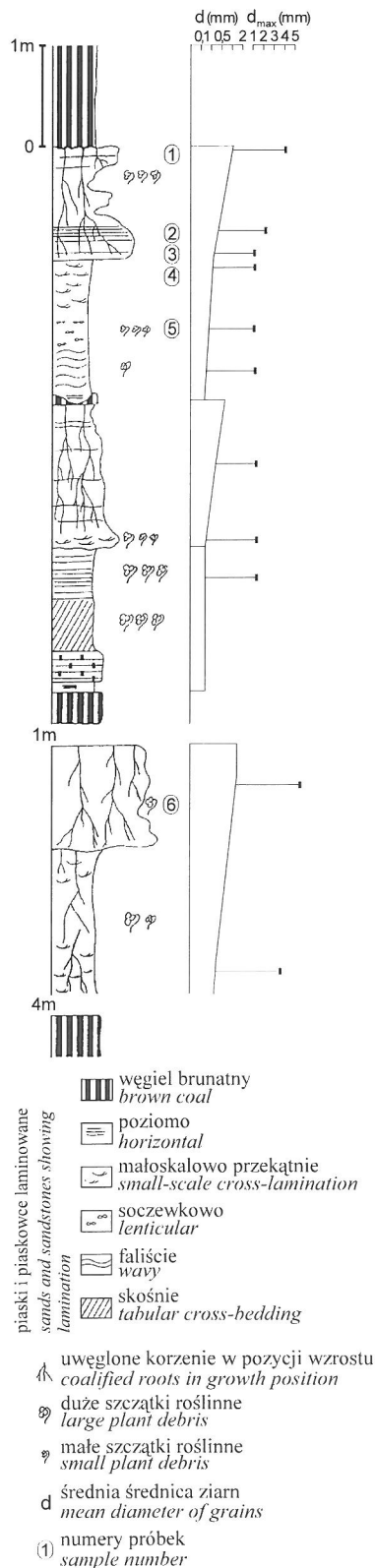
Fig. 1. Outcrop of the Adamów beds in the eastern part of the Lubstów open-pit near Konin



Ryc. 2. Paleogleba z warstw adamowskich zawierająca uwęglone korzenie drzew w pozycji wzrostu

Fig. 2. Paleosol within the Adamów beds containing coalified tree roots in growth position

\*Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków



**Ryc. 3.** Profil warstw adamowskich we wschodniej ścianie kopalni Lubstów  
**Fig. 3.** Adamów beds section in eastern part of the Lubstów open-pit

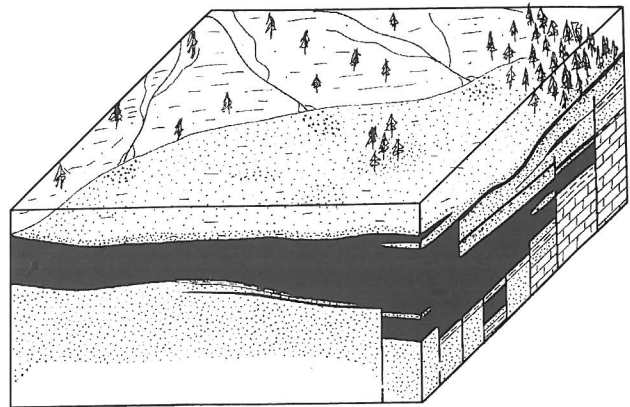
się wielkości ziarna (ryc. 3). Paleogleby występują w stropowych częściach każdej z nich. Analiza cykliczności i struktur sedimentacyjnych wskazuje na przyujściowe środowisko sedimentacji tych osadów. Cykle wykazują wzrost wielkości ziarna ku stropowi sekwencji. Rozpoczynają się one piaskami z laminacją poziomą, wyżej pojawia się laminacja skośna lub falista i soczewkowa, a następnie małoskalowa przekątna. W stropowych odcinkach cykli następuje zanik struktur sedimentacyjnych spowodowany obecnością licznych korzeni roślin. Rozwój roślinności i utworzenie gleb, a następnie pokładów węgla, kończy każdy z cykli (ryc. 3). Podobna sekwencja osadów została opisana w południowo-zachodniej ścianie odkrywki Lubstów przez Biernacką & Wojewodę (1992).

