

O WŁAŚCIWOŚCIACH GRUNTÓW MAŁO SPOISTYCH ZMIENIAJĄCYCH SIĘ W PROCESIE KONSOLIDACJI NA PODSTAWIE BADAŃ PASTY GRUNTOWEJ

Properties of low cohesion soils undergoing change during consolidation

Paweł BOROWCZAK

*Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska;
ul. Piotrowo 5, 61-131 Poznań;
e-mail: pawel.borowczak@put.poznan.pl*

Treść: Coraz częściej zachodzi konieczność budowy obiektów na obszarach, które do niedawna były omijane z powodu skomplikowanych warunków posadowienia. Współczesny rozwój budownictwa na terenie miast zdecydowanie ograniczył inwestorom swobodę wyboru lokalizacji i zmusił ich do wznoszenia obiektów również i tam, gdzie w podłożu występują grunty słabonośne. Za takie powszechnie są uznawane grunty organiczne. Podłoża słabonośne stanowią również mineralne grunty spoiste znajdujące się w stanie plastycznym lub miękkoplastycznym. Zdaniem autora wśród nich największe problemy z właściwą oceną parametrów geotechnicznych stwarzają w pełni nasycone grunty spoiste charakteryzujące się wskaźnikiem plastyczności $I_p < 10\%$. Na obszarze Poznania stanowią je nieskonsolidowane gliny morenowe (ablacyjne) zlodowacenia bałtyckiego, zaklasyfikowane wg najnowszych norm (PN-EN ISO 14688-1:2006, PN-EN ISO 14688-2:2006) do piasków ilastych. Powszechnie wiadomo, że grunty słabe poddane obciążeniu statycznym podlegają konsolidacji powodującej zwiększenie się wartości parametrów wytrzymałościowych, mających wpływ na wzrost nośności podłoża. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu konsolidacji na zmiany stopnia plastyczności i wytrzymałości pasty gruntowej spreparowanej z glin ablacyjnych.

Słowa kluczowe: gliny morenowe, konsolidacja, właściwości, Poznań

Abstract: Increasingly often, the construction industry is required to erect structures in areas which, until recently, have been avoided due to difficult conditions in which to build the foundation. The expansion of real estate in cities has limited investors' freedom to choose building locations, forcing them to erect structures also on low-strength soils. Organic soils are commonly considered low-strength. Mineral plastic and soft plastic cohesionless soils are also low-strength. The author believes that fully saturated cohesive soils with a plasticity index $I_p < 10\%$ pose greatest problems in the proper assessment of geotechnical parameters. In the Poznań area, these are unconsolidated Baltic glaciation moraine (ablation) tills. These are classified as silty sands (PN-EN ISO 14688-1:2006, PN-EN ISO 14688-2:2006). It is commonly known that weak soils subjected to static loads undergo consolidation, which leads to greater strength which results in greater subsoil strength. The article discusses the results of studies of the impact of consolidation on changes in plasticity and strength of soil paste prepared from ablation tills.

Key words: tills, consolidation, properties, Poznań

WPROWADZENIE

Często się zdarza, że dokumentacje geotechniczne są opracowywane bez kompleksowych badań laboratoryjnych, na które na ogół brakuje czasu i środków finansowych. Parametry wytrzymałościowe podłoża stanowiące podstawę do projektowania fundamentów, są wówczas ustalane metodą pośrednią „B” lub „C” opracowaną w normie PN-81/B-03020. Z praktyki wiadomo, że normowe parametry wytrzymałościowe dla gruntów mało spoiстых zazwyczaj odbiegają od wartości uzyskiwanych w badaniach bezpośrednich i są często zbliżone do właściwości drobnych osadów piaszczystych.

Trzeba również pamiętać, że wartości parametrów gruntowych podane do projektowania na podstawie wspomnianej normy są wielkościami przybliżonymi, ponieważ odnoszą się do sytuacji geotechnicznej występującej w podłożu w chwili wykonywania badań, a zatem nie uwzględniają czynnika czasu wpływającego na wartości parametrów wytrzymałościowych zmieniających się w procesie konsolidacji podłoża. Problem ten znalazł rozwiązanie w pracy P. Borowczaka (Borowczak 2000), w której opracowano metodę przewidywania zmian właściwości gruntów mało spoiстых zachodzących w procesie obciążenia. Uzyskane w pracy wyniki badań skonfrontowano z odpowiednimi parametrami wytrzymałościowymi uzyskanymi w wyniku badań bezpośrednich i na podstawie normy. Autor pracy posługując się konkretnym przykładem obliczeniowym, wykazał wymierne korzyści wynikające z proponowanego podejścia.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA GLIN WYTYPOWANYCH DO BADAŃ

