

Joanna Stróżyk
Politechnika Wroclawska

WIELKOŚĆ PREKONSOLIDACJI IŁÓW FORMACJI POZNAŃSKIEJ CHARAKTERYZOWANA WARTOŚCIĄ STOPNIA YSR

PRECONSOLIDATION OF POZNAŃ FORMATION CLAYS AND THE YSR VALUE

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań prekonsolidacji części stropowej miopliocenijskich iłów formacji poznańskiej. Wielkość prekonsolidacji określano poprzez wartość stopnia naprężenia uplastyczniającego YSR oraz naprężenia uplastyczniającego σ'_y . Stwierdzono, że wartość naprężenia σ'_y przyjmuje wartości od 80 do 1100 kPa i rośnie wraz z głębokością zalegania gruntu, natomiast wyznaczona wartość stopnia YSR wykazuje duże zróżnicowanie od 1,6 do 10,8 i nie wykazuje związku z głębokością zalegania gruntu.

Summary: In paper the results of examinations the preconsolidation of the Poznań formation clays were presented. The preconsolidation was being determined through the value of Yield Stress Ratio YSR and yield stress σ'_y . Yield stress is one of the main parameter of the state of cohesive soils. The yield stress value for Poznań clays was from 80 for 1100 kPa and was growing along with depth, however the determined value of the YSR was showing big diversity from 1.6 for 10.8.

WSTĘP

Ze względu na charakterystykę zachowania się masywu gruntowego wobec pojawiających się obciążeń zewnętrznych grunty spójne ogólnie możemy podzielić na normalnie- i prekonsolidowane.

Jako miarę prekonsolidacji przyjmujemy stopień naprężenia uplastyczniającego YSR zdefiniowany jako [3]:

$$YSR = \frac{\sigma'_y}{\sigma'_{vo}} \quad (1)$$

gdzie:

σ'_y - naprężenie uplastyczniające - efektywne naprężenie graniczne, rozdzielające obszar występowania odkształceń w przewodzie sprężystych od obszaru

występowania odkształceń w przewodzie plastycznych,

σ'_{vo} - pionowe naprężenie efektywne *in situ* (stwierdzone obecnie).

Wartość *YSR* będzie decydowała czy dany grunt uznamy za prekonsolidowany ($YSR > 1$), czy też normalnie konsolidowany ($YSR = 1$) [3,4].

Wartość σ'_y określa się zwykle w oparciu o badanie ścisłości gruntu. Utożsamia się wartość σ'_y z charakterystycznym załamaniem na edometrycznej krzywej ścisłości [8,13].

W takim ujęciu naprężenie σ'_y uznać należy za jeden z najważniejszych parametrów stanów gruntów spoistych, decydujący o charakterystyce odkształceniowej masywu gruntowego [15], którego wartość oddziela obszar występowania odkształceń o charakterze głównie sprężystym od obszaru gdzie dominują odkształcenia o charakterze plastycznym.

Do tej pory jako miarę prekonsolidacji przyjmowano stopień prekonsolidacji *OCR* zdefiniowany przez Casagrande'a jako (por.[8,13]):

$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}} \quad (2)$$

gdzie:

σ'_p - naprężenie prekonsolidacji – największe naprężenie efektywne, przy którym grunt konsolidował w przeszłości,

σ'_{vo} - pionowe naprężenie efektywne *in situ* (stwierdzone obecnie).

Sposób zdefiniowania wartości naprężenia σ'_p i stopnia *OCR* (2) powoduje, że powinno się je szacować w oparciu o historię geologiczną masywu gruntowego (historię naprężeń efektywnych) [2,3]. Niestety w przypadku rozpatrywania gruntów naturalnych, często o złożonej i trudnej do odtworzenia historii geologicznej, nie ma możliwości dokładnego oszacowania historycznej wartości naprężeń pionowych (σ'_p).

Należy, więc [2-4] rozróżnić stopień prekonsolidacji *OCR* (1) - określony na podstawie znajomości historii geologicznej i stopień naprężenia uplastyczniającego *YSR* – wyznaczany w badaniach, którego wartość będzie decydowała czy dany masyw gruntowy traktować będziemy w dalszych rozważaniach jako normalnie- czy prekonsolidowany.

