

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

KATEDRA GEOTECHNIKI

Mgr inż. Stanisław Pisarczyk

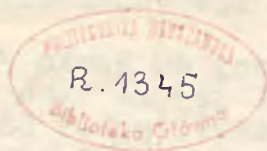
CECHY FIZYKO-MECHANICZNE GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH

NIEKTÓRYCH DOLIN RZEK GÓRSKICH

Praca doktorska

Promotor: prof. Zenon Wiłun

Warszawa 1970 r



O p i n i a

o rozprawie doktorskiej mgra inż. Stanisława PISARCZYKA pt:
Cechy fizyko-mechaniczne gruntów gruboziarnistych niektórych
dolin rzek górskich

promotor: prof. Zenon Wiłun

Podstawa: zlecenie Dziekana Wydziału Inż.Sah. i Wodn. Politechniki
Warszawskiej z dnia 19.IX.1970 /otrzymane dnia 15.X.70/.

1. Praca obejmuje 193 str. tekstu, 11 str. spisu literatury /100 pozycji/ ponadto teczkę rysunków i wykresów i zawiera:

- a/ opracowane przez autora opisy aparatów wielkowymiarowych jego pomysłu dla badania gruntów gruboziarnistych: badanie zagęszczałości - rozdz. 5, badanie wytrzymałości na ścinanie - rozdział 8, badanie ściśliwości - rozdz. 9 i badanie wodoprzepuszczalności - rozdz. 10.
- b/ opracowaną przez autora metodykę badań, na jego aparatach i kontrolę porównawczą badań wykonanych w laboratorium za pomocą jego aparatów a badań in situ /odpowiednio, rozdziały 6,8,9,10/
- c/ badania zagęszczałości, jako najważniejszego czynnika decydującego o właściwym wykonaniu zapór ziemnych, przy stosowaniu różnych narzędzi i maszyn zagęszczających /rozd.7/,
- d/ Ogólne podsumowanie badań z szeregiem wartości statystycznych obrazujących poszczególne własności gruntów gruboziarnistych i wnioski dotyczące badania tych gruntów dla potrzeb budownictwa wodnego, w szczególności budowy zapór.

Jest to jedna z tych wzorcowych rozpraw doktorskich w naukach technicznych, w której harmonijnie połączono poszukiwania natury podstawowej z potrzebami i zastosowaniami w praktyce. Rozprawy takie mogą powstawać w wyniku współdziałania dwu czynników: a/ gdy promotorem ich jest wybitny znawca przedmiotu, a równocześnie czynny inżynier, ściśle związany z działalnością praktyczną, b/ gdy wykonawca pracy może sobie pozwolić na dogłębne studiowanie wszystkich poruszanych w niej zagadnień, i to studiowanie nie tylko w laboratorium, ale i w polu, na budowie, nie obawiając się "rotacji" i nie pracując "na akord". Niestety, niewiele prac tego typu powstaje na naszych uczelniach technicznych. Niemalą winę ponoszą tutaj sławne końskie okulary w postaci biurokratycznego wprowadzenia skądinąd słusznej zasady jednoetatowości. Tymczasem w naukach technicznych, będących z natury swej naukami stosowanymi, nie wolno zapominać o potrzebach praktyki, ta tylko bowiem jest tutaj miarą postępu.

I jest to już trzecia praca doktorska tego typu, której promotorem jest prof. Wiłun /poprzednie dwie miałem również przyjemność recenzować/. Chciałoby się pozazdrościć Mu doktorantów!

2. O wadach pracy niewiele mogę powiedzieć. Chyba dwa tylko terminologiczne zarzuty, powstałe nie tyle z winy autora rozprawy, co z winy środowiska, pozwolę sobie tutaj wymienić. Pierwszy - "grunty gruboklastyczne". W tytule autor poprawnie użył nazwy "grunty gruboziarniste". Jednak już na str.2 pojawia się nazwa: "grunty gruboklastyczne"; nazwa ta występuje w tytułach rozdz. 3 i 4, ale już w tytule rozdz.5 i dalej - są grunty "gruboziarniste", jednak "gruboklastyczne" występują znów na str.86, potem - "gruboziarniste" na str. 96 potem "gruboklastyczne" na str. 106 i tak dalej. POCO ten melanż?

Drugi zarzut - "nadziarno". Z początku autor mówi o "frakcji grubej" /str.6, drugi ustęp od góry/, potem jednak na str. 41 pojawia się

termin ze słownika warszawskich pseudomurarzy z BOSu "nadziarno" a potem znowu melanż.

Wydaje się że przed oddaniem pracy do druku / a sędzę, że jest to konieczne/, należy oczyścić styl jej od tych i podobnych /np. "wykształcić" zam. ukształtować", str.12 w.6-5 od dołu/ zanieczyszczeń językowych.

3. Zalety pracy. Tutaj trzeba by właściwie wymienić całą pracę, "jak leci". Do podstawowych jej zalet należą:

- drobiazgowość, dokładność i wyczerpujące ujęcie każdego poruszonego tematu
- pomysłowość i wytrwałość w opracowaniu, budowie i wypróbowaniu każdego z proponowanych przez autora aparatów, stanowiących właściwie pełne wyposażenie laboratorium dla gruntów gruboziarnistych
- dokładne opisy metodyki badania, przebiegu i wyników, i wreszcie
- wyniki badań, ich systematyczny i przejrzysty układ.

4. Osiągnięcia autora. Jako pierwsze podkreślić należy fakt, że praca jest właściwie pełną monografią badania gruntów gruboziarnistych dla celów geotechnicznych, powstała w wyniku krytycznej znajomości wszelkich dostępnych pozycji literatury, znajomości wymagań praktycznych, jakie gruntem tym się stawia i znajomości samych tych gruntów. Powstała ona w wyniku wieloletniej pracy, jest solidnie podbudowana faktami i liczbami i służyć może odrazu jako gotowy podręcznik dla projektanta i dla wykonawcy zapór ziemnych, a równocześnie cenna pomoc dla następnym badaczom.

Następnie, autor wykazał niewłaściwość szeregu stosowanych na świecie /także i u nas/ metod badań i ich interpretacji, od sposobu pobierania prób aż do samej idei takiego czy innego badania, jak np. badanie w aparacie skrzynkowym ścinania, nawet przy ruchomych ramach, str. 138/. Wszystkie te wyniki stanowią cenny własny wkład autora do rozwoju badań geotechnicznych wogóle, a badań bad gruntemi gruboziarnistymi w szczególności. Autor wspaniale wyczuł nowoczesne tendencje do wprowadzenia aparatów wielkowymiarowych, i z powodzeniem tendencje te zrealizował.

Wreszcie w wyniku wyczerpujących badań udało się autorowi uzyskać dużo danych statystycznych dla gruntów gruboziarnistych. Jest to ogromna, ale też niezwykle cenna dla praktyki własność pracy: orientacyjne dane o różnych gruntach, których w literaturze naszej bodaj prawie zupełnie brak. Dane te wypełniają lukę w znajomości gruntów gruboziarnistych, która to luka istnieje nie tylko u nas w kraju. To zestawienie zalet pracy zmusiło mnie do przyznania oka na jej jedną wadę: na obszerność. Wadę tę w znacznym jednak stopniu niweluje i obszerność tematu i dobre piśmarstwo autora.

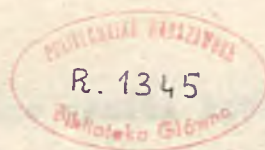
Taka praca wg mego zdania powinna być wnioskowana do wysokiej nagrody.

5. Konkluzja. W wyniku powyższego stwierdzam, że:

- kandydat doskonale określił cel i zakres swej pracy, i choć bardzo obszerny, zakres ten w pełni wykonał,
- przedstawione w pracy materiały wskazują niedwuznacznie, że jej autor wykonał postawione sobie zadanie samodzielnie, z dużą inwencją i inicjatywą, osiągając pełny sukces w swych zamierzeniach
- autor bez wątplenia wykazał w pracy wysoki stopień znajomości literatury zagadnienia i krytyczne względem niej stanowisko, a wyniki pracy świadczą o głębokiej wiedzy autora w rozważanej dziedzinie geotechniki.

Na tej podstawie uważam, że praca w myśl obowiązujących dziś norm prawnych uznana być powinna jako rozprawa doktorska, i że należy dopuścić ją do publicznej dyskusji. Stanowi ona podstawę do ubiegania się S.Pisarczyka o stopień doktora nauk technicznych.

I.Kisiel



Recenzja pracy doktorskiej

mgr.inż.Stanisława Pisarczyka p.t. "Cechy fizyko -
mechaniczne gruntów gruboziarnistych niektórych
dolin rzek górskich " .

1. Wstęp.

Recenzje wykonane na zlecenie Rektora Politechniki
Warszawskiej z dnia 20 lipca 1970r

2. Recenzja pracy.

Recenzowana praca doktorska mgr.inż.Stanisława
Pisarczyka , pracownika naukowo-dydaktycznego Politechniki
Warszawskiej , obejmuje 211 strony maszynopisu w tym 11
stron stanowi wykaz literatury oraz 155 wykresów i foto-
grafii.