Gliny ablacyjne należą do gruntów słabo rozpoznanych (Kaczyński & Trzeciński 2000). Z powodu niewielkiej zawartości frakcji ilowej mają zróżnicowane wymiary porów: od mało kapilarnych (o średnicy powyżej 0.5 mm) do kapilarnych (o średnicy od 0.05 do 0.0002 mm), co umożliwia zarówno przepływ grawitacyjny wody przez grunt, jak i wznios kapilarny. Możliwość swobodnego przepływu powoduje szybszą konsolidację. Wysoka kapilarność czyni z nich grunty wysadzinowe. Grunty mało spoiyste mają więc właściwości zarówno gruntów spoiстых, jak i sypkich (Axelsson & Runesson 1989). Posiadają spoi-tość i zdolność do pęcznienia typową dla gruntów spoiстых, z drugiej zaś strony – są podatne na upłynnienie podobnie jak drobne osady piaszczyste. Mała spójność powoduje, że po zawilgoceniu ich struktura łatwo ulega naruszeniu i następuje utrata wytrzymałości. Ze stanu twardoplastycznego przechodzą w stan plastyczny lub miękkoplastyczny. Zatem parametry ϕ_u i c_u gruntu nie są wartościami stałymi, lecz zależą od wielu czynników, przede wszystkim od aktualnej wilgotności, a więc i jego stanu.

Powszechnie wiadomo, że oznaczenie wilgotności należy do najprostszych badań, najmniej obciążonych błędami. Dlatego też prowadzone doświadczenia opierały się głównie na uchwyceniu zmian wilgotności zachodzących w badanym gruncie podczas konsolidacji i ocenie wpływu tych zmian na właściwości wytrzymałościowe. Do badań użyto glin pobranych z kilku profili wiertniczych uznanych za reprezentatywne dla badanego obszaru.

Gliny w ocenie makroskopowej tworzyły w miarę jednolity materiał, mimo pewnych zróżnicowań możliwy do określenia jako wyraźnie homogeniczny. Przerobiona z nich pasta gruntowa charakteryzowała się:

- granicą płynności $w_L = 19.2\%$,
- granicą plastyczności $w_P = 11.7\%$,
- wskaźnikiem plastyczności $I_P = 7.5\%$.

WYNIKI BADAŃ

Podstawowe badania oparto na założeniu, że gliny morenowe ablacyjne należą do gruntów nieskonsolidowanych. Zachowują się podobnie jak grunty normalnie konsolidowane, tj. podlegające jedynie obciążeniom geostatycznym, zależnym od ciężaru objętościowego i miąższości nadkładu, oraz są w pełni nasycone wodą. W celu zbadania wpływu konsolidacji na zmiany właściwości gruntu próbki pasty gruntowej były konsolidowane w komorach aparatu trójosiowego ściskania w różnym czasie przy różnych stanach naprężeń. Czas i wielkości obciążeń konsolidacyjnych ustalono doświadczalnie. Minimalny okres konsolidacji trwał 1.5 godziny. Za maksymalny czas konsolidacji uznano 4 doby, gdyż wystarczał on do zakończenia konsolidacji filtracyjnej. Przebieg konsolidacji rejestrowano, mierząc objętość wypływającej do biurety cieczy w czasie. Jej ilość przyjęto za podstawę do określania zmian wilgotności i stopnia plastyczności (Fig. 1). Podobne badania wykonano również na próbkach gruntu o strukturze NNS.

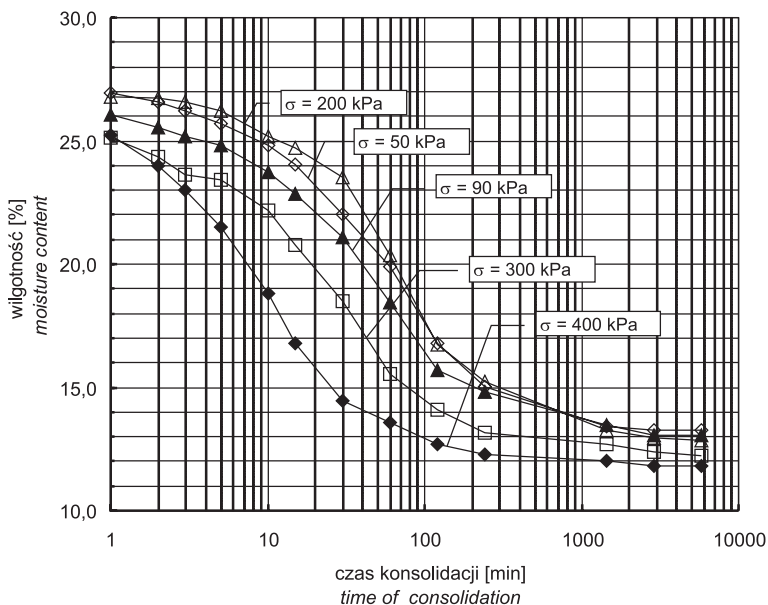


Fig. 1. Zmiany wilgotności pasty gruntowej w procesach konsolidacji zależne od czasu i naprężeń

