

PRACE NAUKOWO-PRZEGLĄDOWE

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 57, 2012: 182–194

(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 57, 2012)

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 57, 2012: 182–194

(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 57, 2012)

Simon RABARJOELY, Kazimierz GARBULEWSKI

Katedra Geoinżynierii Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Department of Geotechnical Engineering WULS – SGGW

Grunty – przykład materiałów z pamięcią **Soils – example of smart materials**

Słowa kluczowe: historia naprężenia, grunty prekonsolidowane, współczynnik OCR, badania CPT/DMT

Key words: stress history, overconsolidated soils, OCR, CPT/DMT tests

Wprowadzenie

Pod koniec ubiegłego wieku (lata 80.) rozpoczął się intensywny rozwój badań naukowych nad materiałami, które zaczęto określać jako materiały inteligentne lub materiały z pamięcią (smart materials). Dotychczas nie ma powszechnie akceptowanej definicji tego typu materiałów i ich klasyfikacji. Według Takagiego (1990), materiał z pamięcią to taki, który zmienia swoje właściwości w kontrolowany sposób w reakcji na oddziaływanie zewnętrzne, wykazując cechy sprzężenia zwrotnego; materiał taki łączy w ramach jednej struktury właściwości czujnika (sensora), procesora i akumulatora. Do materiałów z pamięcią zaliczane są między innymi materiały emitujące światło, zmieniające kolor, temperaturę, kształt

lub wielkość, na przykład stopy metali z pamięcią kształtu (SMA – shape-memory alloy) i materiały ceramiczne o właściwościach piezoelektrycznych (Tylikowski 2004, Wojciechowski i Boczkowska 2004). Specjalnie wytwarzane materiały z pamięcią (inteligentne) umożliwiają realizować, samodzielnie lub jako komponent struktury funkcjonalnej lub konstrukcyjnej koncepcje zaawansowanej techniki z minimalizacją kosztów. Biorąc pod uwagę wprowadzoną w latach 30. XX wieku koncepcję „historii naprężenia” i jej znaczenie dla właściwości fizycznych i wytrzymałościowych, a zwłaszcza odkształceniowych gruntów, w świetle dotychczasowych kryteriów stosowanych do uznania materiałów za inteligentne za w pełni uzasadnioną można przyjąć propozycję zaliczenia do tego typu materiałów również grunty.

W artykule zostanie przedstawiona geneza gruntów i ich ogólny podział na normalnie skonsolidowane i prekonsolidowane, podane zostaną metody okre-

ślania obciążenia zewnętrznego, które grunt pamięta i odpowiednio przystosowuje swoją reakcję, oraz przykład rozpoznania gruntów z pamięcią w podłożu budowli Kampusu SGGW.

Geneza i charakterystyka gruntów

W zależności od okresu, materiałów źródłowych i warunków powstawania wyróżnia się dwie grupy gruntów: mineralne, które stanowią większość (w Polsce występują na powierzchni około 95%) i organiczne, najczęściej występujące w dolinach rzek (według Maksimowa 1965, ponad 5% powierzchni Polski zajmują torfowiska z gruntami organicznymi). Grunty mineralne to efekt ciągłego niszczenia i rozdrabniania skał macierzystych (magnowych, osadowych i metamorficznych), zarówno w okresach preglacjalnym i glacialnych, jak i obecnie, przez czynniki zewnętrzne, takie jak: temperatura, wiatr, opady atmosferyczne (wietrzenie fizyczne) i substancje chemiczne (wietrzenie chemiczne). Przyjmując za podstawę klasyfikacji mechanizmy powstawania gruntów, można je podzielić na transportowane i osadzane przez wody powierzchniowe (grunty aluwialne) i formowane na miejscu występowania skał (grunty miejscowe lub „rezydualne”), głównie w wyniku wietrzenia chemicznego.

Zasadniczy wpływ na rodzaj i występowanie oraz właściwości gruntów w Polsce miały zmiany klimatyczne, które doprowadziły do powstania lądolodów o miąższości sięgającej nawet kilku kilometrów (Falkowski i Złotoszewska-Niedziałek 2004). Na terenie Polski były 4 zlodowacenia (glacjały) przedzielone

okresami międzylodowcowymi – interglacjami. W zależności od okresu powstawania osady lodowcowe podzielono na wodnolodowcowe (fluwioglacjalne – piaski, żwiry, muły, i limnoglacjalne – ropy, muły, kredy jeziorne) i gliny lodowcowe, czyli zwałowe. Ten bardzo schematyczny opis pokazuje w wystarczający sposób złożoność procesów tworzenia się gruntów mineralnych, jak również dużą liczbę czynników wpływających na ich rodzaj i zachowanie się w przyszłości jako podłoża projektowanych obiektów budowlanych lub materiału, z którego budowle te będą konstruowane.

