

Charakterystyka przestrzeni porowej kredy piszącej rejonu Chełma

Arkadiusz Olszewski*

Węglanowe, szczelinowo-porowe skały wodonośne charakteryzują się dużą strukturalną niejednorodnością budowy. Stanowi to podstawę do określenia ich anizotropii gromadzenia i przewodzenia wody. Poznanie warunków filtracji wód podziemnych wymaga określenia charakteru szczelinowatości górotworu. Natomiast do opisu charakteru migracji zanieczyszczeń potrzebne jest także określenie ich porowatości. Wpływa ona bowiem na procesy dyfuzji i dyspersji molekularnej odbywające się w strefach aeracji i saturacji.

Zjawiskiem mikroporowatości wodonośca szczelinowego zajmowano się w Angli już od dość dawna (m.in. Downing i in., 1979; Black & Kipp, 1983; Wellings, 1984; Carey & Lloyd, 1985) opisując budowę utworów węglanowych. Podobnie analizowano także rodzime skały wodonośne charakteryzujące się dużą szczelinowatością i mikroporowatością (Drażowski, 1981; Łozińska-Stępień, 1975, 1988; Rybicki & Rybicki, 1973; Motyka & Zuber, 1992; Motyka i in., 1994; Zuber & Motyka, 1994). Stwierdzili oni m. in., że mikropory tych skał stanowią ważną rolę w migracji jonów w wodach podziemnych.

Celem badań było określenie oraz scharakteryzowanie porowatości całkowitej skał węglanowych wodonośca szczelinowego kredy piszącej rejonu Chełma. Badania przeprowadzono za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Określenie mikroporowatości stanowi pierwszy etap prac, który pozwoli na poznanie mikrostrukturalnej budowy tych skał. Wyniki badań zostaną wykorzystane do dalszych analiz, dotyczących określenia procesów migracji zanieczyszczeń w warunkach laboratoryjnych, bez uwzględnienia szczelinowatości i spękań kredy piszącej. Analiza dotyczyć będzie zjawiska rozchodzenia się migranta zanieczyszczającego w warunkach całkowitego nasycenia wodą skały z uwzględnieniem zjawiska dyfuzji.

Utwory kredy piszącej wieku górnokredowego są głównym poziomem wodonośnym w rejonie Chełma. Filtracja

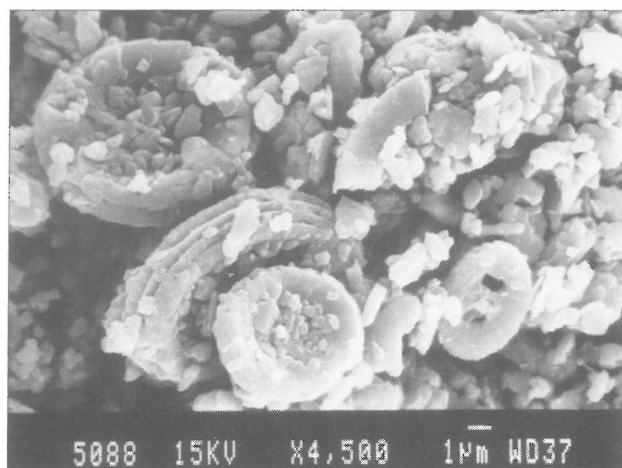
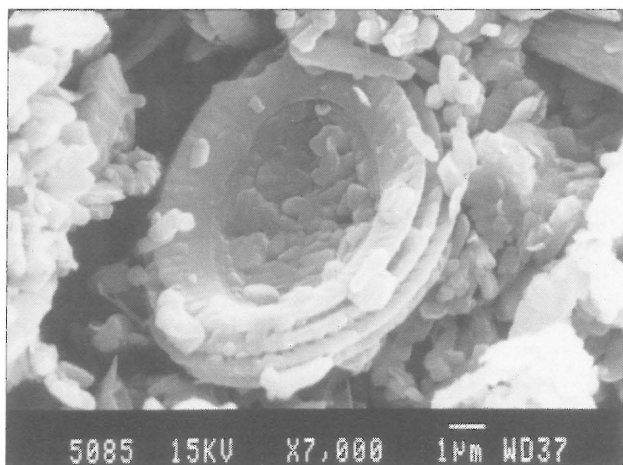
wód podziemnych do głębokości kilkudziesięciu metrów poniżej powierzchni terenu odbywa się głównie dzięki dużej ilości szczelin i spękań (Krajewski, 1970, 1984; Herlich & Krajewski, 1977). Należy jednak pamiętać, że skały te charakteryzują się dużą mikroporowatością. W strefie saturacji warstwy wodonośnej są one w pełni zawodnione. Wilgotność kredy piszącej w warunkach naturalnych przekracza nawet 30%.

