



MAGDALENA MIERZEJEWSKA¹⁾
STANISŁAW PISARCZYK²⁾

BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE ZAILONYCH GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH

STRESZCZENIE. Niniejsza praca jest próbą usystematyzowania wiadomości, dotyczących parametrów wytrzymałościowych (ϕ_u i c_u) zailonych gruntów gruboziarnistych. W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych kąta tarcia wewnętrznego ϕ_u i spójności c_u mieszanek ilasto-żwirowych, zagęszczanych przy energii standardowej Proctora i poddanych ścinaniu w aparacie skrzynkowym. Badania przeprowadzono na odpowiednio spreparowanych mieszankach iltu o różnej wilgotności i wysegregowanego żwiru rzecznoego o wielkości ziaren $d < 5$ mm. W drodze obliczeń zweryfikowano wzory podane w literaturze rosyjskiej [1 - 3].

1. WPROWADZENIE

Na wytrzymałość na ścinanie zailonych (zaglinionych) gruntów gruboziarnistych wpływa zarówno ich geneza, jak i uziarnienie, stopień plastyczności wypełniacza drobnoziarnistego oraz grubość i stopień obtoczenia ziaren frakcji grubych.

W polskiej literaturze, a przede wszystkim w Polskich Normach, brakuje informacji o właściwościach mechanicznych zailonych gruntów gruboziarnistych. Niewiele jest też publikacji na temat takich gruntów [4 - 5]. Próby przedstawienia odpowiednich wzorów, opisujących cechy mechaniczne zailonych gruntów gruboziarnistych,

¹⁾ mgr inż. – Przedsiębiorstwo Inżynieryjno-Konsultingowe SAFEGE S.A., Warszawa

²⁾ prof. dr hab. inż. – Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej

można znaleźć głównie w literaturze rosyjskiej [1 - 3, 6] i niemieckiej [7 - 9], a także angielskiej [10].

W literaturze rosyjskiej [1 - 2] w celu oceny wpływu właściwości frakcji drobnej i grubej na cechy mechaniczne gruntów wprowadzono współczynnik M_τ :

$$M_\tau = 0,01 \frac{P_1}{P_2} I_p (1 + I_L) \quad [-], \quad (1)$$

gdzie:

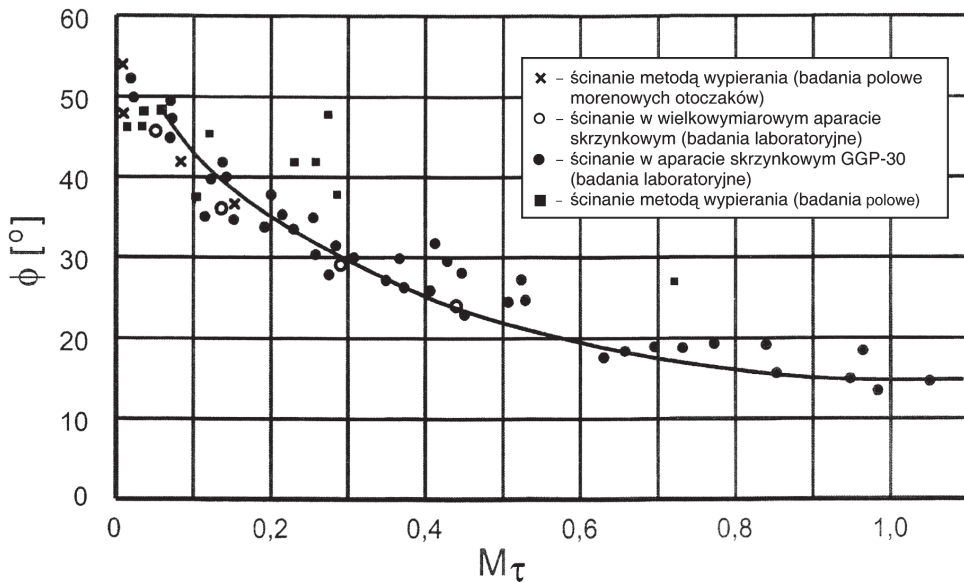
P_1 – zawartość cząstek i ziaren < 2 mm w badanym gruncie, [%],

P_2 – zawartość grubych ziaren > 2 mm w badanym gruncie, [%],

I_p – wskaźnik plastyczności drobnego wypełniacza w gruncie, [%],

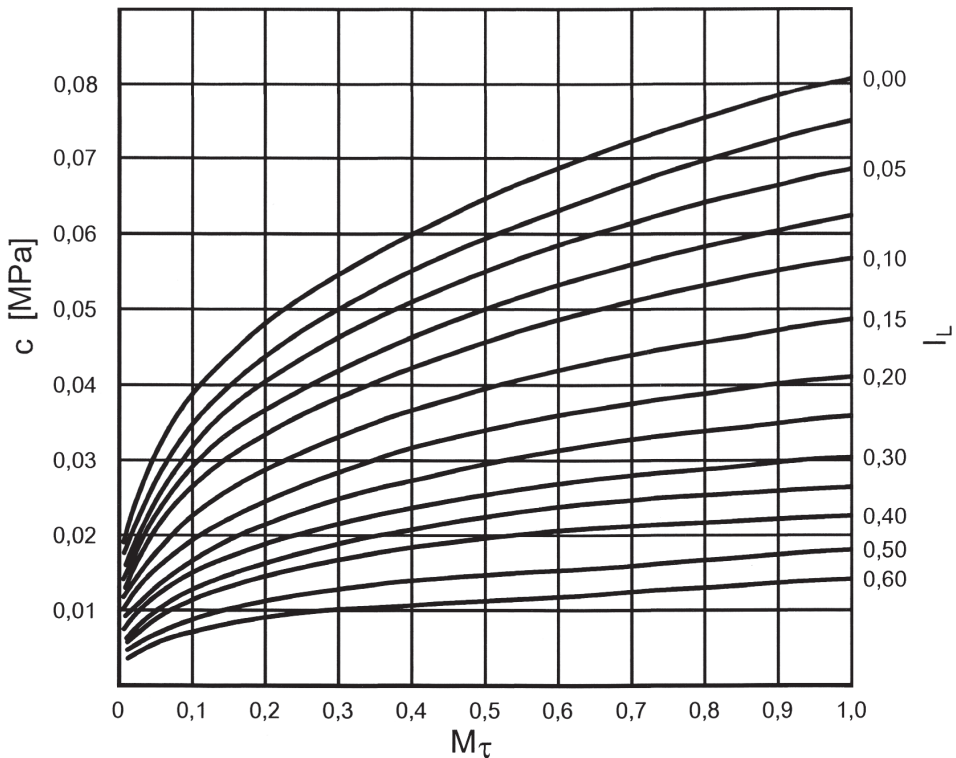
I_L – stopień plastyczności drobnego wypełniacza w gruncie, [-].

Na podstawie badań wytrzymałości na ścinanie zaglinionych gruntów żwirowo-kamienistych ustalono zależności kąta tarcia wewnętrznego ϕ i spójności c od współczynnika M_τ (rys. 1 i 2).