Stwierdzona w badaniach, wartość naprężenia uplastyczniającego σ'_y może znajdować swoje potwierdzenie w historii danego masywu gruntowego. Jego wartość odpowiada wtedy wartości naprężeń efektywnych, przy których grunt konsolidował w przeszłości - σ'_p . W tym szczególnym przypadku, naprężenie uplastyczniające $\sigma'_y \leq \sigma'_p$ oraz $YSR \leq OCR$. Prekonsolidację uznajemy wtedy za rzeczywistą (prawdziwą) - *sensu stricte*.

Jeżeli stwierdzonej w gruntach wartości naprężenia σ'_y nie można połączyć z przeciążeniem w przeszłości, oznacza to, że obserwujemy w gruntach „efekt prekonsolidacji” wynikający z procesów innych niż konsolidacja. Efekt ten może być wynikiem szeregu procesów geologicznych, które mogły wpłynąć na wzmocnienie struktury gruntu – np.: cementacja. W takim wypadku wartość naprężenia

uplastyczniającego, wyznaczona w badaniach będzie większa od wartości naprężenia prekonsolidacji $\sigma'_y > \sigma'_p$ oraz $YSR > OCR$. Prekonsolidację uznajemy wtedy za pozorną - *quasi* prekonsolidację

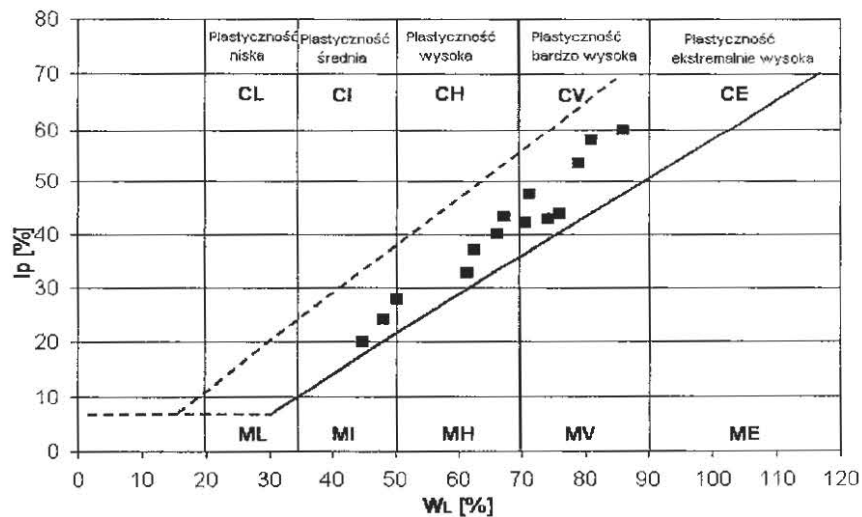
Rozpoznanie, jaki jest charakter prekonsolidacji w danym masywie gruntowym (rzeczywisty czy pozorny) jest zadaniem złożonym i trudnym. W szczególności, gdy analizowany masyw gruntowy doświadczył złożonej historii geologicznej, którą trudno jest odtworzyć.

CHARAKTERYSTYKA ANALIZOWANYCH GRUNTÓW

W pracy analizie poddano dolnopliocenijskie iły z części stropowej formacji poznańskiej (poziom iłów pstrych).

W analizie wykorzystano przede wszystkim wyniki badań przeprowadzonych dla iłów poznańskich z rejonu Wrocławia [7,8,16]. Wartości naprężenia σ'_y i YSR charakterystyczne dla rejonu Wrocławia porównano z wartościami stwierdzonymi dla iłów poznańskich z rejonu Warszawy [10-11], uwzględniono również badania przeprowadzone dla rejonu Zielonej Góry [12].

Analizowane grunty to głównie iły oraz sporadycznie iły pylaste) charakteryzujące się w rejonie Wrocławia [16] wilgotnością naturalną w_n w przedziale 17,8 - 26,6%, gęstością objętościową ρ 1,9 - 2,16 g/cm³ i gęstością właściwą szkieletu gruntowego ρ_s 2,61-2,75 g/cm³. Na Rys.1 przedstawiono grunty z rejonu Wrocławia na nomogramie Casagrande'a



Rys.2. Nomogram Casagrande'a iłów formacji poznańskiej z rejonu Wrocławia [1,16]

Grunty te charakteryzuje złożona historia geologiczna. Trudno jest, w związku z tym, jednoznacznie określić wartości naprężeń efektywnych jakim poddane były te grunty w przeszłości.