Cykliczny rozwój gleb spowodowany był ruchami uskoków obrzeżających rów tektoniczny, w którym utworzył się basen węglowy (ryc. 4).

Sylifikację obserwuje się w piaskach o najgrubszym uziarnieniu bezpośrednio podścielających pokład węgla.

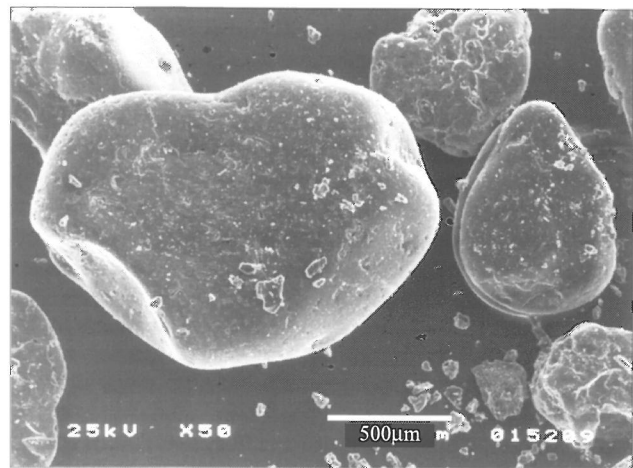
**Formy krzemionki w piaszczystych glebach korzeniowych.** Warstwy adamowskie są osadem dojrzałym. Występujące w ich obrębie paleogleby zawierają różne formy krzemionki oraz substancję organiczną. Krzemionka występuje jako:

- ziarna kwarcu detrytycznego,



**Ryc. 4.** Model środowiska sedimentacji warstw adamowskich w obszarze kopalni Lubstów

**Fig. 4.** Model of depositional environment of the Adamów beds in the open-pit Lubstów area



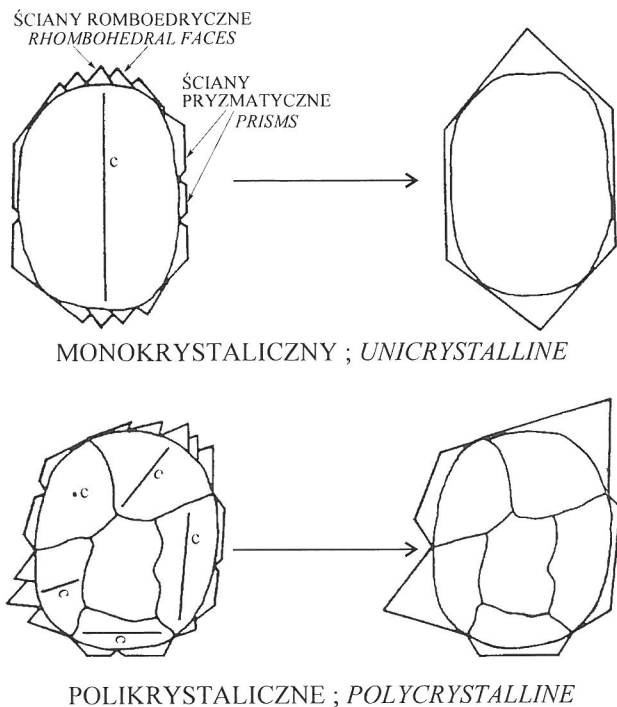
**Ryc. 5.** Dobrze obtoczone ziarna kwarcu z gęstą rzeźbą abrazyjną pogłębioną wietrzeniem chemicznym. SEM, próbka 4  
**Fig. 5.** Well rounded quartz grains showing abrasion fractures deepened by chemical etching. SEM, sample 4



- obwódki regeneracyjne,
- autogeniczne kryształy kwarcu,
- składnik agregatów organo-mineralnych.

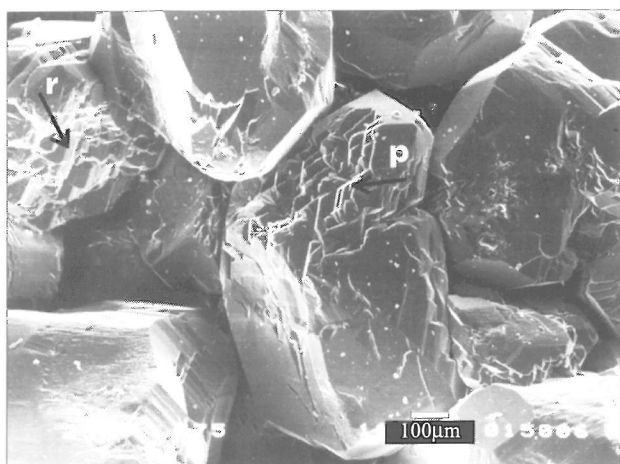
Ziarna kwarcu detrytycznego są dobrze obtoczone i wysortowane, z gęstą rzeźbą abrazyjną pogłębioną wietrzeniem chemicznym (ryc. 5).