Rys.1. Zależność kąta tarcia wewnętrznego ϕ zaglinionych gruntów żwirowo-kamienistych od współczynnika M_τ [1]

Fig.1. Relationship between internal friction angle ϕ of clay-gravel coarse-grained soils and coefficient M_τ [1]



Rys.2. Nomogram zależności spójności c zaglinionych gruntów żwirowo-kamienistych od współczynnika M_τ i stopnia plastyczności I_L gliniastego wypełnienia [1]

Fig.2. Interdependence nomogram of cohesion c of clay-gravel, coarse-grained grounds, coefficient M_τ and plasticity degree I_L of clay [1]

Kąt tarcia wewnętrzne zaglinionych gruntów żwirowo-kamienistych proponuje się określać ze wzoru (przy odchyleniu standardowym $\pm 2,4^\circ$) [2]:

$$\phi = K_1 K_\phi \frac{46}{e^{1,18 M_\tau}} \quad [^\circ], \quad (2)$$

gdzie:

K_1 – współczynnik zależny od obtoczenia ziaren,

K_ϕ – współczynnik uwzględniający wytrzymałość grubych ziarn przy ścinaniu, zależny od P_1 i M_τ ,

e – podstawa logarytmu naturalnego.

Spójność można określić ze wzoru (przy odchyleniu standardowym $\pm 0,009$ MPa) [2]:

$$c = K_2 \frac{0,079 M_\tau^{0,32}}{(1 + I_L)^{3,62}} \quad [\text{MPa}], \quad (3)$$

gdzie:

K_2 – współczynnik zależny od obtoczenia ziaren, niezależnie od wytrzymałości:
(dla obtoczonych ziaren równy 0,9; dla ostrokrawędzistych równy 1,0).

Wartości współczynników K_1 , K_ϕ i K_2 można znaleźć w publikacjach [1, 5].

W literaturze rosyjskiej [3] można też znaleźć wzory dla aluwialnych gruntów grubych. Wartości kąta tarcia wewnętrznego ϕ i spójności c określa się na podstawie oznaczeń ϕ_d i c_d frakcji drobnoziarnistej ($d < 2$ mm) zawartej w mieszance gruntowej:

$$\phi = \phi_d + \frac{\phi_g - \phi_d}{70} (P - 30), \quad (4)$$

$$c = c_d + \frac{100 - P}{70}, \quad (5)$$

gdzie:

- ϕ_d, c_d – kąt tarcia wewnętrznego i spójność frakcji drobnoziarnistej ($d < 2$ mm) zawartej w badanym gruncie, parametry wyznaczone na podstawie badań w standardowych aparatach),
- ϕ_g – kąt tarcia wewnętrznego frakcji grubej ($d > 2$ mm) zawartej w gruncie, dla którego określa się ϕ i c , przyjmowany do obliczeń w zależności od pochodzenia gruntu, od 35° do 45° ,
- P – procentowa zawartość grubych ziaren ($d > 2$ mm) odrzuconych w badaniach w aparacie standardowym.

Na podstawie informacji zawartych w literaturze na temat zailonych (zaglinionych) gruntów gruboziarnistych można wyciągnąć tylko ogólne wnioski o ich parametrach wytrzymałościowych ϕ i c . Nie ma pewnych i sprawdzonych w Polsce wzorów dla takich mieszanek gruntowych. Jedynie wzór na obliczanie kąta tarcia wewnętrznego (4) został sprawdzony [5] i może być wykorzystywany do obliczeń, pod warunkiem przeprowadzenia badań frakcji drobnej w aparatach standardowych. W celu usystematyzowania wiadomości na temat zailonych gruntów gruboziarnistych należałoby przeprowadzić serie badań, a ich wyniki np. ująć w normach.

W pracy [11] podjęto próbę zbadania wpływu zawartości wypełniacza ilastego i frakcji żwirowej na parametry wytrzymałościowe spreparowanych mieszanek ilasto-żwirowych gruntów gruboziarnistych.

2. BADANIA LABORATORYJNE WŁAŚCIWOŚCI SKŁADNIKÓW MIESZANEK ZAILONYCH GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH

2.1. BADANIA PODSTAWOWYCH WŁAŚCIWOŚCI GRUNTU SPOISTEGO

Użyty do badań grunt spoisty pochodził z budowy stacji „Marymont” metra warszawskiego. Na podstawie badań metodą areometryczną, zgodnie z normą [12], określono zawartość poszczególnych frakcji, które odpowiednio wyniosły: $f_i = 47,85\%$, $f_{II} = 47,03\%$, $f_p = 5,12\%$. Na tej podstawie wg normy [13] określono, że badany grunt to il.

Granica płynności badanego gruntu spoistego, wyznaczona metodą Casagrande'a, wynosi $w_L = 37,60\%$, natomiast granica plastyczności $w_p = 17,49\%$, a wskaźnik plastyczności $I_p = 20,11\%$. Zawartość węgla wapnia CaCO_3 wynosi $3 \div 5\%$.

Badanie zagęszczalności przeprowadzono metodą standardową Proctora (metoda I wg normy [12]). Wilgotność optymalna gruntu wynosi $w_{opt} = 12,80\%$, a odpowiadająca jej maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego $\rho_{ds} = 1,85 \text{ g/cm}^3$.

2.2. BADANIA PODSTAWOWYCH WŁAŚCIWOŚCI GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO

Do badań użyto żwir rzeczny segregowany o uziarnieniu $d = 2 \div 5 \text{ mm}$. Na podstawie analizy sitowej sporządzono wykres uziarnienia gruntu i określono średnice d_{10} , d_{30} i d_{60} oraz określono dodatkowe parametry gruntu [14 - 15], takie jak: wskaźnik różnoziarnistości $U = d_{60} / d_{10} = 1,23$ (grunt równoziarnisty) oraz wskaźnik krzywizny uziarnienia $C = d_{30}^2 / (d_{10} \cdot d_{60}) = 1,03$ (grunt dobrze uziarniony).

Przeprowadzono również oznaczanie minimalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntu wg normy [12]. Za miarodajną wartość gęstości objętościowej szkieletu gruntowego przy najgęściejszym ułożeniu ziaren przyjęto $\rho_{d \max} = 1,72 \text{ g/cm}^3$, zaś przy najluźniejszym $\rho_{d \min} = 1,46 \text{ g/cm}^3$.

Przeprowadzenie próby Proctora dla gruntu niespoistego było niemożliwe. Już podczas ubijania pierwszej warstwy gruntu w cylindrze nie udało się zagęścić żwiru. Ziarna gruntu pod wpływem dużej energii spadającego na nie ubijaka zostały wyrzucane poza obręb cylindra.

3. BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCIANIE WYBRANYCH MIESZANEK ILASTO-ŻWIROWYCH W APARACIE BEZPOŚREDNIEGO ŚCINANIA

Wytrzymałość na ścianie badanych mieszanek gruntowych określono wg uogólnionego wzoru Coulomba [12, 16]:

$$\tau_f = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi_u + c_u, \quad (6)$$

gdzie:

- τ_f – wytrzymałość na ścianie gruntu, [kPa],
- σ – naprężenie normalne, [kPa],
- φ_u – kąt tarcia wewnętrznego gruntu, [°],
- c_u – spójność gruntu, [kPa].

Podczas badań wytrzymałości mieszanek gruntowych na ścianie w aparacie bezpośredniego ścinania (skrzynkowym) określano naprężenia styczne τ_f , przy których umieszczone w skrzynce próbki zostały ścięte przy zadanym nacisku pionowym σ . Program przewidywał badanie odpowiednio spreparowanych mieszanek iłu i wysegregowanego żwiru rzecznego o wielkości ziaren $d < 5$ mm.

Skład ziarnowy badanych mieszanek był następujący:

- Próbka I – 100 % iłu, 0 % żwiru;
- Próbka II – 85 % iłu, 15 % żwiru;
- Próbka III – 70 % iłu, 30 % żwiru;
- Próbka IV – 40 % iłu, 60 % żwiru;
- Próbka V – 15 % iłu, 85 % żwiru;
- Próbka VI – 0 % iłu, 100 % żwiru.

