

PARAMETRY FIZYCZNO-MECHANICZNE GRUNTÓW SPOISTYCH TRASY MOSTOWEJ „ŁAZIENKOWSKA”

UKD 624.131.22:624.131.431:551.782.2/79(438.112 trasa mostowa „Łazienkowska”)

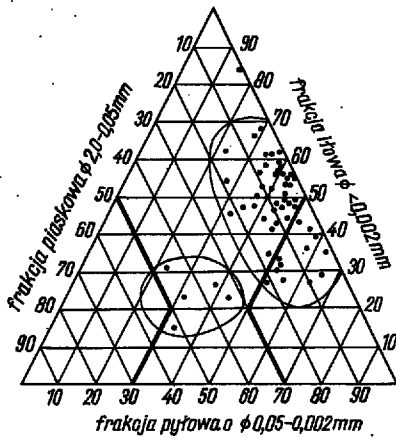
Utwory pliocieńskie stanowią wiekowo najstarszy pakiet gruntów powstały w warunkach sedymentacji jeziornej. W badanym podłożu główną ich masę (zgodnie z PN) stanowią grunty spoiste o zawartości frakcji iłowej od 14 do 84%. Naniesione na trójkącie Fereta (ryc. 1) punkty odpowiadające poszczególnym próbkom tworzą skupiony zbiór pokrywający część jego powierzchni obejmującej głównie pole iłu, iłu pylastego oraz nieznacznie wkraczające na pole ciężkich glin pylastych. Inne rodzaje gruntu charakteryzujące się zawartością frakcji piaskowej ponad 30% odgrywają podrzędną rolę, mają charakter glin ciężkich, a sporadycznie nawet typowych glin. Na przedstawionej ryc. 1 widać, że procentowa zawartość frakcji iłowej iłu pylastego kształtuje się w wysokości 31–44%, a dla iłu — 31–68%, a wyjątkowo nawet 84%. Te wartości zasługują na uwagę, gdyż wskazują na możliwość istnienia znacznych różnic w stosunkach ilościowych w zakresie frakcji iłowej w obrębie genetycznie jednego rodzaju — iłu pliocieńskiego. Wobec tego, że w rozpatrywanym zbiorze próbki gruntów o wysokiej zawartości frakcji iłowej odgrywają podrzędną rolę, dla dalszych rozważań przyjęto za miarodajne wielkości skupione głównie w przedziale 20–68% frakcji iłowej, przy zawartości frakcji piaskowej do 22%. Pozostałe próbki wyeliminowano jako nietypowe.

Uzyskane wyniki z analizy granulometrycznej iłów poznańskich porównano z badaniami iłów Warszawy (2) oraz Dobrzyńnia nad Wisłą i innych okolic (7). Oczywiście jest, że dla przeprowadzenia paraleli najbardziej interesującymi

są wyniki zestawione w pracy W. Fortunata w odniesieniu do iłów Warszawy pobranych z głębokości 18,9–57,9 m poniżej terenu w czasie wierceń dla potrzeb metra. Zgodnie z badaniami W. Fortunata na głębokości tej spoiste grunty ilaste nie wykazują na ogół dużych różnic w uziarnieniu, iły pylaste charakteryzują się zawartością frakcji iłowej w granicach 35–45%, a iły — 31–51%. Porównując otrzymane dane przez W. Fortunata z wynikami oznaczeń laboratoryjnych próbek gruntu dla trasy mostowej stwierdzono w obrębie rozpatrywanych iłów pliocieńskich większe zróżnicowanie litologiczne, pozwalające na wydzielenie iłów pylastych i glin pylastych ciężkich. Należy zauważyć, że utwory te są zbliżone swoim składem do iłów z Dobrzyńnia nad Wisłą i innych miejscowości, charakteryzujących się frakcją iłową w wysokości do 71% (7).