Generalizując, można przyjąć, że w większości grunty w podłożu projektowanych obiektów budowlanych były w swojej historii obciążane i odciążane (np. przez lodowce) i w związku z tym powinny być zarówno niespoiste, jak i spoiste, uważane za grunty prekonsolidowane zachowujące w pamięci historię naprężenia. Według PN-B-02481:1998, historia naprężenia to stany naprężenia efektywnego występujące w podłożu gruntowym od czasu jego powstania do czasu wykonywania projektu geotechnicznego, na które miały wpływ zarówno obciążenia nadkładem związane z powstawaniem nowych warstw gruntów i skał oraz ich przemieszczaniem w podłożu, jak i obciążenia zewnętrzne naturalne oraz obciążenia wynikające z działalności inżynierskiej.

Grunty organiczne (typowe to torfy, gytie i namuły) występują najczęściej w złożach torfowych powstających w złożonych hydrologicznych i geomorfologicznych warunkach przy udziale różnych zbiorowisk roślinnych. Zasadniczo złoża torfowe powstają albo przez zarastanie zbiorników wodnych, albo

przez zabagnienie gruntów mineralnych. Największe kompleksy złóż torfowych w Polsce znajdują się w jej części północnej i północno-wschodniej, gdzie dominują torfowiska typu niskiego powstałe w pradolinach i dolinach rzek (np. w dolinie Noteci – 42 tys. ha) oraz w dawnych jeziorach (np. w pasie Wielkich Dolin – około 1,1 mln ha). Czynnikiem, który rozstrzyga o powstawaniu torfowisk i powoduje ich rozwój, jest układ stosunków wodnych (Maksimow 1965). W większości torfowisk woda gruntowa występuje prawie w całej masie gruntów organicznych, powodując dużą ich wilgotność, zwykle przekraczającą 300%. Torfy, zależnie od stopnia rozłożenia, charakteryzują się wilgotnością w bardzo szerokim zakresie wartości – od stanu suchego (B_1 – w skali wilgotności Landvy i Pheeneya, 1980) do bardzo wilgotnego ($B_5 > 2000\%$); B_3 to symbol przedziału wilgotności 500–1000%, natomiast B_4 oznacza wilgotność w zakresie 1000–2000%. Wzrost torfowiska zachodzi nie przy stałym poziomie wody, ale przy ustawicznych zmianach jej poziomu w złożu (ruchy progresywne wody). Ruchy te wynikają z aktywności roślinności torfowiska (ruchy autonomiczne) lub są inicjowane z zewnątrz przez czynniki poza torfowiskiem (np. spiętrzenie wód wododziałowych). Parry (1970) uważa, że ruchy wody gruntowej są jednym z ważniejszych czynników powodujących prekonsolidowanie gruntów w złożach naturalnych.

Duża liczba czynników, które wpływają na powstawanie gruntów zarówno mineralnych, jak i organicznych, jak również na ich historię od powstania do wykorzystania jako podłoże lub materiał, utrudnia jednoznaczną ocenę tych

materiałów z punktu widzenia ich zachowania się pod obciążeniem. Niezależnie jednakże od tych wątpliwości, analiza czynników o dużym prawdopodobieństwie ich wystąpienia w historii (tab. 1) uzasadnia stwierdzenie, że zdecydowana większość gruntów to grunty, które nazywane są prekonsolidowanymi, czyli takie, które charakteryzują się pamięcią.

Przebieg zmian objętości gruntów (np. konsolidacja) zależy radykalnie od ich historii naprężenia; inaczej zachowują się grunty, które nie pamiętają naprężenia wywołanego obciążeniem większym niż projektowanej konstrukcji (grunty normalnie skonsolidowane – NC), i zupełnie inaczej te grunty, które wcześniej w swojej historii były obciążane i zapamiętały całkowicie lub w dużym stopniu wartość naprężenia od tego obciążenia (grunty prekonsolidowane – OC). Grunty typu NC nie były w swojej historii obciążone bardziej niż obciążenie wynikające z nadkładu gruntu. Grunty typu OC w swojej historii były obciążone, czego efektem jest naprężenie prekonsolidowania (σ'_p) – maksymalne naprężenie efektywne w podłożu gruntowym, większe od naprężenia wynikającego z obecnego nadkładu gruntu. Odształcalność gruntów OC jest wyraźnie mniejsza od odształcalności gruntów NC.

Miara prekonsolidowania gruntów

Do oceny stopnia prekonsolidowania gruntów stosuje się powszechnie współczynnik prekonsolidowania (OCR), który wyrażany jest w postaci:

$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{v0}} \quad (1)$$

TABELA 1. Mechanizmy prekonsolidowania gruntów (Jamiołkowski i in. 1985)

TABLE 1. Preconsolidation Pressure Mechanisms (Jamiołkowski et al. 1985)

