

Ryszard KACZYŃSKI

Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

ROLA IŁÓW PLIOCENSKICH W BUDOWIE SKŁADOWISK NIEBEZPIECZNYCH ODPADÓW

Streszczenie. W pracy została przedstawiona ocena przydatności iłów pliocenских z rejonu Warszawy do budowy składowisk niebezpiecznych odpadów. Przeanalizowano wyniki badań właściwości fizycznych, składu granulometrycznego i właściwości filtracyjnych z punktu widzenia wykorzystania iłów jako naturalnej bariery geologicznej i jako warstwy/wykładziny izolacyjnej.

ROLE OF PLIOCENE CLAYS IN CONSTRUCTING OF HAZARDOUS WASTE STORAGE FACILITIES

Summary. This paper presents a study of Pliocene clays in the Warsaw region which investigated their physical properties, microstructure, mineral and granulometric composition, swelling and permeability. Role of these clays in construction of hazardous waste storage facilities as a natural geological barrier and as an insulating layer (liner) was evaluated.

Wstęp

Bezpieczne dla środowiska składowanie odpadów będzie zapewnione, gdy zostanie ono zlokalizowane w terenie o podłożu bezpiecznym geologicznie lub gdy jego podłoże i skarpy zostaną zabezpieczone warstwami/wykładzinami uszczelniającymi, chroniącymi przed migracją zanieczyszczeń. Najbardziej ekonomicznym sposobem izolacji składowiska jest wykorzystanie w tym celu iłów. Z geologiczno-inżynierskiego punktu widzenia większość działań dotyczących przygotowania iłów do zastosowania jako materiału uszczelniającego sprowadza się do osiągnięcia wysokiej wytrzymałości i gęstości oraz najmniejszej przepuszczalności warstwy izolującej. Dobre zagęszczenie gruntów jest funkcją wilgotności, a zatem wymagana jest również odpowiednia – optymalna wilgotność gruntów przeznaczonych do budowy barier izolacyjnych. Przy takiej wilgotności możliwe jest osiągnięcie maksymalnej gęstości objęto-

ściowej danego gruntu. Niebagatelną sprawą jest plastyczność ilów, muszą one być wystarczająco, ale nie nazbyt plastyczne.

W literaturze przedmiotu istnieje wiele różnych propozycji dotyczących konieczności spełnienia konkretnych kryteriów. W 2000 roku ukazała się praca K. Garbulewskiego pt. „Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych” [3], która stanowi syntezę zagadnień związanych z budową składowisk i zawiera pełny przegląd literatury tematu.

Tabela 1

Wymagania w stosunku do gruntów stosowanych w barierach
i warstwach uszczelniających składowiska

Publikacja	Barierzy i warstwy dla niebezpiecznych odpadów	
	komunalnych	radioaktywnych
IAEG Intern. Atomic Energy Agency ICRP Intern.Com. for Radiation Protection	-	odpady radioaktywne należy składować tak, aby były niedostępne, całkowicie izolowane od wpływu na środowisko naturalne
R.K.Rowe [11]	fr. ilowa <2 μm powyżej 15-20%; wskaź. plastyczności $I_p \geq 7\%$; aktywność Skemptona $A \geq 0.3$; pojemność kationowa $CEC \geq 10$ mval/100g; minimalna miąższ. 0.9-1.1m; współcz. przewodności hydraulicznej $k_{UNGS} < 10^{-9}$ m/s	min. miąższość 3-4 m, niekiedy nawet >15 m; współcz. przewodności hydraulicznej $k_{UNGS} \leq 10^{-10}$ m/s
M.Langer [7]	minimum 37 punktów na 45; iły pylaste, margle, tufy bentonitowe; wilgotność naturalna 20-25%; współczynnik przepuszczalności $k_r \leq 10^{-8} - 10^{-10}$ m/s; całkowita miąższość >15-30 m; zw. wody >25 m ppt	minimum 41 punktów na 45 iły bentonitowe, kaolinity, margle ilaste; wilg. natural. 10-20%; współcz. przepuszczalności $k_r \leq 10^{-10}$ m/s; całkowita miąższ. >30 m; zw. wody >30 m ppt
	w propozycji Hungarian Geological Surveys są uwzględnione 9 - punktowe (1-5) kryteria: warunki geomorfologiczne, pionowa i pozioma jednorodność, skład mineralogiczno-petrograficzny, makrostruktura, warunki tektoniczne, powierzchniowa stateczność, obecność mineralnych wkładek, warunki hydrogeologiczne	
D.E.Daniel [2]	fr. ilowa <2 μm powyżej 10%; fr. ilowa i pyłowa <50 μm powyżej 30%; fr. żwirowa <2 mm poniżej 10%; wskaźnik plastyczn. 10-30%; granica płynności poniżej 90%; współcz. przewodności hydraulicznej $k_{UNGS} < 10^{-9}$ m/s; min. miąższ. 1 m	-
ITB [5]	min. miąższ. 1.5 m; fr. <0.5 mm powyżej 60%; granica płynności >30%; wskaź. plastyczności >20%; fr. ilowa <2 μm powyżej 20%; CaCO_3 do 10%; subst. organ. do 2%; wskaźnik przepuszczalności < 10^{-9} m/s	-