Praca została wykonana w h.Katedrze Geotechniki Poli-
techniki Warszawskiej w ramach badań prowadzonych na zle-
cenie Instytutu Gospodarki Wodnej.

Celem pracy było określenie niektórych parametrów
fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych występują-
cych w dolinie Dunajca i innych rzek górskich .
Dodatkowym celem pracy było opracowanie metodyki badań
cech geotechnicznych w/w gruntów .

Tematycznie praca jest niezmiernie istotna z punktu
widzenia potrzeb projektowych i wykonawczych korpusów
zapór ziemno-narzutowych projektowanych w dorzeczu Dunajca.

Tamże a uzyskane wyniki będą mogły być wykorzystane bezpośrednio przez biura projektowe i wykonawców.

Praca została wykonana w oparciu o szczegółowe badania terenowe /rozpoznanie geologiczno-petrograficzne, badania w złożu, na poligonie doświadczalnym oraz na terenie budowy zapory w Wiśle-Czarne /, laboratoryjne oraz w prototypowych w Polsce aparatach wielkowieściowych zastosowanych do badań zagęszczalności, wytrzymałości na ścinanie, modułów ściśliwości, filtracji gruntów gruboziarnistych.

Szczególnie te ostatnie badania wymagały od autora pracy nie tylko inwencji w zakresie konstrukcji prototypów, lecz również w zakresie opracowania właściwej metodyki badań. Rozwiązanie obu powyższych problemów Autor dokonał w sposób wzorowy, popierając uzyskane wyniki badań w aparatach wielkowieściowych szczegółowymi i metodycznie wykonanymi badaniami terenowymi.

Taki sposób przeprowadzenia pracy naukowej rzadko spotykany w pracach doktorskich, wymagał od doktoranta bardzo dużego wkładu pracy, systematyczności w prowadzeniu badań oraz dobrego opanowania informacji dotyczących badanych problemów w dostępnej literaturze.

Również i w tym przypadku Autor wywiązał się z zadania w sposób wykazujący dobrą erudycję, czego dowodem jest obszerny i krytyczny przegląd literatury podawany w poszczególnych rozdziałach pracy.

Recenzjowana praca zawiera 12 rozdziałów, z ~~których~~których rozdziały od 5 do 11 dotyczą metodyki badań i uzyskanych wyników parametrów geotechnicznych badanych gruntów gruboziarnistych.

Za najważniejsze z tych rozdziałów należy uznać rozdziały 5, 6 i 7, w ~~których~~których rozpatrzono zagadnienie zagęszczalności oraz kontroli jakości zagęszczanych gruntów gruboziarnistych.

Wnioski z tych rozdziałów mają znaczenie praktyczne w wykonawstwie zapór ziemno-narzutowych i zostały już wykorzystane na budowie zapory w Wiśle-Czarne.

Również bardzo istotny jest rozdział 8 dotyczący badań wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboziarnistych. Uzyskane przez niego wnioski, aczkolwiek sformułowane ostrożnie przez Autora pracy, będą mogły znaleźć zastosowanie w pracach projektowych przyszłych zapór wykonywanych z badanych gruntów. Szczególnie ważne z punktu widzenia projektanta jest podane w pracy zróżnicowanie wartości kątów tarcia wewnętrznego φ w zależności od miejsca występowania gruntów.

W rozdziale 11 Autor pracy przeanalizował uzyskane wyniki metodami statystycznymi, dążąc do uzyskania uogólnionych cech fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych w zależności od ich składu granulometrycznego.

Opracowanie kończy się 6-ma wnioskami ogólnymi i obszernymi wnioskami szczegółowymi.

Uwagi krytyczne ze strony recenzenta, dotyczą strony redakcyjnej pracy. Mianowicie, przed oddaniem pracy do druku wskazany byłoby:

- uporządkować stosowaną nomenklaturę /Autor stosuje równo-

lagle określenie grunty gruboziarniste i grunty gruboklas-
tyczne/.

- podać na początku pracy indeks stosowanych określeń
- podać zestawienie załączników
- zmniejszyć objętość pracy np. poprzez większe tabelaryzo-
wanie uzyskiwanych różnymi metodami badań wyników posz-
czególnych parametrów geotechnicznych .

3. Wnioski .

Na podstawie powyższej recenzji pracy doktorskiej
mgr.inż.Stanisława Pisarczyka można wyciągnąć następujące
wnioski :

- a. wykonana praca doktorska wykazuje , że Autor posiada odpo-
wiednią wiedzę teoretyczną i umiejętności do samodzielnego
prowadzenia prac naukowych ,
- b. otrzymane w pracy wyniki mają znaczenie praktyczne i wnoszą
nowe wartości naukowe w dziedzinie projektowania i wykonaw-
stwa zapór ziemno - ^{narzutowych} ~~naukowych~~
- c. praca została wykonana w sposób wzorowy i zasługuje na przed-
stawienie jej do nagrody Ministra Oświaty i Szkolnictwa
Wyższego.

Biorąc powyższe pod uwagę , stwierdzam, że praca spełnia
wymagania stawiane pracom doktorskim w odpowiednich rozporzą-
dzeniach Ministra Oświaty i Szkolnictwa Wyższego.

Stawiam wniosek o dopuszczenie mgr.inż.Stanisława
Pisarczyka do publicznej obrony wykonanej pracy doktorskiej.

.....
Prof.dr hab.Zbigniew J.Grabowski

Panu Profesorowi Zenonowi Wiłunowi
składam serdeczne podziękowanie za trud włożony
w kierowanie niniejszą pracą oraz za okazaną
mi życzliwość i pomoc.

Składam również podziękowanie Pracownikom
Katedry Geotechniki, którzy pomogli mi w reali-
zowaniu niniejszej pracy.

Cechy fizyko-mechaniczne gruntów gruboziarnistych
niektórych dolin rzek górskich

Spis treści

	str.
1. Wstęp	1
2. Wstępny przegląd literatury dotyczącej badań cech fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych oraz ustalenie głównych zagadnień pracy	4
3. Geologiczno-inżynierska charakterystyka gruntów gruboklastycznych występujących na badanych obszarach	10
3.1. Wstęp	10
3.2. Charakterystyka gruntów gruboklastycznych występujących w dolinie Dunajca, Soły i Białej Wisełki	11
3.2.1. Krótki opis budowy geologicznej starszego podłoża obszaru objętego badaniami	11
3.2.2. Związek utworów młodszej pokrywy z podłożem	13
3.2.3. Geomorfologiczne formy występowania utworów aluwialnych	14
3.2.4. Skład granulometryczny i litologiczny gruntów gruboklastycznych	15
3.2.4.1. Skład granulometryczny i litologiczny gruntów gruboklastycznych z doliny Dunajca	16
3.2.4.2. Skład granulometryczny i litologiczny gruntów gruboklastycznych w rejonie zbiornika Tresna na rzece Sole	19
3.2.4.3. Skład granulometryczny i litologiczny gruntów gruboklastycznych w dolinie Białej Wisełki	20
3.3. Charakterystyka gruntów gruboklastycznych w rejonie zbiornika w Głębinowie na Nysie Kłodzkiej	23
4. Ogólna charakterystyka prób gruntów gruboklastycznych badanych w aparatach wielkowymiarowych	24
4.1. Badane złoża gruntów gruboklastycznych	24
4.2. Badanie uziarnienia gruntów gruboklastycznych	25

	str.
4.2.1. Przegląd literatury	25
4.2.2. Opis zastosowanej metody	27
4.3. Badanie składu litologicznego	30
4.3.1. Wstęp	30
4.3.2. Opis badań składu litologicznego	30
4.4. Badanie kształtu ziarn	31
4.5. Badanie stopnia obtoczenia	34
4.6. Badania ciężarów objętościowych, nasiąkliwości i ciężarów właściwych niektórych skał wchodzących w skład badanych gruntów gruboziarnistych	35
5. Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym typu Proctora	38
5.1. Przegląd literatury	38
5.2. Badania zagęszczalności gruntu w aparacie wielko- wymiarowym	42
5.2.1. Opis aparatu	42
5.2.2. Opis metod badań zagęszczalności w aparacie wielkowymiarowym	43
5.2.2.1. Metoda normalna	43
5.2.2.2. Metoda zmodyfikowana	44
5.2.2.3. Zagęszczanie gruntu według energii wtórnej $1/2$ energii normalnej	44
5.2.2.4. Zagęszczanie się gruntu luzem nasypanego	44
5.2.3. Badania zagęszczalności w wielkowymiarowym aparacie gruntów gruboziarnistych o różnym uziarnieniu i składzie litologicznym	46
5.2.3.1. Cel badań	46
5.2.3.2. Wyniki badań	46
5.2.3.3. Oszacowanie błędu pomiaru γ_0 w wielkowymia- rowym aparacie Proctora	46
5.2.3.4. Analiza otrzymanych wyników	49
5.2.4. Porównanie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym z wynikami badań zagęszczalności frakcji $\varnothing < 7$ mm w aparacie normowym	51
5.2.5. Badanie wpływu stosunku średnicy cylindra do średnicy maksymalnego ziarna na zagęszczalność gruntów	53