Kategoria Category	Opis Description	Profil historii naprężenia Stress history profile	Stan naprężenia <i>in situ</i> <i>In situ</i> stress conditions
A. Mechanizm jednowymiarowy A. Mechanical One Dimensional	1) zmiany całkowitych pionowych naprężeń (obciążenie nakładem gruntu, lodowcem, itp.) 2) zmiany ciśnienia wody w porach (zw. wody gruntowej, warunki przepływu, itp.)	jednorodny ze stałą $\sigma'_p - \sigma'_{v0}$ (z wyjątkiem przepływu)	K_o , ale wartość przy danym współczynniku prekonsolidowania OCR zmienna w zależności od powtórnego obciążenia i odciążenia
B. Wysychanie B. Desiccation	1) wysychanie na skutek ewaporacji roślin 2) wysychanie spowodowane zamarzaniem	często bardzo zmienny	może różnić się od K_o , np. izotropowe kapilarne naprężenie
C. Pełzanie z odpływem C. Drained Creep (Aging)	1) długo trwająca wtórna ściśliwość	jednorodny ze stałym σ'_p / σ'_{v0}	K_o , ale niekoniecznie normalnie konsolidowane
D. Mechanizmy fizykochemiczne D. Physico-Chemical	1) naturalna cementacja wynikająca z węglanów i krzemionki 2) inne czynniki wiązania zależnie od wymiany jonów, tiksotropii, wietrzenia itp.	niejednorodny	–

gdzie:

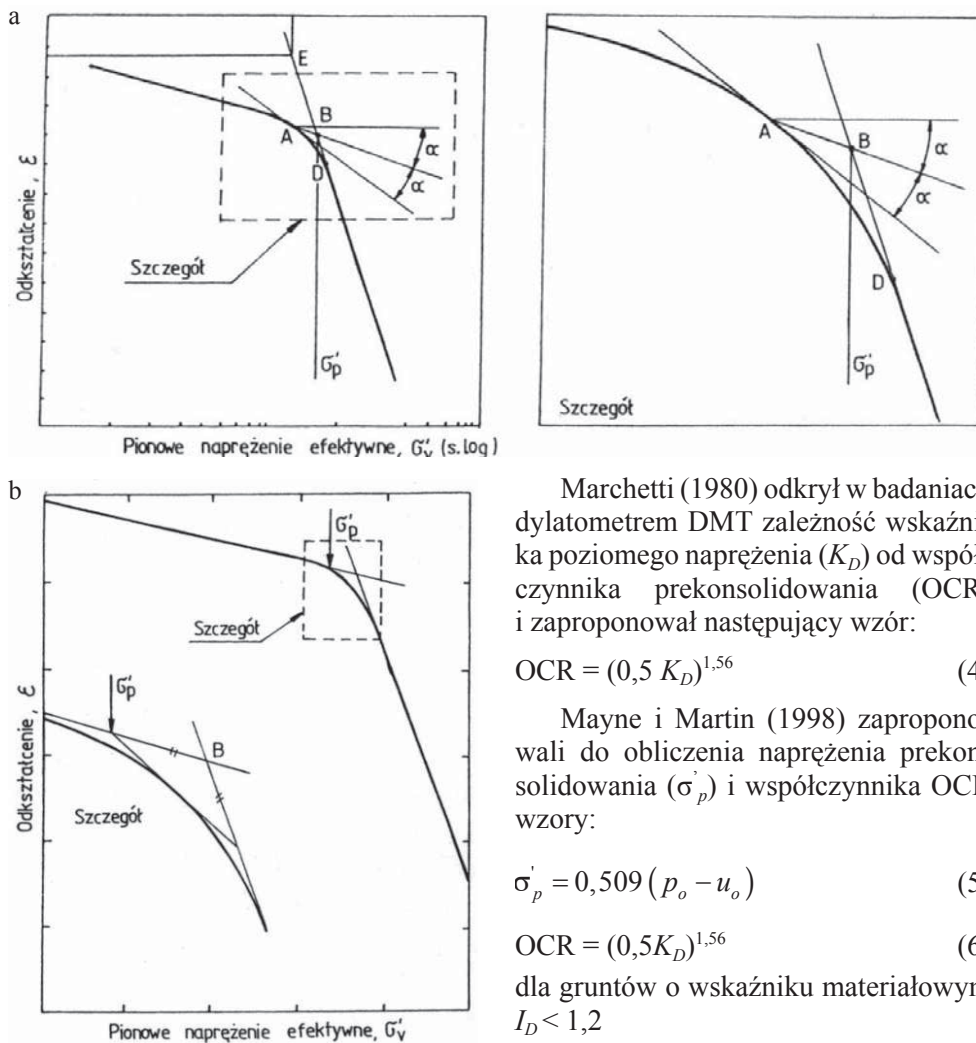
σ'_p – naprężenie prekonsolidowania (naprężenie efektywne wynikające z obciążenia zewnętrznego i nadkładu gruntu),
 σ'_{v0} – aktualne naprężenie efektywne *in situ*.

Do określenia wartości naprężenia prekonsolidowania (σ'_p) służą metody polegające na graficznej interpretacji edometrycznych krzywych ściśliwości, m.in. powszechnie stosowane metody Casagrandego (1936) i Sällforsa (1975) przedstawione na rysunku 1. Pierwszy sposób dotyczy stopniowo wzrastającego obciążenia (IL), drugi zaś – stałego przyrostu odkształcenia (CRS).