Struktura kredy

Kreda pisząca jest skałą zbudowaną głównie ze szczątków organicznych: ułamków otwornic i inoceramów, kokolitów i spikul gąbek (ryc. 1). Wiek kredy piszącej z rejonu Chełma określono na górną kredę-mastrycht (Wyrwicka & Peryt, 1984). W 80 do 95% składa się ona głównie z węglanu wapnia, krzemionka stanowi od 2 do 12% składu mineralnego. Występują także niewielkie ilości minerałów ilastych 0,2 do 5,0% oraz minerały akcesoryczne: piryt, wodorotlenki żelaza, a także glaukonit. Makroskopowo kreda pisząca jest skałą drobnopelityczną, charakteryzującą się uławiczeniem oraz przełamem ziemistym (Drażowski, 1981; Łozińska-Stępień, 1975, 1988; Rybicki & Rybicki, 1973).

Poddając analizie obrazy graficzne otrzymane przy użyciu SEM stwierdzono, że kreda pisząca posiada mikrostrukturę komórkową (Grabowska-Olszewska i in., 1984). Jest ona jednak zaburzona poprzez występowanie wolnych przestrzeni po wypłukanych igłach gąbek.

Duża porowatość kredy piszącej ma wiele przyczyn. Część porów to wolne przestrzenie po wypłukanych szkieletach organizmów, np: po spikulach gąbek, częściowo zajęte przez wykryształizowane nowe składniki mineralne wchodzące w skład kredy piszącej. Przeważająca część mikroporów to wolne przestrzenie pozostałe pomiędzy wykryształizowanymi składnikami mineralnymi tworzącymi kredę.



Ryc. 1. Kreda pisząca z okolic Chełma powiększenie 7000 i 4500 x. Widoczne szczątki kokolitów

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

Tab. 1. Zestawienie wyników wybranych parametrów analiz SEM dla kredy piszącej okolic Chełma