	str.
5.3. Wnioski z badań zagęszczalności	55
6. Badania kontrolne zagęszczenia gruntów gruboklas- tycznych w nasypach	57
6.1. Przegląd literatury	57
6.1.1. Metoda próbnego dołka	57
6.1.2. Metoda izotopowa	60
6.2. Przegląd literatury na temat metod oznaczania wilgotności gruntów gruboziarnistych	61
6.3. Wnioski z przeglądu literatury na temat badań ciężaru objętościowego i wilgotności gruntów gruboziarnistych	64
6.4. Badania własne kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych	64
6.4.1. Badania ciężaru objętościowego	64
6.4.1.1. Opis badań i wyniki badań	64
6.4.1.2. Oszacowanie błędów pomiaru γ_0 gruntów gruboziarnistych	71
6.4.1.3. Wnioski z badań ciężaru objętościowego	76
6.4.2. Badania wilgotności gruntu gruboziarnistego	76
6.4.2.1. Opis badań i wyniki badań	77
6.4.2.2. Wnioski z badań wilgotności	80
7. Próbne badania zagęszczalności gruntów gruboziar- nistych przy użyciu różnych maszyn na poletkach doświadczalnych	82
7.1. Wstęp	82
7.2. Przegląd literatury	82
7.3. Badania własne zagęszczalności gruntów grubo- klastycznych przy pomocy różnych maszyn w warun- kach polowych	86
7.3.1. Cel doświadczeń	86
7.3.2. Zasadnicze czynniki wpływające na efektywność zagęszczania gruntów i ich krótka charaktery- styka	86
7.3.3. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Tresnej	88
7.3.3.1. Charakterystyka gruntu doświadczalnego	88

7.3.3.2.	Ustalenie racjonalnych sposobów zagęszczania gruboklastycznych gruntów fliszowych, używanych do budowy nasypu statycznego zapory w Tresnej	89
7.3.3.3.	Wnioski z przeprowadzonych badań na zaporze w Tresnej	93
7.3.4.	Badania zagęszczalności gruntu na zaporze w Głębinowie	94
7.3.4.1.	Cel badań	94
7.3.4.2.	Opis przeprowadzonych badań	95
7.3.4.3.	Wyniki badań i wnioski	95
7.3.5.	Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych na poligonie w Wiśle-Czarne	96
7.3.5.1.	Ogólna charakterystyka badanych gruntów	96
7.3.5.2.	Próbne zagęszczanie gruntu gruboklastycznego z Wisły-Czarne	97
7.3.5.3.	Usypanie poletka	98
7.3.5.4.	Charakterystyka maszyn zagęszczających i sposób zagęszczania	98
7.3.5.5.	Wyszczególnienie badań kontrolnych	99
7.3.5.6.	Wyniki badań i wnioski z zagęszczalności gruntu "A"	100
7.3.5.7.	Wyniki badań zagęszczalności gruntu "B"	101
7.3.6.	Określenie metodami statystycznymi ilości badań	102
7.3.7.	Wnioski z przeprowadzonych badań	104
8.	Badania wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboziarnistych	106
8.1.	Wstęp	106
8.2.	Przegląd literatury na temat wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboklastycznych	106
8.3.	Wnioski z przedstawionych danych z literatury	116
8.4.	Badania własne wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboziarnistych	116
8.4.1.	Opis aparatu i metody badań	117
8.4.2.	Badania gruntu gruboklastycznego zapory w Tresnej	118

	str.
8.4.3. Badania gruntu gruboziarnistego z doliny Dunajca	120
8.4.3.1. Cel badań	120
8.4.3.2. Wstępne badania	121
8.4.3.3. Badania laboratoryjne żwiru	123
8.4.3.4. Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie w wielkowymiarowym aparacie skrzyńkowym przy zastosowaniu ramek i wkładek z mikrogumy	124
8.4.4. Badania gruntu gruboklastycznego zapory w Wiśle-Czarne	126
8.4.5. Badania gruntu gruboklastycznego zapory w Głębinowie	127
8.4.6. Badanie wpływu składu petrograficznego na wytrzymałość na ścinanie	127
8.4.7. Badanie kąta stoku naturalnego	128
8.4.8. Oszacowanie błędu pomiaru kąta tarcia wewnętrznego	131
8.4.9. Porównanie wyników badań kąta tarcia wewnętrznego gruntów gruboziarnistych z wynikami obliczeń wg wzorów teoretycznych	134
8.5. Wnioski	136
9. Badania ścisłości gruntów gruboziarnistych	139
9.1. Wstęp	139
9.2. Przegląd literatury	139
9.2.1. Aparaty do badań ścisłości gruntów gruboziarnistych	139
9.2.2. Czynniki wpływające na wyniki badań ścisłości gruntów gruboziarnistych	141
9.2.3. Metody wyznaczania parametrów ścisłości	144
9.2.3.1. Moduły ścisłości pierwotnej, wtórnej i odprężenia	144
9.2.3.2. Moduł odkształcenia	144
9.2.3.3. Wyznaczanie modułów podatności i ścisłości na podstawie próbných obciążeń	145
9.3. Badania własne ścisłości gruntów gruboziarnistych w wielkowymiarowym edometrze	146

	str.
9.3.1. Cel badań	146
9.3.2. Opis edometru	147
9.3.3. Opis badań	147
9.3.4. Wyniki badań gruntu z doliny Białej Wisełki	148
9.3.5. Badania wpływu składu litologicznego na ścisłość gruntów gruboziarnistych	148
9.3.6. Badania wpływu zawilgocenia na odkształcenie gruntu	151
9.3.7. Oszacowanie błędu pomiarów modułów ścisłości	151
9.4. Próbne obciążenia gruntów gruboziarnistych	154
9.4.1. Cel badań	154
9.4.2. Metodyka badań	155
9.4.3. Wyniki badań	156
9.4.4. Oszacowanie błędu pomiaru modułów podatności według próbných obciążeń	156
9.5. Analiza wyników badań edometrycznych i próbných obciążeń oraz wnioski	158
10. Badania wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych	163
10.1. Wstęp	163
10.2. Przegląd literatury dotyczącej badań wodoprzepuszczalności gruboziarnistych gruntów	163
10.3. Badania własne wodoprzepuszczalności gruntów gruboklastycznych	166
10.3.1. Badanie wodoprzepuszczalności gruntów gruboklastycznych w wielkowymiarowym aparacie	166
10.3.2. Badania wodoprzepuszczalności metodą polową	169
10.3.3. Oszacowanie błędu pomiaru współczynnika wodoprzepuszczalności w aparacie wielkowymiarowym	172
10.4. Wnioski	174
11. Ogólne zasady określania miarodajnych fizyko-mechanicznych cech gruntów gruboziarnistych	176
11.1. Wstęp	176
11.2. Ogólne zasady wykonywania badań złożeń gruntów gruboklastycznych	177
11.3. Kontrola jakości gruntu wbudowanego w korpus zapory	180

11.4. Statystyczne opracowanie wyników badań gruntów gruboziarnistych	182
11.4.1. Założenia wstępne	182
11.4.2. Określenie parametrów rozkładu przy małej ilości pomiarów / $n < 30$ /	183
11.4.3. Sprawdzenie zgodności rozkładu empirycznego z teoretycznym	183
11.4.4. Określenie przedziałów ufności średniej wartości zmiennej losowej i odchylenia standardowego	184
11.4.5. Określenie ilości pomiarów mieszczących się w zadanym przedziale	185
11.4.6. Określanie granicznych wartości	186
12. Wnioski	187
12.1. Wnioski ogólne	187
12.2. Wnioski szczegółowe	188
13. Wykaz literatury.	

1. Wstęp

Szybki wzrost zapotrzebowania na wodę i energię elektryczną oraz potrzeba zabezpieczenia dolin rzecznych od powodzi powodują konieczność budowy sztucznych zbiorników wodnych i elektrosiłowni. Z tego powodu szeroki program gospodarki wodnej i energetyki przewiduje budowę szeregu sztucznych zbiorników wodnych, zlokalizowanych w różnych rejonach kraju. Między innymi projektowana jest zabudowa górskich dopływów Wisły, a przede wszystkim Dunajca, Soły oraz samej Wisły w górnym jej biegu. Program budowy przegród wodnych w dorzeczu Dunajca lokalizuje budowę zbiorników od Kojsówki po Witowice, wzdłuż biegu Dunajca. Ze względu na przewidywaną możliwość budowy zapór ziemnych z materiałów miejscowych w postaci gruntów gruboklastycznych i drobnoziarnistych pochodzenia fliszowego, przy równoczesnym braku pełniejszego rozpoznania cech fizyko-mechanicznych tych gruntów, zachodzi potrzeba ustalenia przydatności tych materiałów ziemnych do budowy zapór.

Dobra znajomość gruntów, które stanowią lokalny surowiec do budowy zapór ziemnych, pozwoli projektantowi na pełniejszą analizę istniejących możliwości i ułatwi wybór najbardziej ekonomicznego typu zapory.

Czynnikami decydującymi o wyborze konstrukcji zapory ziemnej i sposobie jej wykonania są między innymi ilość i jakość materiałów ziemnych nadających się do budowy.