W okresie od powstania do dnia dzisiejszego podlegały one zarówno procesowi pierwotnej konsolidacji w zbiorniku wodnym, jak i procesom wietrzenia i erozji rzecznej po zakończeniu sedymentacji [5]. W przekroju pionowym osadów zaznacza się wyraźna trójdzielność osadów charakteryzująca się zmiennym składem mineralnym frakcji ilastej., świadcząca o zmieniającym się środowiskiem geochemicznym,

Rozpoczęcie jak i koniec sedymentacji określono dość dokładnie licznymi badaniami paleontologicznymi, [6]. Sedymentacja rozpoczęła się w górnym badenianie (środkowy miocen) ok.. 13,3 mln lat BP, *poziomem ilów szarych*, których miąższość jest stosunkowo niewielka – zaledwie kilka metrów [5-6].

Dalsza sedymentacja odbywa się po pogłębieniu zbiornika i zmianie warunków na redukcyjne. Powstaje kompleks ok. 100 m miąższości osadów ilasto–pylasto–piaszczystych – *poziom ilów zielonych* – poziom ilów morskich. Okres sedymentacji tego poziomu trwa do ok. 8 mln lat BP [5-6].

Sedymentacje kończy kilkudziesięciometrowej miąższości *poziom ilów płomienistych* (poziom ilów pstrych), w którym wyraźnie zaznaczyła się zmiana warunków środowiska z redukcyjnego na utleniające. Sedymentacja formacji poznańskiej zakończyła się ok. 5,4–4 mln lat BP, Dyjor [5-6].

Równocześnie z sedymentacją w obrębie osadów rozpoczyna się proces konsolidacji, związany z wyciskaniem wody z osadu i przebudową struktury.

Na okres sedymentacji nakłada się okres aktywności tektonicznej., powodując lokalne trzęsienia ziemi, które zaburzały pierwotną strukturę gruntów [6]. Na przełomie trzecio– i czwartorzędu na obszarze występowania formacji poznańskiej rozpoczynają się intensywne procesy erozyjne, połączone z powstaniem w obrębie osadów sieci głębokich dolin rzecznych (50–100 m w rejonie Sudetów). Powstawanie dolin rzecznych wiązało się z cyklicznymi zmianami wysokości poziomu wody w oceanie światowym, co powodowało okresowe zalewanie i wysychanie masywów gruntowych w ciepłym i stosunkowo suchym klimacie [5]. Na tak zerodowany obszar, w okresie plejstocenu wkroczyły lądolody powodując przemrażanie gruntów na ich przedpolach i po nasunięciu się na masywy gruntowe ich obciążanie [14]. Przyjmujemy, że w rejonie Wrocławia lądolód nasuwał się trzykrotnie. W okresie zlodowaceń południowopolskich dwa razy – zlodowacenie San1 i San2 i okresie zlodowaceń środkowopolskich jeden raz – zlodowacenie Odry [14]. Nasuwające się lądolody spowodowały intensywne zaburzenia głacitektoniczne, szczególnie na obszarach gdzie osie pradolin przebiegały równoległe do ich czoła. Okres zlodowaceń przypada na okres od ok.0,95 do 0,11 mln lat BP [14]. Przyjmuje się, że maksymalne naprężenia w podłożu od lądolodów mogły wynosić do 8 MPa w okolicach Wrocławia i do 10 MPa w okolicach Leszna [12]. Niestety trudno jest określić stanu naprężeń efektywnych, jakie te obciążenia wywołały. Ze względu na znaczne miąższości formacji poznańskiej i znacznego udziały frakcji ilowej (zwykle powyżej 50%) można zakładać, że naprężenia efektywne były znacząco mniejsze od 8 MPa.

WŁASNE OBSERWACJE

Wielkość prekonsolidacji iłów formacji poznańskiej można określić poprzez podanie wartości naprężenia uplastyczniającego σ'_y i stopnia naprężenia uplastyczniającego YSR (1).