Obwódki regeneracyjne występują w dwóch stadiach rozwoju: pośrednim i końcowym. Stadium pośrednie (wg Waugh, 1970) polegające na rozrastaniu się pojedynczych kryształów romboedrycznych zgodnie z kierunkiem osi c ziarna detrytycznego



**Ryc. 6.** Teoretyczny model rozwoju obwódek regeneracyjnych na mono- i polikrystalicznych ziarnach kwarcu z uwzględnieniem orientacji osi krystalograficznej c (wg Waugh, 1970)

**Fig. 6.** Theoretical development phases of quartz overgrowths on uni- and polycrystalline grains, with respect to the orientation of the crystallographic c-axis (after Waugh, 1970)



**Ryc. 7.** Rozrastanie się kryształów pryzmatycznych (p) i romboedrycznych (r) na powierzchni ziarn kwarcu w pośrednim stadium rozwoju obwódek regeneracyjnych. SEM, próbka 3

**Fig. 7.** Merging and overlap of prismatic (p) and rhombohedral (r) crystals growing on the surface of quartz grains in the advanced stage of overgrowths development. SEM, sample 3

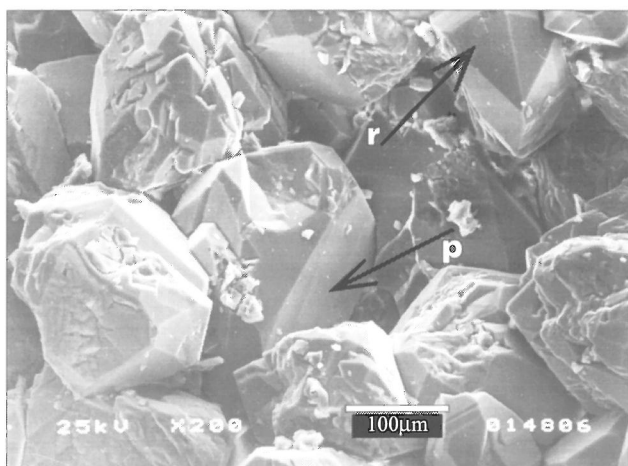
i kryształów pryzmatycznych prostopadle do niej (ryc. 6, 7), jest rzadziej obserwowane. Na ogół ziarna wykazują końcowy etap rozwoju obwódek, w wyniku którego z połączenia się izolowanych kryształów tworzą się na nich odpowiednio ściany romboedryczne lub pryzmatyczne (ryc. 8).

Autogeniczne kryształy kwarcu osiągają wielkość do 15 µm. Wśród nich najliczniej występują kryształy słupkowe (słup heksagonalny zakończony dwiema piramidami, ryc. 9, 10) ponadto spotyka się kryształy izometryczne (redukcja ścian słupa) oraz tabliczkowe, pinakoidalne (ryc. 9).

Agregaty organo-mineralne (ryc. 10) tworzy substancja organiczna oraz krzemionka.

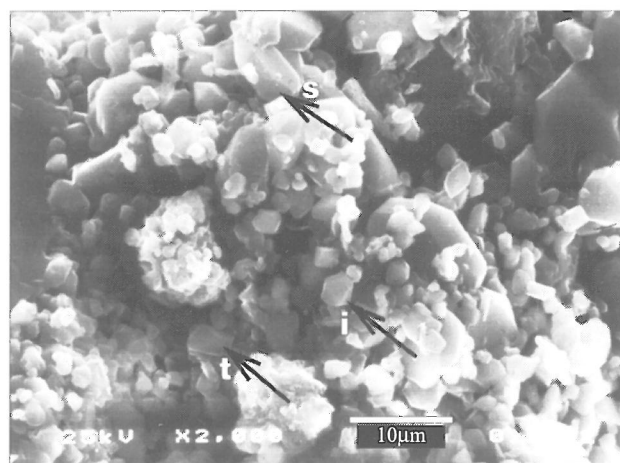
**Relacje między formami krzemionki.** Współwystępowanie omówionych form krzemionki pozwala na ustalenie następujących relacji między nimi:

- nakładanie się obwódek regeneracyjnych, które wskazuje na wieloetapowość tego procesu (ryc. 11),
- kontakty między zregenerowanymi ziarnami najczęściej punktowe lub liniowe i przestrzeń porowa ograniczona



**Ryc. 8.** W pełni wykształcone ściany romboedryczne (r) i pryzmatyczne (p) w końcowym stadium rozwoju obwódek regeneracyjnych. SEM, próbka 2

**Fig. 8.** Well-developed crystal faces (rhombohedral (r) and prismatic (p)) representing final stage of overgrowth development. SEM, sample 2



**Ryc. 9.** Autogeniczne kryształy kwarcu o pokroju słupkowym (s), izometrycznym (i) i tabliczkowym, pinakoidalnym (t). SEM, próbka 6

**Fig. 9.** Crystal forms of authigenic quartz: prismatic with rhombohedral termination (s), isometric (i) and tabular, pinacoidal (t). SEM, sample 6

ścianami kryształów (ryc. 12) świadczy o dużej pierwotnej porowatości osadu,

— zamykanie autogenicznych ziarn kwarcu w obrębie obwódek regeneracyjnych (ryc.13) wskazuje na naprzemienną krystalizację obu tych form krzemionki,

— obecność kawern korozyjnych na ziarnach kwarcu detrytycznego i na obwódkach regeneracyjnych oraz występujące obok oskorpupienia słabo krystalicznej krzemionki (ryc. 14) dowodzą, że jej źródłem było rozpuszczanie kwarcu przebiegające naprzemiennie z krystalizacją.

### Dyskusja

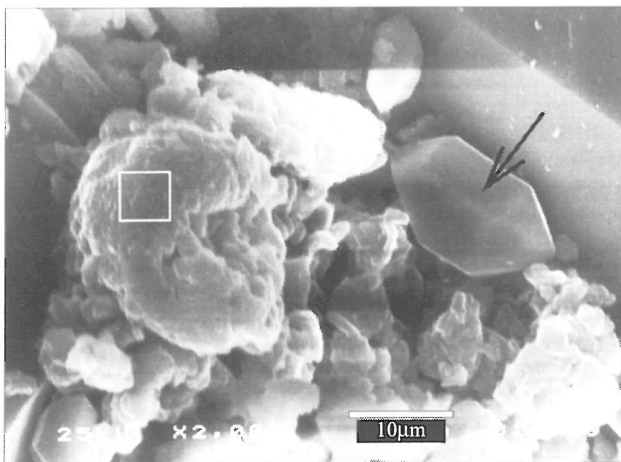
Silkreta jest to termin litologiczny używany w przypadku kruchych, silnie zlifikowanych skał składających się głównie z kwarcu i spoiwa krzemionkowego (*vide* Singh i in., 1992) powstających w wyniku sylikacji powierzchniowej (silkrety pedogeniczne) oraz podpowierzchniowej (silkrety powstające w strefie wahania wód gruntowych) (*vide* Hesse, 1989).

Położenie zsylikowanych piaszczystych gleb korzeniowych, stanowiących przedmiot badań, w stropowych odcinkach cykli sedymentacyjnych oraz relacje między formami występującej w nich krzemionki wskazują, że proces ich sylikacji przebiegał w warunkach powierzchniowych.

Powierzchniową sylikację osadów obserwuje się zarówno w utworach kopalnych (m.in. Summerfield, 1983; Thiry i in., 1984; Thiry & Millot, 1987) jak i współczesnych (m.in. Singh i in., 1992; Arakel, 1993; Gardner & Hendry, 1995). Charakterystycznym składnikiem silkretów pedogenicznych jest substancja organiczna. Niektórzy autorzy (Pittman, 1972; Wilson, 1986; Gardner & Hendry, 1995) podkreślają jej istotną rolę w procesach uruchamiania i wazania krzemionki. Rozkład substancji organicznej w początkowym etapie powoduje lokalną alkalizację środowiska wpływającą na wzrost rozpuszczalności  $\text{SiO}_2$ . Znana jest także kompleksująca rola kwasów humusowych (Evans, 1964).