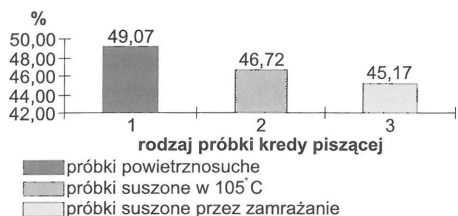
| Chełm - kreda pisząca | | | Próbki powietrznosuche | | | | |
|-----------------------|-----------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| nr próbki | porowatość % | ilość porów | wartości średnie dla porów | | | współczynnik przepuszcz. mD | współczynnik filtracji m/s |
| | | | średnica μm | powierzchnia μm^2 | obwód μm | | |
| 16ao1 | 42,82 | 151 | 1,46 | 4,98 | 12,34 | 5,24E-03 | 5,03E-11 |
| 16ao2 | 53,13 | 788 | 0,80 | 1,18 | 5,36 | 4,08E-03 | 3,92E-11 |
| 16ao3 | 50,79 | 609 | 0,74 | 1,23 | 5,01 | 3,22E-03 | 3,10E-11 |
| 16ao4 | 46,04 | 133 | 1,60 | 5,02 | 13,76 | 3,45E-03 | 3,31E-11 |
| 16ao5 | 52,79 | 957 | 0,73 | 1,00 | 4,94 | 3,57E-03 | 3,43E-11 |
| 16che1 | 53,49 | 264 | 0,78 | 0,89 | 5,70 | 4,96E-04 | 4,77E-12 |
| 8ao1 | 48,55 | 615 | 0,76 | 1,05 | 5,39 | 2,14E-03 | 2,06E-11 |
| 8ao2 | 46,11 | 161 | 1,03 | 3,85 | 9,46 | 3,87E-03 | 3,72E-11 |
| 8ao3 | 53,38 | 55 | 1,97 | 4,88 | 14,60 | 1,26E-03 | 1,21E-11 |
| 8ao4 | 44,73 | 213 | 1,22 | 3,61 | 10,48 | 2,60E-03 | 2,49E-11 |
| 8ao5 | 47,93 | 157 | 0,89 | 2,20 | 6,79 | 1,87E-03 | 1,80E-11 |
| średnia | 49,07 | 373 | 1,09 | 2,72 | 8,53 | 2,89E-03 | 2,78E-11 |
| Chełm - kreda pisząca | | | Próbki suszone w 105 °C | | | | |
| nr próbki | porowatość % | ilość porów | wartości średnie dla porów | | | współczynnik przepuszcz. mD | współczynnik filtracji m/s |
| | | | średnica μm | powierzchnia μm^2 | obwód μm | | |
| 312ao1 | 48,48 | 638 | 0,78 | 1,19 | 5,55 | 4,72E-03 | 4,54E-11 |
| 312ao2 | 42,43 | 417 | 1,07 | 3,65 | 10,40 | 8,79E-03 | 8,45E-11 |
| 312ao3 | 43,65 | 186 | 1,48 | 4,13 | 11,72 | 4,59E-03 | 4,41E-11 |
| 312ao4 | 46,90 | 185 | 1,64 | 5,18 | 14,85 | 4,67E-03 | 4,49E-11 |
| 312ao5 | 43,08 | 728 | 0,73 | 1,78 | 5,68 | 8,25E-03 | 7,93E-11 |
| 313ao1 | 52,41 | 221 | 0,96 | 1,60 | 6,92 | 1,11E-03 | 1,06E-11 |
| 313ao2 | 46,52 | 165 | 1,19 | 3,87 | 9,39 | 5,09E-03 | 4,89E-11 |
| 313ao3 | 50,03 | 681 | 0,87 | 1,60 | 6,80 | 4,57E-03 | 4,39E-11 |
| 313ao4 | 47,18 | 412 | 0,78 | 1,61 | 5,95 | 3,60E-03 | 3,46E-11 |
| 313ao5 | 46,53 | 437 | 0,90 | 1,72 | 6,24 | 5,73E-03 | 5,50E-11 |
| średnia | 46,72 | 407 | 1,04 | 2,63 | 8,35 | 5,11E-03 | 4,91E-11 |
| Chełm - kreda pisząca | | | Próbki suszone w niskiej temperaturze | | | | |
| nr próbki | porowatość % | ilość porów | wartości średnie dla porów | | | współczynnik przepuszcz. mD | współczynnik filtracji m/s |
| | | | średnica μm | powierzchnia μm^2 | obwód μm | | |
| 111ao1 | 45,67 | 152 | 0,97 | 2,12 | 7,12 | 1,87E-03 | 1,80E-11 |
| 111ao2 | 45,20 | 352 | 0,93 | 1,82 | 7,42 | 2,22E-03 | 2,14E-11 |
| 111ao3 | 46,73 | 546 | 0,96 | 1,51 | 7,31 | 2,99E-03 | 2,87E-11 |
| 111ao4 | 46,24 | 405 | 1,05 | 1,72 | 7,66 | 2,52E-03 | 2,42E-11 |
| 111ao5 | 40,34 | 325 | 1,36 | 4,09 | 12,11 | 7,40E-03 | 7,11E-11 |
| 121ao1 | 45,25 | 474 | 0,74 | 1,98 | 6,25 | 5,65E-03 | 5,43E-11 |
| 121ao2 | 42,77 | 383 | 1,18 | 2,28 | 9,27 | 3,23E-03 | 3,11E-11 |
| 121ao3 | 47,89 | 101 | 1,33 | 3,04 | 10,80 | 1,61E-03 | 1,55E-11 |
| 121ao4 | 45,77 | 431 | 0,82 | 1,89 | 6,98 | 4,23E-03 | 4,07E-11 |
| 121ao5 | 45,88 | 306 | 0,81 | 1,60 | 5,67 | 2,35E-03 | 2,26E-11 |
| średnia | 45,17 | 348 | 1,02 | 2,21 | 8,06 | 3,41E-03 | 3,28E-11 |

