

Ryszard Kaczyński

## Geologiczno-inżynierskie zachowanie się iłów londyńskich i warszawskich

### Engineering geological behaviour of London and Warsaw clays

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono ilościową ocenę zachowania się eoceńskich iłów londyńskich i plioceńskich iłów warszawskich jako podłoża gruntowego obiektów budowlanych. Główna uwaga została skoncentrowana na właściwościach fizyczno-mechanicznych tych iłów, a zwłaszcza ich podatności na czynniki egzogeniczne i na działanie obciążeń. Ustalono wielkość zmian parametrów wytrzymałościowych wskutek wietrzenia. Określono również zależność naprężenie-odkształcenie, wytrzymałość maksymalną i rezydualną dla analizowanych gruntów. Porównano iły warszawskie z iłami londyńskimi – te ostatnie należą do najbardziej znanych i zbadanych gruntów na świecie.

**Słowa kluczowe:** iły, eocen, pliocen, wytrzymałość na ścinanie (maksymalna, rezydualna), wietrzenie, naprężenie-odkształcenie, właściwości geologiczno-inżynierskie

**Abstract:** A qualitative evaluation of the behaviour of Eocene London Clays and Pliocene Warsaw Clays as a foundation for engineering work is presented, with special emphasis on their physico-mechanical properties – in particular their susceptibility to exogenic factors and loading. The magnitude of changes in strength parameters due to weathering has been defined together with the strain-stress relationships and peak and residual strength of the soils examined. The Warsaw Clays have been compared with London Clays, the latter representing one of the world's most-studied engineering materials.

**Key words:** clays, Eocene, Pliocene, shear strength (peak, residual), weathering, stress-strain, engineering-geological properties

## Wstęp

Iły kenozoiczne<sup>1</sup> (paleogenu-eocenu i neogenu-pliocenu) stanowią i będą coraz częściej stanowić podłoże obiektów budowlanych nie tylko w Warszawie i Londynie, ale na znacznie większych obszarach zarówno w Polsce, Wielkiej Brytanii, jak i w innych częściach Europy. Głębokość występowania i miąższości tych iłó są podobne, jedne i drugie powstały w środowisku wodnym. W wyniku obciążeń działających na nie w ich historii geologicznej ily te przeszły w stan przekonsolidowany. Zawierają liczne powierzchnie osłabienia (nieciągłości), są wrażliwe na oddziaływanie czynników egzogenicznych (Kaczyński, Grabowska-Olszewska, 1997; Kaczyński, 2000, 2001, 2003). Podczas projektowania obiektów inżynierskich sprawdza się dwa rodzaje stanów równowagi granicznej (I – nośności, II – użytkowania). Rozwiązanie zagadnień stateczności obiektu wymaga znajomości parametrów pozwalających na sprawdzenie wymienionych stanów granicznych. Do najważniejszych parametrów gruntowych zalicza się parametry wytrzymałości na ścinanie (ką tarcia wewnętrznego, spójność) oraz moduł ściśliwości. Istotnym parametrem jest również współczynnik parcia gruntu w spoczynku.

W niniejszej pracy badaniom były poddane ily plioceńskie z Warszawy (rejon stacji metra A-14 do A-15 i na poletku doświadczalnym Stegny). Badania finansował KBN – projekt nr 9 T12 B 005 16 oraz Dziekan Wydziału Geologii UW w ramach badań własnych (BW).

Do przeprowadzonej analizy włączono zaczerpnięte z literatury wyniki badań dotyczące eoceńskich iłó londyńskich – jednych z najbardziej znanych i przebadanych iłó na świecie.

## Geologiczne warunki występowania iłó

Analizowane ily powstały w środowisku wodnym w paleogenie i neogenie, ily londyńskie w morzu, a ily warszawskie w płytkim, okresowo wysychającym zbiorniku śródlądowym. Pierwsze z nich są zaliczane do eocenu (paleogen–iprez ok. 50 mln lat), natomiast wiek iłó warszawskich jest określany na pliocen lub mio-pliocen (neogen – ok. 5 mln).

