

Piotr Zawrzykraj

## Ocena efektów prekonsolidacyjnych na podstawie charakterystyki ścisłości iłów zastoiskowych okolic Warszawy

### Evaluation of the preconsolidation effects on the basis compressions studies of ice-dammed clays from the vicinity of Warsaw

**Streszczenie:** Niniejszy artykuł zawiera rezultaty badań terenowych i laboratoryjnych dotyczące prekonsolidacji plejstocenijskich iłów zastoiskowych z okolic Warszawy. Prezentowane wyniki dotyczą analizy ścisłości wspomnianych gruntów pochodzących z okresu zlodowacenia Wisły. W oparciu o badania przeprowadzone w konsolidometrze Rowe'a oraz przy użyciu sondy statycznej CPT i dylatometru Marchetti'ego autor określił wielkość naprężenia prekonsolidacji oraz podjął próbę wyjaśnienia otrzymanych wyników.

**Słowa kluczowe:** naprężenie prekonsolidacji, współczynnik prekonsolidacji, naprężenie uplastycznienia, ily warwowe, prekonsolidacja pozorna, diagenеза, cementacja

**Abstract:** In this paper the results of the study of overconsolidation ratio OCR of ice-dammed clays from the vicinity of Warsaw are presented. Results concern ice-dammed clays compression analysis formed during Vistula glaciation. Tests have been performed by using Rowe consolidometer, static sounding CPT and Marchetti's dilatometer test. Author tries to explain obtained results of carried out studies.

**Key words:** preconsolidation pressure, overconsolidation ratio, yield pressure, varved clays, apparent preconsolidation, diagenesis, cementation

## Wstęp

Geologia inżynierska stanowi obecnie intensywnie rozwijającą się dziedzinę wiedzy. Nowe narzędzia pomagają w rozwiązywaniu kolejnych problemów badaw-

czych, ale równocześnie szereg dotychczasowych tez podlega weryfikacji w trakcie badań. Możliwość programowania i kontroli wielu parametrów powoduje, iż przyjęte przez nas warunki brzegowe stają się coraz bliższe sytuacji rzeczywistej, konstruowany model zachowania się gruntu jest coraz bardziej wiarygodny. W niniejszym artykule autor przedstawił swoje spostrzeżenia dotyczące zachowania się gruntów w trakcie badań prekonsolidacji za pomocą badań laboratoryjnych i polowych oraz podjął próbę wyjaśnienia uzyskanych wyników.

## Badania prekonsolidacji gruntów

Jednym z najbardziej istotnych czynników, który determinuje charakter ściśliwości gruntów w geologii inżynierskiej, jest wielkość naprężenia prekonsolidacji. Jego wartość, otrzymana z badań, w porównaniu z obecnym obciążeniem geologicznym pozwala na wyznaczenie współczynnika prekonsolidacji OCR. To niezmiernie istotny parametr, który nawiązuje do historii naprężeń i warunkuje zachowanie się gruntów spoistych pod obciążeniem. Współczynnik OCR, który służy ocenie stopnia prekonsolidowania, jest wyrażony równaniem:

$$\text{OCR} = \sigma'_p / \sigma'_{vo}$$

gdzie :

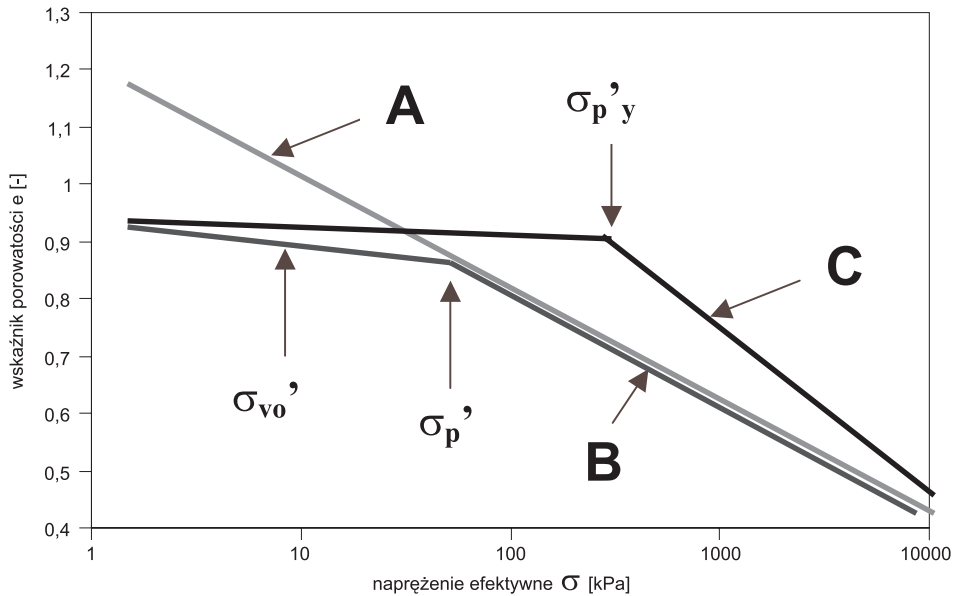
$\sigma'_p$  – efektywne naprężenie prekonsolidacji (związane z obciążeniami zewnętrznymi i nadkładem gruntu),

