

Iły poznańskie jako izolacyjne bariery geologiczne składowisk odpadów komunalnych

Ireneusz Gawriuczenkow*



Poznań Clays as a geological barriers for the disposal sites of municipal wastes. Prz. Geol., 53: 691–694.

Summary. Projects for the storage of municipal waste involve systems of successive safety barriers consisting at least of a geomembrane and a natural mineral layer. "Poznań Clay" are among materials which can be used as a mineral layer. In this paper mineral layers standards from different countries are described. Studies of the important properties of "Poznań Clay" such as hydraulic conductivity, mineral composition, and void ratio are presented. Samples with undisturbed and disturbed structure were examined. Differences between properties of these samples are negligible.

Key words: barriers, Poznań Clays, hydraulic conductivity, void ratio

Wraz z rozwojem przemysłu, przyrostem ludności, znacznym postępem nauki i techniki pojawiają się nowe problemy naukowo-badawcze dotyczące oceny właściwości iłów takich jak: sorpcja metali ciężkich, związków organicznych, współdziałania z wodą w warunkach panujących w górotworze ciśnieni, a także przepływu i migracji (dyfuzji) jonów. Badania te mają dać odpowiedź, co do możliwości wykorzystania iłów jako potencjalnych barier geologicznych.

Przez wiele lat zastosowanie iłów do uszczelniania składowisk było w zasadzie przypadkowe, a wysypiska lokowano w starych dołach, które były pozostałościami po odkrywkowych kopalniach np.: kredy, żwiru, piasku, iłu czy kamienia. Stwierdzono, iż odpady te niekiedy mają znaczny, negatywny wpływ na środowisko naturalne, a czasami ich wpływ jest niezauważalny.

Prowadzone badania nad naturalnymi warstwami mineralnymi (warstwami ilastymi) oraz większa dbałość o środowisko doprowadziły do tego, iż powstały regulacje prawne nakazujące stosowanie naturalnych utworów spoiwystych jako barier izolacyjnych, szczególnie barier składowisk odpadów komunalnych (Dz. U.01.62.628).

Na podstawie prowadzonych badań stwierdzono, że składowiskom odpadów szczelność zapewniają przynajmniej dwie niezależnie uformowane bariery (ryc. 1), składające się z warstwy syntetycznej i mineralnej (ilastej) (Burkhard i in., 1997; Garbulewski, 1998; Piotrowska i in., 1993). Warstwy te uzupełniają się wzajemnie i jeżeli jedna zostanie zniszczona to druga jest w stanie zapewnić wystarczającą ochronę środowisku.

Stosowanie do uszczelniania warstw ilastych niesie za sobą liczne korzyści:

□ tam gdzie iły są łatwo dostępne stanowią najbardziej ekonomiczne rozwiązanie do budowy wysypisk,

□ dzięki znacznej zawartości frakcji iłowej charakteryzują się one niskim współczynnikiem infiltracji płynów (odcieków) powstających w wysypiskach,

□ znacznej grubości bariery ilaste są mniej podatne na przebiccia,

□ szerokie rozprzestrzenienie iłów w Polsce sprawia, że są one dostępne w pobliżu większości hipotetycznych miejsc składowania odpadów.

Z tego też względu badania przeprowadzono na próbkach iłów poznańskich, które zajmują ok. 60% powierzchni Polski (ryc. 2), stosunkowo często występują na niewielkich głębokościach, ich miąższość waha się w granicach od kilku do kilkudziesięciu, a czasem do ponad stu metrów, a ponadto charakteryzują się one znaczną zawartością frakcji iłowej.