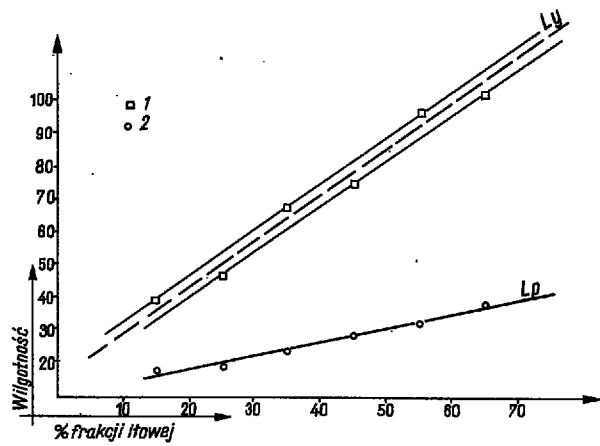
Dla uzyskania podstawowych wskaźników geotechnicznych pobranych próbek gruntu, wykonano dalsze oznaczenia laboratoryjne cech fizyczno-mechanicznych: wilgotności naturalnej, ciężarów objętościowych, granic płynności i plastyczności oraz kątów tarcia wewnętrznego i kohezji. Dysponując posiadanymi wynikami dążono do ustalenia związków pomiędzy poszczególnymi cechami.

Wyniki liczbowe granic płynności i plastyczności uśredniono w zależności od zawartości frakcji iłowej w następujących przedziałach 10–20%, 20–30%, 30%–40% itd. Szczegółową postać tej zależności obrazuje poglądowo wykres (ryc. 2). W odniesieniu do granicy płynności otrzy-



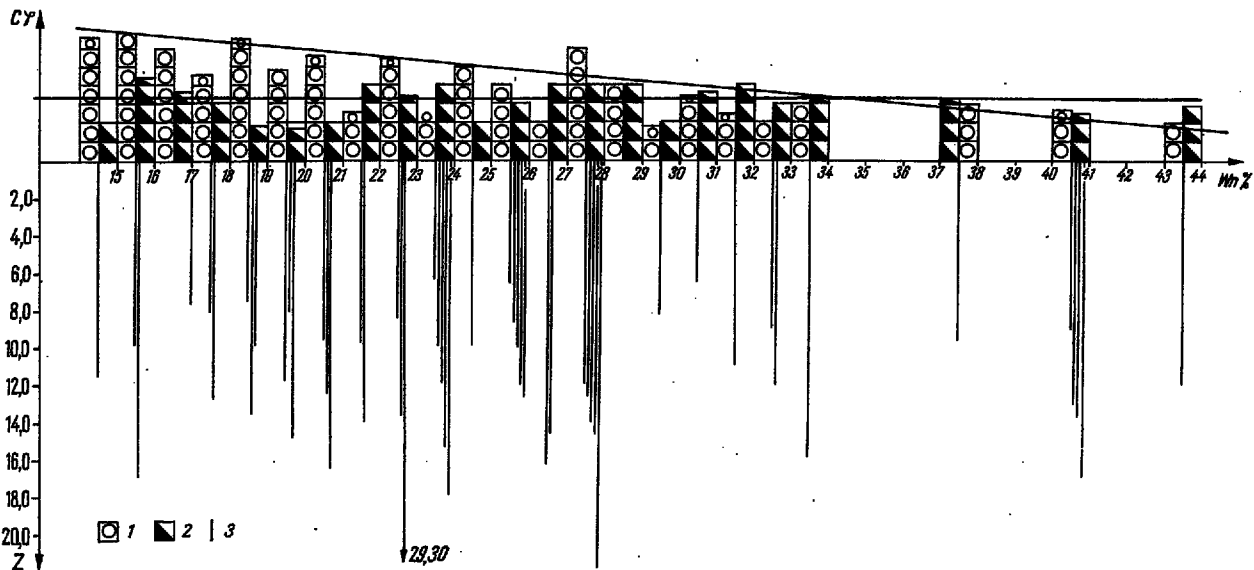
Ryc. 1. Zestawienie wyników składu granulometrycznego ilów poznańskich
... wyniki badań laboratoryjnych.