Badania prowadzono przy wilgotnościach iłu równych:

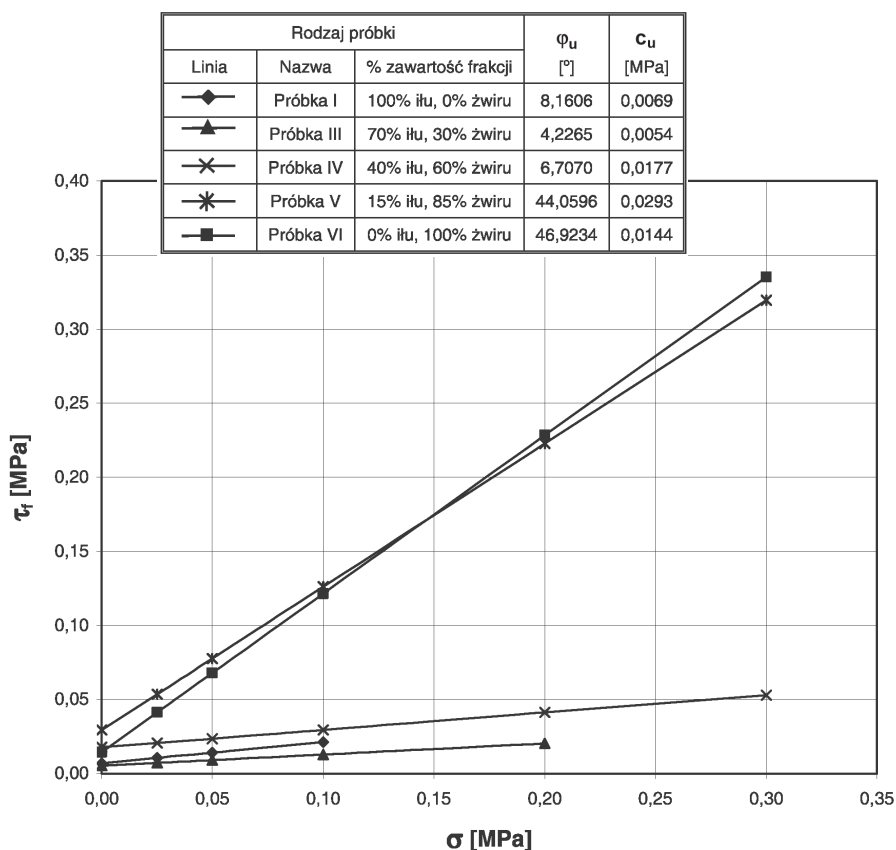
- wilgotności optymalnej $w_{opt} = 12,80$ %,
- granicy plastyczności $w_p = 17,49$ %,
- średniej z granicy plastyczności i granicy płynności $w = 0,5 (w_p + w_L) = 27,55$ %,
- granicy płynności $w_L = 37,60$ %.

Przed przystąpieniem do badania w aparacie bezpośredniego ścinania mieszanki I ÷ V zagęszczano metodą standardową w aparacie Proctora w trzech warstwach po 25 uderzeń. Mieszankę VI badano w stanie powietrzno-suchym przy $\rho_{d \max}$.

Formowanie próbek odbywało się bezpośrednio w skrzynce aparatu, przy użyciu ręcznej prasy śrubowej (brak możliwości określania siły nacisku). Probki zagęszczano do uzyskania gęstości objętościowej otrzymanej w aparacie Proctora.

Zgodnie z programem badań ścinanie odbywało się przy naciskach pionowych σ równych: 25, 50, 100, 200 i 300 kPa. Stała prędkość przemieszczania wynosiła 0,1 mm/min. Siłę oporu (siłę ścinania) w czasie ścinania próbki obserwowano co 1 mm przesunięcia skrzynki, aż do 10 mm jej przesunięcia. Do obliczeń wartości wytrzymałości na ścinanie τ_f brano maksymalną wartość siły ścinającej w zakresie przesunięcia skrzynki do 10 mm. We wszystkich przypadkach maksymalna siła ścinająca występowała przy przesunięciu skrzynki od 1 do 3 mm.

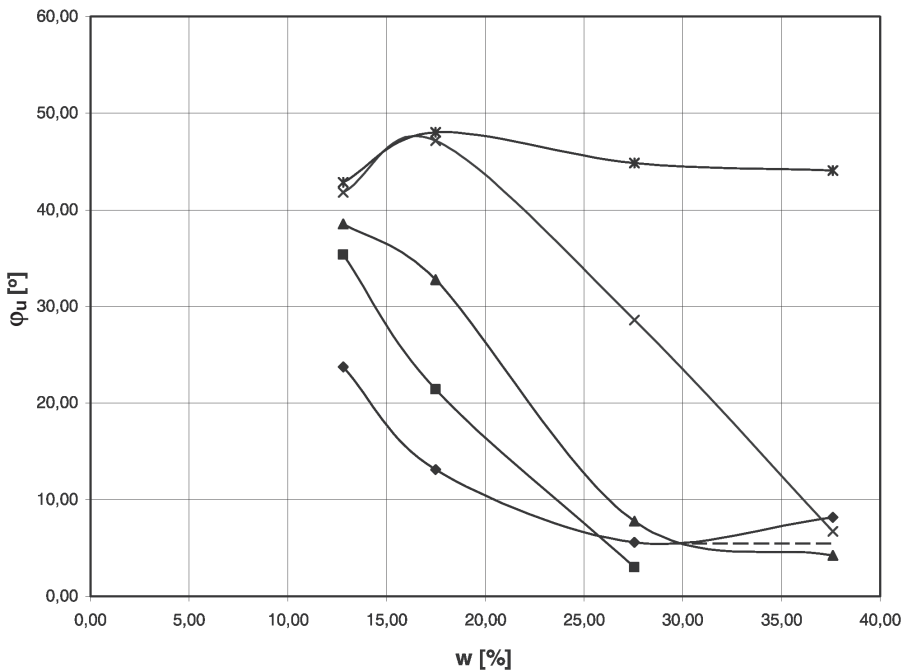
Do obliczeń parametrów wytrzymałościowych τ_{fi} i σ_i wykorzystano wzory zawarte w normie [12]. Otrzymane wartości τ_{fi} i σ_i pozwoliły sporządzić wykresy zależności $\tau_{fi} = f(\sigma_i)$ dla próbek o różnym składzie i zadanych wilgotnościach. Przykładowy wykres zależności wytrzymałości na ścinanie τ_f od naprężeń normalnych σ dla próbek o wilgotności $w = 37,60\%$ przedstawiono na rysunku 3. Dla próbki II przy wilgotności ilu $w = 37,60\%$ nie wykonano badań. Przy pozostałych trzech wilgotnościach wartości φ_u i c_u przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys.3. Zależność wytrzymałości na ścinanie τ_f od naprężeń normalnych σ , wilgotność ilu $w = 37,60\%$