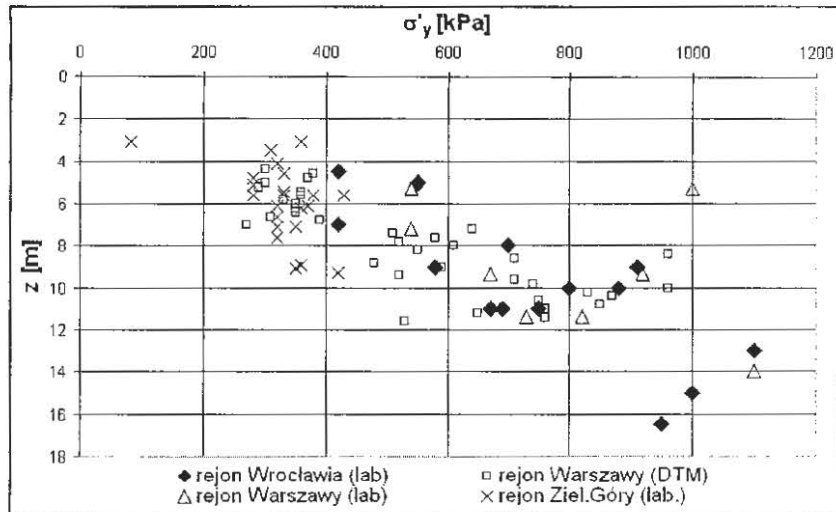
Badania wykazały, że wartości naprężeń σ'_y określone dla rejonu Wrocławia [7,8,16] zmieniają się w zakresie od 420-1100kPa, a wartość ich wzrasta wraz z głębokością. Podobne wartości charakterystyczne są również dla innych rejonów Polski: dla Warszawy wynoszą od 280 – 1090 kPa [10-11], w rejonie Zielonej Góry stwierdza się wartości naprężenia σ'_y w przedziale od 80-430 kPa [12]. Zauważyć należy, że wartości naprężenia σ'_y niezależnie od rejonu Polski są zbliżone, wykazują również taką samą tendencję zwiększania swojej wartości wraz z głębokością - por.Rys.2, Tab.1.

Wielkości określonego ze wzoru (1) stopnia naprężenia uplastyczniającego YSR dla omawianych gruntów, w poszczególnych rejonach Polski, przedstawione zostały na Rys.3 i Tab.1. Wartość YSR podobne są dla rejonów Wrocławia i Warszawy: dla okolic Wrocławia wynoszą 3,7-6,5 i Warszawy 3,9-10,8. Charakteryzują się dużym rozrzutem wartości dla tej samej głębokości zalegania gruntu. Nieco mniejsze wartości YSR stwierdzano w rejonie Zielonej Góry - 1,6-6,2, wartości te jednocześnie wykazywały mniejszy rozrzut.

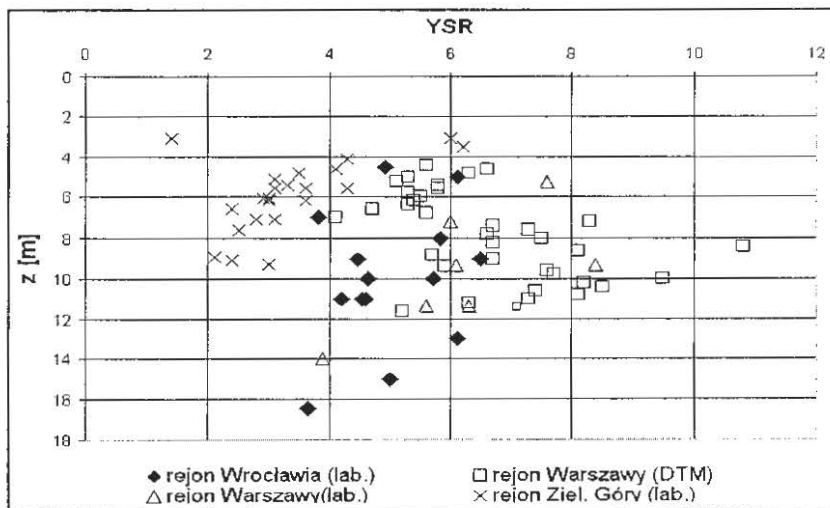
Na podstawie dotychczas opublikowanych prac, porównując wyniki badań Rys.2-3 przeprowadzone w różnych ośrodkach dla iłów formacji poznańskiej można stwierdzić, że wielkość prekonsolidacji charakteryzowana poprzez wartość naprężenia σ'_y i stopnia YSR dla całej formacji jest w przybliżeniu podobna, nie zależnie od rejonu Polski, zmienia się natomiast wraz z głębokością zalegania gruntu.