$\sigma'_{vo}$  – aktualne efektywne obciążenie gruntu in situ.

Grunt występujący aktualnie w terenie na głębokości  $z$ , jest poddawany naprężeniu  $\sigma'_{vo}$ , które pochodzi od ciężaru aktualnego nadkładu. Jeśli w swojej geologicznej historii ten grunt został poddany obciążeniu większemu niż obecne, a potem odciążony, to część tego maksymalnego efektywnego naprężenia ( $\sigma'_p$ ) może być przez grunt „zapamiętana”. Następnie w trakcie badań ściśliwości i analizy charakteru jego odkształcalności w laboratorium podczas obciążania odczytujemy część tego maksymalnego obciążenia i porównujemy je z istniejącym obecnie naprężeniem pochodzącym od nadkładu  $\sigma'_{vo}$ . Jeżeli zapamiętane przez grunt obciążenie  $\sigma'_p$  jest większe od obecnie panującego na danej głębokości  $\sigma'_{vo}$ , to badane osady traktujemy jako prekonsolidowane. Jednakże w świetle prowadzonych w ostatnich latach badań okazuje się, że efekt prekonsolidacji może być wywołany innymi czynnikami przyrodniczymi, często nie związanymi z dodatkowym obciążeniem (Bjerrum, Lo, 1963; Boone, Lutenegeger, 1997; Liu, Carter, 1999; Zawrzykraj, 2004).

Aby rozpocząć weryfikację otrzymanych wyników i stwierdzić wpływ innych czynników, które w gruncie mogą wywołać efekt prekonsolidacji, należy przeprowadzić analizę porównawczą dwóch rodzajów próbek wykonanych z tego samego gruntu. Trzeba dokonać porównania ściśliwości próbek naturalnych z próbkami o zniszczonej strukturze.

Na rycinie 1 przedstawiono schemat zachowania się gruntów podczas obciążania.



Ryc. 1. Zachowanie się gruntów podczas obciążania (schemat)

A – wykres obciążania pierwotnego; B – wykres ścisłości gruntu poddanego obciążeniu w swojej historii; C – wykres ścisłości gruntu poddanego obciążeniu w swojej historii oraz posiadającego pewien układ cząstek i wiązania między nimi, czyli tzw. strukturę (Liu, Carter, 1999, nieco zmienione)

Fig. 1. Soils behavior during loading (scheme)

Wykres A – nazywany jest wykresem ścisłości pierwotnej, który charakteryzuje ścisłość gruntu nigdy nie obciążonego, czyli niejako świeżego osadu, pobranego do badania tuż po sedymentacji. Nie został on również poddany żadnym procesom fizycznym prowadzącym do zmiany jego stanu. Taki wykres uzyskujemy w trakcie badania gruntów o naruszonej (zniszczonej) strukturze, odpowiednio przygotowanych, tzn. w formie past gruntowych.

Wykres B – przedstawia zmiany odkształcalności gruntu, który w swojej historii był poddany obciążeniu  $\sigma'_p$ .

Wykres C – charakteryzuje ścisłość gruntu poddanego obciążeniu w swojej historii oraz posiadającego pewien układ cząstek i wiązania między nimi, czyli tzw. strukturę.