Fig. 1. Grain-size distribution of Poznań clays
... laboratory results



Ryc. 2. Zależność między granicą płynności L_y i plastyczności L_p a zawartością frakcji ilowej w ilach poznańskich
1 — granica płynności, 2 — granica plastyczności.

Fig. 2. Dependence of liquid and plastic limits (L_y and L_p , respectively) on clay fraction content in Poznań clays
1 — limit of liquid, 2 — limit of plastic.



Ryc. 3. Zależność kąta tarcia wewnętrznego, pozornego i spójności ilów poznańskich od wilgotności naturalnej z uwzględnieniem głębokości

1 — $\phi = 3^\circ$, 2 — $C = 0,3 \text{ kG/cm}^2$, 3 — $Z = \text{mb.}$ głębokości pobrania próbki.

Fig. 3. Dependence of angles of internal and apparent friction and cohesivness on natural moisture of Poznań clays, with consideration of depth.

1 — $\phi = 3^\circ$, 2 — $C = 0,3 \text{ kG/cm}^2$, 3 — Z , depth at which sample was taken, in meters.

mano dwie linie równoległe oddalone od siebie w granicach 6% wilgotności. Prosta przerywana charakteryzuje uśrednioną zależność wartości granicy płynności od zawartości frakcji ilowej. Dla zakresu zmienności od 20% do 70% frakcji ilowej zależność ta ma następującą postać wyrażoną wzorem:

$$L_y = 1,4 I + 14 \dots$$

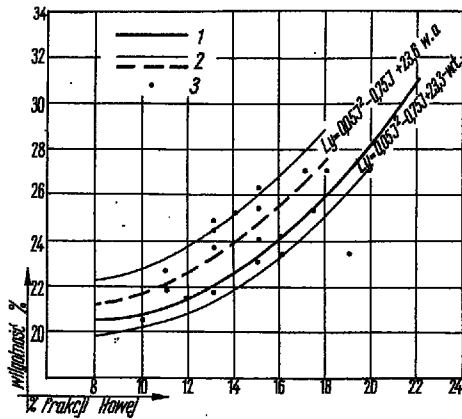
Analogicznie zależność granicy plastyczności od zawartości frakcji ilowej przyjmie postać:

$$L_p = 0,4 I + 9 \dots$$

W ilach plicieńskich granice płynności i plastyczności są wyraźnie uzależnione od zawartości w gruncie frakcji

ilowej, a więc substancji w decydującym stopniu wiążących wodę. Zależności te mają charakter funkcji liniowych o podanych wyżej wzorach. Wynika stąd praktyczny wniosek, że w przypadku niepełnych badań laboratoryjnych próbek gruntu o ustalonym składzie granulometrycznym z dużą dokładnością można ustalić wartości liczbowe granic płynności i plastyczności, a wobec prostoty badań wilgotności naturalnej — w konsekwencji również i stan gruntu.

W dalszej kolejności przeprowadzono zależności pozornych kątów tarcia wewnętrznego i kohezji od wilgotności naturalnej w zakresie od 15 do 44%, przy jednoczesnym uwzględnieniu głębokości pobrania próbki gruntu. Dla uogólnienia szukanych zależności wyliczono średnie war-



Ryc. 4. Zależność granicy płynności od zawartości frakcji ilowej — I

1 — wykres funkcji wg T. Kańskiego, 2 — wykresy funkcji autora, 3 — wyniki badań laboratoryjnych

Fig. 4. Relationship between liquid limit and clay fraction content — I

1 — graph of the function after T. Kański, 2 — graphs after the present author, 3 — laboratory results.