W eocenie na terenie Anglii południowo-wschodniej występowały 2 baseny morskie – londyński na północy i Hampshire na południu – wchodzące w skład większego „basenu morza północnego”. W basenach tych sedymentowały ily nazywane londyńskimi (London Clay) z bogatą fauną, głównie numulitową, i tropikalną florą. Ily londyńskie charakteryzują się wyraźnym warstwowaniem (laminowaniem), zawierają między innymi piryt, selenit, konkretne septariowe. W stanie niezwiertzałym są niekiedy niebieskiego koloru, który zmienia się na brązowy, kiedy ulegają zwiertzeniu. Stan iłó londyńskich jest przeważnie zwarty, makroskopowo obserwuje się liczne spękania, w obrazie mikroskopowym widać liczne mikronieciągłości. Granulometrycznie są to ily, ily pylaste, niekiedy pyły, czasami

<sup>1</sup> Według podziału stratygraficznego Międzynarodowej Unii Nauk Geologicznych nie ma trzeciorzędu.

przewarstwione gruntami pylasto-piaszczystymi. Średnia miąższość iłów londyńskich dochodzi do 130 m.

Iły na terenie Warszawy (część wschodnia zbiornika) są silnie zaburzone glaci-tektonicznie, tworząc formy fałdowe o zróżnicowanej amplitudzie, z licznymi deformacjami typu nieciągłości. Obserwuje się tu wyraźne wypiętrzenie osadów na linii NNW–SSE, o długości kilku kilometrów i szerokości 0,5 do 2 km. Miąższość tych iłów wynosi kilkadziesiąt metrów, czasami nawet 100–150 m (ITB, PIG, 2004). Są one przykryte warstwą gruntów czwartorzędowych zmiennej miąższości (w tym antropogenicznych). Nieciągłości-spękania typu zlustrowań musiały powstać, z uwagi na kruchy charakter zniszczenia, w czasie kiedy osad był już względnie skonsolidowany. Iły warszawskie są różnokolorowe – dolne poziomy są raczej szare, niekiedy zielonkawe; w środkowych partiach dominują odcienie zielone (czasami niebieskie) z licznymi plamami żółtymi i czerwonymi, ku górze zaś pojawiają się barwy piaskowe z plamami brązowymi, rdzawymi, czarnymi i czerwonymi (iły pstre/plomieniste).

Analizowane iły charakteryzują się mikrostrukturami wysoko zorientowanymi. Pory są przeważnie anizotropowe. Wśród minerałów ilastych, zarówno w iłach londyńskich, jak i warszawskich, spotyka się głównie minerały mieszanopaketowe szeregu beidelit (smektyt) – illit oraz kaolinit. Iły te wykazują mikrostruktury: matrycowo-turbulentną i turbulentno-laminarną. Bardziej szczegółowe dane można znaleźć w pracach następujących autorów: Skempton (1961), Terzaghi (1961), Ward i in. (1965), Fookes (1966), Tchalenko (1968), Bishop (1972), Costa Filho (1986), Taylor i Crips (1987).

## Fizyczno-mechaniczne właściwości iłów

Właściwości analizowanych iłów kształtowały się w trakcie długiej i skomplikowanej historii geologicznej, w czasie której były poddawane kilkakrotnym cyklom obciążeń i odciążenia, w efekcie czego przeszły w stan przekonsolidowany (nie odprężony do końca). Istotny wpływ na proces konsolidacji miały zlodowacenia i erozja. Największy lodowiec zlodowacenia południowopolskiego (na wyspach brytyjskich – anglian), którego grubość ocenia się na ok. 1000 m, wywoływał obciążenia rzędu ok. 10 MPa. Historyczny stopień przekonsolidowania (OCR) w zakresie głębokości występowania gruntów do 20 m p.p.t. był większy od 25 (Kaczyński, 2002)<sup>2</sup>. Generalnie fizyczne właściwości iłów londyńskich i warszawskich są zbliżone (tab. 1). Natomiast załączone ilościowe parametry mechaniczne wskazują, że iły warszawskie w porównaniu z londyńskimi są mniej wytrzymałe i bardziej odkształcalne. Iły londyńskie są starsze i bardziej skonsolidowane.