Rozpoznanie jakości materiału ziemnego wymaga wykonania odpowiednich badań terenowych i laboratoryjnych w oparciu o zasady mechaniki gruntów. Prace te prowadzi Katedra Geotechniki P.W. pod kierunkiem prof. Z. Wiłuna.

Oceny przydatności gruntów spoistych pochodzenia fliszowego, występujących w dorzeczu Dunajca, do budowy elementów uszczelniających korpusu zapory, dokonał w pracy doktorskiej Z. Grabowski /17/.

Niniejsza praca stanowi natomiast próbę określenia niektórych parametrów fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych /gruboklastycznych/ występujących w dolinie Dunajca i niektórych innych rzek górskich, oraz opracowania metod badań właściwości fizyko-mechanicznych tych gruntów.

Grunty gruboklastyczne są podstawowym materiałem z którego buduje się korpusy statyczne zapór ziemnych. Do tej pory brak jest dokładniejszych danych o cechach geotechnicznych gruntów gruboklastycznych pochodzenia fliszowego.

Dla uzyskania odpowiedzi w tym zakresie konieczne było przeprowadzenie szeregu badań terenowych i laboratoryjnych oraz opracowanie szeregu prototypów aparatów wielkowymiarowych do badań gruntów gruboziarnistych.

Za podstawę do wyciągnięcia wniosków autor przyjął nie tylko wyniki badań gruntów z doliny Dunajca, lecz również wyniki otrzymane na terenie budowy zapory w Tresnej i w Wiśle Czarnem, gdzie istnieją warunki terenowe i gruntowe zbliżone do warunków występujących w miejscach przewidywanej lokalizacji projektowanych w dorzeczu Dunajca zapór. W pracy wykorzystano też wyniki badań gruntów gruboklastycznych przeprowadzonych przez autora na zaporze w Głębinowie o składzie granulometrycznym zbliżonym do gruntów z doliny Dunajca.

Na początku pracy podano wstępny przegląd literatury dotyczącej badań cech fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych, na podstawie którego opracowano tezy pracy /rozd.2/.

Następnie opisano geologiczno-inżynierską charakterystykę gruntów gruboziarnistych na badanych obszarach doliny Dunajca, Soli, Białej Wisłoki i Nysy Kłodzkiej oraz podano ogólną charakterystykę badanych gruntów /rozd.3 i 4/.

W dalszej części pracy omówiono badania laboratoryjne i polowe zagęszczalności, wytrzymałości na ścinanie, ścisłości, i wodoprzepuszczalności wraz ze szczegółowym przeglądem literatury /rozd.5 + 10/.

Na zakończenie podano ogólne zasady wykonywania badań złożeń i budowanych nasypów oraz opracowywania wyników w oparciu o metody statystyki /rozd.11/, oraz ogólne i szczegółowe wnioski z przeprowadzonych badań /rozd.12/.

2. Wstępny przegląd literatury dotyczącej badań cech fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych oraz ustalenie głównych zagadnień pracy

Rozwój badań gruntów gruboziarnistych przypada na ostatnie dziesięciolecie. Związany on jest z projektowaniem i wykonawstwem za granicą wysokich zapór ziemnych, takich jak zapora Nuriekskaja /310 m/ w ZSRR, Orovill /220 m/ w USA, Infernillo /150 m/ w Meksyku, Göschenenalp w Szwajcarii, Schwammenavel w NRF i wiele innych.

W Polsce jedną z większych zapór ziemnych /38 m/ o korpusie statycznym z gruntów gruboziarnistych żwirowo-otoczakowych wybudowano w 1965 r w Tresnej. Obecnie z podobnych gruntów buduje się zaporę ziemną w Wiśle-Czarne /36 m/ i Głębinowie /14 m/.

Budownictwo wysokich zapór z gruntów gruboziarnistych postawiło przed projektantami problem stateczności wysokich skarp i znacznych deformacji korpusów zapór ziemnych. Natomiast przed wykonawstwem stanął problem technologii wbudowywania dużych mas ziemnych w korpus zapory, zapewniającej uzyskanie określonych projektem parametrów właściwości fizyko-mechanicznych gruntu wbudowanego w korpus zapory, oraz problem ich kontroli.

Do podstawowych właściwości fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych wbudowanych w korpus zapory zaliczyć należy zagęszczalność, wytrzymałość na ścinanie, ścisłość i wodoprzepuszczalność. Pierwszym, który zaczął badać właściwości fizyko-mechaniczne gruntów gruboziarnistych był Colloris /98/.

2.1. Badaniami zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparatach wielkowymiarowych zajmowali się Breth /6/, Gordon i Miller /14/, Marsal /45/ i inni.

Na podstawie rozważań teoretycznych opracowano wzory do określania zagęszczenia gruntów gruboziarnistych w oparciu o cechy zagęszczalności frakcji drobnej / $d < 7$ mm/; są to wzory podane przez Wilczyńskiego /97/, Akroyda /1/, Flossa /9/ i innych.

Badaniami zagęszczalności gruntów gruboziarnistych na poligonach doświadczalnych zajmowali się między innymi Griszin /16/, Roźdiestwienskij /73/, Road Research Laboratory /75/ i inni. Badaniami kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych w korpusach nasypów zajmowali się Gilg /13/, Floss /9/, Szmakow /85/, Pietrow /68/, Baveaux /3/ i inni. Szczegółowy przegląd literatury dotyczącej w/w zagadnień omówiono w rozdziałach 5, 6 i 7.

Z przedstawionej literatury wynika, że brak jest jednoznacznych metod określania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych używanych do budowy korpusów zapór ziemnych, a mających niejednokrotnie ziarna większe od 200 mm. Brak jest też wyjaśnienia wpływu różnych czynników na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych, jak uziarnienie, skład litologiczny, energia zagęszczania i inne.

Stosowalność wzorów obliczeniowych jest też ograniczona; brak jest porównania danych obliczeniowych z wynikami badań gruntów gruboziarnistych w aparatach wielkowymiarowych. W Polsce natomiast brak było również danych co do zagęszczalności gruntów pochodzenia fliszowego i innych naszych gruntów gruboklastycznych używanych do budowy zapór ziemnych.

2.2. Badaniami wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboziarnistych zajmowali się: Bjerrum /98/, Nonveiller /98/, Schultze /83/, Zeller i Wulliman /99/, Fukuoka /11/, Lowe /53/, Gilg /12, 13/, Hennes /53/, Marsal /45/, Nicziporowicz /53, 54/, Rasskazow /53, 71/, Schluttig i Schön /84/, Gordon /15/, Smolczyk /79/ i inni.

Zeller i Wulliman /99/ podają, że wytrzymałość gruntu gruboziarnistego zmniejsza się z zawartością frakcji grubych, natomiast Schultze /83/, Hennes /53/ Fukuoka /11/ podają, że kąt tarcia wewnętrznego zwiększa się z powiększeniem grubości badanych frakcji. Zeller i Wulliman /99/, Rasskazow /53, 71/, Nicziporowicz /53. 54/ i inni twierdzą, że kąt tarcia wewnętrznego wzrasta ze zwiększeniem zagęszczenia, natomiast Schultze /83/ twierdzi, że kąt tarcia wewnętrznego gruntów gruboziarnistych nie zależy od zagęszczenia.

Podzielone są też zdania na temat wpływu wielkości naprężeń na kąt tarcia wewnętrznego.

Marsal /45/ twierdzi, że kąt tarcia wewnętrznego zależy od wielkości przykładanego obciążenia, natomiast Schultze /83/, Hennes /53/ oraz ci wszyscy badacze, którzy stosowali w badaniach niskie naciski pionowe nie obserwowali zmian kąta tarcia wewnętrznego ze wzrostem normalnych naprężeń.

Szczegółowy przegląd literatury na temat badań wytrzymałości gruntów gruboziarnistych na ścinanie podano w rozdziale 8.

Z przedstawionej literatury wynika, że brak jest wyjaśnienia wpływu wielu czynników na wytrzymałość na ścinanie gruntów gruboziarnistych. Uzyskane wyniki i wnioski przez różne ośrodki są czasami bardzo rozbieżne. W literaturze brak

jest też zależności parametrów wytrzymałościowych od zagęszczenia według proctorowskiej krzywej zagęszczalności dla tych gruntów.

W Polsce do tej pory nie wykonywano badań wytrzymałości na ścinanie naszych gruntów gruboziarnistych, wśród których dominują grunty pochodzenia fliszowego.

2.3. Badaniami ścisłości gruntów gruboziarnistych między innymi zajmowali się: Zeller i Wulliman /99/, Fukuoka /11/, Marsal /45/, Nicziporowicz /53, 54/, Schultze /83/, Floss /9/, Joksić /26/ i Żurek 100/.

Schultze /23/ i Żurek /100/ wykonywali badania ścisłości tłucznia, Marsal /45/ grubych kamieni z wyłomów skalnych. Otrzymane wyniki na podstawie badań tłucznia i kamieni nie zawsze można uogólniać do wszystkich gruntów gruboziarnistych, których skład granulometryczny w zasadniczy sposób różni się od tłucznia.