W zależności od położenia otrzymanej krzywej ścisłości względem wykresu A możemy mówić wyłącznie o historii obciążeń mechanicznych lub stwierdzić dodatkowy wpływ elementów strukturalnych gruntu i występowanie prekonsolidacji pozornej.

Jednocześnie należy podkreślić, iż uzyskanie krzywej referencyjnej A (pierwotnej krzywej ścisłości) jest sprawą bardzo trudną, jeśli nie niemożliwą. Wykres ten jest jedynie przybliżeniem ścisłości gruntu naturalnego – takiego samego jak badany, lecz pozbawionego naturalnej struktury. Przygotowanie próbki z odtworzonym układem ziarn i cząstek w gruncie, lecz bez wzmacniających elementów

strukturalnych jest zadaniem obecnie nadal nie rozwiązany. Nawet jeśli udałoby się je zrealizować, wciąż pozostaje problem odniesienia krzywej ściśliwości gruntu uzyskanej w trakcie badania konsolidometrycznego do rzeczywistego, przebytego obciążania oraz zmian strukturalnych i diagenetycznych zachodzących w gruncie podczas skomplikowanej historii geologicznej. Struktura gruntu jest efektem wielu zmian fizycznych (stanu, struktury, cementacji, wietrzenia), biologicznych i mechanicznych (obciążenia, osiadania, pełzania, ruchów tektonicznych) zachodzących w osadzie po jego depozycji. Wieloetapowość i spontaniczność przyrodnicza tych zjawisk, ich zróżnicowanie przestrzenne oraz długi czas oddziaływania (kilkanaście tysięcy lat) implikuje ogromne uproszczenia, które zmuszeni jesteśmy przyjąć w celu rozwiązania problemu badawczego i budowy modelu zachowania się gruntu.

Wśród wielu procesów geologicznych, a także antropogenicznych, wpływających na wartość naprężenia prekonsolidacji należy wymienić następujące:

- istnienie przez pewien okres w przeszłości większego nadkładu usuniętego przez erozję lub przez działalność człowieka,
- obciążenie gruntu w przeszłości łądłodem,
- ruchy tektoniczne,
- wahania zwierciadła wód podziemnych (zmiany wilgotności i stanu gruntu),
- diageneza, cementacja (wiązania chemiczne występujące w strefie kontaktów między cząstkami),
- występowanie wiązań strukturalnych (spójność),
- pełzanie gruntu,
- wibracje i inne czynniki.

W świetle powyższych rozważań można zauważyć, iż rejestrowana wartość naprężenia prekonsolidacji  $\sigma'_p$  nie wynika wyłącznie z historii przebytych obciążeń. Jeśli odczytywane z wykresu ściśliwości naprężenie nie znajduje swojego potwierdzenia w historii geologicznej, mówimy o pozornym naprężeniu prekonsolidacji (Boone, Lutenegro, 1997). Dlatego niektórzy badacze (Burland, 1996; Izbiński, Stróżyk, 2003; Szczepański 2005) postulowali, aby rozróżnić naprężenie prekonsolidacji rozumiane jako maksymalne naprężenie efektywne, jakiemu grunt podlegał w przeszłości, szacowane na podstawie znajomości historii geologicznej, od naprężenia uplastyczniającego  $\sigma'_y$ , zdefiniowanego jako wartość naprężenia efektywnego, przy którym zaznacza się jakościowa zmiana odkształcalności gruntu. Wobec tego należy też wyraźnie rozdzielić współczynnik prekonsolidacji OCR, jako wartość wyznaczoną na podstawie znajomości historii geologicznej i współczynnik uplastycznienia YSR zdefiniowany jako:

$$YSR = \sigma'_y / \sigma'_{vo}$$

gdzie :

$\sigma'_y$  – naprężenie uplastycznienia – efektywne naprężenie, przy którym zostaje znacząco przekształcona struktura gruntu, reprezentowane przez załamanie krzywej  $\log \sigma - \epsilon$  na wykresie ściśliwości;

$\sigma'_{vo}$  – aktualne efektywne obciążenie gruntu in situ.

Odczytywane z krzywej ściśliwości naprężenie prekonsolidacji nie jest już obecnie utożsamiane wyłącznie z obciążeniem historycznym. Wyznaczana z krzywych ściśliwości wartość naprężenia uplastycznienia tylko w części jest uwarunkowana obciążeniem prekonsolidacyjnym.