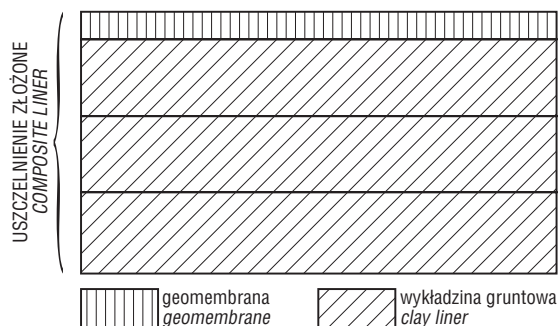
Metodyka badań iłów i ich właściwości

Do badań pobrano 17 próbek iłów (tab. 1) z centralnej części basenu pliocińskiego, określonego przez Grabowską-Olszewską i Kaczyńskiego (1994) jako rejon B (ryc. 2). Przy pobieraniu materiału do badań kierowano się także dostępnością iłów, a co za tym idzie większość iłów pobrano z czynnych cegielni. Pozwoliło to na pobranie próbek o nienaruszonej strukturze, często z dość znacznych głębokości oraz różnych poziomów.

Badania przeprowadzono na próbkach o strukturze nienaruszonej (NNS) oraz na próbkach o strukturze naruszonej. Przygotowanie próbek o strukturze naruszonej polegało na:

- homogenizacji próbek,
- uformowaniu prostopadłościanów o wymiarach 3 x 6 x 6 cm,
- doprowadzeniu do stanu bliskiego naturalnemu (wilgotność, gęstość objętościowa) przez dynamiczne zagęszczenie i powolne suszenie.

W tabeli 1 przedstawiono miejsce pobrania oraz niektóre właściwości fizyczne próbek iłów poznańskich. Wszystkie wartości podane w tabeli 1 stanowią średnią arytmetyczną z co najmniej 3 oznaczeń. Oznaczenia grani-



Ryc. 1. Przykład wykładzin gruntowych
Fig. 1. Example of clay liner system

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; igawriuczenkow@uw.edu.pl

Tab. 1. Wybrane właściwości badanych ilów: wilgotności początkowej w_0 , procentowej zawartości poszczególnych frakcji f_i , f_p , granicy płynności w L , wskaźnika plastyczności I_p , porowatości n (n_1 porowatości próbek naruszonych), procentowej zawartości substancji organicznej I_{om} , pojemności wymiany kationowej CEC, procentowa zawartość $CaCO_3$, przewodności hydraulicznej k (k_1 próbki naruszonej)

Table 1. Some properties of the tested clays: water content w_0 , grain-size distribution f_i , f_p , liquid limit L , plasticity index I_p , porosity n (n_1 porosity of disturbed samples), percent of organic matter I_{om} , cation exchange capacity CEC, percent of $CaCO_3$, hydraulic conductivity k (k_1 hydraulic conductivity of disturbed samples)

