

Hydroizolacyjne właściwości kredy jeziornej

Paweł Dobak*, Ryszard Wyrwicki*

Holoceneskie osady węglanowe składają się z trzech głównych komponentów: wody, kalcytu i fitogenicznej substancji organicznej. Sześć próbek kredy, będącej przedmiotem analizy, pobrano z trzech znajdujących się pod wodą złóż. Kreda ta zawiera (tab. 2, 3): 41–66% wody, 30–53% kalcytu i 2–4% substancji organicznej. Skład granulometryczny suchej kredy jest zmienny i nie zależy od składu mineralnego. Badana kreda jeziorna charakteryzuje się współczynnikiem filtracji k między $5 \cdot 10^{-8}$ a $2 \cdot 10^{-10}$ m/s. Wartość współczynnika filtracji k jest w wyraźnym związku z ilością wody w kredzie (tab. 3) i osiąganymi wartościami ciśnienia porowego (ryc. 2). Uzyskane z badań wartości współczynnika filtracji pozwalają ocenić ją jako praktycznie wodonieprzepuszczalną (ryc. 1).

Słowa kluczowe: kreda jeziorna, holocen, przepuszczalność, skład mineralny

Paweł Dobak & Ryszard Wyrwicki — **Impermeable properties of lacustrine chalk.** Prz. Geol., 48: 412–415.

Summary. Holocene carbonate sediments consist of three major components: water, calcite and phytogenic organic substance. Six analysed samples of chalk were collected from 3 beds located below the ground water level. The chalk contains (tab. 2, 3): 41–66% of water, 30–53% of calcite and 2–4% of organic substance. The grain size distribution of dry chalk is variable and it does not depend on its mineral composition. Hydraulic conductivity of the tested lacustrine chalk ranges from $5 \cdot 10^{-8}$ m/s to $2 \cdot 10^{-10}$ m/s. These values are related to volume of water in the chalk sediment (tab. 3) and to excess of pore water pressure (fig. 2). Values of hydraulic conductivity measured in laboratory tests suggest that the hydrated lacustrine chalk is practically impermeable (fig. 1).

Key words: lacustrine chalk, Holocene, permeability, mineral composition

Kreda jeziorna wieku holoceneskiego jest osobliwym osadem składającym się z dwóch głównych komponentów: wody i kalcytu oraz komponentu równie ważnego z racji swej hydrofilności, chociaż podrzędnego lub tylko akcesorycznego — fitogenicznej substancji organicznej. Osobliwość polega na tym, że wodnego komponentu jest z reguły więcej niż 50%, a dochodzi do 80% osadu. Znajduje to paradoksalnie odzwierciedlenie w izolacyjnym charakterze osadu, co potwierdzają zarówno obserwacje terenowe, jak i wyniki badań laboratoryjnych.

W warunkach terenowych kilkakrotnie obserwowano spłykanie zbiorników powstałych po wybraniu kredy spod wody, w sytuacji, gdy złożę w całości znajdowało się poniżej lustra pierwszego poziomu wody gruntowej. Istnieje podejrzenie, że jedną z przyczyn może być napór podłożowej wody i wyciskanie spągowej, niewybranej części pokładu.

Oczywistym warunkiem takiej możliwości jest wodonieprzepuszczalność uwodnionej kredy jeziornej.

Celem niniejszej pracy jest udzielenie odpowiedzi na pytanie czy taka możliwość istnieje. Odpowiedź oparta jest na: badaniach współczynnika filtracji kredy o naturalnej wilgotności, wynikach analiz jej składu granulometrycznego i mineralnego, zawartości wody oraz oznaczeniach gęstości objętościowej.

Metodyka badań

Do analizy wykorzystano próbki pobrane w 1998 r. z czynnych kopalń Mielenka, Rusinowo i Tyczewo (Pomorze Zachodnie) przy okazji innych badań. Sześć próbek kredy o masie ok. 1 kg dobrano tak, aby reprezentowały kredę szarą i beżową o różnej zawartości fitogenicznej substancji organicznej i co najważniejsze — wilgotności naturalnej.

Skład granulometryczny ustalono na drodze analizy sedymentacyjnej po uprzednim przeszlamowaniu próbek na sicie 0,06 mm (63 μ m). Naważka w stanie naturalnej

wilgotności wynosiła 200 g. Z odrębnych naważek określono zawartość wody liczoną do masy wilgotnej próbki i jej gęstość przestrzenną.