Metodyka i zakres badań

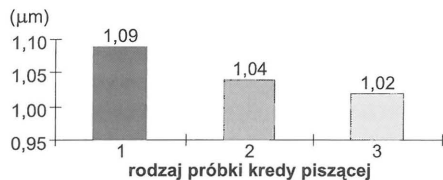
Próbki kredy piszącej pobrane zostały z kopalni odkrywkowej cementowni w Chełmie. Starano się, aby kreda nie była zwietrzała i dlatego pobrano je z dolnej części odkrywki ze ściany przy której pracowała koparka. Kreda pisząca została zabezpieczona przed utratą naturalnej wilgotności. Przygotowanie próbek do badań podjęto bezpośrednio po powrocie z terenu.

Minerały ilaste obecne w kredzie wywołują zjawisko skurczu podczas suszenia tych skał. Aby określić wpływ

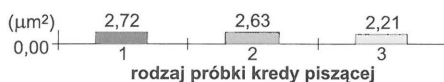
powyższego procesu na wielkość porowatości oraz budowę mikrostrukturalną kredy piszącej przygotowano do badań trzy rodzaje próbek. Skały o naturalnej wilgotności doprowadzono do stanu powietrznosuchego w temperaturze pokojowej. Czas suszenia trwał ponad trzy miesiące, aż do uzyskania stałej masy. Druga część próbek została wysuszona w temperaturze 105°C, także do uzyskania stałej masy. Powyższa preparatyka próbek spowodowała skurcz kredy piszącej. Aby przeciwdziałać zmianie objętości minerałów budujących kredę piszącą na skutek utraty wody postanowiono wysuszyć trzeci rodzaj próbek w niskiej tem-



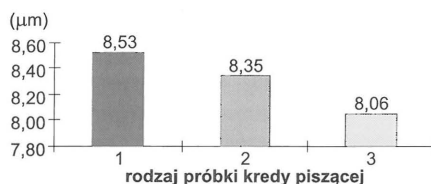
Ryc. 2. Rozkład porowatości całkowitej kredy piszącej



Ryc. 3. Rozkład średnich wartości średnic porów kredy piszącej



Ryc. 4. Rozkład średnich wartości powierzchni porów kredy piszącej



Ryc. 5. Rozkład średnich wartości obwodów porów kredy piszącej

peraturze używając suszarki próżniowej. Próbki kredy piszącej o naturalnej wilgotności zamrożono ciekłym azotem. Następnie w takim stanie poddano je suszeniu. Zamrażanie próbek skalnych ciekłym azotem powoduje, że natychmiast woda znajdująca się w porach zamienia się w kryształki lodu. Krótki czas przejścia fazowego wody nie powoduje nadmiernego wzrostu kryształów lodu. Nie wpływają więc one na charakter budowy mikrostrukturalnej kredy piszącej. Wykonując badania testowe Smart & Tovey (1981, 1982) oraz Osipov i in. (1989) stwierdzili, że niskotemperaturowa metoda suszenia skał nie wpływa na zmianę budowy skał. Można więc założyć, że parametry porowatości określone dla tego rodzaju próbek skalnych opisują budowę mikrostrukturalną kredy piszącej w warunkach naturalnych.