Symb. odkrywki*	Nr próbek**	w_0 [%]	f_p [%]	$f_{<1}$ [%]	f_i [%]	w_L [%]	I_p [%]	n [%]	n_1 [%]	I_{om} [%]	CEC [cmol/kg]	$CaCO_3$ [%]	% min. ilast.***	k [m/s]	k_1 [m/s]
Fr	1,1	23,3	12,0	31,0	57,0	69,3	48,1	41	44	3,9	39,91	0	59,1	$8,4 \cdot 10^{-11}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$
	1,2	33,7	2,0	34,0	64,0	89,0	65,5	50	55	3,1	54,78	0,3	71,2	$1,6 \cdot 10^{-10}$	$5,7 \cdot 10^{-10}$
Ru	2,1	33,9	1,0	41,0	58,0	84,1	61,7	49	53	1,3	48,87	0,1	72,2	$9,6 \cdot 10^{-11}$	$2,6 \cdot 10^{-10}$
WO	3,1	30,7	6,0	30,0	64,0	86,5	65,1	47	50	2,3	42,97	0,1	63,7	$4,7 \cdot 10^{-11}$	$6,3 \cdot 10^{-11}$
	3,2	24,0	5,0	39,0	56,0	80,8	60,1	40	46	2,5	43,71	0	63,2	$2,1 \cdot 10^{-11}$	$2,8 \cdot 10^{-11}$
Cz	4,1	34,0	3,0	29,0	68,0	87,1	66,2	50	53	2,0	39,94	4,8	61,2	$3,7 \cdot 10^{-11}$	$5,3 \cdot 10^{-11}$
	4,2	32,3	4,0	37,0	59,0	82,6	61,5	43	50	1,9	50,01	0,2	62,1	$2,8 \cdot 10^{-11}$	$4,8 \cdot 10^{-11}$
Py	5,1	22,0	2,0	43,0	55,0	7,6	56,6	48	51	2,6	43,11	0,1	67,9	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$3,5 \cdot 10^{-10}$
	5,2	23,7	12,0	45,0	43,0	6,1	44,2	46	50	3,1	31,40	0,3	51,2	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-10}$
Wi	6,1	29,5	5,0	26,0	69,0	89,1	66,7	44	47	0,3	29,26	0,1	62,5	$5,8 \cdot 10^{-11}$	$7,4 \cdot 10^{-11}$
	6,2	18,9	5,0	53,0	42,0	7,7	39,6	44	49	1,8	32,93	2,3	65,0	$8,0 \cdot 10^{-11}$	$9,9 \cdot 10^{-11}$
Br	7,1	29,1	7,0	43,0	50,0	84,5	63,0	43	47	1,1	27,86	0,3	61,0	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$
	7,2	28,1	6,0	53,0	41,0	6,4	37,3	48	52	2,2	26,81	0,2	54,4	$2,3 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$
Ci	8,1	27,9	5,0	32,0	63,0	83,4	62,7	45	48	1,9	48,50	0,3	62,3	$1,8 \cdot 10^{-11}$	$2,5 \cdot 10^{-11}$
	8,2	18,4	9,0	33,0	58,0	8,5	46,4	36	41	3,6	33,49	0	55,4	$2,1 \cdot 10^{-11}$	$2,7 \cdot 10^{-11}$
Kr	9,1	26,0	1,5	42,5	56,0	82,3	62,3	44	46	1,6	44,00	0,4	59,1	$6,3 \cdot 10^{-11}$	$8,3 \cdot 10^{-11}$
	9,2	28,7	2,0	38,0	60,0	9,3	65,0	44	48	3,1	44,16	0,2	72,4	$4,6 \cdot 10^{-11}$	$3,4 \cdot 10^{-11}$

*symbols of exposure, **number of sample, ***clay minerals

cy płynności wykonano metodą stożka BS 1377: Part 2:1990:6.5.

Porowatość i wskaźnik porowatości obliczono ze wzorów:

$$n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s} \quad [1]$$

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \quad [2]$$

gdzie:

n — porowatość gruntu [%],

e — wskaźnik porowatości [-],

ρ_s — gęstość właściwa szkieletu gruntowego [Mg/m^3],

ρ_d — gęstość objętościowa gruntu [Mg/m^3].

Do obliczenia porowatości i wskaźnika porowatości, stosowano średnie arytmetyczne wartości gęstości, otrzymane z co najmniej 3 oznaczeń.

Do oznaczania zawartości substancji organicznej zastosowano metodę spalania. Metoda spalania polegała na tym, że próbkę gruntu wysuszoną w temperaturze $105^\circ C$ umieszczano w tygielku i spalano w piecu w temperaturze $550^\circ C$. Stosowano tu niższą temperaturę od podawanej przez polską normę PN-88/B-04481 ze względu na to, iż przy dużej zawartości frakcji ilowej w wyższych temperaturach na efekt spalania substancji organicznej nakłada się efekt powstały w wyniku dehydroksylacji minerałów ilastych.