Skład mineralny oszacowano na drodze derywatograficznej analizy powietrznie suchych próbek kredy i jej frakcji. Stosowano naważkę 1000 mg, czułość TG-500, DTG-1/5, DTA-1/10, atmosferę-powietrze; szybkość nagrzewania — 10°C/min., tygle ceramiczne. Interpretacji dokonano zgodnie z procedurą podaną przez Wyrwickiego (1988, 1996, 1998a, b)

Współczynnik filtracji k określano na podstawie interpretacji wyników badań konsolidacji. Jest to metoda pośrednia wynikająca z zależności:

$$k = c_v \cdot \gamma_w \cdot m_v = (c_v \cdot \gamma_w) / M_o$$

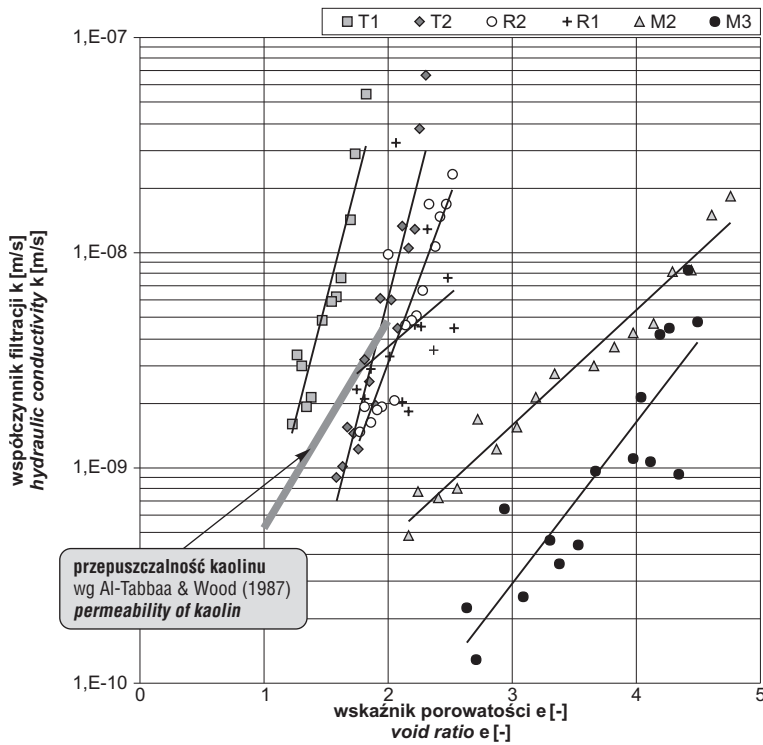
gdzie: c_v — współczynnik konsolidacji [$L^2 T^{-1}$],
 M_o — moduł ściśliwości gruntu [$ML^{-1} T^{-2}$],
 γ_w — ciężar właściwy wody [$ML^{-2} T^{-2}$].

Miarodajność wyników powyższej metody jest ściśle związana ze zgodnością zachowania gruntu z teorią konsolidacji. W badaniach konsolidometrycznych w przeciwieństwie do tradycyjnych badań edometrycznych (Dobak, 1986; Dobak & Barański, 1993), uzyskuje się bardzo wysoki stopień takiej zgodności (Dobak, 1995, 1999) Także wartości współczynnika filtracji k otrzymywane z badań permeometrycznych zarówno w laboratorium, jak i w warunkach polowych nie są z reguły wyższe od oznaczeń k obliczanych na podstawie badań konsolidometrycznych (Konarska, 1998; Kaczyński i in., 1999). Dodatkowym walorem określania wartości k z przebiegu konsolidacji jest szerszy zakres zmienności wskaźnika porowatości oraz naporu hydraulicznego, przy którym są prowadzone badania.

Dyskusja wyników

Skład granulometryczny. Wedle wiedzy jednego z autorów (Wyrwicki, 1998b), popartej obserwacjami mikrostruktur kredy jeziornej z innych złóż (Żurek-Pysz, 1983), kryształity kalcytu rzadko przekraczają 1 μ m często

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



Ryc. 1. Zależność przepuszczalności gruntu od zmian wskaźników porowatości
Fig. 1. Relationship between permeability of soils and void ratio

natomiast tworzą różnych rozmiarów agregaty. Stąd skład granulometryczny kredy (tab. 1) bardziej odwzorowuje agregację niż ilościowe proporcje monoskładnikowych i mineralnych ziaren.