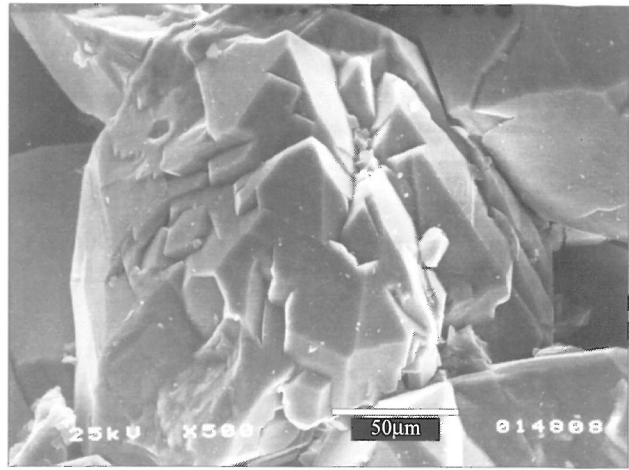
Badane utwory są odmianą silkretów pedogenicznych charakteryzującą się występowaniem krzemionki głównie w formie krystalicznej (obwódki regeneracyjne) oraz brakiem substancji ilastej.

Cechy mikrostrukturalne silkretów (formy występowania krzemionki) zależą, zdaniem Summerfielda (1983), od składu mineralnego skały macierzystej, jej cech strukturalno-teksturalnych oraz klimatu.



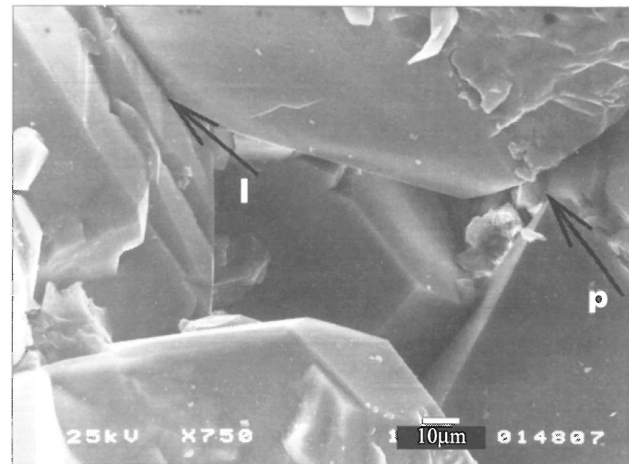
**Ryc. 10.** Agregat organo-mineralny i autogeniczny kryształ kwarcu o pokroju słupkowym (strzałka) w silkrecie. SEM, próbka 1

**Fig. 10.** Organo-mineral aggregate and authigenic quartz showing prismatic habit with rhombohedral termination (arrow) in silcrete. SEM, sample 1



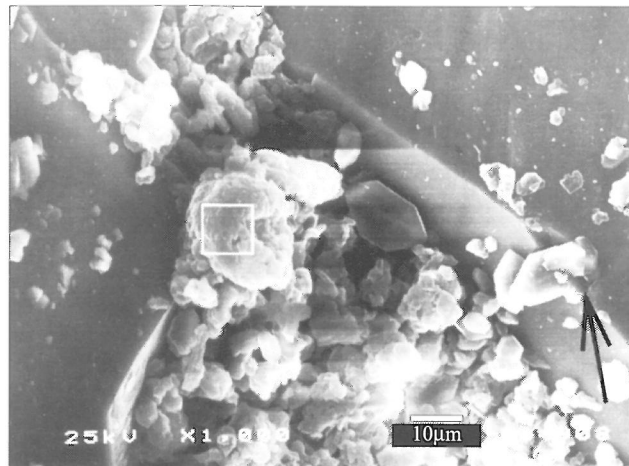
**Ryc. 11.** Nakładanie się obwódek regeneracyjnych na powierzchni ziarna kwarcu. SEM, próbka 2

**Fig. 11.** Overlap of overgrowths on the surface of quartz grain. SEM, sample 2



**Ryc. 12.** Przestrzeń porowa między zregenerowanymi ziarnami kwarcu w silkrecie. Kontakty międzyziarnowe punktowe (p) oraz linijne (l). SEM, próbka 2