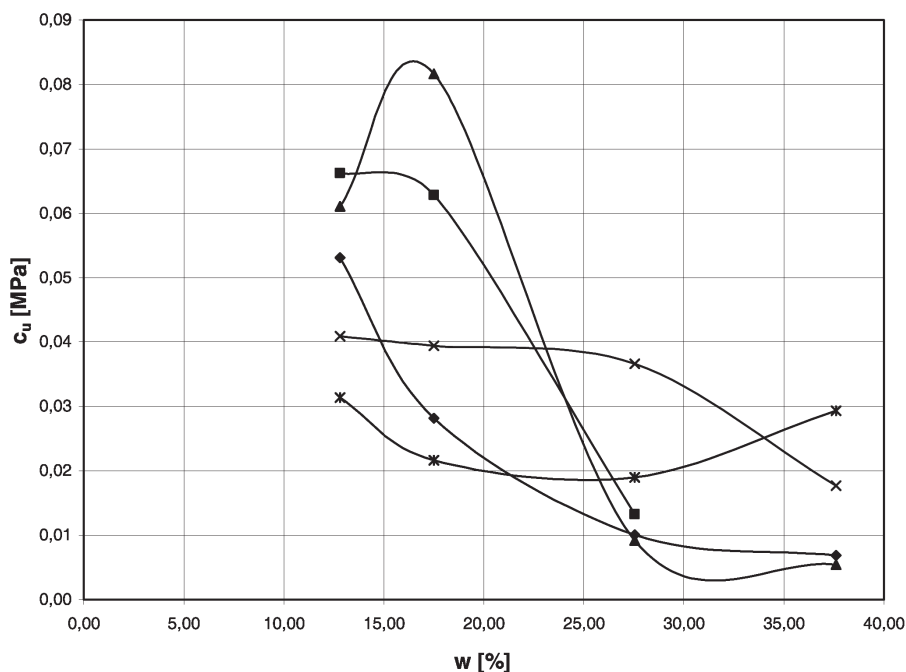
Fig.3. Relationship between shear strength τ_f and normal stresses σ for clay humidity $w = 37,60\%$

Rodzaj próbki		
Linia	Nazwa	% zawartość frakcji
◆	Próbka I	100% iltu, 0% żwiru
■	Próbka II	85% iltu, 15% żwiru
▲	Próbka III	70% iltu, 30% żwiru
✕	Próbka IV	40% iltu, 60% żwiru
✱	Próbka V	15% iltu, 85% żwiru



Rys.4. Zależność kąta tarcia wewnętrznego φ_u od wilgotności iltu w dla badanych próbek
 Fig.4. Relationship between internal friction angle φ_u and clay humidity w for tested samples

Wytrzymałość próbek na ścinanie rośnie wraz ze wzrostem naprężeń pionowych i zawartością ziaren żwiru. Przy zawartości żwiru do 60 % i wilgotności iltu 37,60 % wytrzymałość próbek jest zbliżona. Kilkakrotny wzrost wytrzymałości wystąpił dopiero przy zawartości żwiru 85 ÷ 100 %. Zależność kąta tarcia wewnętrznego φ_u i spójności c_u od wilgotności iltu dla próbek o różnej zawartości iltu pokazano na rysunkach 4. i 5.



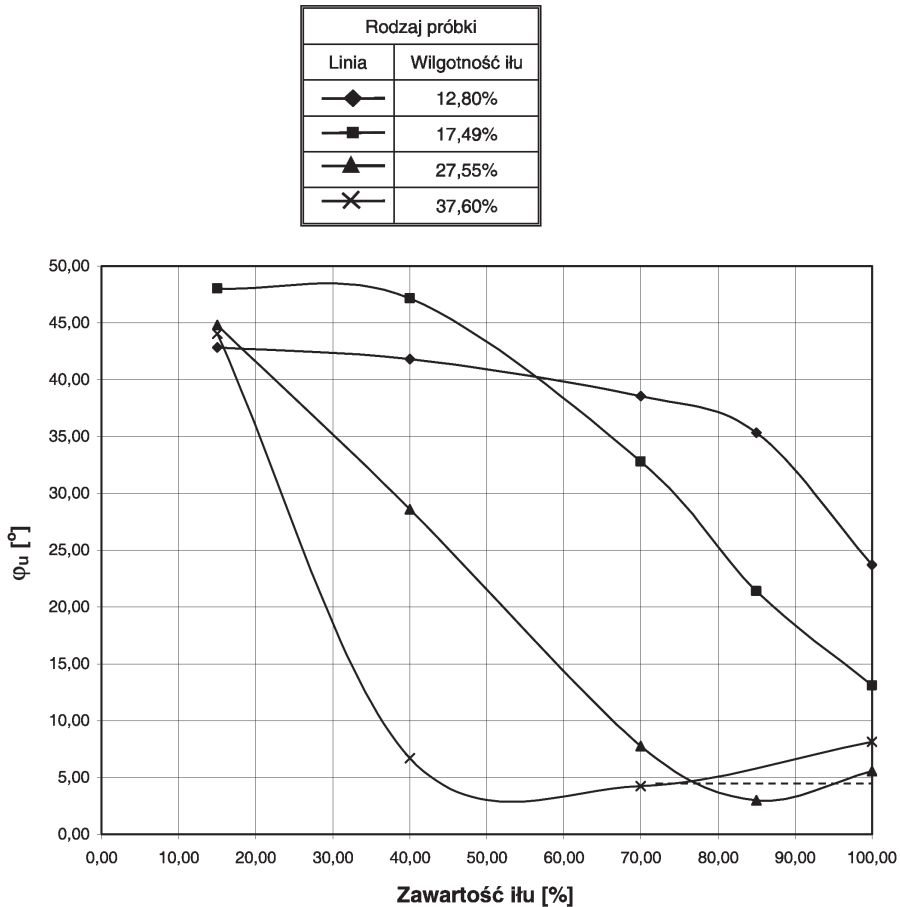
Rys.5. Zależność spójności c_u od wilgotności iltu w dla próbek o różnej zawartości iltu (opis jak dla rys. 4)

Fig.5. Relationship between cohesion c_u and clay humidity w for samples of different clay content (the legend as in fig. 4)

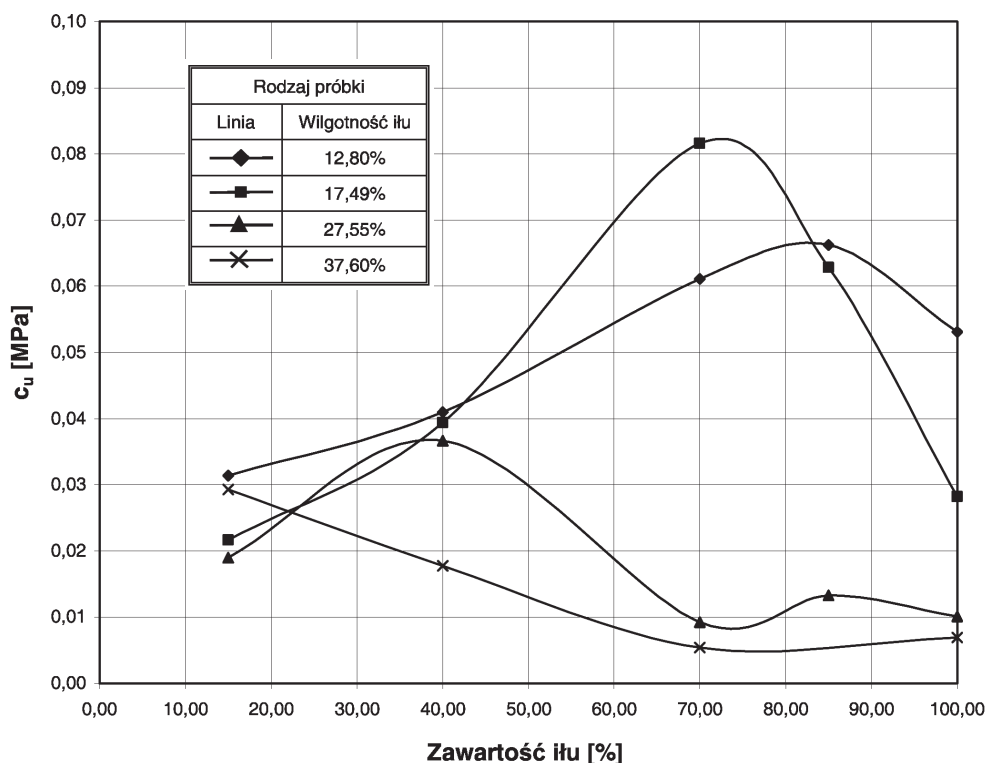
Największe wartości kąta tarcia wewnętrznego posiada próbka V, zaś najmniejsze próbka I w przypadku próbek o wilgotności iltu $w = 12,80\%$ i $w = 17,49\%$. Dla próbek o wilgotności iltu $w = 27,55\%$ największą wartość kąta tarcia wewnętrznego posiada próbka V, zaś najmniejszą próbka II. Dla próbek o wilgotności iltu $w = 37,60\%$ największą wartość kąta φ_u posiada również próbka V, jednak najmniejszą próbka III. Na podstawie otrzymanych wykresów można wyciągnąć bardzo ogólny wniosek: wraz ze wzrostem wilgotności iltu w próbkach kąt tarcia wewnętrznego maleje.