Bardziej szczegółowy przegląd literatury na temat badań ścisłości gruntów gruboziarnistych podano w rozdziale 9.

Z przedstawionej literatury wynika, że wielkość osiadań gruntów gruboziarnistych jest proporcjonalna do początkowej porowatości, wielkości ziarn, obciążenia i zawilgocenia oraz odwrotnie proporcjonalna do wytrzymałości ziarn i wskaźnika różnorodności.

W literaturze brak jest danych na temat ścisłości gruntów gruboziarnistych pochodzenia fliszowego.

2.4. Badaniami wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych zajmowali się Pałagin /66/, Mientiukow /50/, Iwaszczenko /24/,

Schaef /79/ i inni.

Pełniejszy przegląd literatury odnośnie badań wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych podano w rozdziale 10.

Z przedstawionych danych wynika, że brak jest jednoznacznych metod określania współczynnika wodoprzepuszczalności. Brak jest też porównania metod obliczeniowych, laboratoryjnych i polowych badania współczynnika wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych. W Polsce nie ma danych na temat badań wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych pochodzenia fliszowego i innych.

2.5. Główne zagadnienia pracy

Jak wynika z powyższego problem badań właściwości fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych ma pierwszorzędne znaczenie dla budownictwa zapór ziemnych i wysokich nasypów drogowych i kolejowych.

Wykonywanie badań właściwości fizyko-mechanicznych tych gruntów wymaga stosowania aparatów wielkowymiarowych i prób o dużych objętościach.

Głównymi zagadnieniami w niniejszej pracy są badania właściwości fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych oraz próba określenia wartości podstawowych cech fizyko-mechanicznych tych gruntów.

Dla realizacji powyższego zagadnienia konieczne było skonstruowanie szeregu aparatów wielkowymiarowych, opracowanie metodyki przygotowywania prób i wykonania poszczególnych badań oraz przeprowadzenie wielu badań umożliwiających ustalenie zależności pomiędzy poszczególnymi cechami fizyko-mecha-

-icznymi gruntów gruboziarnistych.

3. Geologiczno-inżynierska charakterystyka gruntów gruboklastycznych występujących na badanych obszarach

3.1. Wstęp

Badaniami objęto grunty gruboklastyczne występujące w dolinie Dunajca od Kojsówki do Jazowska oraz grunty gruboklastyczne używane do budowy zapory ziemnej w Tresnej na rzece Sole, w Wiśle-Czarne na rzece Wiśle i w Głębinowie na rzece Nysa Kłodzka.

Nie ulega wątpliwości, że cechy gruntów gruboklastycznych zależą w dużym stopniu od ich pochodzenia geologicznego i składu litologicznego.

Grunty gruboklastyczne na rozpatrywanych obszarach występują jako utwory aluwialne, które budują stożki napływowe, kamieńce oraz spągowe partie tarasów /19, 21, 35, 37, 38, 40, 44/.

Badaniem składu granulometrycznego i litologicznego gruntów gruboklastycznych w dorzeczu Dunajca zajmowali się między innymi: Nawara /52/, Unrug /88/, Lenczewska i Zdrojewska /37, 44/.

Przydatność opracowań Nawary /52/ oraz Unrunga /88/ dla celów budowy zapór jest nieznaczną, gdyż badania prowadzone były pod innym kątem. Analizowali oni jedynie otoczaki o średnicy > 16 mm. Badania składu granulometrycznego i litologicznego wykonywane w Katedrze Geotechniki przez Lenczewską i Zdrojewską /37, 44/ były prowadzone pod kątem przydatności złoża gruntów gruboklastycznych do budowy zapór. W oparciu o wyniki tych badań zostały wytypowane próby gruntów gruboklastycznych do badań w aparatach wielkowymiarowych.

3.2. Charakterystyka gruntów gruboklastycznych występujących w dolinie Dunajca, Soły i Białej Wiśki

3.2.1. Krótki opis budowy geologicznej starszego podłoża obszaru objętego badaniami

Zróznicowanie budowy geologicznej starszego podłoża wywiera istotny wpływ na skład litologiczny utworów młodszej pokrywy.

Objęty badaniami teren /rys.3.1./ leży w całości w obrębie Karpat Zachodnich, które pod względem geologicznym dzieli się na następujące jednostki tektoniczne /69, 90/:

1. Karpaty Wewnętrzne:

- a/ Tatry,
- b/ flisz podhalański,
- c/ pieniński pas skałkowy,

2. Karpaty Zewnętrzne albo fliszowe:

- a/ płaszczowina magurska z jednostką przedmagurską,
- b/ płaszczowiny śląskie.

Ad. 1.a/ Tatry

Budowa tektoniczna Tatr jest bardzo skomplikowana. Pod względem litologicznym Tatry są zbudowane z różnych skał. Występują tutaj skały magmowe /granit/, metamorficzne /grejsy, łupki krystaliczne, kwarcyty/ i osadowe /wapienie, dolomity, margle, piaskowce kwarcytowe, łupki ilaste, radiolaryty i spongiolity/.

Ad. 1.b/ Flisz podhalański

Jednostka ta jest mało zróżnicowana zarówno pod względem

tektoniki jak i litologii. Serie fliszu podhalańskiego zbudowane są niemal wyłącznie z łupków i piaskowców. W stratygraficznie dolnych partiach profilu flisz podhalański zbudowany jest z łupków; w środkowych i stropowych partiach profilu piaskowce grubopłytkowe przeważają nad wkładkami łupków.

Ad. 1.c/ Pieniński pas skałkowy

Charakteryzuje się on nadzwyczaj skomplikowaną budową tektoniczną. Pod względem litologicznym obszar ten zbudowany jest głównie ze skał węglanowych /wapienie, margle i inne/ i skał zbliżonych litologicznie do fliszu.

Ad. 2. Karpaty fliszowe

Obszar Karpat fliszowych zbudowany jest z przewarstwiających się na przemian serii piaskowców i łupków. Spągowe serie płaszczowiny magurskiej budują zespoły łupkowe i łupkowo-piaskowcowe, natomiast serie stropowe charakteryzują się na ogół bezwzględną przewagą piaskowców często gruboziarnistych i zlepieńcowatych.

Płaszczowiny śląskie różnią się od płaszczowiny magurskiej bardziej skomplikowaną tektoniką, przede wszystkim jednak litologiczno-facjalnym wykształceniem fliszu, z którego są zbudowane. Ogólnie można powiedzieć, że serie fliszowe płaszczowin śląskich posiadają znacznie mniejszą przewagę wykształceń piaskowcowych nad seriami łupkowymi, w porównaniu z płaszczowiną magurską.

Należy podkreślić, że skały fliszowe /flisz Podhala i Karpat Zewnętrznych/ zajmują na badanym obszarze największe przestrzenie. Jedynie niewielki procent powierzchni terenu

budują skały węglanowe i krystaliczne /Tatry i Pieniny/.

W związku z powyższym śmiało można powiedzieć, że decydującą rolę w tworzeniu gruntów gruboklastycznych na omawianych obszarach odgrywają skały fliszowe.

3.2.2. Związek utworów młodszej pokrywy z podłożem

Do utworów młodszej pokrywy zalicza się:

- 1/ utwory zboczowe,
- 2/ utwory aluwialne,
- 3/ utwory strefy przejściowej.

Utwory młodszej pokrywy powstały w czwartorzędzie /w plejstocenie i holocenie/.

Na genezę i dzisiejszą lokalizację oraz wykształcenie utworów młodszej pokrywy składają się z jednej strony elementy budowy starszego podłoża /tektonika i litologia/, z drugiej strony charakter i geneza rzeźby omawianego obszaru. Starsze podłoże jest mianowicie obszarem macierzystym dla wszystkich utworów młodszej pokrywy.

Ponieważ przedmiotem moich badań były grunty gruboklastyczne, które budują młodszą pokrywę Karpat w zawężeniu do obszarów dolinowych, dalsze moje rozważania będą odnosiły się wyłącznie do dennych utworów aluwialnych, budujących tarasy akumulacyjne i stożki napływowe.

Jak wspomniano wyżej znaczna część badanego obszaru leży w obrębie utworów fliszowych. Wynika więc z powyższego, że główny wpływ na tworzenie się utworów aluwialnych mają osady fliszowe.

W przypadku, gdy obszarem źródłowym i alimentacyjnym rzeki /Soła, Biała Wisiełka/ jest wyłącznie obszar fliszowy, skład litologiczny utworów aluwialnych jest zależny od rodzaju litologicznego skał fliszowych budujących starsze podłoże.

Najbardziej urozmaicony skład litologiczny mają grunty gruboklastyczne występujące w dolinach rzek wypływających z Tatr /Czarny Dunajec, Białka/.

Pewien regionalizm w składzie litologicznym gruntów gruboklastycznych związany jest ze zróżnicowaniem litologicznym obszarów starszego podłoża, po których płynie rzeka /Dunajec/. Na obszarach występowania serii fliszowych na omawianym terenie /Podhale i Karpaty Zewnętrzne/ skały fliszowe, które budują te serie, bezwzględnie przeważają w składzie litologicznym utworów aluwialnych.