Wypada jednak zauważyć, że frakcja $>63 \mu\text{m}$, będąca pozostałością na sicie 0,06 mm, wykazuje znikomo mały udział składników terrygenicznych. Zazwyczaj są to bar-

dzo drobne przezroczyste, różnie obtoczone i nieobtroczone ziarna kwarcu. Najczęściej i w największej ilości, w omawianej pozostałości, spotyka się muszcelki młodocianych ślimaków i małży, rzadziej ułamki większych muszli i/lub różnej wielkości, często niciowate i spilśnione szczątki roślinne.

Konkluzja. Skład granulometryczny nie może — zdaniem autorów — stanowić podstawy do klasyfikacji kredy jeziornej.

Skład mineralny kredy, zgodnie z procedurą jego ustalania przedstawiono w tab. 2 raz w stanie suchym — jako rezultat analizy derywatogramów oraz po uwzględnieniu zawartej w kredzie wody — jako skład rzeczowy. Wartości podane w kolumnie „Inne” są dopełnieniem do 100% sumy składników oznaczonych i dotyczą ilości terrygenicznych składników — głównie kwarcu, śladowych minerałów ilastych oraz w szarej kredzie — siarczków żelaza. Te ostatnie zidentyfikowano we frakcjach 10–60 i $> 63 \mu\text{m}$, a obliczona na tej podstawie średnia ważona zawartość piryty wynosi 0,1–0,5%. Wypada dodać, że we frakcji ilowej próbek kredy z pirytem stwierdzono obecność gipsu.

Konkluzja. W uwodnionej kredzie głównymi składnikami są: woda i kalcyt stanowiące razem 93–98% osadu. Udział substancji organicznej nie przekracza 4%, a składników terrygenicznych — 5%.

Przepuszczalność kredy jeziornej wykazuje zmienność zależną od porowatości. Zgeneralizowany trend zmian współczynnika filtracji opisać można funkcją wykładniczą. Na ryc. 1 zamieszczono wyniki oznaczeń $k = f(e)$ badanych próbek kredy, aproksymacje trendów zmian współczynnika filtracji, a także w celach porównawczych zakres zmienności k uzyskany w permeametrze dla normalnie konsolidowanego kaolinu (Al-Tabbaa & Wood, 1987).

Jak widać charakter zmienności współczynnika filtracji kredy jeziornej jest zbliżony do wyników badań ilów kaolinitowych traktowanych jako utwory bardzo słabo przepuszczalne.

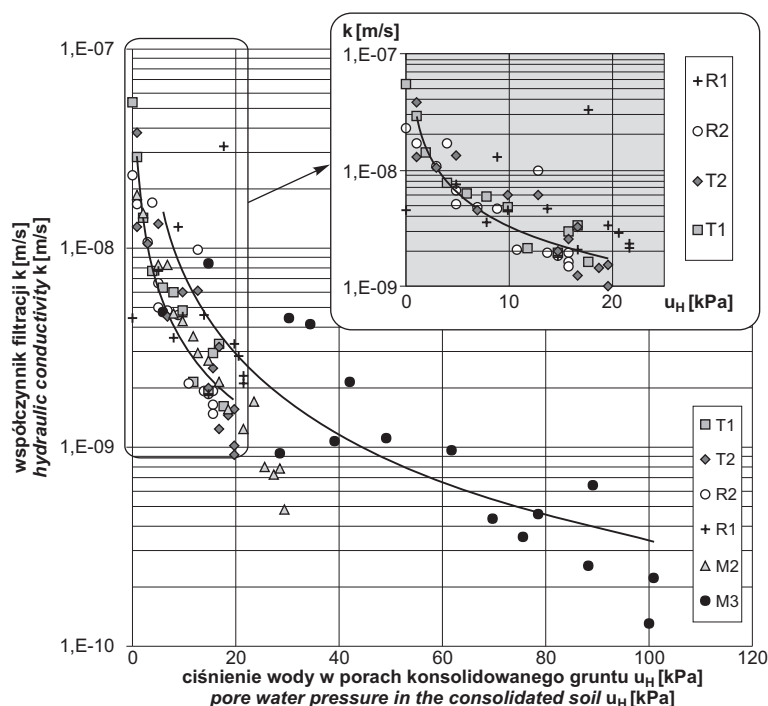
Badane próbki kredy można podzielić pod względem cech filtracyjnych na dwie grupy: mniej uwodnione osady z Rusinowa i Tyczewa oraz zawierające więcej wody i substancji organicznej próbki ze złoża Mielenko. W pierwszej z wydzielo-