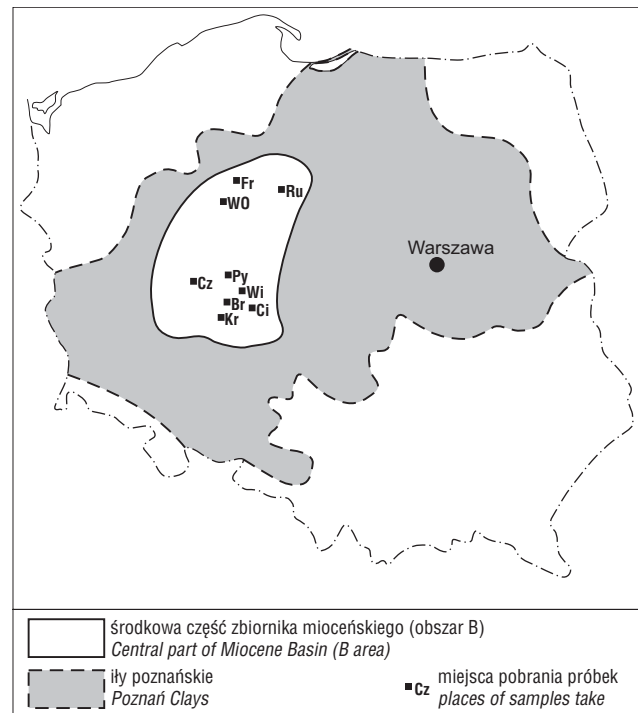
Pomiar pojemności wymiany kationowej przeprowadzono metodą „barwnej otoczki” miareczkując zawiesinę roztworem błękitu metylowego (Piaskowski, 1984) określono pojemność sorpcyjną (MBC). Zasad określenia pojemności sorpcyjnej (MBC) jest identyczna jak przy oznaczaniu powierzchni właściwej gruntu, a pojemność wymiany kationowej (Piaskowski, 1984) oblicza się ze:

$$CEC = 2,676 \cdot MBC$$

gdzie:

CEC — pojemność wymiany kationowej [cmol/kg];

MBC — pojemność sorpcyjna oznaczając ilość gramów błękitu metylowego zaadsorbowanego przez 100 g gruntu;



Ryc. 2. Zasięg występowania ilów poznańskich (Wichrowski, 1981) oraz miejsca pobrania próbek; Fr — Fordon, Ru — Rudak, WO — Wyrzysk-Osiek, Cz — Czacz; Py — Pyszcza, Wi — Witaszyce, Br — Brzostów, Ci — Cienia, Kr — Krotoszyn Stary
Fig. 2. Distribution of Poznań clays (Wichrowski, 1981) and location of sampling points

Tab. 2. Parametry określające przydatność iłłów jako naturalnych barier
 Table 2. Parameters characterizing clay soils as a natural barriers

Parametry <i>parameters</i>	Projektowanie ..., 1995	US EPA/625/4-89/022, 1989	LAGA M3, 1990	Rowe i in., 1997
Grubość w-wy izolacyjnej <i>thickness of insulative layer</i>	0,3–0,9 m	1,0 m	0,75–1,5 m	0,9–1,0 m
Granica płynności w_L <i>liquid limit</i> w_L	>30%	<90%	–	–
Wskaźnik plastyczności I_p <i>plasticity index</i> I_p	20%	>10%	–	>7%
Zawartość f_i <i>content</i> f_i	≥20%	>10%	≥20%	min. 15–20%
Zawartość $f_i + f_{\pi}$ <i>content</i> $f_i + f_{\pi}$	>60%	>30%	–	–
Zawartość f_p <i>content</i> f_p	40%	–	–	–
Zawartość f_z <i>content</i> f_z	–	<10%	–	–
Minerały ilaste <i>clay minerals</i>	–	–	≥10%	–
Maks. średnica ziaren <i>max grain diametr</i>	40 mm	75 mm	20 mm	–
Wskaźnik porowatości e <i>porosity index</i>	im niższy tym lepiej <i>the lower the better</i>	im niższy tym lepiej <i>the lower the better</i>	≤5%	im niższy tym lepiej <i>the lower the better</i>
Zawartość CaCO_3 <i>Content of the</i> CaCO_3	≤10%	–	≤15%	–
Pojemność wymiany kationowej CEC <i>Cation exchange capacity</i>	im wyższy tym lepiej <i>the higher the better</i>	–	–	min. 10 cmol/kg
Współ. przewodności hydraulicznej k <i>Coef. of hydraulic conductivity</i>	≤ 10^{-9} m/s	≤ 10^{-9} m/s	≤ $5 \cdot 10^{-10}$ m/s	≤ 10^{-9} m/s
Substancja organiczna I_{om} <i>organic matter</i>	≤2%	–	≤5%	–

Zawartość poszczególnych frakcji wyznaczono za pomocą analizy areometrycznej.