Fig. 1. Time- and stress-dependent changes in soil paste humidity in consolidation processes

W badaniach pasty gruntowej stwierdzono, że z chwilą zakończenia konsolidacji filtracyjnej każdemu stopniowi obciążenia towarzyszy określona wilgotność. Ustalenie to pozwoliło szukać odpowiedniego związku pomiędzy wilgotnością o naprężeniem konsolidacyjnym w narzuconym doświadczalnie obszarze. Z otrzymanego zbioru punktów najbardziej zbliżona okazała się zależność zapisana w klasie funkcji hiperbolicznej, która ze względów praktycznych została opisana w postaci funkcji stopnia plastyczności zależnej od naprężeń (Fig. 2).

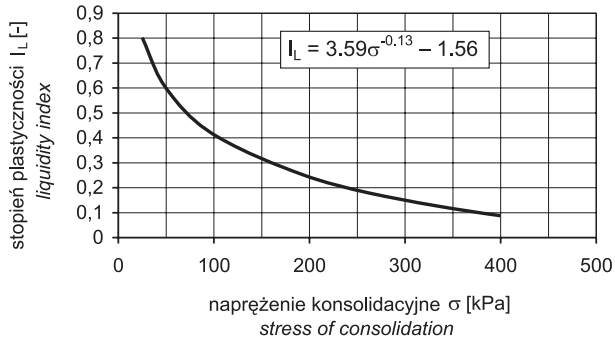


Fig. 2. Wpływ naprężenia konsolidacyjnego na zmianę stopnia plastyczności pasty

Fig. 2. Impact of consolidation stress on paste plasticity

Opierając się na fakcie, że o wytrzymałości glin morenowych ablacyjnych decyduje ich wilgotność, ustalono doświadczalnie związki zachodzące pomiędzy stałym obciążeniem a stopniem plastyczności I_L . Posługując się zapisanym związkiem, można prognozować zmianę stanu gruntu, jaka nastąpi w wyniku statycznego obciążenia po zakończeniu konsolidacji filtracyjnej. W konsekwencji zmiana ta wpłynie na wartość kąta tarcia wewnętrznego, którą można oszacować z korelacji normowej zapisanej dla grupy glin morenowych zaklasyfikowanych do grupy genetycznej „B” wzorem

$$\phi^{(n)} = 22^\circ - 17.3^\circ \cdot I_L \quad (1)$$

Na uwagę zasługuje czas obciążenia, a więc okres budowy, który musi być dostatecznie długi, by nierozproszone naciśnienie porowe nie przekraczało 5% wartości obciążenia dodatkowego.

W celu weryfikacji wyników przeprowadzono badania wytrzymałościowe pasty gruntowej (Fig. 3) w aparacie trójosiowego ściskania metodą CU. By zachować stałą wilgotność próbek w czasie ścinania, zastosowano naprężenia $\sigma_2 = \sigma_3$ mniejsze od naprężeń konsolidacyjnych σ_k , a efektywne i całkowite parametry uzyskały wartości świadczące o następujących korelacjach:

$$\phi' = 23.6^\circ - 13.1^\circ \cdot I_L \quad (2)$$

$$\phi_u = 21.0^\circ - 18.7^\circ \cdot I_L$$

Parametry wytrzymałościowe pasty porównano z badaniami próbek o strukturze, nie-naruszonej, których stopień plastyczności po konsolidacji wynosił $I_L = 0.20$ i $I_L = 0.28$.