Tab. 1. Skład granulometryczny suchej pozostałości kredy jeziornej

Złoże	Symbol próbki	Odm. litolog.	Zawartość w % wag. frakcji w μm				
			<2	2–5	5–10	10–63	>63
Mielenko, gł. 1,0 m	M-2	beżowa	10,2	20,3	21,9	39,9	7,7
Mielenko, gł. 7,0 m	M-3	szara	20,7	30,6	25,3	18,9	4,5
Rusinowo	R-1	szara	15,2	9,7	19,2	31,2	24,7
Rusinowo	R-2	beżowa	3,5	16,2	27,2	48,7	4,4
Tyczewo	T-1	szara	27,8	3,5	7,8	23,3	37,6
Tyczewo	T-2	beżowa	4,9	15,0	20,7	45,9	13,5

Tab. 2. Skład kredy jeziornej w % wagowych

Nazwa złoża	Odmiana litolog.	Symbol próbki	W stanie suchym				W stanie naturalnym				
			Woda	Sub. org.	Kalcyt	Inne	Woda	Sucha pozostałość w tym:			
								Ogółem	Kalcyt	Sub. org.	Inne
Mielenko, gł. 1,0	beżowa	M-2	1,3	10,9	86,2	1,6	65,6	34,4	30,0	3,8	0,6
Mielenko, gł. 7,0	szara	M-3	0,7	10,0	86,0	3,3	63,6	36,4	31,6	3,6	1,2
Rusinowo	szara	R-1	0,5	3,3	94,8	1,4	52,8	47,2	44,9	1,6	0,7
Rusinowo	beżowa	R-2	0,3	3,8	94,1	1,8	50,9	49,1	46,3	1,8	1,0
Tyczewo	szara	T-1	0,5	3,0	86,6	9,9	46,3	53,7	46,8	1,6	5,3
Tyczewo	beżowa	T-2	0,4	3,0	89,6	7,0	41,1	58,9	53,0	1,8	4,1



Ryc. 2. Charakter zmienności współczynnika filtracji na tle wartości ciśnienia porowego wzbudzonego w toku badań konsolidometrycznych

Fig. 2. Variability of hydraulic conductivity as a function of pore water pressure generated during consolidometer tests

nych grup współczynnik filtracji był początkowo większy od porównywanej charakterystyki k dla kaolinu i dopiero wraz z postępującą konsolidacją i zmniejszeniem porowatości otrzymano zależności $k=f(e)$ zbliżone do bardzo słabo przepuszczalnych utworów ilastych. Próbkę z Mielenka charakteryzują się ponad dwukrotnie większymi wskaźnikami porowatości e . Intensywnemu zmniejszeniu wartości e w toku konsolidacji towarzyszy jednocześnie istotne obniżenie współczynnika filtracji, który maksymalnie osiąga wartości o około jeden rząd niższe od wyników uzyskanych dla kaolinu oraz próbek kredy ze złóż Rusinowo i Tyczewo.

To zróżnicowanie cech filtracyjnych badanych utworów wynika także z roli fazy ciekłej w kształtowaniu lokalnych, zmiennych w czasie uwarunkowań przepuszczalności utworów spoistych. Na ryc. 2 przedstawiono wyraźnie obserwowaną w przebiegu analizowanych badań tendencję do zmniejszania współczynnika filtracji wraz ze wzrostem wartości ciśnienia porowego. Efekt ten szczególnie mocno zaznaczył się w badaniu próbki M3, ale jest wyraźnie potwierdzony podobną zależnością także dla pozostałych próbek, gdzie ciśnienia porowe osiągnięte w toku badania konsolidometrycznego były mniejsze.