W przypadku próbek o wilgotności iltu $w = 12,80\%$ największą wartość spójności posiada próbka II, zaś najmniejszą próbka V. Dla próbek o wilgotności iltu $w = 17,49\%$ największą wartość c_u ma próbka III, natomiast najmniejszą również próbka V. Dla próbek o wilgotności $w = 27,55\%$ największą wartość spójności posiada próbka IV, a najmniejszą próbka III. Dla próbek o wilgotności iltu $w = 37,60\%$ największą wartość spójności c_u posiada próbka V, zaś najmniejszą próbka III.

Wilgotność iltu zawartego w próbkach ma znaczący wpływ na ich spójność. Dla próbek II, III i IV zależność tą potwierdzają wykresy, natomiast dla próbki III spójność początkowo rośnie (dla próbki o wilgotności iltu $w = 17,49\%$), po czym również maleje. W przypadku próbki V spójność maleje (dla próbek o wilgotności do $w = 27,55\%$), a następnie po przekroczeniu $w = 27,55\%$ – rośnie. Zmianę wartości kąta tarcia wewnętrznego φ_u i spójności c_u w próbkach o różnej zawartości iltu obrazują rysunki 6 i 7.



Rys.6. Zależność kąta tarcia wewnętrznego φ_u od zawartości iltu w badanych próbkach
Fig.6. Relationship between internal friction angle φ_u and clay content in tested samples

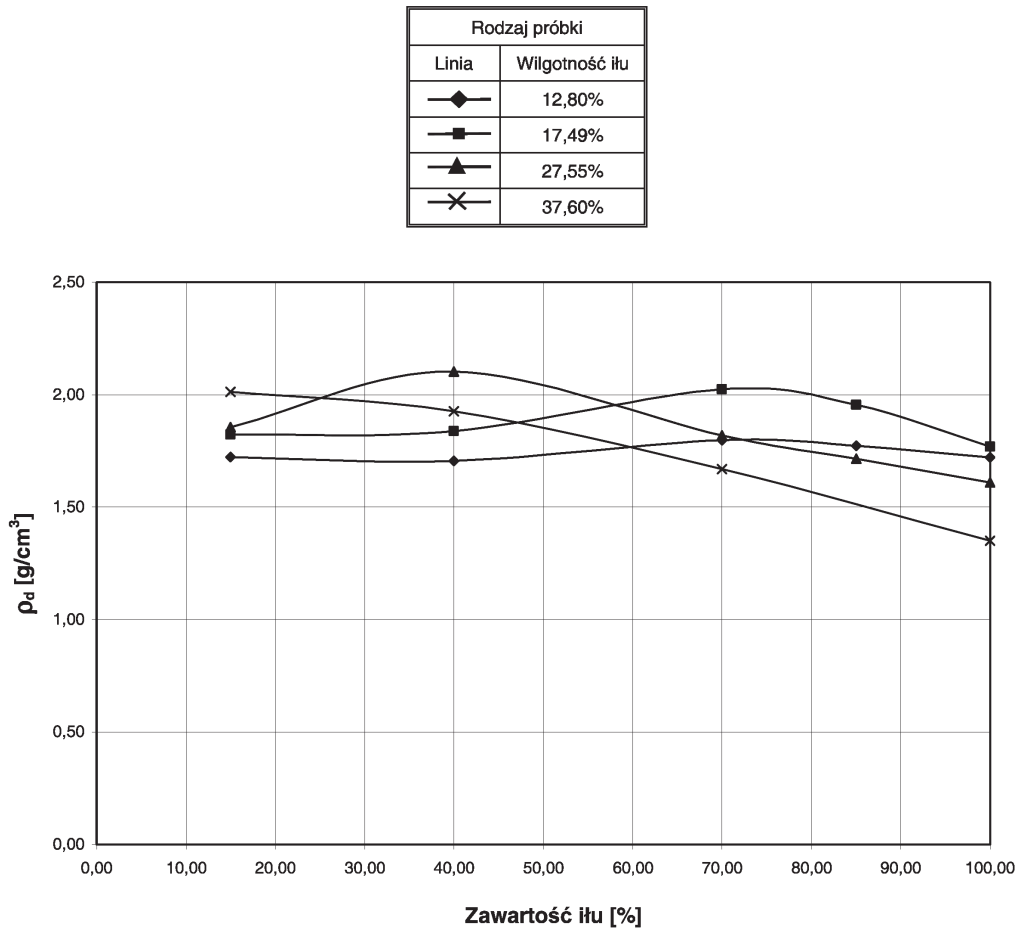


Rys.7. Zależność spójności c_u od zawartości iltu w badanych próbkach
 Fig.7. Relationship between cohesion c_u and clay content in tested samples

Dla próbek o zawartości iltu 15 % największy kąt tarcia wewnętrzny posiada próbka o wilgotności iltu $w = 17,49\%$, natomiast najmniejszy próbka o wilgotności iltu $w = 12,80\%$. Próbki o zawartości iltu 40 % mają największą wartość φ_u dla wilgotności iltu $w = 17,49\%$, zaś najmniejszą dla $w = 37,60\%$. Dla próbek o 70 % zawartości iltu największym kątem φ_u charakteryzują się próbki o $w = 12,80\%$, a najmniejszym próbki o $w = 37,60\%$. Największy kąt tarcia wewnętrzny dla wilgotności iltu $w = 12,80\%$ mają próbki o 85 % zawartości iltu, najmniejszy próbki o $w = 27,55\%$.

Dla próbek o zawartości iltu 15 % największą spójność posiada próbka o wilgotności iltu $w = 12,80\%$, natomiast najmniejszą próbka o wilgotności iltu $w = 27,55\%$. Próbki o zawartości iltu 40 % mają największą wartość c_u dla wilgotności iltu $w = 12,80\%$, zaś najmniejszą dla $w = 37,60\%$. Dla próbek o zawartości 70 % iltu największą spójnością charakteryzują się próbki o $w = 17,49\%$, a najmniejszą o $w = 37,60\%$. Próbki o 85 % zawartości iltu mają największą spójność dla wilgotności iltu $w = 12,80\%$, najmniejszą dla $w = 37,60\%$.

Zależność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_d od zawartości iltu w badanych próbkach przedstawia rysunku 8.