Analizując zmienność parametrów wraz z głębokością, można wnioskować o charakterze prekonsolidacji, por.[9,16]. Zakłada się, że w przypadku prekonsolidacji *sensu stricte* wartość YSR maleje wraz z głębokością. Porównując Rys.2-3 i Tab.1 nie można dostrzec takiej zależności. Nie można, więc potwierdzić jednoznacznie, że prekonsolidacja iłów formacji poznańskiej ma charakter prekonsolidacji *sensu stricte*. W analizowanym przypadku wartość YSR wykazuje słaby związek z głębokością – Rys.3,Tab.1, taki rozkład wartości [9] wraz z głębokością sugeruje, że dominującym procesem, jaki wywołał prekonsolidację iłów formacji poznańskiej był proces wtórnej ściśliwości.

Analizując wartości uzyskiwanych parametrów Rys.2 i Rys.3, zauważyć należy, że uzyskiwane w badaniach wartości naprężenia σ'_y są znacznie mniejsze od oczekiwanych – uwzględniając obciążenia od łądolodów. Nie zauważa się również związku pomiędzy wielkością wyznaczonego stopnia YSR (1) a przypuszczalnym obciążeniem jakie przekazywały łądolody plejstoceńskie. Zatem wartości wyznaczonego z badania stopnia YSR i oszacowanego na podstawie znajomości historii geologicznej stopnia OCR znacząco się różnią.



Rys.2. Wykres zmienności wartości naprężenia uplastycznienia σ'_y łoż w formacji poznańskiej wraz z głębokością z mierzoną od powierzchni terenu dla rejonu Wrocławia [7,8,16], Warszawy [10-11] i Zielonej Góry [12]



Rys.3. Wykres zmienności wartości stopnia uplastycznienia YSR wraz z głębokością z mierzoną od powierzchni terenu dla rejonu Wrocławia, Warszawy i Zielonej Góry, wg prac por. Rys.2

Tab. 2. Zależność YSR, σ'_y od głębokości z, z rejonu Wrocławia, Warszawy i Zielonej Góry [7-8, 10-12,16]

Zależność	Rejon występowania formacji	Równanie związku korelacyjnego dla zależności liniowej	Współczynnik determinacji Pearsona R^2
$\sigma'_y = f(z)$	Warszawa badania lab.	$\sigma'_y = 30,85(z) + 508,04$	0,21
	Warszawa badania DMT	$\sigma'_y = 76,27(z) - 57,91$	0,64
	Zielona Góra	$\sigma'_y = 18,36(z) + 219,89$	0,23
	Wrocław	$\sigma'_y = 49,33(z) + 250,97$	0,64
YSR = f(z)	Warszawa badania lab.	YSR = - 0,67 z + 13,68	0,51
	Warszawa badania DMT	YSR = 0,32 z + 4,12	0,24
	Zielona Góra	YSR = - 0,35 z + 5,39	0,30
	Wrocław	YSR = -0,0752 z + 5,76	0,08

PODSUMOWANIE

W pracy analizie poddano wielkość prekonsolidacji iltów formacji poznańskiej. Jak wykazały badania wielkość prekonsolidacji wyrażona stopniem naprężenia uplastyczniającego YSR omawianych gruntów wynosi od 1,6 - 10,8. Wartości naprężenia uplastyczniającego σ'_y wyznaczonego w edometrycznych badaniach laboratoryjnych wynoszą 80-1100 kPa i generalnie rosną wraz z głębokością od powierzchni terenu.