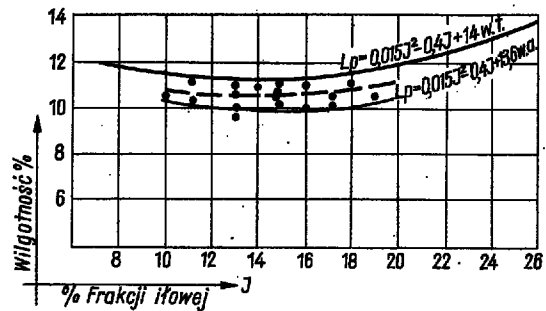
tości pozornych kątów tarcia wewnętrznego i kohezji. Obliczone wartości średnie naniesiono na wykres (ryc. 3), uzyskując szereg punktów dających możliwość wyznaczenia linii ciągłych pierwszego rzędu. Z uzyskanego wykresu można przyjąć, że ility poznańskie charakteryzują się na ogół kohezją zbliżoną do 1,0 atm. Kąty tarcia wewnętrznego wykazują zależność od wilgotności naturalnej również w sposób liniowy, orientacyjnie od wartości 20° przy wilgotności 15%, redukują się do 6° przy 44% Wn. Poza tym przedstawiony wykres pozwala na stwierdzenie, że w granicach prowadzonych wierceń do głębokości 30 m nie zachodzi widoczny związek pomiędzy kątem tarcia wewnętrznego i głębokością.

Dla kątów tarcia wewnętrznego w zakresie zmienności wilgotności naturalnej od 15% do 44% otrzymano następujące równanie prostej:

$$\varphi = -0,5 Wn + 28...$$

Uzyskany wzór potwierdza logicznie przewidywaną zależność pomiędzy wilgotnością naturalną i kątem tarcia wewnętrznego, polegającą na zmniejszaniu się ich wartości przy wzroście wilgotności. Zależność ta ma charakter funkcji liniowej, pozwalającej przy oznaczonej tylko wilgotności naturalnej iltów poznańskich, na określenie ze znaczną dokładnością kątów tarcia wewnętrznego.

Gliny morenowe wydzielono w zachodniej części trasy w odcinku objętym ul. Polną i górną krawędzią skarpy wiślanej. Utwory te zalegają głównie w przystropowej partii podłoża, tworząc niejednolity pokład tak w poziomym, jak i pionowym rozprzestrzenieniu. Pod względem genetycznym są one reprezentowane przez dwa zasadnicze typy, mając określoną pozycję stratygraficzną (1). Obydwa typy w sensie geotechnicznym nie wykazują żadnych różnic, stąd jako ew. kryterium podziału przyjęto ich barwę. Gliny starsze posiadają barwę ciemnoszarą i szarą, a młodsze czerwono-brązową o odcieniu żółtordzawym. Gliny te zgodnie z polską normą PN-54/B-02480 są reprezentowane przez grunty mało spoiste i średnio spoiste o zawartości frakcji ilowej w przedziałach 5—10% i 10—20%. Są to więc



Ryc. 5. Zależność granicy plastyczności Lp od zawartości frakcji ilowej I

— wykres funkcji wg T. Kańskiego, wykres funkcji autora, wyniki badań laboratoryjnych.

Fig. 5. Relationship between plastic limit and clay fraction content — I

— graph of the function, after T. Kański, graph of the present author, results of laboratory studies.

głównie piaski gliniaste i gliny piaszczyste z lokalnymi wtrąceniami grubszego materiału w postaci niewielkich otoczek i głązików.

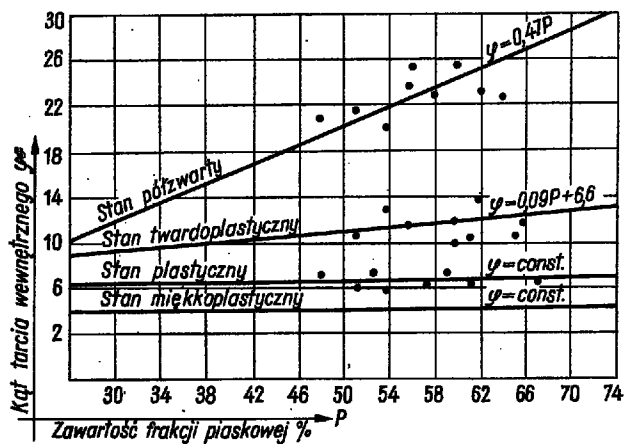
Szczegółowe badania laboratoryjne wykonano na stosunkowo niewielkiej liczbie próbek gruntu. W związku z tym ujednolicenie cech dla całego pakietu dokonano w oparciu o wyniki T. Kańskiego (3), przede wszystkim dążono do ustalenia zależności granic płynności i plastyczności od składu granulometrycznego (ryc. 4). Stwierdzono, że uzyskane wyniki L_p w laboratorium WBS i PTDiL w stosunku do krzywej teoretycznej podanej przez T. Kańskiego wykazują nieznaczne odchylenia, kształtujące się w wysokości — 0,5% do +1,25%. Pozwala to na skorygowanie wzoru T. Kańskiego o wartość +0,3, a tym samym dla glin morenowych występujących w ciągu trasy mostowej i sąsiedztwie można stosować następujący wzór:

$$L_p = 0,05 I^2 - 0,75 I + 23,6...$$

Analogiczną analizę przeprowadzono dla granicy plastyczności. W tym przypadku wartości L_p (autora) były z reguły niższe od wartości teoretycznych (T. Kańskiego), przy czym różnice dochodziły do 0,4% (ryc. 5). W związku z tym wzór T. Kańskiego ulegnie korekcie w wyrazie wolnym, przybierając postać:

$$L_p = 0,015 I^2 - 0,4 I + 13,6...$$

Wzory te pozwalają na każdorazowe, orientacyjne ustalenie odpowiednich cech gruntu, o ile znana jest ich wilgotność naturalna i skład granulometryczny. Poza tym możliwość szacunkowego określenia w badaniach makroskopowych — zawartości frakcji ilowej — pozwala zupełnie ściśle ustalić stan badanej próbki, przy znanej jedynie wilgotności naturalnej. W następnej kolejności przeanalizowano wyniki kątów tarcia wewnętrznego i kohezji. Ustalenie wartości liczbowych dokonano w laboratorium WBS i PTDiL na próbkach o naruszonej strukturze. Grunt rozdrobiony poddawano zagęszczeniu w znormalizowanej foremce. Przed przystąpieniem do formowania próbki określano uprzednio wartości liczbowe ciężaru objętościowego gruntu. Po uzyskaniu tych wartości, przy równoczesnej znanej objętości foremki, obliczano wagową ilość gruntu potrzebną do zagęszczenia. Grunt zagęszczono w prasie hydraulicznej przez równomierne wywieranie nacisku na



Ryc. 6. Zależność kąta tarcia wewnętrznego od stanu gruntu oraz od zawartości frakcji piaskowej — p
 — wykresy funkcji wg T. Kańskiego, ... wyniki badań laborat. autora.

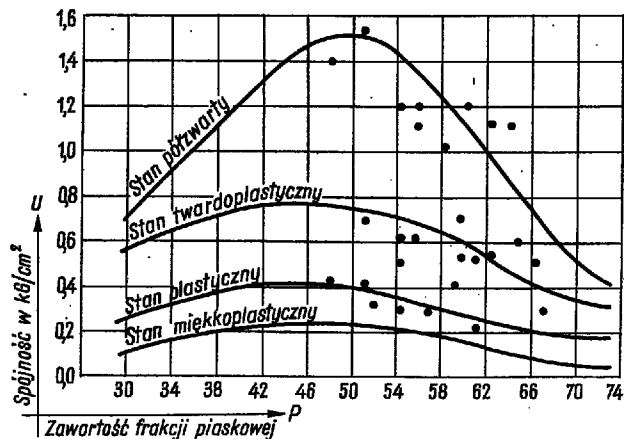
Fig. 6. Dependence of angle of internal friction on the state of soil and on sand fraction content — p
 — graphs of the function, after T. Kański, results of laboratory studies by the present author.

dolną i górną powierzchnię walca gruntowego. W konsekwencji tej czynności otrzymano próbkę sztucznie skompresowaną o ciężarze objętościowym w stanie rodzimym. Tak przygotowane próbki poddawano badaniom w aparacie trójosiowym. Stosowana metoda jest z całą pewnością nieściśłą, ale zważywszy, że glina morenowa jest gruntem „zwałowym” uzyskane wyniki w dostateczny sposób charakteryzują kąty tarcia wewnętrznego i kohezji dla potrzeb praktyki budowlanej. Co więcej, wyniki te minimalnie odbiegają od wartości normowych oraz opracowań naukowych (1, 3). Dla potwierdzenia powyższego uzyskane wyniki kątów tarcia wewnętrznego i kohezji porównano z wykresami T. Kańskiego obrazującymi funkcjonalne zależności kątów tarcia wewnętrznego i kohezji od zawartości frakcji piaskowej i stanu gruntu (ryc. 6).