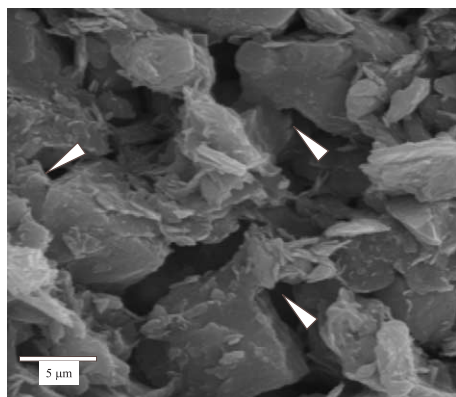
Ze względu na szereg przedstawionych wcześniej czynników, które mogą generować pozorną historię obciążeń, autor skłania się do oceny wartości współczynnika prekonsolidacji OCR na podstawie historii geologicznej i stratygrafii osadu. Natomiast postuluje stosowanie terminu „współczynnik uplastycznienia YSR” w stosunku do badań ściśliwości gruntu.

## Metodyka badania

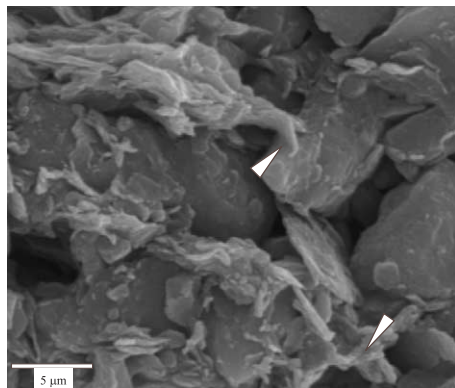
W celu określenia wartości współczynnika prekonsolidacji OCR autor wykorzystał najnowocześniejszą dostępną aparaturę badawczą, tj.:

- Dylatometr Marchettiego – jest narzędziem, które w warunkach sondowania in situ umożliwia uzyskanie oceny szeregu parametrów gruntu. Jego przydatność do terenowych badań geologiczno-inżynierskich potwierdzają liczne publikacje prezentowane na międzynarodowych konferencjach (Marchetti, 1980, 1999, materiały konferencyjne *The Flat Dilatometer Test...* 2001). Został wprowadzony do europejskich i amerykańskich norm dotyczących geotechnicznych badań polowych.
- Sondę statyczną CPT – badania sondą CPT znalazły szerokie zastosowanie w praktyce (Lunne, 1997). Sonda statyczna stanowi podstawowe narzędzie do terenowej oceny parametrów podłoża w wielu ośrodkach badawczych na świecie. Rozwój technologiczny sprawił, iż powstało wiele nowych modeli stożków, bardziej doskonałych, o większej częstotliwości zapisu i z automatyczną cyfrową rejestracją wyników badań.
- Konsolidometr Rowe’a – zaprojektowany przez P.W. Rowe’a (Rowe, Barden, 1966). Kluczowym elementem konstrukcyjnym było zastosowanie systemu hydraulicznego do zadawania pionowego obciążenia. Wytworzone w układzie ciśnienie przekazywane jest za pośrednictwem elastycznej, gumowej membrany na próbkę gruntu. Autor prowadził badania na konsolidometrze skonstruowanym przez angielską firmę Wykeham Farrance, która reprezentuje najnowsze osiągnięcia w rozwoju urządzeń do badań ściśliwości, konsolidacji i przepuszczalności, i znacznie zwiększa zakres laboratoryjnych badań gruntów w porównaniu z tradycyjnymi metodami przy zastosowaniu edometrów. Badania w konsolidometrze Rowe’a niewątpliwie są bardziej precyzyjne oraz stwarzają możliwość sterowania i kontroli warunków, lecz wymagają przy tym dużej staranności w trakcie przygotowania próbek i są bardziej czasochłonne.

W celu przeprowadzenia analizy mikrostrukturalnej ilów warwowych oraz rozpoznania typów i charakteru kontaktów między elementami strukturalnymi wykonano badania przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego wyposażonego w mikrosondę rentgenowską (EDS). Wybrane obrazy ze wskazaniem charakterystycznych elementów strukturalnych przedstawiono na rycinach 2 i 3.