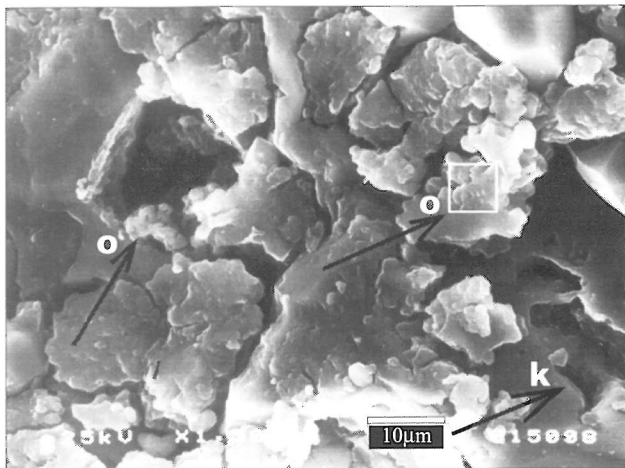
**Fig. 12.** Pore space between regenerated quartz grains in silcrete. Tangential (p) and straight (l) inter-grain contacts. SEM, sample 2



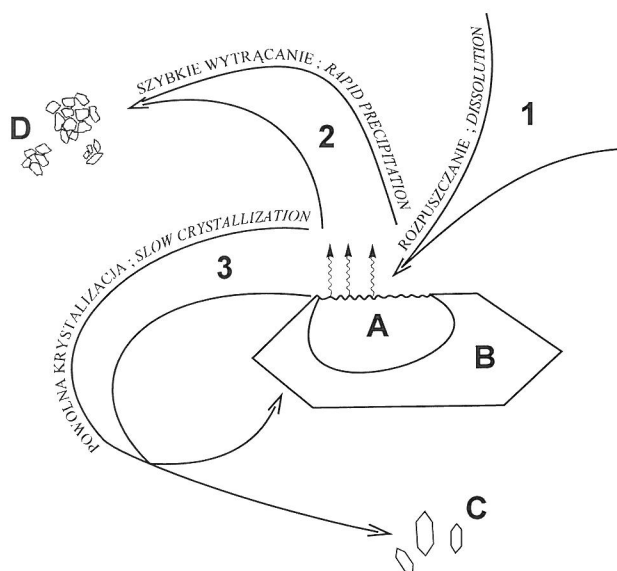
**Ryc. 13.** Autogeniczne ziarna kwarcu (strzałka) uwięzione w obwódce regeneracyjnej. SEM, próbka 1

**Fig. 13.** Authigenic quartz grains (arrow) closed within an overgrowth. SEM, sample 1

Skład mineralny skały macierzystej jest odpowiedzialny za skład roztworów porowych. Kwarc w formie obwódek regeneracyjnych krystalizuje powoli z roztworów rozcieńczonych, zaś niżej krystaliczne formy krzemionki wytrącają się szybko z roztworów stężonych (vide Waugh, 1970; Pittman, 1972; Tankard & Krinsley, 1975; Summerfield, 1983; Thiry & Millot, 1987). Petrograficzna dojrzałość osadu, z czym wiąże się brak w roztworach porowych kationów powodujących zaburzenia wzrostu kryształów (Summerfield, 1983), sprzyja krystalizacji krzemionki w formie obwódek regeneracyjnych.



Ryc. 14. Kawemy korozyjne (k) oraz oskorupienia słabo krystaliczną krzemionką (o) na ziarnach kwarcu w silkrete. SEM, próbka 3  
Fig. 14. Dissolution pits (k) and precipitation of poorly crystalline silica (o) on a surface of quartz grain in silcrete. SEM, sample 3



Ryc. 15. Model sylifikacji piaszczystych gleb korzeniowych z warstw adamowskich; A — ziarno kwarcu detrytycznego, B — obwódka regeneracyjna, C — autogeniczne ziarna kwarcu, D — agregaty organo-mineralne, 1 — kwasy humusowe rozcieńczone w wodach gruntowych i porowych, 2 — roztwory krzemionki o dużym stężeniu, 3 — roztwory krzemionki o małym stężeniu

Fig. 15. Silification model of an arenaceous seatearth from the Adamów beds; A — detrital quartz grain, B — quartz overgrowth, C — authigenic quartz grains, D — organo-mineral aggregates, 1 — humic acids diluted in ground- and pore waters, 2 — solution with high concentration of silica, 3 — solution with low concentration of silica

Cechy strukturalno-teksturalne warunkują rozwój obwódek regeneracyjnych. Z prac Waugh (1970) i Jamesa i in. (1986) wynika, że pełniejszy ich rozwój oraz wielokrotnie liczniejsze występowanie ziarn zregenerowanych jest obserwowane w osadach gruboziarnistych o dużej przestrzeni porowej.