Oprócz badań ściśliwości gruntów w laboratorium, współczynnik OCR można określić na podstawie wyników badań polowych sondą statyczną CPT i dylatometrem DMT (Młynarek i Wierzbicki 2007).

Kulhawy i Mayne (1990) stwierdzili, że w przypadku sondowań CPT współczynnik OCR wpływa wyraźnie na wartości znormalizowane oporów stożka: $(q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$, i zaproponowali dla gruntów drobnoziarnistych stosować następujący wzór:

$$\text{OCR} = 0,33 (q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0} \quad (2)$$



RYSUNEK 1. Określanie naprężenia prekonsolidowania: a – metodą Casagrandego (1936), b – metodą Sällforsa (1975)
 FIGURE 1. Principle for evaluating the preconsolidation stress according to: a – Casagrande's method (1936), b – Sällfors' method (1975)

Według Robertsona (2009), współczynnik OCR powinien być określany z badań CPT na podstawie wzoru:

$$OCR = 0,24 [(q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}]^{1,25} \quad (3)$$

Marchetti (1980) odkrył w badaniach dylatometrem DMT zależność wskaźnika poziomego naprężenia (K_D) od współczynnika prekonsolidowania (OCR) i zaproponował następujący wzór:

$$OCR = (0,5 K_D)^{1,56} \quad (4)$$

Mayne i Martin (1998) zaproponowali do obliczenia naprężenia prekonsolidowania (σ'_p) i współczynnika OCR wzory:

$$\sigma'_p = 0,509 (p_o - u_o) \quad (5)$$

$$OCR = (0,5 K_D)^{1,56} \quad (6)$$

dla gruntów o wskaźniku materiałowym $I_D < 1,2$

$$OCR = (0,67 K_D)^{1,56} \quad (7)$$

dla gruntów o wskaźniku materiałowym $I_D > 1,2$

gdzie:

K_D – współczynnik naprężenia bocznego

$$K_D = (p_o - u_o) / \sigma'_{v0}$$

p_o – ciśnienie kontaktu membrany z gruntem,

u_o – ciśnienie hydrostatyczne wody w porach,

σ'_{v0} – naprężenie efektywne *in situ*.

W przypadku gruntów normalnie skonsolidowanych wartość współczynnika OCR = 1, natomiast dla gruntów prekonsolidowanych wartości współczynników OCR >1. Grunty lekko prekonsolidowane charakteryzują się wartościami OCR < 2, natomiast silnie prekonsolidowane wartościami OCR > 10.

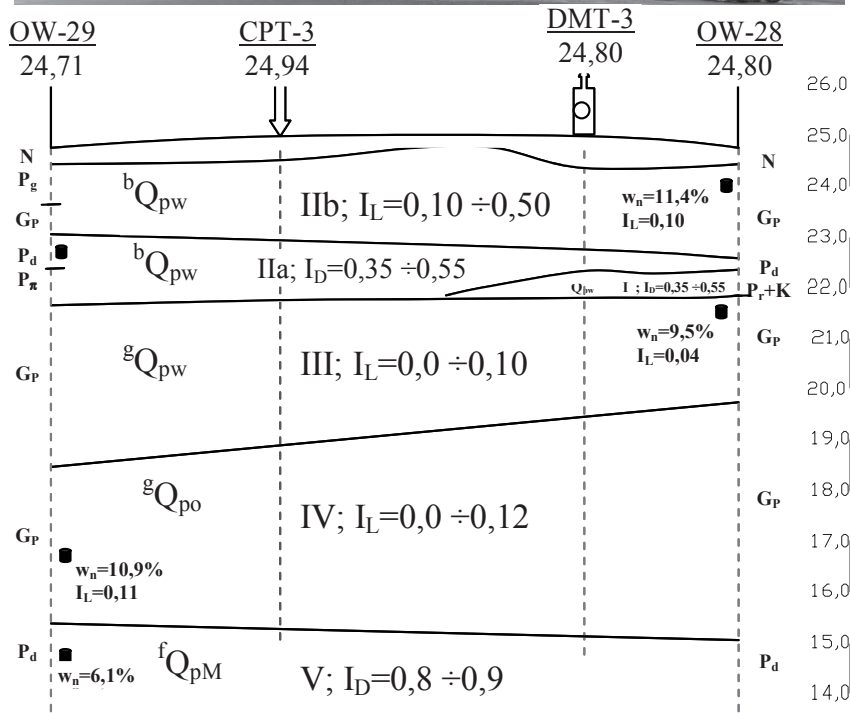
Badania stanu prekonsolidowania gruntów na terenie Kampusu SGGW