Do drugiej grupy klasyfikacyjnej należą obszary pienińskiego pasa skałkowego i Tatr. Skały występujące w Tatrach wpływają w bardzo zasadniczy sposób na skład litologiczny gruntów gruboklastycznych na całym badanym odcinku doliny Dunajca. Jedynie skały węglanowe wchodzą w skład tych gruntów wyłącznie na obszarze fliszu podhalańskiego w niewielkich ilościach i niewielkiej odległości od Tatr.

Wpływ budowy litologicznej pienińskiego pasa skałkowego na skład litologiczny utworów aluwialnych zaznacza się przede wszystkim na terenie tego pasa.

3.2.3. Gemorfologiczne formy występowania utworów aluwialnych

Osady aluwialne występujące w dolinach rzecznych budują następujące formy morfologiczne /rys.3.2/:

1. kamieńce / t_{1k} /,
2. tarasy zalewowe niskie / t_1 /,
3. tarasy zalewowe wysokie / t_2 /,
4. tarasy wysokie / t_3 , t_4 i td/.

Kamieńce i tarasy zalewowe niskie zbudowane są z aluwialnych gruntów gruboklastycznych.

W obrębie tarasów zalewowych wysokich i tarasów wysokich zaznacza się bardzo wyraźnie dwudzielna budowa /w profilu pionowym/. Części spągowe zbudowane są z gruntów otoczkowo-żwirowych, na których zalega pokrywa gruntów spoistych. Kamieńce oraz niskie tarasy zalewowe zbudowane są natomiast wyłącznie z gruntów gruboklastycznych /17, 21, 35, 38, 80/.

Jak wynika z przesłanek geologicznych na podstawie badań przeprowadzonych w Katedrze Geotechniki najbardziej przydatne grunty gruboklastyczne do budowy korpusów zapór budują kamieńce oraz spągowe partie tarasów.

3.2.4. Skład granulometryczny i litologiczny gruntów gruboklastycznych

Badania składu granulometrycznego i litologicznego gruntów gruboklastycznych były wykonywane na 56 próbach z doliny Dunajca /35, 37, 44/ oraz 27 próbach z doliny Białej Wisłoki /38, 39, 41, 42, 43/. Skład gruntów gruboklastycznych doliny Soły używanych do budowy zapory w Tresnej był badany przez laboratorium budowy zapory oraz przez Katedrę Geotechniki /28, 35, 48, 74/.

Lokalizację miejsc pobrania prób z doliny Dunajca podano na mapie /rys.3.3/. Mapa ta przedstawia również schematyczne rozmieszczenie złóż gruntów gruboklastycznych i spoistych w do-

-rzeczu Dunajca /19/. Lokalizację miejsc pobrania prób z doliny Białej Wisłoki podano na rys. 3.4.

3.2.4.1. Skład granulometryczny i litologiczny gruntów gruboklastycznych z doliny Dunajca

Wyniki badań prób gruntów gruboklastycznych z doliny Dunajca, wykonanych w Katedrze Geotechniki pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. We wszystkich próbach pobranych z różnych jednostek tektonicznych i form geomorfologicznych dominuje frakcja kamienista /34,5-86,0 %/; w obrębie kamieńców i niskich tarasów zalewowych zawartość frakcji kamienistej jest największa i wynosi maksymalnie 86 %, a średnio 55,2-68,3 % /tablica 3.1./.
2. Łączna zawartość frakcji pyłowej i iłowej we wszystkich badanych formach geomorfologicznych jest niewielka i wynosi 0,2+10,3 %; najmniejsza zawartość tych frakcji występuje w kamieńcach /0,2+4,2 %/.
3. W składzie litologicznym analizowanych prób we frakcjach > 5 mm zdecydowanie przeważają piaskowce fliszowe i granity /tablica 3.2/.
4. W miarę przesuwania się ^{od} źródeł głównych rzek podhalańskich w dół doliny Dunajca obserwuje się stopniowe zmniejszenie ilości granitów na korzyść piaskowców fliszowych; w Jazowsku ilość granitów we frakcji > 5 mm w stosunku do całości próby wynosi 0,7+12,0 %.

Zawartość poszczególnych frakcji w gruntach gruboklastycznych z uwzględnieniem jednostki tektoniczno-litologicznej i form geomorfologicznych /wyrażona w % % wagowo/

Jednostka tektoniczna	Nazwa rzeki	Forma geomorfologiczna	Zawartość procentowa frakcji					Ilość prób
			kamienista >25 mm	żwirowa 25-2 mm	piaskowa 2-0,05 mm	pyłowa 0,05-0,002 mm	iłowa <0,002 mm	
Flisz podhalański	Czarny Dunajec, Biały Dunajec, Białka	t _{1k}	34,5-75,5 /60,5/	17,2-43,3 /22,4/	7,6-24,6 /15,0/	0,6-4,1 /2,2/	0-0,3 /0,1/	7
- " -	Czarny Dunajec, Biały Dunajec, Białka	t ₁	62,5-68,0 /65,0/	9,1-21,0 /16,5/	13,0-17,7 /14,8/	2,3-4,2 /3,4/	0,2-1,0 /0,5/	3
- " -	Biały Dunajec, Białka	t ₃	46,5-61,3 /53,9/	17,5-21,2 /19,4/	12,3-25,7 /19,0/	4,7-9,6 /7,1/	0,5-0,7 /0,6/	2
Pienińskie Pasma Skałkowe	Dunajec, Niedziczanka, Grajcarek	t _{1k}	41,5-67,5 /58,0/	17,3-42,4 /25,0/	12,7-18,7 /15,8/	0,2-2,5 /1,0/	0-0,3 /0,2/	6
- " -	Dunajec	t ₁	48,0-65,0 /55,9/	10,3-26,8 /17,4/	18,5-32,1 /23,5/	0,9-7,0 /3,0/	0,1-2,5 /0,9/	3
- " -	Dunajec	t ₂	47,0-50,0 /48,5/	18,7-31,0 /24,8/	20,4-30,7 /25,6/	0,4-1,3 /0,8/	0,2-0,3 /0,3/	2
Płaszczowina Magurska	Czarny Dunajec, Biały Dunajec, Dunajec, Białka	t _{1k}	37,5-86,0 /57,6/	7,9-39,8 /24,8/	2,7-25,0 /16,4/	0,2-1,8 /1,0/	0-0,6 /0,2/	23
Płaszczowina Magurska	Dunajec	t ₁	64,4-72,5 /68,3/	13,5-22,0 /18,8/	8,2-12,1 /10,3/	0-1,4 /0,5/	0,5-2,9 /2,1/	3
- " -	Dunajec	t ₂	36,5-53,5 /47,1/	25,1-30,5 /28,0/	16,8-34,5 /22,6/	1,0-2,1 /1,8/	0-0,8 /0,5/	4
- " -	Dunajec	t ₃	38,0-48,0 /44,6/	22,5-32,2 /27,0/	23,2-26,0 /24,6/	1,1-4,0 /2,6/	0,6-2,2 /1,2/	3

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie

Tablica 3.2.

Skład litologiczny /średni/ w % w stosunku do ciężaru całej próby frakcji $\varnothing > 5$ mm gruntów gruboklastycznych z podziałem na jednostki tektoniczne i formy geomorfologiczne w obrębie doliny Dunajca

Jednostka tektoniczna	Forma geomorfologiczna	Ilość prób	Skały magmowe				Skały osadowe					Skały metamorf. Grejsy i łup. kryst.	Inne domieszki
			Granity	Pegmatyty	P.kwarcytow. i kwarcyty	Skały węglanowe	Piasko-wce fliszowe	Łupki fliszowe	Radio-laryty i lidyty	Kwarc	Kalcyt		
Flisz podhalański	t _{1k}	3	39,1	2,5	7,5	0,8	27,6	0,7	0,08	0,06	-	2,3	0,03
	t ₁	2	31,9	0,08	1,8	0,2	33,5	0,7	0,05	0,06	-	-	-
	t ₃	1	24,4	1,5	11,9	12,1	26,5	0,07	0,01	-	-	0,11	1,01
Pienińskie Pasma Skałkowe	t _{1k}	4	33,2	-	8,6	7,4	29,6	0,06	0,30	0,12	0,6	0,13	0,05
	t ₁	2	46,6	-	3,8	1,7	14,5	0,2	0,8	0,06	0,04	0,28	-
	t ₂	2	28,1	0,05	5,0	6,4	29,2	0,11	0,85	0,13	-	0,11	-
Płaszczowina Magurska	t _{1k}	19	23,0	0,24	7,3	3,4	48,7	0,6	0,1	0,18	0,11	0,33	-
	t ₁	3	24,4	-	1,4	1,2	56,7	-	0,12	0,05	-	0,07	0,01
	t ₂	4	25,8	0,33	10,2	0,6	33,3	0,01	0,10	0,90	-	4,6	0,03
	t ₃	2	48,7	-	9,1	0,1	7,8	-	-	0,6	-	0,05	-

5. W wyniku wietrzenia granitów i gruboziarnistych piaskowców drobne frakcje są wzbogacone dość znacznie w kwarc, który we frakcjach < 5 mm jest dominujący.
6. Skały węglanowe są ściśle związane z obszarami ich wychodni; obserwuje się je na przestrzeni kilku do kilkunastu kilometrów w dół rzeki od miejsca występowania. Największa ilość wapieni występuje w obrębie pienińskiego pasa skałkowego.
7. Najbardziej zróżnicowane pod względem litologicznym są próby pobrane z miejsc położonych w sąsiedztwie Tatr /Kojisówka/.