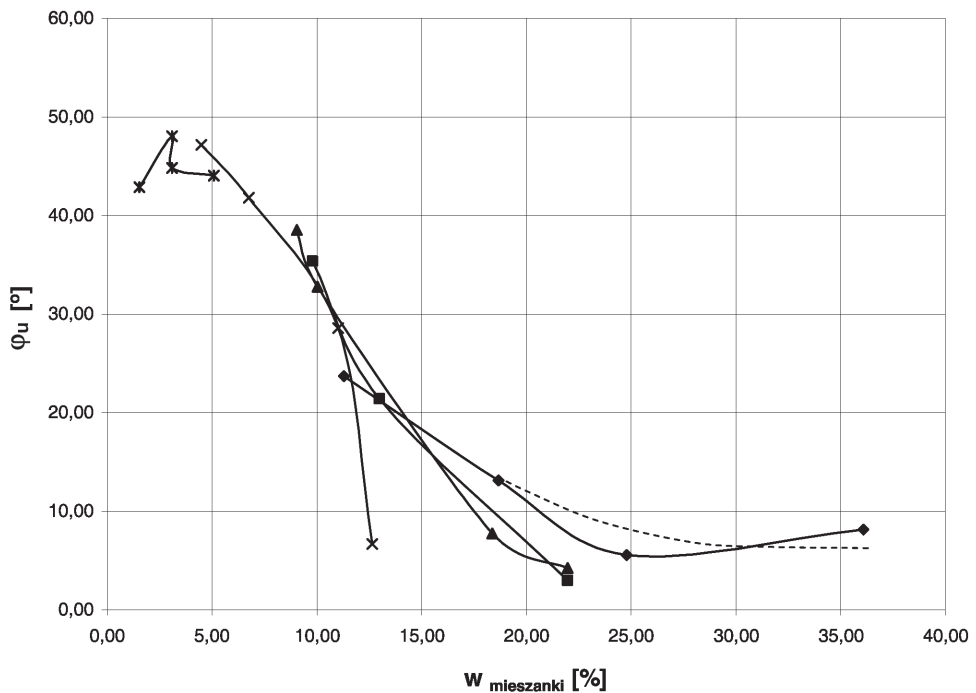


Rys.8. Zależność gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_d od zawartości iltu
Fig.8. Relationship between soil dry density ρ_d and clay content

Największą wartość gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_d posiada próbka IV (40 % iltu, 60 % żwiru) o wilgotności iltu $w = 27,55$ %. Największa wartość ρ_d dla wilgotności iltu $w = 12,80$ % ma próbka III, dla $w = 17,49$ % próbka III, zaś dla $w = 37,60$ % próbka V. Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_d zależy od % zawartości iltu oraz od wilgotności.

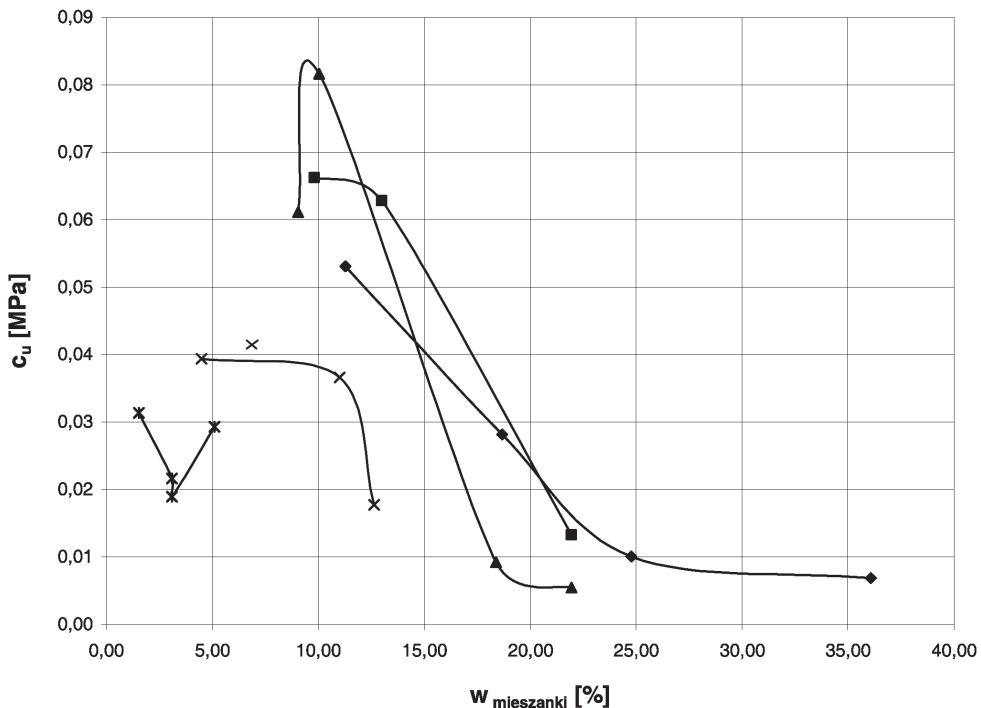
Rysunki 9 i 10 przedstawiają wykresy zależności kąta tarcia wewnętrznego φ_u oraz spójności c_u w zależności od wilgotności mieszanki dla próbek o różnej zawartości iltu.

Kąt tarcia wewnętrznego maleje wraz z wilgotnością mieszanki. Największą wartość φ_u uzyskano dla próbek o największej zawartości żwiru (próbki IV i V) i stosunkowo niewielkiej wilgotności mieszanki. Spójność c_u maleje wraz ze wzrostem wilgotności mieszanki. Największą wartość c_u odnotowano dla próbki III przy wilgotności mieszanki równej ok. 10 %.



Rys.9. Zależność kąta tarcia wewnętrznego φ_u od wilgotności mieszanki $w_{mieszanki}$ dla próbek o różnej zawartości iltu (opis jak dla rys. 4)

Fig.9. Relationship between internal friction angle φ_u and humidity $w_{mieszanki}$ of soil mixture in samples of different clay content (the legend as in fig. 4)

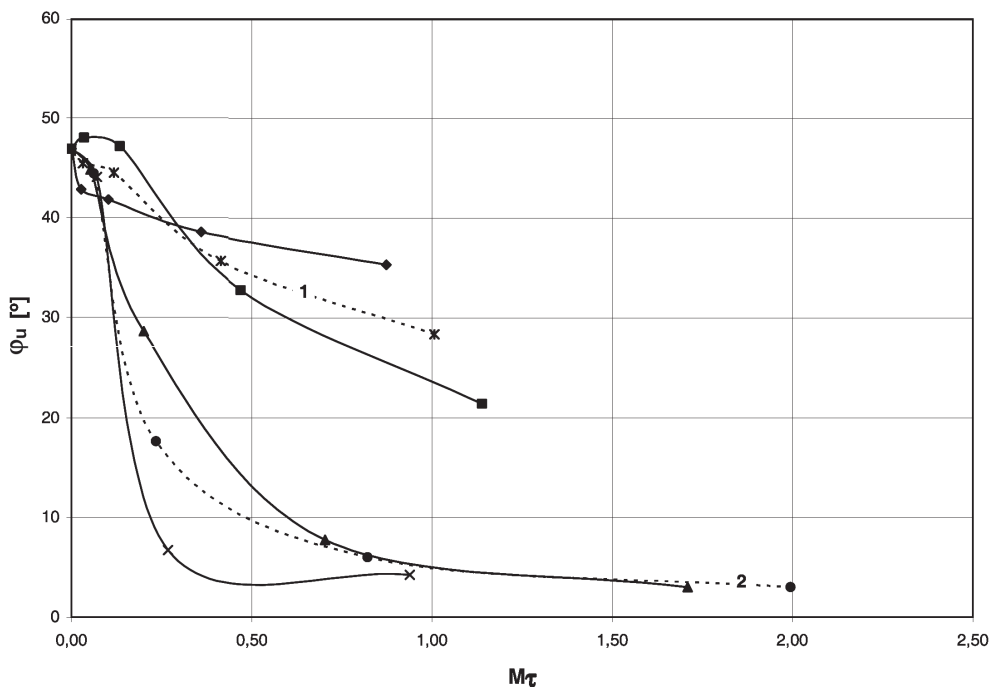


Rys.10. Zależność spójności c_u od wilgotności mieszanki $w_{mieszanki}$ dla próbek o różnej zawartości łu (opis jak dla rys. 4)