<sup>2</sup> Ostatnio obok OCR wyznacza się YSR (stopień uplastycznienia). Dla iłów rejonu Wrocławia YSR=1,6–10,8 (Izbicki, Stróżyk, 2005). Szczepański (2005), wykorzystując teorię własności inhereentnych, proponuje wprowadzenie parametru o nazwie liczba przekonsolidowania OCN. W przestrzemi indeks porowatości – naprężenie efektywne iły warszawskie (ze Stegien) charakteryzuje OCN = 2,05–3,52.

Tabela 1. Geologiczno-inżynierskie właściwości ilów warszawskich i londyńskich  
 Table 1. Engineering geological properties of Warsaw and London Clays

Parametry	Iły warszawskie <sup>1</sup>	Iły londyńskie	
		*	**
Zawartość frakcji, %	< 2 $\mu\text{m}$	28–89, Śr.=56, V=34	40–72
	2–50 $\mu\text{m}$	11–64, Śr.=37,5, V=46	–
	> 50 $\mu\text{m}$	0–29, Śr.=6,5, V=75	–
Gęstość właściwa, Mg/m <sup>3</sup>	2,66–2,78, Śr. = 2,71, V = 3		2,72–2,75
Gęstość objętościowa, Mg/m <sup>3</sup>	1,85–2,13, Śr. = 2,0, V = 4		2,00–2,08
Gęstość szkieletu, Mg/m <sup>3</sup>	1,37–1,78, Śr. = 1,6, V = 4	–	
Porowatość, n, %	35–49, Śr. = 41, V = 10	35–59	
Wskaźnik porowatości, e, –	0,54–0,97, Śr. = 0,7, V = 18		
Wilgotność naturalna, w, %	19,2–35,6, Śr. = 28, V = 19	19–28	
Granica płynności, LL, %	37,5–96,4, Śr. = 72,3, V = 25	50–105	
Granica plastyczności, PL, %	20,1–41,0, Śr. = 31,5, V = 20		20–30
Wskaźnik plastyczności, PI, %	16,2–58,0, Śr. = 40,4, V = 35	40–65	
Granica skurczu, SL, %	6,3–19,5, Śr. = 87, V = 30	–	–
Stopień plastyczności, LI, %	–0,27–0,24, Śr. = –0,1, V = 156	< 1	
Wilgotność całkowita, %	19,2–35,9, Śr. = 27,8, V = 20		
Stopień nasycenia, S, –	0,94–1,00, Śr. = 0,98		~ 1
Aktywność, A, –	0,39–1,27, Śr. = 0,80		0,68–0,82
Ciśnienie pęcznienia, $\sigma_p$ , kPa	20–280, Śr. = 115		215–965
Stopień przekonsolidowania, OCR, –	2–14		4–41***
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu, $S_u$ , kPa	8–250 (500)		80–800
Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu, $C_u$ , kPa	30–130		100–400
Opór stożka, q, kPa	1500–5000		3516–12549
Wytrzymałość na ścinanie (wart. maks.)	spójność, $c'$ , kPa	25–55, Śr. = 40	31–252
	Kąt tarcia wewnętrz, $\Phi'$ , °	8–18, Śr. = 15	20–29
Wytrzymałość rezydualna, kąt tarcia wewn. $\Phi'_r$ , °, przy $c'_r = 0$	min 8,5°		10,5–22
Współczynnik ścisłości objętościowej, $m_v$ , m <sup>2</sup> /MN	0,038–0,250		0,02–0,12
Współczynnik konsolidacji, $c_v$ , m <sup>2</sup> /s	$3,6 \times 10^{-8}$ – $9,3 \times 10^{-6}$		$9,5 \times 10^{-9}$ – $-1,9 \times 10^{-6}$
Edometryczny/konsolidometryczny moduł ścisłości, $M_v$ , MPa	4–26		8–50
Współczynnik parcia gruntu w spokoju, $K_v$ , –	1,1–1,8 z badań; 0,74–1,44 wg Schmidta		1,5–2,5****