Z porównania tego wynika, że wartości kątów tarcia wewnętrznego grupują się wokół poszczególnych prostych, z niewielkim odchyleniem w górę lub w dół w granicach -4° do $+3^\circ$ dla gruntów o stanie półzwałym, a stanu twar doplastycznego -2° do $+2^\circ$. Przy stanie plastycznym i miękko plastycznym różnica jest jeszcze mniejsza, a wartości kątów tarcia wewnętrznego są stałe, $\gamma = \text{constans} = \text{ca } 6^\circ$. Oznaczałoby to, że po przekroczeniu pewnej wilgotności w glinach morenowych występuje zanik wpływu zawartości frakcji piaskowej (składu granulometrycznego) na wielkość kąta (3).

Analogiczną paralelę przeprowadzono w odniesieniu do kohezji. T. Kański ustalił, że kohezja w glinach morenowych w zależności od zawartości frakcji piaskowej i stanu gruntu wykazuje związek nieliniowy. W układzie współrzędnych otrzymano wykresy zbliżone do krzywych siodłowych. Ekstremum tych krzywych występuje przy 46–50% frakcji piaskowej. Uzyskane wyniki kohezji glin porównano z tymi krzywymi uzyskując daleko idącą zbieżność, co poglądowo obrazuje ryc. 7.

Osady pochodzenia zastoiskowego występują w zachodniej części trasy w rejonie ulicy Połnej i Marszałkowskiej.



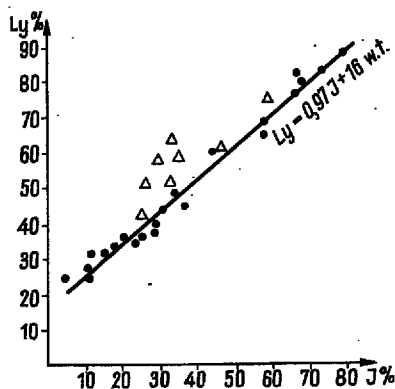
Ryc. 7. Zależność spójności od stanu gruntu oraz od zawartości frakcji piaskowej — p
 — wykres funkcji wg T. Kańskiego, ... wyniki badań laborat. autora.

Fig. 7. Dependence of cohesiveness on the state of soil and on sand fraction content — p
 — graph of the function, after T. Kański, results of author's laboratory studies.

Są one reprezentowane przez piaski pylaste i ły warwowe, barwy szarej, szaropopielatej i popielatej. ły cechuje tekstura warwowa. Jednakże poszczególne warstewki nie wykazywały w przełomie równoległego warstwowania, przeciwnie były pofalowane i zaburzone glacitektonicznie. W konsekwencji nie było możliwości oddzielenia poszczególnych warstewek od siebie, stąd makroskopowo określono te grunty jako ły bądź ły pylaste z przewarstwieniami pyłu. W dalszych szczegółowych badaniach potraktowano je jako jednolity kompleks, dla którego dążono ustalić chociażby przybliżone wartości liczbowe właściwości fizyczno-mechanicznych. Na podstawie wyników analizy areometrycznej stwierdzono, że skład granulometryczny łów warwowych na tle trójkąta Fereta obejmuje zasadniczo pole gliny pylastej i ły pylastego. Zawartość frakcji ływej kształtuje się w wysokości 26–35% przy 4–6% frakcji piaskowej. Wyniki te należy uznać za miarodajne tym bardziej, że E. Myślińska (5) w swojej pracy o łach warwowych podaje bardzo zbliżone wyniki z badań areometrycznych próbek brzdowych pobranych w kilku miejscowościach na terenie Mazowsza. Wg tej autorki, w badanych przez nią łach, zawartość frakcji ływej wynosi 15,5–45,5%, przy 4–12% frakcji piaskowej.