Fig.10. Relationship between cohesion c_u and humidity $w_{mieszanki}$ of soil mixture in samples of different clay content (the legend as in fig. 4)

W pracy zweryfikowano w drodze obliczeń wzory (1 - 5). Na podstawie otrzymanych wyników i wykresów stwierdzono, że ww. wzory nie dają wiarygodnych wyników [11]. Wartości kątów tarcia wewnętrznego φ_u obliczone wg wzorów (2) i (4) są bardzo rozbieżne, w porównaniu z wynikami uzyskanymi z badań. Wartości obliczone i uzyskane z badań różnią się nawet kilkudziesięcioma stopniami. Wartości spójności c_u z badań różnią się od wartości uzyskanych w drodze obliczeń (wg wzorów (3) i (5)) nawet o 100 %.

W celu sprawdzenia wzoru (2) dla badanych próbek obliczono wartości współczynnika M_τ wg wzoru (1). Zależności kąta tarcia wewnętrznego φ_u od współczynnika M_τ pokazano na rysunku 11. Z wykresów wynika, że φ_u maleje ze wzrostem wartości M_τ i zależy od wilgotności łu. Przy wilgotnościach łu $w \leq w_p$ wartość φ_u jest znacznie większa niż przy $w \geq 0,5 (w_p + w_L)$ przy tych samych wartościach M_τ . Potwierdzają to naniesione na rysunku 11 dwie uśrednione krzywe (1 i 2) zależności φ_u od M_τ dla próbek o wilgotności łu do 17,49 % i powyżej 27,55 %.



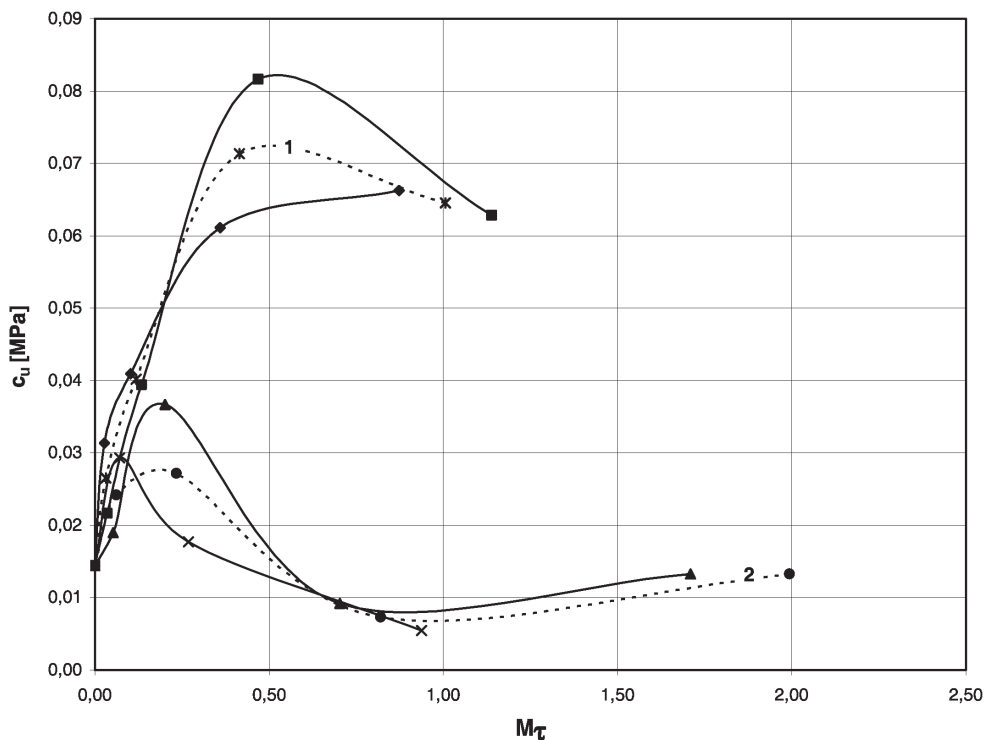
Rys.11. Zależność kąta tarcia wewnętrznego φ_u od współczynnika M_τ (opisy jak dla rys. 6):
 1 - wartości uśrednione dla próbek o wilgotności iłu $w \leq 17,49\%$,
 2 - wartości uśrednione dla próbek o wilgotności iłu $w \geq 27,55\%$

Fig.11. Relationship between internal friction angle φ_u and coefficient M_τ
 (the legend as in fig. 6):

- 1 - average values for samples at clay humidity $w \leq 17,49\%$,
- 2 - average values for samples at clay humidity $w \geq 27,55\%$

Zależność spójności c_u od współczynnika M_τ przedstawiono na rysunku 12. Wartość spójności c_u zwiększa się ze wzrostem współczynnika M_τ do pewnego momentu, po czym wartość c_u gwałtownie spada. Z wykresów wynika, że na wartość spójności ma wpływ nie tylko zawartość poszczególnych frakcji w mieszankach, ale też wilgotność iłu. Największą spójność ma próbka o wilgotności iłu równej 17,49%. Jednak wraz z wilgotnością iłu następuje spadek spójności mieszanek gruntowych. Dla mieszanek o wilgotności iłu do 17,49% wartość spójności jest większa niż w przypadku próbek o wilgotności iłu większej od 27,55% przy tych samych wartościach M_τ .

Przyjęta metoda badań nie pozwoliła na uzyskanie charakterystycznych krzywych $\tau_f(s)$ z badań ścinania mieszanek, gdyż notowano tylko przemieszczenia skrzynki aparatu, przy którym wystąpiła maksymalna siła ścinania. Nie przeprowadzono badań dotyczących powtarzalności uzyskanych wyników.



Rys.12. Zależność spójności c_u od współczynnika M_τ (opisy jak dla rys. 6):

1 - wartości uśrednione dla próbek o wilgotności ilu $w \leq 17,49 \%$,

2 - wartości uśrednione dla próbek o wilgotności ilu $w \geq 27,55 \%$

Fig.12. Relationship between cohesion c_u and coefficient M_τ (the legend as in fig. 6):

1 - average values for samples at clay humidity $w \leq 17,49 \%$,

2 - average values for samples at clay humidity $w \geq 27,55 \%$

4. PODSUMOWANIE

Wytrzymałość na ścianie (parametry φ_u i c_u) zailonych gruntów gruboziarnistych zależą przede wszystkim od genezy, grubości poszczególnych frakcji oraz ich procentowej zawartości, stopnia obtoczenia ziaren frakcji grubych, jak również od wilgotności gruntu.