<sup>1</sup>Liczba badań 25–50

\*Cripps i Taylor (1981); \*\*Ward i in., (1965), Bishop (1961), Skempton (1961), Skempton i La Rochelle (1965); \*\*\*Value calculated from laboratory preconsolidation pressure, data after Taylor & Cripps (1987); \*\*\*\*Skempton (1961);

Śr. – wartość średnia; V – współczynnik zmienności [%]

## Geologiczno-inżynierskie zachowanie się iłóW

Zachowanie się iłóW, z punktu widzenia ich oceny geologiczno-inżynierskiej, można rozpatrywać w dwóch kategoriach jako:

- podatność iłóW na czynniki egzogeniczne,
- reakcję iłóW na obciążenie (stress-strain behaviour).

Właściwości przekonsolidowanych iłóW zależą od czasu, z którego upływem wzrasta ich wilgotność. Wyrównywanie się ciśnień porowych odciążanych iłóW jest opóźnione w stosunku do zmniejszania naprężeń, a zatem efektywna wytrzymałość iłóW ulega zmniejszaniu. W stropowych partiach iłóW tworzy się warstwa zwietrzliny ulegająca całkowitej lub częściowej dekonsolidacji. Pod wpływem różnych czynników egzogenicznych ility zmniejszają swoje właściwości na niekorzyść względem macierzystego podłoża. Analizowane ility są wrażliwe szczególnie na zmiany wilgotności i na naruszenie struktury. Zmiana parametrów fizyczno-mechanicznych iłóW niezwiertzałych (NZ) względem iłóW zwiertzałych (ZW) jest wyraźna. W zwiertzałych iłach obserwuje się zwiększenie wilgotności i porowatości, a zmniejszenie gęstości, modułu ściśliwości oraz wytrzymałości na ścinanie (tab. 2). Wytrzymałość na ścinanie dla obu omawianych typów iłóW zmienia się następująco (średnio):

- dla iłóW z Warszawy:  $C_{ZW} = 0,55-0,70 C_{NZ}$ ,  
 $\Phi_{ZW} = 0,70-0,90 \Phi_{NZ}$ ;
- dla iłóW z Londynu:  $C_{ZW} = 0,07 C_{NZ}$ ,  
 $\Phi_{ZW} = 0,50 \Phi_{NZ}$ .

Zmniejszenie spójności w iłach londyńskich w wyniku wietrzenia jest niezwykle duże. Stopień przekonsolidowania zmniejsza się do wartości 0,5–3,0. Wpływ naruszenia struktury (NS) ılu warszawskiego na jego spójność względem ılu o nie-naruszonej strukturze (NNS) można określić:

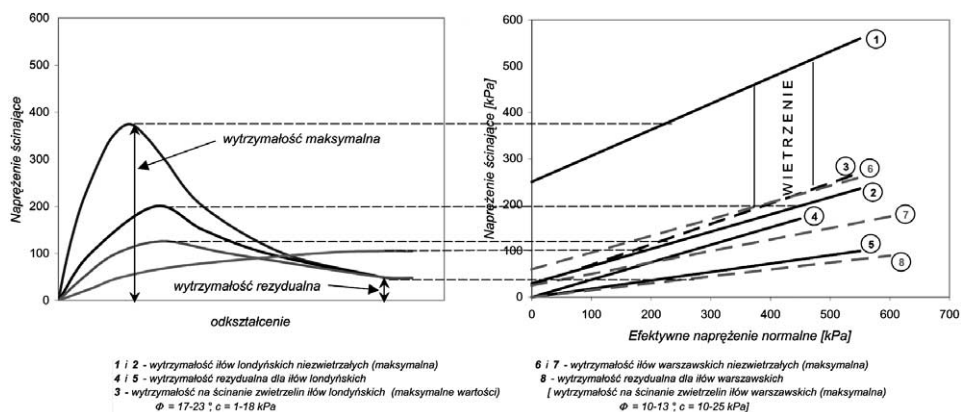
$$C_{NS} = 0,40 C_{NNS}$$

$$\Phi_{NS} \approx \Phi_{NNS}$$

Tabela 2. Parametry fizyczno-mechaniczne ıłóW niezwiertzałych i zwiertzałych  
Table 2. Physical-mechanical properties of unweathered and weathered clays