Porównując uzyskiwane wartości σ'_y i YSR z rejonu Wrocławia oraz Zielonej Góry i Warszawy zauważono, że wielkości „zapamiętanych” przez grunt naprężeń są znacząco mniejsze niż oczekiwano (na podstawie historii obciążenia ładolodami). Nie stwierdzono też znaczących różnic wartości naprężeń σ'_y pomiędzy rejonami gdzie szacuje się, że obciążenia przekazywane od ładolodów były różne.

Wobec złożonej i trudnej do odtworzenia historii geologicznej a także historii naprężeniowej analizowanego masywu gruntowego zasadnym jest rozróżnienie wartości naprężenia uplastyczniającego σ'_y (jako parametru geotechnicznego) i naprężenia prekonsolidacji σ'_p (jako wartości naprężenia przy którym grun konsolidował), oraz stopnia YSR i OCR, których wartości na obecnym etapie rozpoznania historii geologicznej wydają się być znacząco różne.

LITERATURA

- BAŻYŃSKI J. i in., 1999: Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Ministerstwo Środowiska, PiG, Warszawa
- BURLAND J. B., 1990, On the compressibility and shear strength of natural clay. *Geotechnique* 40,
- BURLAND J. B., RAMPELLO S., GEORGIANNOU V. N., CALABRESI G., 1996 A laboratory study of the strength of four stiff clays. *Geotechnique*, Vol. 46, No3,
- COTECCHIA F., CHANDLER R. J., 2000, A general framework for mechanical behaviour of clays. *Geotechnique*, Vol.50, No.4,
- DYJOR S., 1992, Rozwój sedymentacji i przebieg przeobrażeń osadów w basenie serii poznańskiej w Polsce. W: *Geologiczno-inżynierskie problemy serii poznańskiej*, Prace Geol.Min. XXVI, Wyd. Uwr, Wrocław
- DYJOR S., SADOWSKA A., 1996, Próba korelacji wydzieleni stratygraficznych i litostratygraficznych trzeciorzędu zachodniej części Nizy polskiego i śląskiej części Paratetydy w nawiązaniu do projektu IGCP Nr 25. *Przeł.Geol.*, nr 7, Warszawa
- IZBICKI R., STACHOŃ M., KONDERLA H., SZCZEŚNIAK K., 1995, Edometryczne badania ciśnienia prekonsolidacji trzeciorzędowych gruntów ilastych. VIII-th Glacitectionics Symposium, Wyd. Uczeń. WSI Zielona Góra, Zielona Góra
- IZBICKI R.(red), 1996, Wpływ historii geologiczno – inżynierskiej na własności mocno prekonsolidowanych masywów gruntowych. Raport SPR, Politechnika Wrocławska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Wrocław
- JAMIOLKOWSKI M., LADD C., GERMAINE J., LANCELOTTA R., 1985 New developments in field and laboratory testing of soils. Proc. XI ICSMFE, San Francisco
- KACZYŃSKI R., 2002, Engineering – geological evaluation of Mio-Pliocene clays in the Warsaw area, central Poland. *Acta Geol. Pol.*, v.52, nr 4
- KACZYŃSKI R., 2003, Overconsolidation and microstructures in Neogene clays from the Warsaw area. *Geol. Quart.*, v.47, nr 1
- KOTOWSKI J., KRAIŃSKI A., 1998.: Analiza współczynnika prekonsolidacji w gruntach trzeciorzędowych zaburzonych glacitektonicznie w Łęknicy. W: *Zagadnienia geotechniki środkowego Nadodrza*, Zeszyty Naukowe, Nr115, Politechnika Zielonogórska, Zielona Góra
- LAMBE T., WHITMAN R., 1977, *Mechanika gruntów*. Arkady, Warszawa
- LINDNER L. red, 1992, *Czwartorzęd*. Wyd.PAE, Warszawa
- SIVAKUMAR V., DORAN I. G., GRAHAM J., JOHNSON A., 2001, The effect of elasticity on the yielding characteristics of overconsolidated natural clay, *Canadian Geotechnical Journal*, 38
- STRÓŻYK J., 2004, Przyczyny prekonsolidacji ilów serii poznańskiej z rejonu południowo-zachodniej Polski, Praca doktorska, Raport PRE Nr 3/2004, Politechnika Wrocławska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Wrocław