3.2.4.2. Skład granulometryczny i litologiczny gruntów gruboklastycznych w rejonie zbiornika Tresna na rzece Sole

Główny odcinek dorzecza Soły /w górę od Tresnej/ leży na obszarze płaszczowin śląskich oraz na obszarze płaszczowiny magurskiej.

Tarasy rzeki Soły na omawianym odcinku zbudowane są z gruntów gruboklastycznych pokrytych warstwą gruntu spoistego o miąższości do 1,5 m. Pokrywy gruntów spoistych nie występują na obszarach kamieńca /35/.

Grunt gruboklastyczny użyty do budowy zapory zawiera 28 + 50 % frakcji kamienistej, 35 + 42 % frakcji żwirowej, 13 + 20 % frakcji piaskowej i 2 + 10 % frakcji pyłowej i ilowej /20, 35, 74/. Skład litologiczny osadów aluwialnych rzeki Soły stanowią piaskowce zlepieńcowate /często zwietrzałe/, piaskowce średnio i drobnoziarniste oraz kwarc /48/.

3.2.4.3. Skład granulometryczny i litologiczny gruntów gruboklastycznych w dolinie Białej Wisłki

Obszar projektowanego zbiornika, na terenie którego przeprowadzone były badania gruntów gruboklastycznych, znajduje się w miejscowości Wisła-Czarne.

W dolinie Białej Wisłki występują utwory fliszowe: piaskowce, łupki i zlepieńce. Kamieńce i niski taras zalewowy Białej Wisłki budują głównie otoczaki różnych rodzajów piaskowców rzadziej łupków i innych skał. Wśród otoczaków sporo jest bloków skalnych o średnicy przekraczającej 40 cm. Tarasy wysokie są pokryte utworami gliniastymi o dość znacznej miąższości /21, 38/.

Przeprowadzone badania składu granulometrycznego i litologicznego gruntów gruboklastycznych w Katedrze Geotechniki /38, 39, 41, 42, 43/ pozwalają stwierdzić, że:

- 1/ w zbadanych próbach dominuje frakcja kamienista /21÷64,5%/ - tablica 3.3,
- 2/ łączna zawartość frakcji pyłowej i iłowej w obrębie kamieńców i tarasów zalewowych jest nieduża i wynosi maksymalnie ok. 8 %; natomiast zawartość tej frakcji w obrębie tarasów wyższych dochodzi do 22 %,
- 3/ we wszystkich zbadanych próbach i frakcjach przeważają piaskowce o różnej ziarnistości. Poza piaskowcami występują tu łupki ilaste oraz kwarc, szczególnie we frakcjach drobniejszych /tablica 3.4./.

Tablica 3.3

Zawartość poszczególnych frakcji w gruntach gruboklastycznych z miejscowości Wisła-Czarne

wyrażona w % wagowych

Lp.	Forma geomorfologiczna	Podstawowe frakcje, %						ilość
		kamienista	żwirowa	piaskowa	pyłowa	ilowa	zakres odchyl. /średn./stand.	
1	Kamieniec i tarasy zalewowe / t _{1k} , t ₁ , t ₂ /	3,3 ±	15,0 ±	11,0 ±	1,0 ±	0,0 ±	zakres odchyl. /średn./stand.	zakres odchyl. /średn./stand.
		64,5	44,5	22,0	6,0	2,2		
2	Taras wysoki / t ₄ /	10,9	7,4	3,5	1,7	0,6	zakres odchyl. /średn./stand.	zakres odchyl. /średn./stand.
		50,8/	28,7/	16,3/	3,1/	1,1/		
		21,6 ±	10,0 ±	13,5 ±	2,0 ±	1,0 ±	zakres odchyl. /średn./stand.	zakres odchyl. /średn./stand.
		62,0	25,0	34,0	15,0	7,0		
		42,4/	19,5/	25,6/	8,5/	4,0/		
				6,8	2,4	1,6		

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie

Skład litologiczny gruntów gruboklastycznych z Wisły-Czarne
 wyrażony w % wagowych danej frakcji

Forma geomorfologiczna	Frakcja mm	Piaskowce fliszowe				Zawartość piask. razem	Łupki ilaste	Kwarc	Inne	Ilość prób
		drobno-ziarniste	średnio-ziarniste	grubo-ziarniste	zlepieńcowate i zlepienie					
Kamieniec i tarasy zalewowe /t _{1k} , t ₁ , t ₂ /	>120	0÷100 /27,2	0÷60 /21,5/	0÷81 /42,2/	0÷35 /9,1/	90,9	0	0	0	9
	80÷120	0÷66 /37,8/	0÷100 /42,2/	0÷44 /12,0/	0÷24 /8,0/	92,0	0	0	0	
	60÷80	1÷82 /41,7	0÷81 /36,0/	0÷39 /13,1/	0÷15 /3,0/	96,2	0÷8 /0,8/	0	0	
	40÷60	26÷97 /65,4/	1÷70 /26,7/	0÷22 /6,5/	0÷7 /1,3/	98,5	0÷1 /0,1/	0	0	
	20÷40	69÷91 /77,2/	6÷17 /11,8/	0÷15 /5,1/	0÷11 /2,8/	94,1	1÷4 /2,1/	0÷3 /1,0/	0	
	10÷20	70÷100 /80,1/	0÷15 /8,4/	0÷6 /1,6/	0÷9 /2,7/	90,1	0÷7 /3,3/	0÷7 /3,9/	0	
	4÷10	44÷86 /69,3/	4÷15 /7,0/	0÷13 /3,0/	0÷3 /0,6/	79,3	0÷10 /3,1/	0÷25 /17,0/	0	
	2÷4	39÷94 /59,6/	0÷16 /5,6/	0÷3 /0,3/	0÷1 /0,2/	65,5	0÷39 /7,0/	0÷45 /27,3	0	
	>120	0÷22 /15,9/	13,5÷56 /33,3/	1÷82 /37,3	5÷20 /15,4/	85,6	0	0	0	
Taras wysoki /t ₄ /	80÷120	7÷48 /24,7/	22÷37 /36,7/	8÷33 /23,6/	7÷29 /15/	85,0	0	0	0	12
	60÷80	0÷61 /14,5/	0÷51 /12,1/	26÷100 /68,7/	0÷41 /4,7/	95,3	0	0	0	
	40÷60	0÷54 /25,6/	0÷53 /18,7/	5÷100 /51,2/	0÷40 /4,5/	95,5	0	0	0	
	20÷40	13÷67 /41,8/	10÷42 /25,8/	8÷40 /25,8/	0÷23 /2,8/	93,4	0÷1,0 /0,1/	1÷6 /3,5/	0÷2 /0,2/	
	10÷20	30÷60 /50,0/	10÷41 /20,3/	4÷17 /10,3/	1÷8 /0,8/	80,7	0÷1 /0,1/	5÷29 /18,3/	0÷2 /0,2/	
	4÷10	28÷45 /38,8/	10÷36 /15,2/	0÷15 /7,6/	0÷3 /0,3/	61,4	0÷1 /0,1/	26÷50 /37,8/	0÷2 /0,2/	
	2÷4	20÷72 /34,8/	3÷20 /7,4/	0÷50 /6,8/	0÷4 /0,3/	49,0	0÷4 /0,3/	28÷70 /52,4/	0	

Uwaga: w nawiasach podano wartości średnie arytmetyczne

3.3. Charakterystyka gruntów gruboklastycznych w rejonie zbiornika w Głębinowie na Nysie Kłodzkiej

Starsze podłoże rejonu zbiornika w Głębinowie na Nysie Kłodzkiej zbudowane jest ze skał krystalicznych /granit strzebiński/ bloku przedsudeckiego /rys.3.5/ /18/.

Obszarem źródłowym i alimentacyjnym Nysy Kłodzkiej jest obszar Sudetów Wschodnich. Pod względem litologicznym jest to obszar dużej różnorodności skał krystalicznych. Występują tu skały metamorficzne /grejsy, łupki krystaliczne, kwarcyty/ oraz magmowe /granity/ z przewagą pierwszych. Skały osadowe występują bardzo nielicznie /przede wszystkim piaskowce i zlepieńce/.

W związku z powyższym skład litologiczny aluwii Nysy Kłodzkiej charakteryzuje się również wielką różnorodnością. We wszystkich frakcjach dominuje kwarc, pochodzi on z żył występujących w skałach magmowych i metamorficznych oraz ze zwiertzenia tych skał. Skały magmowe i metamorficzne reprezentowane są w mniejszych ilościach. Niewielki udział w składzie gruntów gruboklastycznych mają piaskowce /40/.