Skład mineralny gruntów oraz zawartość poszczególnych minerałów określono na podstawie analizy termogravimetrycznej (Kościówko & Wyrwicki, 1996). Analizę tą wykonano w aparacie LabsysTM TG-DTA12 firmy Setaram.

Z istniejących metod oznaczania współczynnika filtracji (przewodności hydraulicznej) gruntów spoistych wykonano badania przy użyciu permeametrycznego do samodzielnego oznaczania przewodności hydraulicznej produkcji norweskiej firmy Geonor przy stałym równym 30 spadku hydraulicznym. Jak wykazały badania (Kaczyński i in., 2000) ze względu na wiarygodność uzyskiwanych wyników, uwarunkowania techniczne i ekonomiczne jest to jedna z najlepszych metod oceny przewodności hydraulicznej.

Kryteria oceny iłłów jako naturalnych barier geologicznych

Ochrona środowiska naturalnego przed skażeniami powstałymi wskutek składowania odpadów komunalnych wymusza konieczność oceny materiałów gruntowych wykorzystywanych do budowy przesłon izolacyjnych.

Istnieje wiele kryteriów i zaleceń co do wymogów stawianych gruntem i mieszkankom gruntowym w zależności od kraju, w którym one powstały.

W wyniku analizy przeprowadzonych badań, materiałów archiwalnych (Drażowski, 1987; Frankowski & Miłrega, 1998; Pusch, 1994) i cytowanych źródeł, zestawiono kryteria (tab. 2), które są najczęściej stosowane przy ocenie materiału gruntowego stosowanego jako osłony izolacyjne.

Jak można stwierdzić według obowiązujących zaleceń i przepisów jedynym parametrem, którego wartość jest jednoznacznie określona i osiąga ten sam rząd wielkości od 10^{-9} do $5 \cdot 10^{-10}$ m/s jest współczynnik filtracji (przewodności hydraulicznej). Wartości innych parametrów różnią się znacznie np. granica płynności, którą norma ITB określa na 30%, natomiast US EPA/625/4-89/022 na poniżej 90%.

Podobnie jest z innymi parametrami. Widoczna jest dość duża dowolność w oznaczaniu wielu z nich.

Możliwość wykorzystywania iłłów jako barier geologicznych

Iły poznańskie, w zależności od głębokości zalegania oraz wykształcenia, mogą być wykorzystane w składowiskach w miejscu ich występowania do izolacji podłoża (NNS) lub też do budowy warstw izolacyjnych. Oba warianty ze względów geologicznych, ekonomicznych oraz technicznych mają swoje plusy i minusy. Iły o strukturze naturalnej w wyniku działania lodolodu zostały prekonsolidowane (Meissner, 1970; Kaczyński i in., 2001) i często wykazują strukturę brekcjonową (Kumor & Andrzejewski, 2000), co może prowadzić do powstawania uprzywilejowanych dróg migracji. Iły o strukturze naruszonej wykorzystywane jako warstwy izolacyjne (NS) nie będą wykazywały struktury brekcjonowej, ale będą charakteryzowały się niższymi wartościami gęstości objętościowej. W przypadku znacznej zawartości frakcji poniżej 2 μm iły mogą być trudne do zagęszczenia.