Ilły jako bariery geologiczne i warstwy uszczelniające

Transport zanieczyszczeń w ośrodku gruntowym odbywa się na zasadach ruchu adwekcyjno-dyfuzyjno-dyspersyjnego. Zasadniczym zadaniem bariery geologicznej – warstwy uszczelniającej składowisko odpadów jest uniemożliwienie kontaktu wód zanieczyszczonych

(odciekowych) z wodami naturalnymi lub, w skrajnym przypadku, jeśli nawet ten kontakt nastąpi, zapewnienie jak najmniejszej koncentracji zanieczyszczeń (mniejszej od stężenia dopuszczalnego).

Do konstruowania barier i warstw izolujących składowiska można stosować ily spełniające określone wymagania. W literaturze [1-3,5,8-11] istnieje wiele propozycji dotyczących konieczności spełnienia konkretnych kryteriów. Oczywiście, dobór typu uszczelnienia i związane z tym wymagania są zależne od właściwości składowanych odpadów. W tabeli 1 przedstawiono wymagania stawiane gruntom stosowanym do budowy składowisk dla niebezpiecznych odpadów komunalnych i radioaktywnych (Rozp. MOŚZNiL - 1997, Dz U nr 162). Najczęściej uważa się, że grunty stanowiące podłoże (barierę) składowiska powinny wykazywać przepuszczalność nie większą niż 10^{-9} m/s i miąższość nie mniejszą od 3 m. Miąższość warstw/wykładzin gruntowych nie przekracza 3 m i zwykle wynosi około 0,2-1,0 m – są one najważniejszymi elementami uszczelnień składowisk. Ily stosowane do warstw izolujących mają strukturę naruszoną. W celu zachowania należytej przepuszczalności ily muszą zostać odpowiednio zagęszczone. Najkorzystniejsze cechy będą posiadały ily o zawartości powietrza w zagęszczonym gruncie $w_{opt} < w < w_{Is=0,95}$ nie przekraczającej 5%, a ich wilgotność będzie większa od optymalnej $w = w_{opt} + (1-5\%)$ [1-3].

Podstawowe właściwości fizyczne iłów plicieńskich z rejonu Warszawy

Ily plicieńskie serii poznańskiej występują na znacznym obszarze Polski pod nakładem utworów czwartorzędowych o zróżnicowanej miąższości. W rejonie Warszawy, w części północno-wschodniej basenu sedimentacyjnego, ily plicieńskie występują od powierzchni terenu do nawet 100 m ppt. a ich średnia miąższość wynosi około 50 m. Pod względem litologicznym ily są reprezentowane przez kompleks ilastych i podrzędnie piaszczysto-pylastych osadów pochodzenia limnicznego. Przeciętny najczęściej spotykany skład granulometryczny iłów – zawartość poszczególnych frakcji (w %) jest następująca: iłowa – 40, pyłowa – 45, piaszkowa – 15.

Głównym składnikiem iłów plicieńskich są minerały ilaste, których zawartość waha się w granicach 40-80%. Minerale ilaste stanowią: beidelit (B), illit (I), kaolinit (K). Skład mineralny iłów można przedstawić następująco – dla:

- iłów ze Stegien – $B^{50-80} \gg I^{10-45} > K^{5-10}$,
- iłów z metra – $B^{65-85} \gg I^{10-30} > K^{0-20}$.

Iły plioceńskie rejonu Warszawy charakteryzują się przejściowymi typami mikrostruktur: matrycowo-turbulentną i turbulentno-laminarną. Stan ilów jest przeważnie półzwały, niekiedy twaroplastyczny.