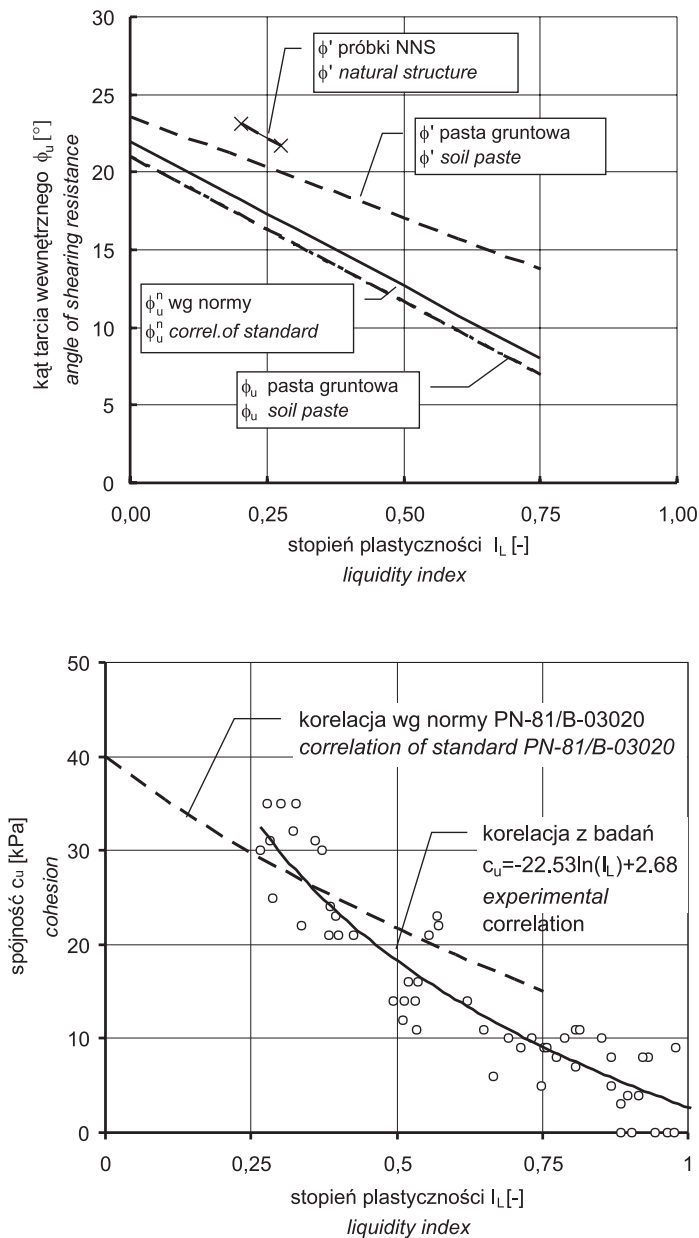


Fig. 3. Wyniki badań wytrzymałościowych pasty gruntowej

Fig. 3. Soak test results of soil paste

PRZYKŁAD

Aby wykazać korzyści płynące z badań, posłużono się następującym przykładem. Z dokumentacji geologiczno-inżynierskiej wynikało, że budynek mieszkalny posadowiony będzie na podłożu zbudowanym z miękkoplastycznych glin morenowych nieskonsolidowanych. Dla określonego w dokumentacji stopnia plastyczności $I_L = 0.57$ przyjęto parametr $\phi^{(n)} = 22^\circ - 17.3^\circ \cdot I_L = 22^\circ - 9.9^\circ = 12.1^\circ$, stąd średni obliczeniowy opór jednostkowy podłoża pod ławą nie powinien przekroczyć wartości $m \cdot q_f = 135$ kPa.

Biorąc pod uwagę konsolidację słabego podłoża, można założyć, że pod wpływem tych obciążeń nastąpi zmiana stopnia plastyczności z $I_L = 0.57$ do $I_L = 3.59\sigma^{(-0.13)} - 1.56 = 0.31$. Kąt tarcia wewnętrznego zmieni się do $\phi^{(n)} = 22^\circ - 17.3^\circ \cdot 0.31 = 16.6^\circ$, w konsekwencji nośność podłoża wzrośnie do wartości $m \cdot q_f = 177$ kPa co wpłynie z pewnością na zmniejszenie wymiarów fundamentów.

PODSUMOWANIE

1. W artykule zwrócono uwagę na specyficzną grupę osadów morenowych o cechach odmiennych niż większość glin morenowych ostatniego zlodowacenia (Karczewski 1963, Kaczyński & Trzeński 2000). Zdaniem autora mimo rozwoju nowoczesnych metod badawczych do dziś prawidłowa ocena ich parametrów geotechnicznych stanowi poważny problem.
2. Cechy glin morenowych nieskonsolidowanych zależą od warunków ich powstawania i konsolidacji. W badaniach pasty gruntowej przedstawiono symulację zjawisk zachodzących w gruntach mało spoistych poddanych konsolidacji. Procesom tym towarzyszyły zmiany stopnia plastyczności i wytrzymałości.
3. Transformacja wyników badań pasty na rzeczywisty ośrodek gruntowy może być obciążona istotnym błędem wynikającym z różnego zachowania gruntu naturalnego i gruntu przerobionego na pastę, której otrzymanie wiąże się ze zniszczeniem naturalnej struktury.
4. Konieczne jest rozszerzenie zakresu badań wytrzymałości próbek o nienaruszonej strukturze NNS przy uwzględnieniu większych przedziałów stopnia plastyczności.