Parametr	Ily londyńskie		Ily warszawskie	
	Niezwiertzałe	Zwiertzałe	Niezwiertzałe	Zwiertzałe
Wilgotność, %	19–28	23–49	19,2–35,6 (28)	30–45
Granica płynności, %	50–105 (70)	66–100 (82)	37,5–96,4 (72,3)	do 100
Wskaźnik plastyczności, %	40–65 (47)	36–55 (44)	16,2–58 (40,4)	do 60
Zawartość frakcji ıłowej, %	40–72	–	28–89 (56)	20–85
Gęstość objętościowa, Mg/m <sup>3</sup>	1,92–2,04	1,70–2,00	1,85–2,13 (2,00)	1,7–2,0
Wytrzymałość na ścinanie, kPa	80–800	40–190	8–250	do 80
Efektywna spójność, kPa	31–252	1–18	25–55	do 10–25
Kąt tarcia wewnętrzznego, °	20–29	17–23	12–22	do 10–13
Moduł ściśliwości, MPa	8–50	–	4–26	1–10

(70) – wartość średnia. Parametry ıłóW londyńskich wg pracy Taylora i Cripsa (1987)



Ryc. 1. Wytrzymałość na ścinanie (maksymalna i rezydualna) iłw londyńskich i warszawskich: niezwietrzanych, zwietrzanych. Dane dla iłw londyńskich wg Cripsa i Taylora (1981)

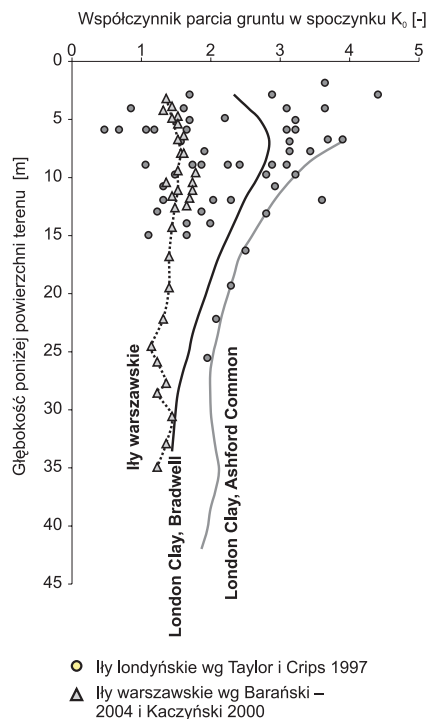
Fig. 1. Shear strength (peak, residual) of London and Warsaw Clays: unweathered and weathered

Iły warszawskie w stanie niezwietrzonym są gruntami przekonsolidowanymi. Jako podłoże budowlane w przypadku obciążenia pionowego, stanowią dla większości obiektów nośne podłoże o stosunkowo wysokich parametrach (tab. 1, ryc. 1).

Kształty zależności napężenie-odkształcenie są typowe dla gruntów o kruchym charakterze zniszczenia w postaci wyraźnych powierzchni poślizgu. Iły te podczas odciążania i obciążania do momentu przekroczenia zapamiętanego obciążenia prekonsolidacyjnego mają prawo ssać wodę. W projektowaniu głębokich posadowień istotną rolę odgrywają napężenia poziome, które można wyznaczyć ze współczynnika parcia gruntu w spokoju  $K_0$ . Na rycinie 2 pokazano wartości parametrów, jakimi charakteryzują się badane iły. Należy podkreślić, że wartości  $K_0$  są wyższe od jedności<sup>3</sup>. Zdecydowany wpływ na parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe oraz na kształt zależności napężenie-odkształcenie iłw mają wietrzenie i naruszenie struktury, co zostało zilustrowane na rycinie 1 i w tabeli 2. Powstałe w stropowych partiach iłw zwietrzliny (wykształcone strefowo) należy traktować jako grunty nieskonsolidowane lub normalnie skonsolidowane, a więc, generalnie, jako podłoże o obniżonej nośności. Zwraca uwagę bardzo wyraźne i znaczne zmniejszenie spójności, w szczególności w zwietrzanych iłach londyńskich. Natomiast zmiana kąta tarcia wewnętrznego nie jest już tak wyraźna.