Ze względu na brak w polskich normach danych na temat właściwości zailonych gruntów gruboziarnistych należy przed przystąpieniem do realizacji inwestycji budowlanej przeprowadzić badania laboratoryjne. Badania cech mechanicznych takich gruntów przeprowadza się w aparatach wielkowskalarowych, co ze względu na niewielką ilość tego sprzętu w kraju, powoduje liczne problemy.

Niniejsza praca miała na celu określenie parametrów wytrzymałościowych (φ_u i c_u) zagęszczonych i zailonych gruntów gruboziarnistych w zakresie frakcji grubej $d < 5$ mm. Badania wykonano przy użyciu standardowej aparatury. Do obliczeń φ_u i c_u wykorzystano wzory zawarte w [12].

W drodze obliczeń sprawdzono wzory (1 - 5) przedstawione w literaturze rosyjskiej [1 - 3]. Otrzymane wyniki badań oraz wykresy pokazały, że wzory te nie mogą być bezkrytycznie zastosowane w praktyce do zagęszczanych i zailonych gruntów gruboziarnistych, gdyż wartości kąta tarcia wewnętrznego φ_u i spójności c_u mogą znacznie odbiegać od wartości rzeczywistych.

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i ich analizy sformułowano następujące wnioski:

- Kąt tarcia wewnętrznego φ_u rośnie wraz z zawartością frakcji grubej w próbkach, a maleje wraz ze wzrostem wilgotności iłu; największą wartość $\varphi_u = 48,03^\circ$ uzyskano przy wilgotności iłu $w = 17,49\%$ dla próbki V (15 % iłu, 85 % żwiru).
- Wartości kątów φ_u obliczone wg wzoru (2) i (4) różnią się znacznie od wartości uzyskanych z badań, nawet o kilkadziesiąt stopni.
- Wartości kąta tarcia wewnętrznego, obliczone wg wzoru (2) są dużo mniejsze w porównaniu z wartościami obliczonymi wg wzoru (4).
- Na spójność c_u gruntu wpływa zawartość poszczególnych frakcji, jak również wilgotność gruntu spoistego; spójność maleje wraz z większą zawartością frakcji żwirowej i większą wilgotnością.
- Wartości spójności obliczone wg wzorów (3) i (5) znacznie różnią się od wartości rzeczywistych (nawet o 100 %); wzorów tych nie należy stosować w praktyce do zagęszczanych i zailonych gruntów gruboziarnistych.
- Największą spójność $c_u = 0,0816$ MPa uzyskano dla próbki III (70 % iłu, 30 % żwiru) o wilgotności iłu $w = 17,49\%$.
- Największą gęstością objętościową ρ oraz największą gęstością objętościową szkieletu gruntowego ρ_d charakteryzuje się próbka IV (40 % iłu, 60 % żwiru) o wilgotności iłu $w = 27,55\%$. Najmniejsze wartości tych parametrów posiada próbka VI (0 % iłu, 100 % żwiru). Wszystkie wymienione wartości maleją wraz ze wzrostem zawartości frakcji żwirowej w próbkach. Na badane parametry znaczący wpływ ma wilgotność iłu, zawartego w badanych próbkach.

Zagadnieniu parametrów wytrzymałościowych zailonych gruntów gruboziarnistych należałoby poświęcić dużo więcej uwagi i wykonać badania dla różnych mieszanek i przy różnym zagęszczeniu. Przedstawione w pracy wyniki, otrzymano na podstawie badań w aparacie standardowym, mieszanek gruntowych ilasto-żwirowych o wielkości grubych ziaren $d = 2 \div 5$ mm i zagęszczaniu standardowym wg Proctora.

W oparciu o zaprezentowane w artykule wyniki powinno się przeprowadzić badania w aparatach wielkogabarytowych [14, 17 - 18] dla próbek zailonych (zaglinionych) gruntów gruboziarnistych o wielkości frakcji grubej $d > 5$ mm. W celu ustalania miarodajnych danych, odnośnie parametrów φ_u i c_u zailonych gruntów gruboziarnistych, należy wykonywać badania w odpowiednich aparatach wielkogabarytowych przystosowanych do badań gruntów gruboziarnistych i kamienistych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Fiedorow W.I., Siergiewnina W.W.*: Wlijanie zapońnitelja na procznostnyje charakteristiki szczebienisto-glinistych gruntow. Osnowanija, fundamienty i mechanika gruntow nr 6/1973, 13-15
- [2] *Fiedorow W.I.*: Mietodika ocienki procznosti i szimajemosti obłomoczno-glinistych gruntow. Osnowanija, fundamienty i mechanika gruntow nr 3/1984, 18-21
- [3] *Sidorow N.N., Sipidin W.P.*: Sowriemiennyje metody opriedielenia miechaniczeskich swojstw gruntow. Leningrad 1972
- [4] *Łuczak-Wilamowska B.*: Wytrzymałość na ścinanie mieszanek gruntowych: ił – piasek. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Budownictwo, zeszyt 28, tom 1, 201-211
- [5] *Pisarczyk S.*: Wpływ frakcji drobnych na cechy mechaniczne zaglinionych gruntów żwirowo-kamienistych. Prace naukowe – Inżynieria środowiska., z. 50, OW PW, Warszawa 2007, 5-16
- [6] *Wasiliewa A.A., Tkaczienko G.L., Liebiedziew W.L.*: Issliedowanije procznostnych swojstw grawijnych gruntow z glinistym zapońniteljem. Osnowanija, fundamienty i mechanika gruntow nr 4/1979, 16-17
- [7] *Floss R.*: Verdichtungs - und Verformungseigensekaften grobkörniger, bindiger Mischöden. Strasse und Autobahn nr 1/1968, 8-13
- [8] *Ostermayer H.*: Die zusammendrückbarkeit gemischtkörniger böden. Bauingenieur nr 52/1977, 269-276
- [9] DIN 1054. Baugrund. Zulässige Belastung des Baugrundes (Nov. 1969)
- [10] *Marsal R.J., Fuentes de la Rosa A.*: Mechanical properties of Rockfill soil mixtures. Douzieme Congres des Grands Barrages Mexico, 1976, 179-207
- [11] *Mierzejewska M.*: Badania właściwości mechanicznych zaglinionych gruntów gruboziarnistych stosownych w nasypach budowlanych, Praca magisterska, Wydział Inżynierii Środowiska PW, Warszawa 2008
- [12] PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
- [13] PN-86/B-02480 Grunty budowlane. Określenie, symbole, podział i opis gruntów
- [14] *Pisarczyk S.*: Gruntoznawstwo inżynierskie. WN PWN, Warszawa 2001

- [15] *Pisarczyk S., Obrycki M.*: Zbiór zadań z mechaniki gruntów. OW PW, Warszawa 2007
- [16] *Pisarczyk S.*: Mechanika gruntów. OW PW, Warszawa 1999
- [17] *Pisarczyk S., Rymśa B.*: Badania laboratoryjne i polowe gruntów. OW PW, Warszawa 1993
- [18] *Pisarczyk S.*: Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. OW PW, Warszawa 2004

INVESTIGATION OF SHEAR STRENGTH OF CLAY-GRAVEL, COARSE-GRAINED SOILS

Abstract

The reported investigation aims at systematizing the knowledge concerning the strength parameters (φ_u and c_u) of clay-gravel and coarse-grained soils. The paper includes the description and results of laboratory tests of internal friction angle φ_u and cohesion c_u of clay-gravel soil mixtures, compacted by standard energy of Proctor method and sheared using the shear box test. The research was carried out using properly prepared mixes of various humidity of loam and segregated fluvial gravel (the grains size $d < 5$ mm). The strength formulas presented earlier in Russian papers were verified by calculations.