Iły plioceńskie są bardzo wrażliwe na oddziaływanie czynników egzogenicznych, w szczególności na wysychanie i nawilgocenie. W zależności od wilgotności początkowej ulegają one pęcznieniu lub rozmakaniu. Podstawowe właściwości fizyczne i parametry przestrzeni porowej tych ilów zostały zamieszczone w tabelach 2 i 3. Pozostałe, uzupełniające właściwości ilów plioceńskich rejonu Warszawy można znaleźć w pracach [3,4,6].

Tabela 2

Podstawowe właściwości ilów plioceńskich z rejonu Warszawy

Parametry	Wartości
Fracja ilowa $f_i \leq 2 \mu\text{m}$, %	25-90
Gęstość właściwa ρ_s , Mg/m^3	2,66-2,76
Gęstość objętościowa ρ , Mg/m^3	1,85-2,15
Porowatość n , %	34-50
Granica płynności w_L , %	37,5-100
Granica plastyczności w_P , %	20-41
Wskaźnik plastyczności I_P , %	16-63
Aktywność A	0,40-1,30
Powierzchnia właściwa $S \times 10^3$, m^2/kg	-
Pojemność wymiany kationowej CEC , $\text{mval}/100\text{g}$	10-40
Potencjalna ekspansywność PE^1	I, H, V
Stopień ekspansji DE^2	I, H, V
Potencjal pęcznienia S^3 , %	od 1,5 do >25
Ciśnienie pęcznienia σ_{sp} , kPa	15-280
Pęcznienie swobodne FS , %	4,0-16,5

^{1) 2)} wg Van der Merwe (1964): I – średnia, H – wysoka, V – bardzo wysoka [5]

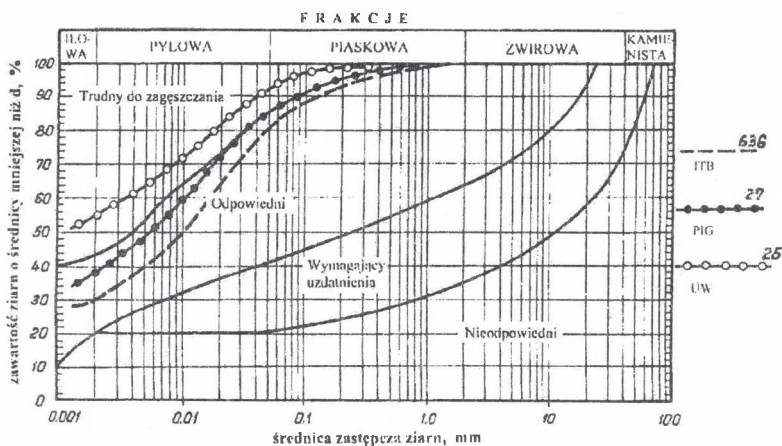
³⁾ wg Seeda i in. (1962): I – niski, H – wysoki, V – bardzo wysoki [5]

Przydatność ilów plioceńskich do budowy uszczelnień składowisk

Oceny przydatności ilów plioceńskich do budowy składowisk niebezpiecznych odpadów można dokonać analizując wyniki przedstawione na rysunkach 1-3 i w tabeli 2.

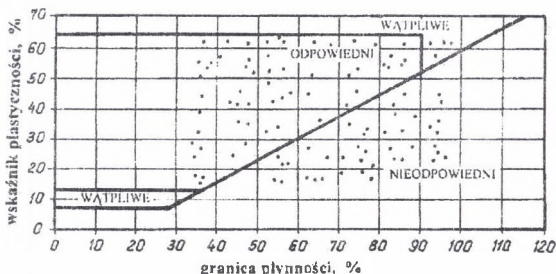
Iły plioceńskie w warunkach *in situ* są praktycznie nieprzepuszczalne (współczynnik filtracji $< 10^{-9}$ m/s) i mogą, przy odpowiedniej miąższości, stanowić naturalną barierę geologiczną. Należy zwrócić uwagę na możliwość wystąpienia w ilach uprzywilejowanych dróg przepływu, takich jak soczewki, wkładki gruntów sypkich i małospoistych oraz spękań i szczelin. Natomiast wykorzystanie ilów plioceńskich w warstwach (wykładzinach) uszczel-

niających jest ograniczone. Niektóre ıły pliocenijskie, z uwagi na zbyt dużą zawartość cząstek <2 μm (powyżej 50%), są trudne do zagęszczenia (rys. 1). Również grunty o zbyt dużej plastyczności są mało zagęszczalne (rys. 2), a przez to trudno uzyskać ich przepuszczalność. Należy podkreślić, że ıły o wskaźniku plastyczności powyżej 30% [3] podczas wysychania tworzą twarde, trudne do rozbicia bryły. ıły pliocenijskie są bardzo wrażliwe na zmiany wilgotności, wykazują znaczne odkształcenia pęcznienia-skurczu.