Część parametrów klasyfikujących iły jako bariery, jest taka sama dla gruntów o strukturze naruszonej, jak i nie naruszonej. Do tych parametrów należą: zawartość poszczególnych frakcji, wartości granic konsystencji, procentowa zawartość minerałów, pojemność wymiany jonowej, maksymalna średnica ziaren, zawartość substancji organicznej oraz zawartość węglanu wapnia. Pod tym względem badane iły spełniają kryteria przedstawione w tabeli 2. Charakteryzują się znaczną zawartością frakcji iłowej (średnio powyżej 56%), frakcji iłowej i pyłowa średnio 94%, frakcji piaskowej poniżej 9%. Maksymalna średnica ziaren w badanych próbkach nie przekroczyła 1 mm. Sumaryczna zawartość minerałów ilastych w badanych iłach przekracza 50% (Barański, 1994). Granica płynności wahała się od 58 do 89%. Zawartość węglanu wapnia oznaczona metodą Scheiblera nie przekroczyła 5%. Również wartości pojemności wymiennej gruntów (CEC) przekraczają minimalne zalecane wartości tego parametru (od ~26 do 55 cmol/kg).

W badanych iłach poznańskich zawartość substancji organicznej oscyluje w okolicy 2%, a najwyższa oznaczona zawartość nie przekracza 4%. Substancja organiczna w badanych iłach przeważnie występuje w formie rozproszonej, czasami są to widoczne pozostałości po korzeniach roślin, co może zawyżać wartości tego parametru i klasyfikować go jako nie nadający się do rozważanych zastosowań.

Parametrami, na które ma wpływ naruszenie struktury gruntów są: wskaźnik porowatości, współczynnik przewodności hydraulicznej (tab. 1). Porowatość obliczona ze wzoru [1] jest zależna od gęstości objętościowej szkieletu (ρ_d), na którą istotny wpływ ma naruszenie struktury badanych próbek. Różnice pomiędzy wartościami ρ_d gruntów naruszonych i nienaruszonych wahają się w granicach od 0,04 do 0,1 Mg/m³, co powoduje wzrost porowatości rzędu 3 do 6%. Te zmiany mogą wpływać na właściwości filtracyjne. Wartości współczynnika przewodności hydraulicznej iłów wahają się od 10⁻¹⁰ do 10⁻¹¹m/s i spełniają wymagania stawiane gruntem wykorzystywanym na warstwy izolacyjne. Badania współczynnika przewodności hydraulicznej dla próbek o strukturze naruszonej i nienaruszonej pozwoliły stwierdzić, że w przypadku badanych iłów następuje nieznaczny wzrost wartości współczynnika przewodności hydraulicznej (tab. 1), ale jest on na tyle niewielki (rzędu pół stopnia), iż nie powoduje pogorszenia właściwości izolacyjnych badanych iłów.

Stosowanie iłów o strukturze naruszonej niesie za sobą wiele zalet, jak i wad. Do pierwszych można zaliczyć to, że po homogenizacji materiału wyniki badań będą w znacznie większym stopniu porównywalne dla całego uszczelnienia (warstwy uszczelniającej) niż przy NNS. Homogenizacja pozwala również na eliminację spękań (dróg migracji) jakie niewątpliwie występują w iłach poznańskich na skutek procesów geologicznych zachodzących na obszarze ich występowania. W trakcie homogenizacji można polepszać właściwości fizyko-mechaniczne iłów poprzez stosowanie dodatków (Łuczak-Wilamowska, 1997).

Do wad stosowania iłów o strukturze naruszonej należy zaliczyć to, iż homogenizacja, jak również wydobywanie i przewożenie podrażają koszty formowania składowisk. Duża zawartość frakcji iłowej utrudnia zagęszczenie materiału do minimalnych wartości wskaźnika porowatości.

Podsumowanie

Przedstawiony powyżej materiał pozwala na wysunięcie następujących wniosków, co do możliwości wykorzystania iłów poznańskich jako barier geologicznych:

a) spełniają podstawowe kryteria stawiane gruntem wykorzystywanym jako uszczelnienia,

b) znaczne rozprzestrzenienie ułatwia wykorzystanie ich do przedstawionych celów,

c) mogą być wykorzystywane jako bariery *in situ*, jak i materiał do budowy warstw uszczelniających.