Badań SEM próbek kredy dokonano na świeżym przełamie skalnym. Nie istnieje więc możliwość popełnienia błędów analizy na skutek zapylenia porów na opracowywanej powierzchni (kreda pisząca jest skałą kruchą, łatwo pyłącą się pod wpływem cięcia lub ścierania). Powierzchnię do analizy poddano przygotowaniu specjalistycznemu koniecznemu aby poddać skały analizie używając mikroskopu skaningowego.

Założono, że głównymi i reprezentatywnymi parametrami określającymi budowę mikrostrukturalną kredy piszącej w warunkach naturalnych są wielkości określające porowatość próbek suszonych w niskich temperaturach (Smart & Tovey, 1981, 1982; Osipov i in., 1989).

Wyniki badań opracowano przy pomocy programu komputerowego STIMAN. Zeskanowane obrazy SEM (w powiększeniach 1000, 2000, 4000, 8000 razy) poddane zostały analizie komputerowej. Wykorzystując blok rejestrujący i analizy statystycznej programu STIMAN dokonano analiz: ilościowych i jakościowych. Program opracowuje obrazy graficzne przesyłane z SEM i na ich podstawie dokonuje obliczeń parametrów charakteryzujących porowatość całkowitą. Poddając opracowaniu obrazy graficzne program komputerowy między innymi wykorzystuje nasycenie barw analizowanego obrazu. Na tej podstawie dokonywane są pomiary i obliczenia. Nie jest on w stanie dokonać pomiarów porowatości efektywnej, gdyż analizując obrazy graficzne nie można otrzymać tego parametru (Kaczyński & Trzczyński, 1997).

Wyniki badań

Średnią porowatość kredy piszącej suszonej w procesie zamrażania oraz suszonej w temperaturze 105°C ustalono odpowiednio na 45,17% i 46,72%, natomiast powietrznosuchej na 49,07% (tab. 1; ryc. 2). Dla porównania porowatość kredy z rejonu Londynu została określona na 30–40% (Downing i in.; 1979), Motyka & Zuber (1992) zaś przyjmują wartość 31,5% dla kredy Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Wykonując obliczenia zgodnie z PN-66/B-04100 Łozińska-Stępień (1975; 1988) określiła porowatość kredy piszącej z okolic Chełma na ok. 47% (w strefie przypowierzchniowej). Rybicki & Rybicki (1973) wyko-

rzystując m. in. laboratoryjne wyniki ciężaru: objęściowego i właściwego kredy piszącej określili jej porowatość na 45%.

Stwierdzono, że kreda pisząca przygotowywana do analiz przy użyciu niskiej temperatury charakteryzuje się średnią porowatością o 3,9% niższą od porowatości kredy powietrznosuchej i o 1,5% od wysuszonej w temperaturze 105°C. Mimo nieznacznej różnicy porowatości należy stwierdzić, że przeciętne wartości średnic porów wszystkich rodzajów próbek wahają się w granicach 1,02–1,09 μm (tab. 1, ryc. 3), średnie wartości powierzchni porów 2,21–2,71 μm² (tab. 1, ryc. 4), natomiast średnie obwody porów 8,06–8,53 μm (tab. 1; ryc. 5).

Analizując wyniki badań należy stwierdzić, że zjawisko skurczu widoczne jest przy porównaniu parametrów kredy suszonej w niskiej temperaturze do kredy w stanie powietrznosuchym. Średnia porowatość uległa zwiększeniu o ponad 8,5% w stosunku do próbek przygotowywanych niskotemperaturowo. Stwierdzono więc, że porowatość całkowita zwiększyła się dość znacząco i przekroczyła kilka razy wartość, którą Drągowski (1981) określił na 2%. Zauważyć należy, że Drągowski analizował zagadnienia pęcznienia i skurczu skał mierząc odkształcenia w trzech prostopadłych kierunkach oraz mierząc zmiany objętości całej próbki.