Ryc. 2. Kontakty między cząstkami wzmocnione przez cementację. Plecewice  
Fig. 2. Connection between particles amplified by cementation. Plecewice



Ryc. 3. Łańcuszki i podpory wzmacniające układ cząstek. Plecewice  
Fig. 3. Chains and supports cemented particles arrangement. Plecewice

## Przedmiot badań

Iły warwowe rejonu Sochaczewa i Radzymina, które zostały objęte badaniami, są związane ze zbiornikiem zastoiskowym, utworzonym ze spiętrzonych wód rzecznych płynących dolinami dzisiejszej Wisły i Bugu, zatamowanych od północy przez lądolód zlodowacenia północnopolskiego. Osady te są wykształcone w postaci tłustych ilów warwowych, których struktura i tekstura wynika ze specyficznych warunków sedymentacji, jakie istniały w zbiornikach zastoiskowych na przedpolu czoła lądolodu (Myślińska, 1965; Merta, 1978). Grunty te składają się z serii warw, z których każda zbudowana jest z warstewki pylastej – jaśniejszej (jej powstanie wiąże się z intensywniejszą dostawą materiału w okresie letnim) oraz warstewki ilastej – ciemniejszej (tworzącej się podczas sedymentacji w okresie zimowym w warunkach redukcyjnych). Iły warwowe występują dość powszechnie na terenie Mazowsza. Ich miąższość w okolicach Warszawy waha się od kilku do kilkunastu metrów. W większości pokrywają je piaski rzeczne niewielkiej – przeciętnie dwumetrowej miąższości.

## Wyniki badań

Sondowania przeprowadzono w miejscowościach: Plecewice k. Sochaczewa, Mokre k. Radzymina oraz w Radzyminie – w pobliżu czynnych cegielni stanowiących doskonale odkrytki ilów warwowych. W każdym z wymienionych punktów badawczych przeprowadzono po 3 sondowania dylatometrem Marchettiego, oraz po 2 sondowania sondą statyczną CPT w Plecewicach i Radzyminie i 3 sondowania CPT w Mokrym. Z pobranych w odkrywkach monolitów ilów warwowych przygo-

towano próbki do badań w konsolidometrze Rowe’a. Zestawienie statystyczne wyników badań przedstawiono w tabeli 1.

Badania przeprowadzone w mikroskopie skaningowym pozwoliły stwierdzić istnienie pomiędzy elementami strukturalnymi, głównie między mikroagregatami, różnego typu połączeń, które morfologicznie mają postać mostków, podpór, łańcuszków i filarów (ryc. 2 i 3).

Badania z użyciem mikrosondy identyfikujące skład chemiczny tych elementów strukturalnych wykazały, iż są one zbudowane z węglanu wapnia, tlenków i wodorotlenków żelaza oraz minerałów ilastych (najprawdopodobniej illitu). Rodzaj minerałów tworzących połączenia między cząstkami nawiązuje wyraźnie do uziarnienia. Węgiel wapnia tworzy mostki i filary między ziarnami w obrębie frakcji grubszych – pylastych. Im warstewki stają się bardziej ilaste, tym częściej natrafiamy na łuseczki minerałów ilastych tworzących połączenia wraz z tlenkami i wodorotlenkami żelaza. Najczęściej połączenia między elementami strukturalnymi zbudowane są z mieszaniny wspomnianych substancji mineralnych. Rozwinięte poprzez diagenezę kontakty między elementami strukturalnymi wpływają na właściwości mechaniczne ilów warwowych.

Tabela 1. Zestawienie statystyczne wyników badań

Table 1. Results of tests in statistic comparison

		Współczynnik prekonsolidacji OCR [-]							
Lokalizacja	Rodzaj badania (liczba oznaczeń)	Wartość minimalna	Wartość średnia	Wartość maksymalna					
Plecewice	DMT1 (36)	3.5	6.0	9.5					
	DMT2 (39)	4.0	6.5	9.5					
	DMT3 (38)	3.5	7.5	10.5					
	CPT1 (32)	3.0	6.0	8.5					
	CPT2 (36)	4.0	6.5	8.5					
	Konsol. (6)	5.0	7.0	10.0					
Mokre	DMT1 (25)	4.0	5.5	7.0					
	DMT2 (27)	2.0	6.0	8.5					
	DMT3 (24)	3.0	7.5	9.5					
	CPT1 (33)	6.0	8.5	11.0					
	CPT2 (40)	6.0	8.5	13.0					
	CPT3 (29)	4.5	7.5	10.5					
	Konsol. (5)	6.5	7.0	7.5					
Radzymin	DMT1 (25)	4.0	7.5	12.0					
	DMT2 (26)	3.0	7.5	9.5					
	DMT3 (24)	4.0	6.0	8.5					
	CPT1 (24)	6.0	8.5	10.0					
	CPT2 (25)	4.5	6.5	9.5					
	Konsol. (5)	4.5	6.5	8.5					
		0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0