Literatura

- BARAŃSKI P. 1994 — Możliwości wykorzystania iłów serii poznańskiej w ochronie środowiska. *Prz. Geol.*, 42: 446–449.
- BURKHARD G., EGLOFFSTEIN TH. & VON MAUBEUGE P. 1997 — Porównanie systemów uszczelnień składowisk odpadów — próba interpretacji pojęcia porównywalności (równoważności). *Konf. Nauk.-Techa. Geotechnika w budowie składowisk odpadów Pułtusk 22–24 października*: 5–50.
- Classification tests. Methods of test for classifying soils and for determining their basic physical properties 1990** — BS1377: part 2: 1990: 6.5.
- DRĄGOWSKI A. 1987 — Geologiczne problemy składowania odpadów. *Rocz. UW*: 69–74.
- GARBULEWSKI K. 1998 — Dobór gruntów na uszczelnienia mineralne. VIII Międz. Konfer. Budowa bezpiecznych składowisk odpadów, Wisła, 25–27 lutego 1998: 79–87.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. & KACZYŃSKI R. 1994 — Metody badania gruntów pęczniących. *Gosp. Surow. Miner.*, 10: 125–160.
- Grundy budowlane** — badania próbek gruntu — PN-88/B-04481.
- FRANKOWSKI Z. & MITRĘGA J. 1998 — Warunki lokalizacji składowisk odpadów niebezpiecznych. Międzynarodowa Konferencja „Budowa bezpiecznych składowisk odpadów” Wisła 25–27 lutego: 89–97.
- KACZYŃSKI R. i in., 2000 — Współczynnik filtracji gruntów spolistych wyznaczonych różnymi metodami. Aktualne problemy geologiczno-inżynierskich badań podłoża budowlanego i zagospodarowanie terenu. *Mat. Sem. 80. rocznicy urodzin i 60-lecia pracy zawodowej prof. dr hab. W.C. Kowalskiego (Warszawa, 10 listopada)*. Bogucki Wyd. Nauk. S.C. Poznań: 57–65.
- KOŚCİÓWKO H. & WYRWICKI R. 1996 — Metodyka badań kopalni ilastych. *Państw. Inst.Geol.*: 56–76.
- KUMOR M. K. & ANDRZEJEWSKI W. 2000 — Geologiczno-inżynierska charakterystyka iłów serii poznańskiej z Bydgoszczy na przykładzie reperowej odkrywki w Fordonie: 83–93.
- LAGA-Markblatt M3 „Die geordnete Ablagerung von Abfällen”** (Deponiemerkblatt), aufgestellt im Auftrag der Landerarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) unter Mitarbeit des Umweltbundesamtes und des Verbandes Kommunaler Stadtereinigungsbetriebe (VKS). 1990.
- ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 1997 — Modelowanie właściwości iłów neogeńskich z Mszczonowa jako warstw izolacyjnych. *Arch. Hydrogeol. Geol. Inż. Wyd. Geol. UW*.
- PIASKOWSKI A. 1984 — Właściwości sorpcyjne i powierzchnia właściwa polskich gruntów. *Badania nad sorpcją błękitu metylenowego*. *Arch. Hydrotech., Kwart.*, 31: 297–311.
- PIOTROWSKA H., BLUHM-KWIATKOWSKI J. & LITWIN B. 1993 — Zbiór zaleceń do programowania, projektowania i eksploatacji wysypisk odpadów komunalnych. Ministerstwo Gospodarki i Budownictwa. Warszawa: 6–35.
- Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych**. Instrukcja Instytutu Techniki Budowlanej 1995 — Wyd. ITB 337, Warszawa.
- PUSCH R. 1994 — Waste disposal in rock. *Developments Engineering in Geotechnical*, 76, Elsevier, Amsterdam: 105–122.
- ROWE R.K., QUIGLEY R.M. & BOOKER J.R. 1997 — Clayey Barrier systems for waste disposal facilities E & FN Spon, London: 1–145.
- Ustawa o odpadach. z dnia 27 kwietnia 2001 r. — *Dz. U.*01.62.628.
- US EPA/625/4-89/022 — 1989.
- WICHROWSKI Z. 1981 — Studium mineralogiczne iłów serii poznańskiej. *Arch. Miner.*, 37: 93–196.