Budowa geologiczna i warunki geotechniczne

Kampus SGGW znajduje się w dzielnicy Warszawa Ursynów w obrębie wysoczyzny morenowej na Skarpie Warszawskiej. Podłoże osadów czwartorzędowych stanowią na terenie kampusu iły plioceńskie, powyżej których występują rzeczne osady preglacjalne, wykształcone w postaci piasków i żwirów kwarcowych oraz mułków (Rabarijoely i in. 2008). Na osadach preglacjalnych lub bezpośrednio na jeziornych osadach pliocenu występują utwory glacialne zlodowaceń południowopolskich w postaci glin zwałowych, osadów fluwioglacialnych i zastoiskowych, tworzących nieciągłe warstwy. Ponad osadami glacialnymi zlodowaceń południowopolskich występuje 15–25-metrowej miąższości kompleks osadów rzecznych z okresu interglacjału mazowieckiego, wykształcony w postaci piasków i żwirów. W rejonie Ursynowa utwory tej serii to głównie piaski drobne, tworzące ciągłą

warstwę. Na osadach interglacjału mazowieckiego występują ponad osadami fluwioglacialnymi utwory wytopnieniowe zlodowacenia Odry, wykształcone w postaci ciemnoszarej gliny zwałowej o miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Ponad gliną zlodowacenia Odry (eQ_pO) na obszarze Ursynowa występują lokalnie utwory fluwioglacialne i zastoiskowe. Na nich lub bezpośrednio na glinie leżą gliny lodowcowe zlodowacenia Warty. Wykształcone są one w postaci brązowej, piaszczystej gliny zwałowej o przeciętnych miąższościach od 2 do 5 metrów (eQ_pW). W dolnej części profilu występują silnie skonsolidowane gliny piaszczyste, charakteryzujące się poziomą oddzielnością. Ponad gliną piaszczystą występuje warstwa piaszczystej szarobrązowej warstwowanej gliny, w której występują drobne warstewki oraz większe soczewki piasków drobnych i średnich, z wyraźnym warstwowaniem poziomym. Na terenie Kampusu SGGW gliny zwałowe zlodowacenia Warty występują często na powierzchni terenu. Oprócz ich wychodni spotykane są tu także osady niewielkich wytopisk oraz utwory będące efektem depozycji strumieni wód roztopowych. Na powierzchni terenu występują powszechnie nasypy o zmiennych miąższościach, zbudowane przeważnie z glin piaszczystych, piasków gliniastych, piasków pylastych i pyłów z różną domieszką substancji humusowych.

Biorąc pod uwagę właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów, na terenie Kampusu SGGW wydzielono w podłożu 5 warstw geotechnicznych (rys. 2). Warstwę I tworzą utwory fluwioglacialne zlodowacenia Warty (${}^{fg}Q_pW$) – piaski średnie i drobne, średnio zagęszczone



RYSUNEK 2. Typowy przekrój geotechniczny podłoża na terenie Kampusu SGGW
 FIGURE 2. Typical geotechnical cross section at SGGW Campus

o wartościach stopnia zagęszczenia $I_D = 0,35 \div 0,55$ oraz piaski gliniaste i gliny piaszczyste, jak również pyły w stanie twardoplastycznym o wartościach stopnia plastyczności $I_L = 0,15 \div 0,20$. Warstwę II stanowią osady ablacyjne łądolołu zlodowacenia Warty (${}^bQ_{pW}$) – piaski średnie i drobne średnio zagęszczone o $I_D = 0,3 \div 0,5$ oraz gliny piaszczyste (spływowe) i piaski gliniaste w stanie twardoplastycznym

o $I_L = 0,0 \div 0,20$ oraz w stanie plastycznym, o $I_L = 0,25 \div 0,54$. Warstwa III to brązowa glina glacialna z okresu zlodowacenia Warty (${}^gQ_{pW}$) – gliny piaszczyste w stanie twardoplastycznym o wartościach $I_L = 0,0 \div 0,11$. Warstwa IV z kolei to szara glina glacialna z okresu zlodowacenia Odry (${}^gQ_{pO}$) – gliny piaszczyste z gładzikami w stanie twardoplastycznym o wartościach $I_L = 0,0 \div 0,12$. Warstwy III i IV są podobne pod względem plastycz-

ności, ale wyraźnie różnią się zawartością frakcji piaszkowej. Gliny piaszczyste warstwy III zawierają o kilka procent więcej frakcji piaszkowej, co łącznie z analizą wyników sondowań CPT i DMT było podstawą propozycji rozdzielenia tych warstw w podłożu. Warstwę V stanowią osady rzeczne interglacjału mazowieckiego (tQ_pM) – piaski drobne i średnie, w stropie warstwy bardzo zagęszczone o $I_D = 0,8 \div 0,9$.

Metodyka i interpretacja wyników badań CPT i DMT

Na terenie Kampusu SGGW przeprowadzono 69 badań CPT i 41 badań DMT do głębokości 10–15 m. Sondowanie statyczne sondą CPT (rys. 3a) polegało na wciskaniu w podłoże gruntowe żerdzi zakończonych znormalizowaną końcówką składającą się ze stożka i cylindrycznej pobocznicy. Podczas wciskania rejestrowano następujące parametry: opór wciskanego stożka (q_c) i opór tarcia wzdłuż pobocznicy tulei cierniej (f_s). Badanie dylatometryczne polegało na pomiarach w wybranych głębokościach podłoża ciśnienia gazu działającego na membranę łopatki dylatometru (rys. 3b). W badaniach gruntów z warstw geotechnicznych III i IV podłoża budynków na terenie Kampusu SGGW wykonywano pomiary dwóch ciśnień (A i B), które wymuszają przemieszczenie środka membrany o 0,05 mm do kontaktu z gruntem (odczyt A) i wychylenie środka membrany w kierunku gruntu około 1,05 mm (odczyt B). Skorygowane wartości odczytów A i B oraz wartość składowej pionowej efektywnego naprężenia (σ'_{v0}) stosowano do wyznaczenia następujących wskaźników dylatometrycznych: wskaźnika materiałowego (I_D),