## Historia geologiczna iłó warwowych

Iły warwowe okolic Sochaczewa i Radzymina należą do tzw. zastoiska warszawskiego i według aktualnych danych geologicznych nie były obciążone lądolodem, zatem z punktu widzenia historii geologicznej obciążen są tzw. gruntami normalnie skonsolidowanymi. Przeprowadzone badania wskazują jednak, że są one prekonsolidowane.

Iły warwowe poziomu błońskiego i radzyńskiego od czasu ich osadzenia w zbiorniku były poddawane oddziaływaniu różnych procesów postsedymentacyjnych. W końcowej fazie istnienia zastoiska warszawskiego iły warwowe zostały przykryte cienką ok. 1–2-metrową warstwą piasków rzecznych (Różycki, 1967). Zmiany klimatyczne oraz obniżanie poziomu wód gruntowych u schyłku plejstoceenu miały charakter wieloetapowy i doprowadziły do silnego rozwoju procesów wydmotwórczych. Były one związane z suchym peryglacjalnym klimatem. Różnorodne egzogeniczne procesy postsedymentacyjne spowodowały, że obecnie nastąpił wzrost gęstości objętościowej i spadek wilgotności naturalnej. W efekcie iły warwowe zachowują się jak grunty prekonsolidowane (Zawrzykraj, 2004). Brak jest danych o istnieniu w przeszłości geologicznej nadkładu, który mógł być przyczyną aktualnego skonsolidowania iłó warwowych. Na podstawie uzyskanych średnich wartości współczynnika prekonsolidacji OCR należałoby przyjąć, iż istniejąca w przeszłości miąższość nadkładu wynosić musiałaby ok. 25 m. W świetle danych geologicznych jest to mało prawdopodobne. Brak jakichkolwiek śladów istnienia tak wysoko położonego stropu osadów względem obecnej powierzchni terenu. Nie znajdujemy też na tym obszarze żadnych bruków erozyjnych ani ostańców świadczących o dawnej powierzchni morfologicznej. Iły warwowe z piaskami eolicznymi są ostatnim ogniwem litologicznym w profilu osadów w badanym rejonie.

## Podsumowanie

Problem prekonsolidacji gruntów jest zagadnieniem niezmiernie istotnym zarówno ze względów naukowo-poznawczych, jak i praktycznych. Informacje na temat przebytych obciążeń uzyskane z badań ściśliwości gruntów stanowią asumpt do identyfikacji stratygraficznej osadów. Ocena stanu skonsolidowania pozwala prognozować zachowanie się gruntu (odkształcalność) w przypadku wywierania dodatkowych obciążeń pochodzących od obiektów inżynierskich.

W trakcie badań iłó zastoiskowych otrzymano wartości współczynnika prekonsolidacji charakterystyczne dla gruntów prekonsolidowanych  $OCR \in (6-8)$ . Aktualny stan wiedzy geologicznej na temat badanego obszaru wyklucza istnienie czynników generujących tak duże prekonsolidowanie. Wysokie wartości współczynnika prekonsolidacji są zatem uwarunkowane przede wszystkim przemianami w historii przekształceń zachodzącymi w strukturze gruntu. Należy zdać sobie sprawę, iż metodyka badań opiera się na oznaczeniu w sposób pośredni istniejących w gruncie naprężeń. Podstawą analizy jest ocena zależności między wartościami naprężenia a odkształceniami gruntu. Wiadomo, iż wiele czynników, nie

tylko obciążenie pionowe, może wpływać na stan gruntu i generować prekonsolidację pozorną. Ogromną rolę odgrywają tutaj procesy diagenety, którym podlega osad od chwili jego depozycji. Tradycyjny model prekonsolidacji nie uwzględnia skomplikowanych, zmiennych w czasie czynników mechanicznych, chemicznych i biologicznych, które kształtują strukturę gruntów naturalnych. Dlatego też współczynnik prekonsolidacji obliczony zgodnie z podanymi zależnościami odnosi się jedynie do osadów bardzo młodych, powstających współcześnie, bądź antropogenicznych, nie poddanych jeszcze procesom diagenety, a także do badań modelowych prowadzonych na pastach gruntowych.