W dalszej kolejności ustalono wartości liczbowe granic płynności i plastyczności. Badania te wykonano metodą standardową, w oparciu o obowiązujące polskie normy. Uzyskane wyniki granic płynności i plastyczności porównano z badaniami E. Myślińskiej. Wyniki własnych badań odniesiono do teoretycznych wzorów zestawionych przez cytowaną autorkę, a obrazujących zależności granicy płynności od zawartości frakcji ływej w przedziale od 11 do 82% i dla granicy plastyczności od 32 do 82% (ryc. 8 i 9).

Na podstawie powyższego porównania daje się stwierdzić, że otrzymane wyniki w odniesieniu do prostych funkcjonalnych E. Myślińskiej wykazują w przypadku granic płynności różnicę dochodzącą do $+10\%$, a przy granicach plastyczności $\pm 0,5\%$.

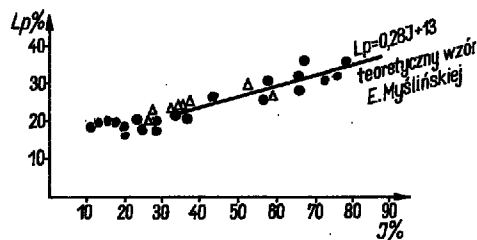


Ryc. 8. Zależność granicy płynności L_y frakcji ilowej w przedziale od 4 do 82%

— wykres funkcji wg E. Myślińskiej, wyniki badań laborat. E. Myślińskiej, $\Delta\Delta$ wyniki badań laborat. autora.

Fig. 8. Dependence of liquid limit, L_y , on clay fraction content, J , in the interval from 4 to 82%

— graph of the function, after E. Myślińska, results of laboratory studies of E. Myślińska, $\Delta\Delta$ results of author's laboratory studies.



Ryc. 9. Zależność granicy plastyczności L_p od zawartości frakcji ilowej w przedziale 32—82% I

— wykres funkcji wg E. Myślińskiej, wyniki badań laborat. E. Myślińskiej, $\Delta\Delta$ wyniki badań lab. autora.

Fig. 9. Dependence of plastic limit, L_p , on clay fraction content, J , in the interval from 32 to 82%

— graph of the function, after E. Myślińska, results of laboratory studies of E. Myślińska, $\Delta\Delta$ results of author's laboratory studies.

WNIOSKI

1. Rozpatrywanie uogólnionych właściwości gruntów należy przeprowadzać dla poszczególnych grup genetycznych, a nie dla rodzajów gruntów w sensie normy PN-54/B-02480.

2. Grupy genetyczne w układzie trójkąta Fereta tworzą skupienia niezależne od geotechnicznego rodzaju gruntu. Wydaje się celowe przedstawianie graficzne tego rodzaju układów jako załącznika do wyników badań gruntów.

3. Wykonane badania laboratoryjne dla dużego odcinka terenu Warszawy potwierdziły zależność między właściwościami gruntu a zawartością jego frakcji składowych:

- liniowe dla iltów i gruntów zastoiskowych (5, 6, 7),
- drugiego stopnia dla glin morenowych (3).

4. Zależności teoretyczne ujęte w postaci wzorów mogą wymagać adaptacji dla konkretnie rozpatrywanego terenu, co w powyższym opracowaniu wykazał autor.

5. Dla iltów plicieńskich z trasy mostowej „Łazienkowska” ustalono funkcjonalne zależności korelujące z pracami D. Szyszło, chociaż wykazujące niewielkie odchylenia.

6. Wykresy T. Kańskiego dla kątów tarcia wewnętrzne go i kohezji glin morenowych umożliwiają zaniechanie, a przynajmniej znaczne ograniczenie żmudnych badań laboratoryjnych dla potrzeb praktyki budowlanej. Należy podkreślić dużą zgodność badań praktycznych z wykresami teoretycznymi.