RYSUNEK 3. Sonda CPT (a) i łopatka dylatometru DMT (b)

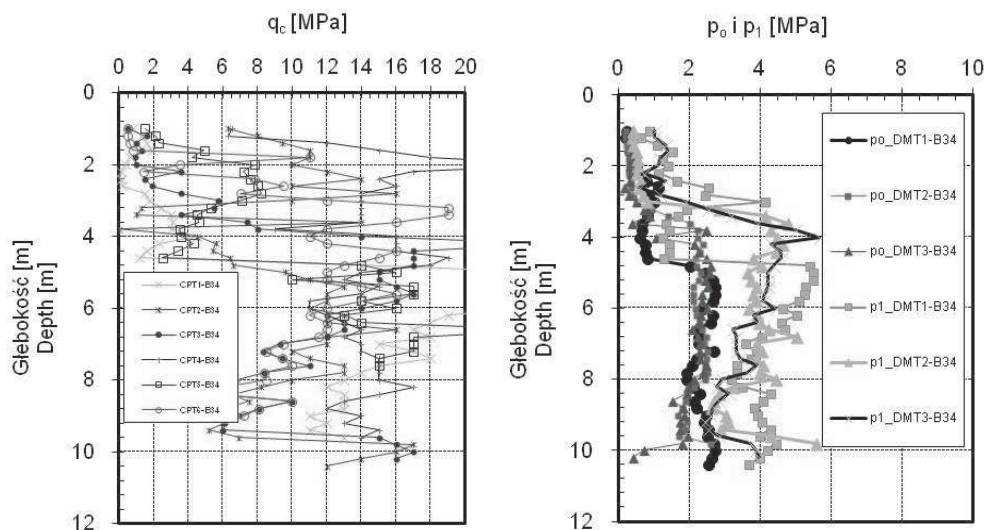
FIGURE 3. View of CPT tip (a) and DMT blade (b)

wskaźnika naprężenia bocznego (K_D) i modułu dylatometrycznego (E_D) (Marchetti 1980, Lutenegeger i Kabir 1988).

Wyniki badań sondą CPT umożliwiły określenie rozkładu w podłożu projektowanych budynków Kampusu SGGW naprężenia prekonsolidowania (σ'_p) i współczynnika OCR. Na rysunku 4 przedstawiono rozkład w podłożu jednego z budynków Kampusu SGGW wartości q_c z badań CPT i p_o oraz p_1 z badań dylatometrem DMT.

Średnie wartości σ'_p i OCR dla warstw geotechnicznych występujących w podłożu jednego z projektowanych budynków przedstawiono w tabelach 2 i 3, odpowiednio z badań CPT i DMT.

Wykorzystując wyniki badań sondami CPT i DMT podłoża na terenie Kampusu SGGW, opracowano dla warstwy trzeciej (morenowe gliny brązowe) rozkład izolinii σ'_p i OCR (rys. 5 i 6).



RYSUNEK 4. Rozkład wartości q_c z badań CPT i p_o oraz p_1 z badań dylatometrem DMT w podłożu Kampusu SGGW

FIGURE 4. Profile of q_c from CPT tests and p_o , p_1 from DMT tests at SGGW Campus

TABELA 2. Średnie wartości σ'_p i OCR z badań CPT podłoża na terenie Kampusu SGGW

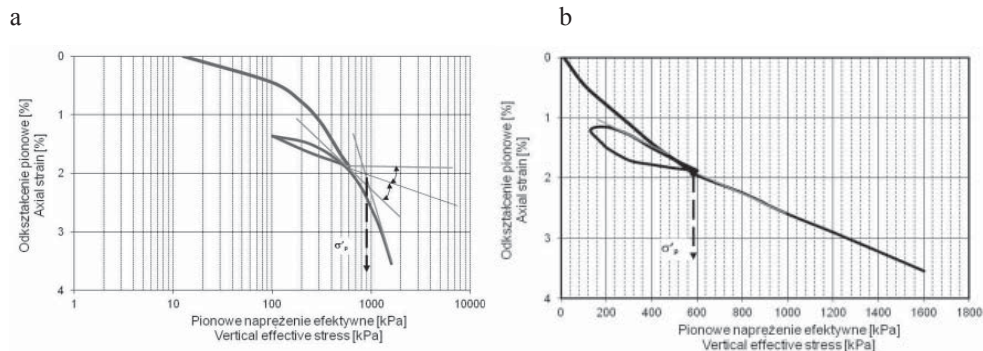
TABLE 2. Average values of σ'_p and OCR from CPT tests at SGGW Campus