Przedstawione w powyższych rozważaniach argumenty dotyczące problemów interpretacji wartości geologicznych obciążeń historycznych nasuwają pewne spostrzeżenia. Otrzymane wartości naprężeń, stanowiące punkty charakterystyczne na wykresach ścisłości, należy traktować raczej jako naprężenie uplastycznienia  $\sigma'_y$ , które stanowi parametr odnoszący się do stanu gruntu, a nie do historii geologicznej. Tym samym wyrażając stosunek naprężenia uplastycznienia do aktualnego obciążenia geologicznego, należy stosować pojęcie „współczynnik uplastycznienia YSR”.

Przeprowadzenie niniejszych badań było możliwe dzięki finansowemu wsparciu Uniwersytetu Warszawskiego w ramach badań własnych i badań statutowych oraz Komitetu Badań Naukowych w ramach projektu 4 T12B 06226 „Stan skonsolidowania plejstocenijskich iłów warwowych rejonu Mazowska w świetle badań polowych”.

## Literatura

- Bjerrum L., Lo K.Y., 1963. Effect of aging on the shear-strength properties of a normally consolidated clay. *Géotechnique* 13 (2): 147–157.
- Boone J., Lutenecker J., 1997. Carbonates and cementation of glacially derived cohesive soils in New York State and southern Ontario. *Canadian Geotechnical Journal* 34: 534–550.
- Burland J.B., Rampello S., Georgiannou V.N., Calabresi G., 1996. A laboratory study of the strength of four stiff clays. *Géotechnique* 46, 3: 491–514.
- Izbicki R.J., Stróżyk J., 2003. Wpływ historii geologiczno-inżynierskiej na własności iłów formacji poznańskiej. W: *Teoretyczne i inżynierskie aspekty rozwiązywania zagadnień geomechaniki*. Politechnika Wroclawska.
- Liu M.D., Carter J.P., 1999. Virgin compression of structured soils. *Géotechnique* 49, 1: 43–57.
- Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M., 1997. *Cone Penetration Testing in geotechnical practice*. E&FN SPON, London.
- Marchetti S., 1999. The Flat Dilatometer and its applications to Geotechnical Design, International Seminar on DMT held at the Japanese Geot. Society, Tokyo, 12.02.1999, s. 90.
- Marchetti S., 1980. In Situ Tests by Flat Dilatometer. *Journal of the Geotechnical Engineering Division* 106, 3, 15290: 299–321.
- Merta T., 1978. Extraglacial varved deposits of the Warsaw Ice-Dammed Lake (younger Pleistocene), Mazovia Lowland, Central Poland. *Acta Geologica Polonica* 28, 2: 241–271.
- Myślińska E., 1965. Wpływ warunków sedymentacji i diagenety iłów warwowych zlodowacenia środkowopolskiego na obszarze Mazowska na ich własności inżyniersko-geologiczne. *Biuletyn Geologiczny Uniwersytetu Warszawskiego* 7: 3–106.

- Różycki S.Z., 1967. Plejstocen Polski Środkowej. PWN, Warszawa.
- Rowe P.W., Barden L., 1966. A new consolidation cell. *Géotechnique* 16, 2: 169–170.
- Szczepański T., 2005. Ocena stanu skonsolidowania wybranych ilów na podstawie analizy parametrów ścisłości. Archiwum Wydziału Geologii UW, Warszawa. Praca doktorska.
- The Flat Dilatometer Test (DMT). Report of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). Technical Committee 16 on Ground Property Characterization from In-situ Testing 2001, Bali, Indonesia.
- Zawrzykraj P., 2004. Analiza stanu skonsolidowania ilów warwowych w rejonie Sochaczewa i Radzymina. Archiwum Wydziału Geologii UW, Warszawa. Praca doktorska.