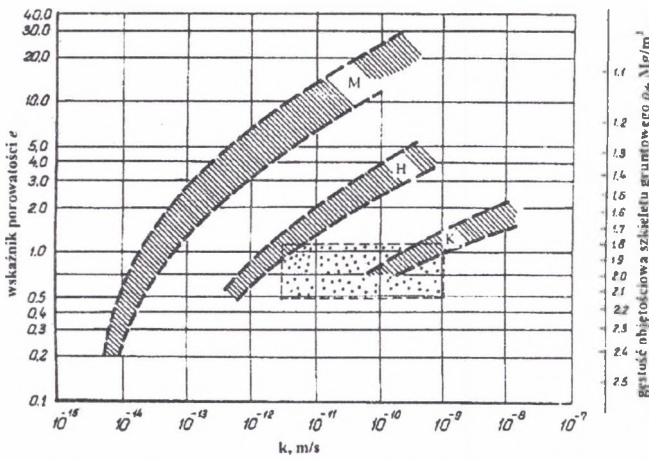
Rys. 1. Średni skład granulometryczny ıłw pliocenijskich Warszawy na tle oceny przydatności grunów do budowy warstw izolacyjnych (Garbulewski, 2000)

Fig. 1. Average granulometric composition of Pleistocene clays in Warsaw area against a background of soil evaluation usefulness in constructing liners (Garbulewski, 2000)



Rys. 2. ıły pliocenijskie z rejonu Warszawy na tle wykresu oceniającego przydatność grunów do budowy warstw izolacyjnych (Jones et al. 1993, w: Garbulewski, 2000)

Fig. 2. Pleistocene clays in Warsaw area against a background of schema of soil evaluation usefulness in constructing liners (Jones et al. 1993, in: Garbulewski, 2000)



Rys. 3. Współczynnik przepuszczalności (przewodności) iłów pliocięskich Warszawy na tle czystych monomineralnych iłów (M – montmorylonit, H – hydromiki, K – kaolinit); wg Push, 1994

Fig. 3. Hydraulic conductivity coefficient of Pliocene clays against a background of pure, monomineral clays (M – montmorillonite, H – hydromiki, K – kaolinite); Push, 1994

Tabela 3

Ilościowe parametry mikrostrukturalne iłów pliocięskich z rejonu Warszawy

Parametry przestrzeni porowej	
Główny typ mikrostruktury	Matrycowo-turbulentna i turbulentno-laminarna
Porowatość, %	37-52
Liczba porów, 1×10^3	8-347
Całkowita powierzchnia porów, $\times 10^3, \mu\text{m}^2$	52-1181
Całkowity obwód porów, $1 \times 10^3, \mu\text{m}^2$	85-2393
Średnia średnica porów, μm	0,79-2,15
Średnia powierzchnia porów, μm^2	2,55-15,02
Średni obwód porów, μm	6,27-13,86
Średni wskaźnik formy, -	0,432-0,599
Wskaźnik anizotropii, -	3,8-41,9

Podsumowanie i wnioski

Iły pliocięskie z rejonu Warszawy są reprezentowane głównie przez kompleks gruntów ilastych i podrzędnie piaszczysto-pylastych. Główne minerały ilaste wchodzące w ich skład to: beidelit, illit i kaolinit. Analizowane iły są gruntami bardzo wrażliwymi na oddziaływanie czynników egzogenicznych, a szczególnie na nawilgocenie-wysychanie. Przydatność iłów pliocięskich do budowy składowisk niebezpiecznych odpadów można podsumować następująco:

1. Iły plioceńskie spełniają wymagania jako naturalne bariery geologiczne i można w nich, przy odpowiedniej miąższości, lokalizować podstawy składowisk. Współczynnik filtracji w warunkach naturalnych jest mniejszy od 10^{-9} m/s.
2. Wykorzystanie iłów plioceńskich do budowy warstw (wykładzin) uszczelniających jest ograniczone. Nieodpowiednimi gruntami są ıły zawierające powyżej 50% cząstek mniejszych od $2 \mu\text{m}$ i wskaźniku plastyczności powyżej 30%. Takie grunty wymagają uzdatnienia – przystosowania.
3. Iły stosowane do warstw izolujących w celu uzyskania niskiej przepuszczalności (poniżej 10^{-9} m/s) muszą być odpowiednio zagęszczone przy wilgotności większej od optymalnej, $w = w_{\text{opt}} + (1-5\%)$, przy czym zawartość powietrza nie powinna przekroczyć 5%.

W ıłach ekspansywnych stosowanych do budowy uszczelnień należy zwrócić szczególną uwagę na zachowanie się gruntów podczas zmian wilgotności. Istnieje potrzeba określania zależności wskaźnika porowatości od wilgotności, tzw. „krzywej skurczalności”.

LITERATURA

1. Benson C.H., Daniel D.E.: Minimum thickness of compacted soil liners. *Journ. of Geotechnical Engineering*, ASCE 120 (1), 1994, p. 153-172.
2. Daniel D.E., ed.: *Geotechnical practice for waste disposal. Clay liners*. Chapman & Hall, London 1993.
3. Garbulewski K.: Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych. *Rozprawy Naukowe i Monografie*, Wyd. SGGW, Warszawa 2000.
4. Grabowska-Olszewska B., red.: *Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych*. PWN, Warszawa 1998.
5. ITB: *Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiska odpadów komunalnych*. Instrukcja ITB nr 337, Warszawa 1995.
6. Kaczyński R., Grabowska-Olszewska B.: Soil mechanics of the potentially expansive clays in Poland. *Applied Clay Science (special issue) No. 11*, Elsevier 1997, p. 337-355.
7. Langer M.: *Engineering geology and waste disposal*. Biul. IAEG, No. 51, Paris 1995, p.5-29.
8. Lee S.Y., Tank R.W.: *Role of clays in the disposal of nuclear waste: Arcview*. *Applied Clay Science 1*, Elsevier 1985, p. 145-162.

9. Parker A., Rae J.E., ed.: Environmental interactions of clays. Clays and the Environment. Springer, 1998.
10. Push R.: Waste disposal in rock. Elsevier, Amsterdam 1994.
11. Rowe R.K., Quigley R.M., Booker J.R.: Clayey barrier systems for waste disposal facilities. E&FN Spon, London 1997.

Recenzent: Prof. dr hab. Lidia Chodyniecka

Abstract

The issue of hazardous waste storage is a problem still in the phase of continued research and searching for optimal solutions. The generally adopted solution is to store low-toxicity wastes in properly-constructed shallow surface facilities. Such facilities are constructed using insulating clay layers, which constitute their base as well as independent multibarrier elements.

The paper presents a study of Pliocene clays in the Warsaw region, which investigated their physical characteristics, microstructure, mineral composition, swelling, and permeability. The potential role of these clays in the construction of hazardous waste storage facilities was evaluated based on the requirements presented in literature items [1-3,5,8,10,12].

The presented herein engineering-geological properties of Pliocene clays in the Warsaw region can be conclude in the following way:

1. Pliocene clays are represented by deposits of a shallow, periodically drying up basin. The whole complex of these clays consists of clays (60-70%), silts (10-20%) and sands (10-20%). Physical and mechanical properties of Pliocene clays were formed during long and complicated geological history when they underwent several loading and unloading cycles. As a result of those processes these clays changed their state to overconsolidated (non-decompressed to the end),
2. Pliocene clays should be considered as soil with specific properties, particularly sensitive to exogenetic processes. Soaking, cyclic swelling and shrinkage cause first of all quick disintegration of the soil. The discussed clays contain mixed-layer minerals from the beidelite – illite – kaolinite,

3. Analysed clays often constitute the direct soil foundation and can act as insulating clay layers against water as well as natural geological barriers retaining the migration of pollution,
4. Role of these clays as liners is limited. Part of them require proper treatment – adaptation,
5. Clays used as insulating layers (liners) have to be suitably compacted when their water content is higher than optimal water content. At the same time, the contain of air in the soil porous should not to exceed 5%.