Warstwa Layer	Głębokość [m] Depth	σ'_p [MPa]	OCR [-]
IIb	1,00÷2,00	1,24	15
I	2,00÷3,00	2,51	12
IIb	3,00÷4,60	1,40	8
III	4,60÷6,20	3,35	6
IV	6,20÷7,60	5,26	5

TABELA 3. Średnie wartości σ'_p i OCR z badań DMT podłoża na terenie Kampusu SGGW

TABLE 3. Average values of σ'_p and OCR from DMT tests at SGGW Campus

Warstwa Layer	Głębokość [m] Depth	σ'_p [MPa]	OCR [-]
IIb	1,00÷2,60	1,35	15
I	2,60÷3,20	2,50	8
IIb	3,20÷4,60	3,40	7,5
III	4,60÷6,20	4,20	9
IV	6,20÷11,80	3,20	8

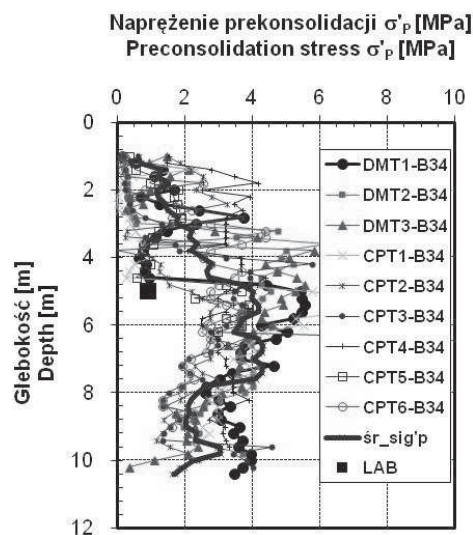


RYSUNEK 7. Określanie naprężenia prekonsolidowania warstwy geotechnicznej III: a – metoda Casagrandego (1936), b – metoda Sällforsa (1975)
 FIGURE 7. Determination of overconsolidated stress for geotechnical layer III: a – Casagrande’s method (1936), b – Sällfors’ method (1975)

Interpretacja wyników badań ścisłości gruntu pobranego z trzeciej warstwy geotechnicznej metodą Casagrandego (rys. 7) umożliwiła określenie wartości naprężenia prekonsolidowania, wynoszącej 0,90 MPa. W przypadku zastosowania do interpretacji wyników badań metody Sällforsa wartość σ'_p jest około 40% mniejsza i wynosi 0,55 MPa.

Podsumowanie i wnioski

W celu oceny stanu prekonsolidowania gruntów występujących w podłożu projektowanych budynków Kampusu SGGW opracowano rozkład w podłożu średnich wartości naprężenia prekonsolidowania (rys. 8). Z analizy rozkładu średnich wartości σ'_p wynika, że wynoszą one od 0,5 do 2,0 MPa dla utworów powyżej warstw glin zwałowych i od 2,0 do 4,5 MPa dla III i IV warstwy gliny zwałowej. Badania laboratoryjne wykazały, że stosując graficzną interpretację Casagrandego wartość naprężenia prekonsolidowania na głębokości 5,0 m (warstwa III) wynosi 0,9 MPa i jest wie-



RYSUNEK 8. Rozkład naprężenia prekonsolidowania (średnia wartość) z badań CPT i DMT na terenie Kampusu SGGW
 FIGURE 8. Distribution of preconsolidation stress (average value) from CPT and DMT tests at SGGW Campus

lorotnie mniejsza od średniej wartości σ'_p z badań CPT i DMT.

Wartości współczynników OCR wahają się od 5,0 do 15,0, co świadczy o silnej prekonsolidacji występujących w podłożu gruntów.

Biorąc pod uwagę wyniki badań i analiz przedstawionych w niniejszym artykule, można przedstawić następujące wnioski:

1. Grunty występujące w podłożu projektowanych budynków Kampusu SGGW są bez wątpienia gruntami prekonsolidowanymi. Grunty w najsłabszych warstwach podłoża (gliny zwałowe warstwy III i IV) charakteryzują się współczynnikami prekonsolidowania $OCR > 5,0$. Stan prekonsolidowania gruntów powinien być wzięty pod uwagę w programowaniu badań laboratoryjnych i terenowych oraz w projektowaniu geotechnicznym.

2. Wyniki badań polowych sondą CPT i dylatometrem DMT wykazują bardzo duży rozrzut wartości, co wynika przede wszystkim z niejednorodności badanego podłoża, ale nie można wykluczyć wpływu stosowanej metodyki badań i zasad interpretacji wyników. Należy zauważyć, że wzory wykorzystane do oceny stanu prekonsolidowania podłoża zostały opracowane wprawdzie na podstawie wyników obszernych badań gruntów, ale powstałych w innych warunkach niż grunty polskie.

3. Dotychczas analizy wyników badań sondą CPT i dylatometrem DMT były przeprowadzane oddzielnie. Ponieważ jednak efekt końcowy analiz – stan prekonsolidowania gruntów wyrażony jest miarą tak samo zdefiniowaną, zatem istnieje potrzeba opracowania zależności korelacyjnych między wynikami badań CPT i DMT.