7. Dla iltów zastoiskowych zależność ustalona przez E. Myślińską dla granic płynności wykazuje duże rozbieżności (10%), natomiast dla granic plastyczności podany wzór jest zgodny z wynikami badań własnych.

8. Należy rozszerzyć kierunek analizy przeprowadzony przez autora dla gruntów trasy mostowej i w dużych tematach ograniczać badania laboratoryjne przez stosowanie zależności i wykresów teoretycznych.

LITERATURA

- Falkiewicz A. — Własności fizyczno-mechaniczne glin zwalowych środkowego Mazowsza. Biul. geol. Wydz. Geol. UW, 1962, t. 2.
- Fortunat W. — Charakterystyczne cechy fizyczne trzeciorzędowych iltów Warszawy, Bydgoszczy i Tarnobrzega. Biul. Inst. Geol., 1960, 163.
- Kański T. — Własności geotechniczne glin morenowych (praca doktorska). Kat. Mech. Gruntów i Fund. Polit. Warsz., 1966.
- Kowalski W.C., Lipińska N. — Rodzaje gruntów serii glin zwalowych Warszawy. Prz. geol., 1964, nr 9.
- Myślińska E. — Wpływ warunków sedymentacji i diagenety iltów warwowych zlodowacenia środkowopolskiego na obszarze Mazowsza na ich własności inżyniersko-geologiczne. Biul. geol. Wydz. Geol. UW, 1965, t. 7.
- Należyty W.Z. — Przekrój geologiczny trasy mostowej „Łazienkowska” w Warszawie. Prz. geol., 1972, nr 2.
- Szyszło D. — Własności fizyczno-mechaniczne frakcji iltowej poznańskich na tle ich litologii. Biul. geol. Wydz. Geol. UW, 1967, t. 9.

SUMMARY

In the course of engineering-geological works connected with a certain investment undertaking, i.e., the construction of „Łazienkowska” bridge route in Warsaw, a large number of laboratory determinations of physico-mechanical soil properties were made. On the whole, about 1,000 samples of soils were taken. About 350 detailed analyses were performed under laboratory conditions and in accordance with the provisions of actual Polish norms, being made of the equipment of the Geotechnical Laboratory of the Warsaw Offices of Land- and Aerial Transport Studies and Designing, produced by the research instrumentation works in Cracow. A vast amount of laboratory determinations enabled to find interdependences between lithology and genesis of soils, on the one hand, and their physico-mechanical parameters on the other hand. It follows from the lithostratigraphical profile obtained (cf. Przeg. geol., No. 2-1972) that 6 basic genetic groups may be distinguished in the soil substratum of the bridge route. These groups may be further divided into lithological subgroups, and these — into elementary units, in accordance with the classification scheme of the Polish Norm PN-54/B-02480. In the present paper, 3 genetic groups of soils, i.e., cohesive clays, boulder clays, and stagnant lake clays are characterized.

РЕЗЮМЕ

Во время инженерно-геологических изысканий, связанных со строительством новой артерии в Варшаве, был накоплен богатый материал, охватывающий лабораторные определения физико-механических свойств грунтов. В общем было взято около 1000 образцов. Произведено 350 детальных анализов, согласно современным польским нормам, с помощью аппаратуры Завода научной аппаратуры в Кракове, находящейся в оснащении Геотехнической лаборатории Варшавского проектного бюро дорожного и авиационного транспорта. Большое число лабораторных определений дало возможность выявления закономерных связей между литологическим составом и генезисом грунтов, с одной стороны, и физико-механическими свойствами грунтов, с другой.

В составленном литолого-стратиграфическом профиле грунтов, залегающих в основании артерии, различается 6 основных генетических групп грунтов, которые подразделяются на литологические подгруппы, состоящие, в свою очередь, из элементарных типов, соответствующих классификационной схеме польской нормы PN-54/B-02480. В настоящей работе рассматриваются три генетических группы грунтов: связанные глины, валунные глины и озерные илы.