Stateczność zboczy w przekonsolidowanych iłach zależy od wielu czynników. Przy ustalaniu parametrów wytrzymałości na ścinanie należy m.in. rozważyć wpływ nieciągłości, anizotropię, wietrzenie, upływ czasu itp. W iłach londyńskich kąt statecznego zbocza (dla wysokości 5–10 m) zmienia się w granicach:  $40^\circ$  dla zbocza 1–2-letniego,  $30^\circ$  – dla 10-letniego,  $20^\circ$  – dla 40-letniego i  $15^\circ$  – dla zbocza 70-letniego (Taylor, Chips, 1987). Dla około 65-letniego zbocza w iłach miocennych

<sup>3</sup> Takie zależności pomiędzy naprężeniami poziomymi i pionowymi opisano już w pracach Borowczyka i Szymańskiego (1995) i Szymańskiego (2000).



Ryc. 2. Rozkład współczynnika parcia gruntu w spoczynku  $K_0$  z głębokością w londyńskich i warszawskich iłach – badania in situ

Fig. 2. Distribution with depth lateral earth pressure ratio  $K_0$  in overconsolidated London and Warsaw clays – in situ tests

skich zapadliska przedkarpackiego kąt długotrwałej stateczności wynosi  $8^\circ$  (Kaczyński, 2004). Obserwacje zboczy wyprofilowanych w iłach warszawskich wskazują, że kąt nachylenia w granicach  $10\text{--}15^\circ$  jest kątem statecznym.

## Wnioski

Z punktu widzenia oceny geologiczno-inżynierskiej ily londyńskie i warszawskie należy zaliczyć do gruntów o specyficznych właściwościach, szczególnie wrażliwych na działanie procesów egzogenicznych. Rozmakanie, pęcznienie i skurcz, zamrażanie i odmarzanie powodują szybką dezintegrację i wietrzenie iłó w. Uzyskane wyniki badań można podsumować następująco:

1. Iły londyńskie i warszawskie są gruntami przekonsolidowanymi o różnej wartości stopnia przekonsolidowania OCR: londyńskie – 4–41, warszawskie – 2–14. Jedne i drugie są reprezentowane przez kompleks ilastych i podrzędnie piaszczysto-pylastych gruntów pochodzenia morskiego – w przypadku iłó w londyńskich i limnicznego – w przypadku iłó w warszawskich. Obydwa wymienione typy iłó w zawierają liczne powierzchnie osłabienia i nieciągłości.
2. W stanie niezwiertzałym ily te wykazują stosunkowo wysokie parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe. Dla standardowych budowli stanowią nośne podłoże.

3. Badane łąki są bardzo wrażliwe na działanie procesów egzogenicznych. Szczególnie w przypadku zawilgocenia i naruszenia struktury w zasadniczy sposób zmieniają swoje właściwości. Zwietrzałe łąki, zarówno londyńskie, jak i warszawskie, są bardziej odkształcalne i mniej wytrzymałe od łąk niezawilgoczonych (tab. 1, 2, ryc. 1). Zwietrzliny tych łąk należy traktować jako grunty nieskonsolidowane lub normalnie skonsolidowane.
4. Współczynnik parcia gruntu w spokoju  $K_0$  w badanych gruntach wyraźnie przekracza 1,0 (ryc. 2). Oznacza to, że należy się liczyć z większymi naprężeniami poziomymi od naprężeń pionowych.
5. łąki warszawskie w porównaniu z londyńskimi charakteryzują się mniejszą wytrzymałością i większą odkształcalnością. W przypadku łąk warszawskich kąta tarcia wewnętrznej i moduł ścisłości są około dwukrotnie niższe, a spójność 1–6 razy niższa od łąk londyńskich.