LITERATURA

- Axelsson K. & Runesson K., 1989. Constitutive properties and modeling of solity. *Proceedings of XII ICSMFE*, Rio de Janeiro, 1, 687–690.
- Borowczak P., 2000. Wpływ konsolidacji gruntów mało spoistych zlodowacenia północnopolskiego na zmiany ich parametrów wytrzymałościowych. *XII KKMGiF „Problemy geotechniczne obszarów przybrzeżnych”*, 1a, Szczecin – Międzyzdroje, 53–63.
- Deja W., 1969. Niektóre problemy stratygrafii czwartorzędu na obszarze miasta. Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią. *Geografia Fizyczna*, 23, seria A.
- Grabowska-Olszewska B., 1998. *Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych*. WN PWN, Warszawa, 1–217.

- Gradziński R., Kostecka A., Radomski A. & Unrug R., 1986. *Zarys sedymentologii*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1–628.
- Górska M., 2000. Wybrane właściwości petrograficzne vistulańskich moren dennych środkowej i zachodniej Wielkopolski oraz ich znaczenie dla oceny dynamiki ostatniego lądolodu. PTPN, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, *Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej*, 28, 1–145.
- Kaczyński R. & Trzciniński J., 2000. Geologiczno-inżynierska charakterystyka glin lodowcowych fazy pomorskiej. *XII KKMGiF „Problemy geotechniczne obszarów przy morskich”*, 1a, Szczecin – Międzyzdroje, 291–303.
- Karczewski A., 1963. Morfologia struktura i tekstura moreny dennej na obszarze Polski Zachodniej. PTPN, Wydział Matematyczno-Przyrodniczy, *Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej*, 2, 151–255.
- Kasprzak L. & Kozarski S., 1984. Analiza facjalna osadów strefy marginalnej fazy poznańskiej ostatniego zlodowacenia w środkowej Wielkopolsce. *Zeszyty Naukowe UAM Geografia*, 29, 1–54.
- Kasprzak L., 2003. *Model sedymentacji lądolodu vistulańskiego na Nizinie Wielkopolskiej*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 1–214.
- Lindner L., 1992. *Czwartorzęd, osady, metody badań, stratygrafia*. Wydawnictwo PAE, Warszawa, 1–683.
- Liszkowski J., 1996. Cechy diagnostyczne oraz typowe sekwencje subfacji glin morenowych vistulanu środkowej Wielkopolski. *UAM Geologos*, 1, 159–174.
- Mojski E.J. & Rzechowski J., 1967. Niektóre wyniki badań petrograficzno-litologicznych nad utworami czwartorzędowymi Polski wschodniej i środkowej. *Zeszyty Naukowe UAM, Geografia*, 7, 131–147.
- PN-81/B-03020. *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*.
- PN-EN ISO 14688-1:2006. *Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikacja gruntów. Część I: Oznaczenie i opis*.
- PN-EN ISO 14688-2:2006. *Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania*.
- Przystański J., 1978. Wpływ wzmocnienia gęstościowego wywołanego procesem konsolidacji w okresie wznoszenia obiektu budowlanego na nośność podłoża. *Konferencja Naukowa „Geotechniczne problemy Wielkopolski”*, 39–45.
- Stankowski W., 1996. Podstawowe facje glin morenowych oraz kryteria ich wyróżniania. *UAM Geologos*, 1, 150–157.

Summary

Building on weak subsoil has always been a serious geotechnical problem. It has been a well-known fact that it concerns layers of organic soils or soft mineral cohesive soils with low content of clay particles. In the paper attention has been directed to some specific class of glacial, moraine deposits, with quite different properties than majority of the moraine

tills deposited during the last glaciation. Features of that tills depend on the conditions of their formation and consolidation. In the paper have been presented results of investigations of the properties of consolidated soil paste, prepared from moraine tills.

It was concluded that consolidation processes have been accompanied by changes of the soil moisture (Fig. 1), the liquidity index (Fig. 2) and the strength (Fig. 3). Results of this research can contribute to better forecasting of variation of geotechnical parameters of low cohesive soils under the consolidation process.