Tab. 3. Właściwości kredy jeziornej

Nazwa złoża	Symbol próbki	Śred. wartość współ. filtracji	Zawartość w % wagowych			Gęst. obj. kredy w stanie natur. [Mg/m ³]
			wody	skład. miner.	skład. organ.	
Mielenko	M-2	9,0·10 ⁻⁹	65,6	30,6	3,8	1,16
	M-3	2,0·10 ⁻⁹	63,6	32,8	3,6	1,21
Rusinowo	R-1	6,5·10 ⁻⁹	52,8	45,6	1,6	1,45
	R-2	7,7·10 ⁻⁹	50,9	47,3	1,8	1,42
Tyczewo	T-1	1,1·10 ⁻⁸	46,3	52,1	1,6	1,55
	T-2	1,1·10 ⁻⁸	41,1	57,1	1,8	1,46

Uzyskane zależności wynikają z odmiennego charakteru filtracji w utworach dobrze przepuszczalnych oraz w gruntach spoistych.

Zgodnie z prawem Darcy'ego prędkość przepływu cieczy przez ośrodek porowaty jest wprost proporcjonalna do wartości spadku hydraulicznego. W utworach spoistych ta proporcjonalność nie jest zachowana, co stało się podstawą do wyróżnienia filtracji prelineamej. Fizycznych wyjaśnień poszukuje się w skomplikowanym i nie w pełni rozpoznanym współdziałaniu efektów elektrokinetycznych, osmotycznych, dyfuzji oraz krzyżowych oddziaływań gradientów innych potencjalnych pól fizycznych.

W badaniach konsolidacji jednoosiowej w warunkach ciągłego wzrostu obciążenia, przy porównywalnej porowatości odnotowuje się ponadto zjawisko zmniejszania przepuszczalności ośrodka wraz ze wzrostem ciśnienia porowego. Zatem osiągnięcie wyższych ciśnień porowych może chwilowo ograniczać przepływ wody w spoistych, słabo przepuszczalnych ośrodkach. Zjawiska takie zaobserwowano m.in. w badaniach ilów z Bothkenar w Szkocji (Nash i in., 1992), a także niektórych gruntów spoistych z kopalni węgla brunatnego w Bełchatowie. Wskazuje to na możliwość ograniczenia przepuszczalności ośrodka wywołanej przez dławienie przepływu przy utrzymującym się (a niekiedy rosnącym) nadciśnieniu wody w przestrzeni porowej (Dobak, 1999). W warunkach naturalnych ciśnienie wód podłożowych może być czynnikiem podtrzymującym taki mechanizm.

Podsumowanie

1. Badana kreda jeziorna charakteryzuje się współczynnikiem filtracji k między $5 \cdot 10^{-8}$ a $2 \cdot 10^{-10}$ m/s, a to pozwala ocenić ją jako praktycznie wodonieprzepuszczalną. Zbliżone wyniki oznaczeń współczynnika filtracji otrzymano zarówno z prezentowanych badań konsolidometrycznych, jak i z badań przy zmiennych spadkach hydraulicznych w edometrze (Bartoszewicz i in., 1998). Wartość współczynnika filtracji k wykazuje wyraźny związek z ilością wody w kredzie. Badania laboratoryjne pokazują, że przepuszczalność ośrodka jest zmienna i zależy od warunków zewnętrznych: maleje nie tylko wraz ze zmniejszeniem się porowatości, ale także przy wzroście ciśnienia porowego. Zatem wzrost ciśnienia naporowego wywołuje większą szczelność kredy.

2. Analizowana wodoszczelność odnosi się tylko do kredy w stanie naturalnej wilgotności. Woda w kredzie jeziornej z racji jej znacznego udziału i nie zdiagnozowania osadu specyficznie „wiąże” składniki fazy stałej: kalcyt i fitoklasty występują praktycznie w wodzie. Określenie tego stanu, jednoznacznym, krótkim terminem nie jest łatwe. Z wiążącą funkcją wody kojarzy się termin „uwodniona kreda jeziorna”. Jednocześnie jednak przymiotnik „uwodniony” stosowany jest jako termin określający wody związane chemicznie, co nie odnosi się do charakteru występowania wody w węglanowym środowisku litologicznym jakim jest kreda. Przyjmowanie terminu uwodniona kreda jeziorna wymaga więc wyraźnego rozgraniczenia z terminologią che-

miczną, co w przypadku równoczesnego rozważania zagadnień mineralogiczno-geochemicznych może prowadzić do nieporozumień. Termin kreda wilgotna kojarzyłaby się z sytuacją, w której woda jest składnikiem akcesorycznym; natomiast kreda nawodniona lub zawodniona domyślnie implikuje wtórne dodawanie wody.