4. Analiza warunków powstawania gruntów w Polsce i wyniki przeprowadzonych badań uzasadniają propozycję włączenia gruntów do grupy materia-

łów inteligentnych, to znaczy z pamięcią o historii naprężenia.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2013 jako projekty badawcze NCN: N N506 432436 i N N506 218039.

Literatura

- CASAGRANDE A. 1936: The determination of the preconsolidation load and its practical significance. First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering: 60–64.
- FALKOWSKIT., ZŁOTOSZEWSKA-NIEDZIAŁEK H. 2004: Zarys geologii. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- JAMIOLKOWSKI M., LADD C.C., GERMAINE J., LANCELLOTTA R. 1985: New developments in field and lab testing of soils. Proc. 11th ICSMFE (1), San Francisco: 57–154.
- KULHAWY F.H., MAYNE P.W. 1990: Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design. Report No. EL-6800. Electric Power Research Institute, USA.
- LANDVA A.O., PHEENEY P.E. 1980: Peat fabric and structure. *Can. Geotech. J.* 17: 416–435.
- LUTENEGGER A.J., KABIR M.G. 1988: Dilatometer C-reading to help determine stratigraphy. Proc. of International Symposium on Penetration Testing ISOPT-1, Orlando, 1: 549–553.
- MAKSIMOW A. 1965: Torf i jego użytkowanie w rolnictwie. PWRiL, Warszawa.
- MARCHETTI S. 1980: In situ tests by flat dilatometer. *J. Geotech. Eng. Div. ASCE* 106, GT3: 299–321.
- MAYNE P.W., MARTIN G.K. 1998: Commentary on Marchetti Flat Dilatometer Correlations in Soils. *ASTM Geotechnical Testing Journal* 21, 3: 222–239.
- MŁYNAREK Z., WIERZBICKI J. 2007: Nowe możliwości i problemy interpretacyjne polowych badań gruntów. *Geologos* 11: 97–118.
- PARRY R.H.G. 1970: Overconsolidation in soft clay deposits. *Geotechnique* 20: 442–446.

- PN-B-02481:1998 Geotechnika. Terminologia podstawowa, symbole literowe, jednostki miar.
- RABARIJOELY S., JABŁONOWSKI S., FALKOWSKI T., GARBULEWSKI K. 2008: Interpretacja sondowań dylatometrycznych (DMT) z wykorzystaniem analizy bayesowskiej. *Przegląd Geologiczny* 56, 4: 322–329.
- ROBERTSON P.K. 2009: CPT interpretation – a unified approach. *Can. Geotech. J.* 46: 1–19.
- SÄLLFORS G. 1975: Preconsolidation pressure of soft, high-plastic clays. PhD Thesis, Geotechnical Department, Chalmers University of Technology, Göteborg.
- TAKAGI T. 1990: A concept of Intelligent Material. Proceedings of U.S. – Japan Workshop on Smart/Intelligent Materials and Systems. I. Ahmad, A. Crowson, C.A. Rogers, M. Aizawa, Technomic Publishing Co., Inc., Honolulu, Hawaii: 3–10.
- TYLIKOWSKI A. 2004: Dynamika geometrycznie nieliniowej płyty wykonanej z anizotropowego materiału gradientowego, III Sympozjon „Kompozyty, konstrukcje Warstwowe”. PTMTS Oddział we Wrocławiu, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne: 159–164.
- WOJCIECHOWSKI S., BOCZKOWSKA A. 2004: Materiały inteligentne. Thermoelastic and magnetoelastic intelligent materials. *Archives of Metallurgy and Materials* 49, 4: 723–734.

Streszczenie

Grunty – przykład materiałów z pamięcią. W artykule przedstawiono genezę i ogólną charakterystykę gruntów występujących w Polsce oraz metody badań laboratoryjnych i terenowych (CPT/DMT) wy-

konywanych w celu określenia naprężenia prekonsolidacji (σ'_p) i współczynnika prekonsolidacji (OCR). Ponadto artykuł zawiera wyniki badań warunków geotechnicznych posadowienia obiektów kampusu SGGW. Analiza genezy i właściwości gruntów występujących w Polsce i wyniki badań podłoża obiektów na Kampusie SGGW uzasadniają propozycję włączenia gruntów do grupy materiałów z pamięcią.

Summary

Soils – example of smart materials.

The paper focus on the genesis and general characteristics of the soils distinguished in Poland, laboratory and field methods (CPT/DMT tests) used for determination of preconsolidation stress (σ'_p) and overconsolidation ratio (OCR). Moreover, the tests results obtained for geotechnical conditions in subsoils of design buildings at the SGGW Campus were presented. Analysis of the formations of soils in Poland and the results of the research justify the proposal to include soils to a group of smart materials, this means materials with the memory of the history of stress.

Authors' address:

Simon Rabarjoely, Kazimierz Garbulewski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: simon_rabarjoely@sggw.pl
kazimierz_garbulewski@sggw.pl