Piaszczyste gleby korzeniowe, stanowiące przedmiot pracy, rozwinęły się na osadach petrograficznie dojrzałych i gruboziarnistych. Występowanie w nich autogenicznego kwarcu (obwódki regeneracyjne, drobne kryształy) obok niskokrystalicznej krzemionki wskazuje na zmienne stężenie  $\text{SiO}_2$  w roztworach porowych.

## Wnioski

Sylifikacja piaszczystych gleb korzeniowych z trzeciorzędowej formacji brunatnowęglowej środkowej Polski przebiegała w warunkach wczesnej diagenety. Pojawianie się tych utworów w stropowym odcinku każdego z trzech wyróżnionych cykli sedimentacyjnych wskazuje, że ich lityfikacja miała miejsce przed kompaktacją.

Obecność kilku generacji obwódek regeneracyjnych dokumentuje wieloetapowość doprowadzania  $\text{SiO}_2$ , związaną np. z rocznymi zmianami klimatycznymi.

Procesy krystalizacji i rozpuszczania kwarcu mogły przebiegać równolegle w różnych miejscach w obrębie osadu w związku z lokalnymi zmianami warunków środowiskowych.

Znaczącą rolę substancji organicznej w procesach rozpuszczania i uwalniania krzemionki dokumentuje obecność agregatów organo-mineralnych.

Model obiegu krzemionki w środowisku formowania się piaszczystych gleb korzeniowych z trzeciorzędowej formacji brunatnowęglowej środkowej Polski przedstawia rycina 15.

## Literatura

- ARAKEL A.V. 1993 — Austral. J. Earth Sc., 38: 333–347.  
BIERNACKA J. & WOJEWODA J. 1992 — [W:] Przew. Seminarium Sedym. pt. Osady i procesy sedimentacji w środowiskach i systemach depozycyjnych w zapisie współczesnym i kopalnym. Poznań, 31.08–2.09.1992: 33–35.  
EVANS W.D. 1964 — [W:] Advances in geochemistry. MacMillan Co., New York, 488 p.  
GARDNER R.A.M. & HENDRY D.A. 1995 — J. Geol. Soc., London, 152: 183–192.  
GÓRNIAK K. 1991 — Pr. Geol. PAN Kraków, 136: 1–95.  
HESSE R. 1989 — Earth-Sc. Rev., 26: 253–284.  
JAMES W.C., WILMAR G.C. & DAVIDSON B.G. 1986 — J. Sediment. Petrology, 56: 657–662.  
KRINSLEY D.H. & DOORNKAMP J.C. 1973 — Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge Univ. Press.  
KUS C. 1993 — [W:] Mat. Česko-Polské Konference o sedimentologii karbonu homosilezké pánve. Ostrava, 15–17.09.1993: 59–66.  
PITTMAN E.D. 1972 — J. Sediment. Petrol., 42: 507–519.  
SINGH Balbir, GILKES R.J. & BUTT C.R.M. 1992 — Clays and Clay Miner., 40: 702–724.  
SMALE D. 1973 — J. Sediment. Petrol., 43: 1077–1089.  
SPEARS D.A. 1990 — Sc. Géol. Mém., 88: 115–124.  
SUMMERFIELD M.A. 1983 — Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 41: 65–79.  
TANKARD A.J. & KRINSLEY D.H. 1975 — Transactions of the Geological Society of South Africa, 77: 285–289.  
THIRY M. & MILLOT G. 1987 — J. Sediment. Petrology, 57: 343–352.  
THIRY M., PANZIERA J.P. & SCHMITT J.M. 1984 — Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, 21: 23–32.  
WAUGH B. 1970 — Sedimentology, 14: 309–320.  
WILSON M.J. 1986 — J. Geol. Soc., London, 143: 691–697.