Analizując parametry średnich wartości: powierzchni, średnic i obwodów porów stwierdzono, że pod wpływem skurczu ulegają one znacznym zmianom. Średnia wartość powierzchni porów wzrasta o ponad 22% (ryc. 4), przeciętna średnica o ponad 7% (ryc. 3), natomiast średnia wartość obwodów o prawie 6% (ryc. 5; wzrost podanych wartości opisujących powierzchniowe i przestrzenne parametry porowatości kredy piszącej w stanie powietrznosuchym odniesiono do próbek suszonych w niskiej temperaturze). Należy zatem stwierdzić, że zmiany parametrów określających rozkład oraz wielkość mikroporów w kredzie piszącej wiążą się niewątpliwie z jej skurczem. Jednakże nie obserwujemy tu skurczu skały jako całości, tylko samych minerałów budujących skałę. Jest to zjawisko skurczu minerałów ilastych, które wchodzi w skład szkieletu skalnego. Zmiany objętości minerałów ilastych doprowadziły do zwiększenia o ponad 8% porowatości kredy. Stwierdzono więc, że charakter su-

szenia kredy piszącej poprzez niewątpliwy wpływ skurczu szkieletu skalnego oddziałuje na jej budowę mikrostrukturalną i na wielkość mikroporowatości. Ponadto czas i temperatura suszenia także wpływa na parametry określające porowatość skał. Są one (dla próbek suszonych w 105°C) nieznacznie niższe od wartości charakteryzujących kredę w stanie powietrznosuchym. Należy wspomnieć, że struktura kredy znajdującej się w strefie aeracji na skutek wahań zwierciadła wody i działania powyższych procesów ulega ciągłym zmianom. Jest to dość ważne zjawisko, gdyż strefa aeracji jest niezwykle podatna na wszelkiego rodzaju przenikanie i migrację zanieczyszczeń w głąb warstwy wodonośnej.

Obrazy SEM zeskanowane przez komputer to obszary o powierzchniach od ok. 260 mm² (przy powiększeniu 8000 x) do ok. 5650 μm² (przy powiększeniu 2000 x). Średnia całkowita powierzchnia porów kredy piszącej to 724,06 μm², natomiast średni obwód tych porów oszacowano na 2814,17 μm. Podane wartości wyznaczono przy pomocy programu STIMAN dla całych analizowanych powierzchni obrazów w danej próbce kredy piszącej.

Analizując obrazy graficzne program STIMAN określił także współczynnik przepuszczalności kredy piszącej (uwzględniając tylko mikroporowatość całkowitą). Wyliczając na ich podstawie wartości współczynnika filtracji otrzymano wyniki rzędu 10⁻¹¹ m/s (tab. 1), co świadczy o tym, że filtracja wód podziemnych w kredzie piszącej odbywa się praktycznie przy udziale szczelin i spękań oraz bezpośrednio kontaktujących się z nimi makroporów (Krajewski, 1984).

Należy pamiętać, że program STIMAN w swoich analizach nie uwzględnia porowatości efektywnej. Współczynnik przepuszczalności wyznaczony dla porowatości efektywnej jest z pewnością jeszcze niższy. Analiza rozkładu średnic porów wskazuje na występowanie w nich tylko wody związanej. Z hydrogeologicznego punktu widzenia lite, niespękane bloki kredy piszącej są praktycznie utworami nieprzepuszczalnymi. Charakter oraz wielkość mikroporów kredy piszącej nabiera znaczenia, gdy poddajemy analizie zjawiska towarzyszące procesom dyfuzji zachodzącym w wodach podziemnych w kredowej warstwie wodonośnej. Z uwagi na dużą porowatość oraz w warunkach naturalnych w strefie saturacji prawie całkowite zawodnienie i występującą wodę związaną procesy dyfuzji zanieczyszczeń w tym metali ciężkich są złożonym i skomplikowanym zjawiskiem. Przedstawione wyniki badań zostaną wykorzystane do dalszej analizy budowy mikrostrukturalnej skał oraz do badań nad migracją zanieczyszczeń w tych utworach bez uwzględnienia filtracji wód w obrębie kredy piszącej.