## Literatura

- Barański M., 2004. Ocena zachowania się łąk plioceńskich ze Stegien w warunkach naprężeń efektywnych. Grant KBN nr 5 T12 B 04 122. UW, Warszawa, 280 s.
- Bishop A.W., 1972. Shear strength parameters for undisturbed and remoulded soil specimens. W: Parry R.H.G. (red.), Roscoe Memorial Symposium on Stress-Strain Behaviour of Soils. Cambridge University, Oxfordshire, s. 3–58.
- Borowczyk M., Szymański A., 1995. The use of in situ tests for determination of stress history. Proc. 11<sup>th</sup> European Conf. Of Soil Mechanics and Found. Engineering, Copenhagen, s. 117–123.
- Costa Filho L. de M., 1986. A laboratory investigation of the undrained small strain behaviour of London clay. Geotechnical aspects of stiff and hard clays. Geotechnical Special Publication 2: 28–43. ASCE, New York.
- Cripps J.C., Taylor R.K., 1981. The engineering properties of mudrocks. Quarterly Journal of Engineering Geology 14: 325–346.
- Dakshnamurthy V., Raman V., 1973. A simple method of identifying an expansive soil. Mechanics and Foundation 13(5): 97–104.
- Fookes P.G., 1966. London Basin Tertiary sediments. Geotechnique 16: 260–263.
- Inst. Techniki Budowlanej (ITB), 2004. łąki plioceńskie Warszawy. Seminarium. ITB, Warszawa, s. 1–71.
- Izbicki R., Stróżyk J., 2005. Prekonsolidacja łąk formacji poznańskiej. Mat. XXVIII Zimowej Szkoły Mechaniki Górotworu i Geoinżynierii. PW, Wrocław, s. 213–218.
- Kaczyński R., Grabowska-Olszewska B., 1997. Soil mechanics of the potential expansive clays in Poland. Applied Clay Science (special issue) 11: 337–355.
- Kaczyński R., 2000. Litogeneza, mikrostruktury i geologiczno-inżynierskie właściwości łąk plioceńskich rejonu Warszawy. Grant KBN nr 9 T12 B 005 16. UW, Warszawa, 133 s. (+ryc., tab. i zał.).
- Kaczyński R., 2001. Permeability, swelling and microstructure of Pliocene clays from Warsaw. W: Adachi, Fukue (red.), Clay Sciences for Engineering Balkema, s. 281–284.
- Kaczyński R., 2002. Engineering-geological evaluation of Mio-Pliocene clays in the Warsaw area, central Poland. Acta Geologica Polonica 52(4): 1–14.
- Kaczyński R., 2003. Overconsolidation and microstructure of Warsaw Mio-Pliocene clays. Geological Quarterly 47(1): 43–54. Warsaw.

- Kaczyński R., 2004. Long-term stability of Tertiary clay slopes in the Polish Carpathian Foredeep. Proc. of the Skempton Conf. Advances in Geotechnical Engineering. Thomas Telford, London, sp. 834–841.
- Skempton A.W., 1961. Horizontal stress in an overconsolidated Eocene clay. Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. On Soil Mechanics and Found. Engineering, Paris, s. 351–357.
- Skempton A.W., La Rochelle P., 1965. The Bradwell Slip: A short term failure in London clay. *Geotechnique* 15: 221–242.
- Szczepański T., 2005. Ocena stanu skonsolidowania wybranych ilów na podstawie analizy parametrów ściśliwości. Wydział Geologii UW, Warszawa. Praca doktorska.
- Szymański A., 2000. Determination of stress history in cohesive soils on the basis of in situ tests. Proc. Baltic Geotechnics IX, Tallin, s. 25–28.
- Taylor R.K., Crips J.C., 1987. Weathering effects: Slopes in mudrocks and overconsolidated clays. W: Anderson, Richards (red.), *Slope Stability*. John Wiley & Sons, s. 405–445.
- Tchalenko J.S., 1968. The microstructure of London clay. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 1: 158–168.
- Terzaghi K., 1961. Discussion on Skempton, A.W. Horizontal stress in an overconsolidated Eocene clay. Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf. On Soil Mechanics and Found. Engineering, Paris, s. 144–145.
- Ward W.H., Marsland S., Samuels S.E., 1965. Properties of the London clay at the Ashford Common Shaft. In situ and undrained tests. *Geotechnique* 15: 321–344.