3. Zjawisko wodoszczelności kredy jeziornej — osadu, którego ponad połowę masy stanowi woda jest bardzo ważne zarówno z czysto naukowego, jak i praktycznego punktu widzenia. Analizowane hydroizolacyjne właściwości nie odnoszą się do suchej, czy też powietrzno-suchej kredy — jak bez mała wszystkie publikowane wyniki składu chemicznego czy mineralnego — ale do kredy *in statu nascenti*. Wyniki badań konsolidacji wzbogacają mechanizm filtracji w osadach słaboprzepuszczalnych o efekty dławienia. Zmniejszenie przepuszczalności kredy jeziornej przy występowaniu hydrostatycznego naporu na jej spąg ma istotne znaczenie w określaniu warunków eksploatacji złóż.

Literatura

- Al-TABBAA A. & WOOD D.A. 1987 — Some measurements of the permeability of kaolin. *Geotechnique*, 37: 499–503.
- BARTOSZEWICZ A., DAMICZ J. & JAROMIŃSKA M. 1998 — Badania współczynnika filtracji gruntów organicznych. [In:] Liszkowski J. (red.), *Mat. II Symp. Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce*. Kierzk k. Poznań.
- DOBAK P. 1986 — Zmiany odkształcalności gruntów wywołane procesami inżyniersko-geologicznymi w rejonie KWB Bełchatów. *Arch. Wyd. Geol. UW*.
- DOBAK P. 1995 — Filtration factor in the consolidation process. *Proc. XI Eur. Conf. Soil Mech. Found. Div. Copenhagen, 1995*: 3.49–3.54.
- DOBAK P. 1999 — Rola czynnika filtracyjnego w badaniach jednoosiowej konsolidacji gruntów. *Wyd. IGSMiE PAN Kraków; ser. Studia, Rozprawy, Monografie*, 65.
- DOBAK P. & BARAŃSKI M. 1993 — Variability of compressibility and consolidation parameters evaluated in one-dimensional consolidation test. *Procc. VIIIth Inter. Congress IAEG. Lisboa 1993; fig 7, tab. 2*.
- KACZYŃSKI R. (red.) 1999 — Współczynnik filtracji gruntów spolistych wyznaczony różnymi metodami. *Mat. Symp. Aktualne problemy geologii inżynierskiej badań podłoża gruntowego i zagospodarowanie terenu. Zakł. Geol. Inż. IHiGI Wyd. Geol. UW*.
- KONARSKA E. 1998 — Właściwości izolacyjne ilów trzeciorzędowych kompleksu nadwęglowego z KWB „Bełchatów”. *Arch. Katedry Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych UW*.
- NASH D.F.T., SILLS G.C. & DAVISON L.R. 1992 — One dimensional consolidation testing of soft clay from Bothkennar. *Geotechnique*, 42: 241–256.
- WYRWICKI R. 1988 — Derivatographic analysis of the Lacustrine sediments of Orle Basin. *Folia Quatern.*, 58: 75–93.
- WYRWICKI R. 1994 — Określanie składu mineralnego gytii wapiennej i kredy jeziornej dla potrzeb dokumentowania. *Górn. Odkryw.*, 36: 76–85.
- WYRWICKI R. 1996 — Analiza derywatograficzna, [W:] *Metodyka badań kopalni ilastych*, Kościówko H., Wyrwicki R. (red.). Państw. Inst. Geol. Warszawa–Wrocław: 56–75.
- WYRWICKI R. 1998a — Określanie składu mineralnego gytii wapiennej i kredy jeziornej na potrzeby dokumentowania. *Część II*. *Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków*.
- WYRWICKI R. 1998b — Gips w świetle derywatograficznej analizy skał. *Mat. VI Sem. Metodyka rozpoznawania i dokumentowania złóż kopalni oraz geologicznej obsługi kopalni*. *Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków*.
- ŻUREK-PYSZ U. 1983 — Mikrostruktury i mikrotekstury biogenicznych gruntów węglanowych na tle ich właściwości fizyczno-mechanicznych. *Prz. Geol.*, 31: 485–490.