Wnioski

1. Stwierdzono różnicę w wartościach porowatości całkowitej kredy piszącej, wynikającą ze sposobu suszenia

próbek. Wykazano wpływ skurczu szkieletu skalnego na porowatość i oceniono go na 8,5% w stosunku do próbek kredy piszącej suszonej metodą niskotemperaturową. Zauważono, że w próbkach skalnych, które uległy procesowi skurczu szkieletu skalnego na skutek suszenia wielkość porowatości wzrasta.

2. Wyniki porowatości uzależnione są od metody jej określania. Różnice w wynikach dochodzą nawet do kilku procent.

3. Przeciętna średnica porów wynosi 1,02–1,09 μm, średnia ich powierzchnia 2,21–2,71 mm, a średni obwód porów 8,06–8,53 μm.

4. Długotrwałe suszenie kredy piszącej w temperaturze pokojowej powoduje wzrost wartości powyższych parametrów.

5. Określono procentową zmianę porowatości uwzględniając zjawisko kurczu. Stwierdzono, że jest ona znacznie większa niż wykazał to Drągowski (1981) (należy zauważyć, że stosował on inną metodę) i wynosi ponad 8,5%.

6. Z rozkładu wielkości porów i określono średni współczynnik przepuszczalności kredy piszącej na 3,41 · 10⁻³ mD, natomiast współczynnik filtracji na 3,28 · 10⁻¹¹ m/s.

Literatura:

- CAREY M. A. & LLOYD J. W. 1985 — *J. Hydrogeol.*, 78: 83–106.
 BLACK J. H. & KIPP K. L. 1983 — *Ibidem*, 62: 287–312.
 DOWNING R. A. & PEARSON F. J. & SMITH D. B. 1979 — *Ibidem*. 40: 67–83.
 DRĄGOWSKI A. 1981 — *Biul. Geol. UW.* 29: 1–95.
 GRABOWSKA-OLSZEWSKA B., OSIPOV V. I. & SOKOLOV V. N. 1984 — *Atlas of microstructure of clay soil.* PWN.
 HERBICH P. & KRAJEWSKI S. 1977 — *Prz. Geol.*, 25: 454–462.
 KACZYŃSKI R., TRZCIŃSKI J. 1997 — *Ibidem*, 45: 721–726.
 KRAJEWSKI S. 1970 — *Ibidem*, 18: 367–369.
 KRAJEWSKI S. 1984 — *Ibidem*, 22: 359–363.
 ŁOZIŃSKA-STĘPIEŃ H. 1988 — *Ibidem*, 424: 633–635.
 ŁOZIŃSKA-STĘPIEŃ H. 1975 — *Biul. Geol.*, 18: 1–87.
 MOTYKA J. & ZUBER A. 1992 — *Problemy hydrogeologiczne południowo-zachodniej Polski.* Wrocław.
 MOTYKA J., WITCZAK S. & ZUBER A. 1994 — *Environmental Geol.*, 24: 144–149.
 OSIPOV V. I., SOKOLOV V. N. & RUMYANTSEVA N. A. 1989 — *Mikrostruktura glinistych parod.* Izdatielstwo Niedra. Moskwa.
 RYBICKI S. & RYBICKI J. 1973 — *Kwart. Geol.*, 17: 301–309.
 SMART P. & TOWEY K. 1981 — *Electronmicroscopy of soil and sediments: examples.* Clarendon Press. Oxford.
 SMART P. & TOWEY K. 1982 — *Electronmicroscopy of soil and sediments: techniques.* Clarendon Press. Oxford.
 WELLINGS S. R. 1984 — *J. Hydrogeol.*, 69: 259–273.
 WYRWICKA K. & PERYT D. 1984 — *Przew. 56 Zjazdu Pol. Tow. Geol. Warszawa:* 143–149.
 ZUBER A. & MOTYKA J. 1994 — *J. Hydrogeol.*, 158: 19–46.