Skład granulometryczny gruntu gruboklastycznego wg badań laboratorium budowy zapory jest następujący: 0+55 % frakcji kamienistej, 32+38 % frakcji żwirowej, 7+64 % frakcji piaskowej oraz 0+4 % frakcji pyłowej i iłowej /40/.

4. Ogólna charakterystyka prób gruntów gruboklastycznych badanych w aparatach wielkowymiarowych

4.1. Badane złoża gruntów gruboklastycznych

W oparciu o badania terenowe przeprowadzone w dolinie Dunajca i Wisły Czarne oraz o materiały archiwalne /21/ wytypowano miejsca, z których pobrano duże próby / $\sim 3 \text{ m}^3$ / do badań w aparatach wielkowymiarowych. Miejsca pobierania prób w dolinie Dunajca wyznaczono przede wszystkim w rejonie projektowanych zapór wodnych /63/, wybierając złoża z różnych odcinków doliny wzdłuż biegu Dunajca.

Oprócz badań dużych prób gruntów z doliny Dunajca wykonano badania gruntów zapory w Tresnej, Wiśle-Czarne i Głębinowa.

Lokalizację miejsc pobrania dużych prób w dolinie Dunajca podano na rys. 3.3, a w dolinie Białej Wisłoki na rys.3.4.

Pobrane próby obejmowały złoża leżące w odmiennych jednostkach tektonicznych i tak:

- a/ złożo w Kojsówce /próba "K" z kamieńca Czarne Dunajca/ leży w obszarze fliszu podhalańskiego,
- b/ złożo we Frydmanie /próba "F" z kamieńca Białki/ oraz Jazowsku /próba "J" z kamieńca Dunajca/ leży w obszarze występowania fliszu płaszczowiny magurskiej,
- c/ złożo w Sromowcach Wyżnych /próba "S-1" i "S-2" z kamieńca Dunajca/ oraz w Niedzicy /próba "N" z kamieńca Niedziczanki/ leży w obszarze pienińskiego pasa skałkowego,
- d/ złożo w Tresnej /próba "T" kamieńce i tarasy zalewowe Soły/ oraz złożo w Wiśle-Czarne /próby W.Cz.-I i W.Cz.-II kamieńca Białej Wisłoki oraz próby W.Cz.II, W.Cz.-IV i W.Cz.-V

taras wysoki Białej Wisłoki/ leży w obszarze występowania
płaszczyzn śląskich,

c/ złożę w Głębinowie /próby N-1, N-2 i N-5 - aluwia Nysy
Kłodzkiej/ leży w obszarze bloku przedsudeckiego.

Pobrane próby gruntu przed wydzieleniem ich do badań
zagęszczalności, wytrzymałości na ścinanie, ściśliwości i wodo-
przepuszczalności w aparatach wielkowymiarowych zbadano pod
względem uziarnienia, składu petrograficznego, kształtu ziarn,
stopnia obtoczenia i tp.

4.2. Badanie uziarnienia gruntów gruboklastycznych

4.2.1. Przegląd literatury

Skład granulometryczny ma istotny wpływ na zagęszczal-
ność, wytrzymałość na ścinanie, ściśliwość i wodoprzepuszczal-
ność gruntów. Skład granulometryczny drobniejszych frakcji
badano wg PN-55/B-04484 /55/ i PN-59/B-04483 /56/.

Skład granulometryczny gruntu można scharakteryzować:

a/ średnią ważoną średnicą /64/ wyrażoną wzorem:

$$d_{\text{śr}} = \frac{\sum p_i d_i}{100} \quad /4.1/$$

gdzie:

d_i - średnia arytmetyczna średnica danej frakcji,

p_i - procentowa zawartość tej frakcji /wagowo/,

b/ średnicą d_{50} , poniżej której w gruncie znajduje się 50 %
ziarn i cząstek,

c/ wskaźnikiem różnoziarnistości:

$$W_r = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad /4.2/$$

gdzie:

d_{60} - średnica cząstki, poniżej której w gruncie znajduje się 60 % cząstek,

d_{10} - średnica cząstki, poniżej której w gruncie znajduje się 10 % cząstek,

d/ Skład granulometryczny można określić również równaniem Talbota /79/

$$p = 100 \cdot \left(\frac{d_i}{D_{\max}} \right)^x \quad /4.3/$$

gdzie:

p - procentowa zawartość frakcji $0 + d_i$,

d_i - maksymalna średnica ziarna /cząstki/ rozpatrywanej frakcji,

D_{\max} - maksymalna średnica ziarn rozpatrywanego gruntu,

x - wykładnik potęgi.

Uziarnienie gruntów przydatnych do budowy zapór ziemnych wg Talbota powinno być zawarte między krzywymi o wykładniku potęgi $x = 0,15 + 0,55$ /79/.

Metody badań uziarnienia gruntów gruboziarnistych do betonów między innymi opisuje Janiszewski /25/, Kulczickij /33/, Osuch /64/. Istnieją też normy określające sposób pobierania i badanie uziarnienia kruszywa dla celów budowlanych /PN-61/B-06720 i PN-60/B-06714/ /57, 60/. Według danych z literatury i norm ciężar pobieranych prób do badań uziarnienia nie prze-

-kracza 20 kg.

W związku z tym, że w rozpatrywanych gruntach występują ziarna przekraczające 200 mm /do 400 mm/, metody badań uziarnienia kruszywa budowlanego nie nadają się do określania uziarnienia rozpatrywanych gruntów gruboziarnistych.

Przy badaniu pełnego uziarnienia w przypadku pobrania małej próby popełniamy duży błąd w określaniu zawartości frakcji grubych.

Do badania uziarnienia prób gruntów gruboklastycznych używanych do budowy zapór ziemnych /35/ zastosowano metodę opisaną niżej.

4.2. Opis zastosowanej metody

Dostarczoną do laboratorium polowego dużą próbę gruntu dokładnie wymieszano, a następnie metodą ćwiartowania pobrano około 120 kg gruntu do badań uziarnienia, składu litologicznego, stopnia obtoczenia i kształtu ziarn. Grunt ten po zważeniu przesiewano na sitach o średnicy oczek 120, 80 i 60 mm. Wszystkie otoczaki o średnicy powyżej 60 mm ważono, ustalano ich trzy główne wymiary /w celu ustalenia kształtu/, określano ich skład petrograficzny, litologię i stopień obtoczenia. Pozostałą część próby ćwiartowano 2-3 razy i wydzielano wyćwiartowaną próbę o ciężarze około 20 kg do dalszych badań laboratoryjnych. Po zważeniu tej próby gruntu z dokładnością do 0,01 kg przemywano ją na sicie o oczkach kwadratowych 2 mm, rozdzielając w ten sposób próbę na 2 części:

a/ o ziarnach powyżej 2 mm

b/ o ziarnach poniżej 2 mm

Część próby o ziarnach powyżej 2 mm /próba a/ po wysuszeniu

w temperaturze 105°C , przesiewano przez komplet sit o średnicach oczek: 40, 20, 10, 5 i 2 mm. Z drugiej części próby /próba b/ po doprowadzeniu do konsystencji pasty, wydzielono 3 próbki o ciężarze 120-200 g każda. Na podstawie 2 próbek określano wilgotności pasty, z trzeciej zaś wykonywano analizę sitowo-areometryczną zgodnie z PN-59/B-04483 /56/ i PN-55/B-04484 /55/.

Stwierdzone wilgotności były podstawą do obliczania ciężaru szkieletu G_s próbki użytej do analizy sitowo-areometrycznej, a także całej próby "b" $\varnothing < 2 \text{ mm}$.

Wyniki analizy sitowej i sitowo-areometrycznej przeliczono w procentach w stosunku do t.zw. "całości obliczeniowej" próby.

Za "całość obliczeniową" przyjęto:

- a/ $1/4$ lub $1/8$ /w zależności od ilości ćwiartowań/ ciężaru otoczek $\varnothing > 60 \text{ mm}$ /bez suszenia/,
- b/ ciężar wysuszonej wyćwiartowanej części próby o uziarnieniu $> 2 \text{ mm}$ /próba a/,
- c/ ciężar szkieletu G_s części próby o uziarnieniu $< 2 \text{ mm}$ /próba b/.

Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci krzywych uziarnienia. Wyniki badań składu granulometrycznego poszczególnych prób podano w tablicy 4.1 i na rys.4.1.

Tablica 4.1.

Zestawienie składu granulometrycznego prób gruntów gruboklastycznych badanych w aparatach wielkowymiarowych

Miejsce pobrania próby	Sym-bol prób-y	Bada-nia w aparatach wielko-wymia-rowych	Zawartość w % frakcji										Wp d _{sr} = $\frac{d_{60}}{d_{10}} \sum \frac{d_i \cdot p_i}{100}$	Uwagi			
			> 120	120-80	80-60	60-40	40-20	20-10	# 0-5 / # 4 /	# 4-2	2-1	1,0-0,05			0,05-0,002	< 0,002	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sromowce Wyżne /1965/	S-1	+	-	15,0	20,0	16,0	5,0	1,5	2,0	7,0	29,5	3,5	0,5	90	21,66		po odrzuceniu ziarn > 80 mm naturalne uziarnienie
Sromowce Wyżne /1966/	S-2	-	14,6	13,9	12,0	14,5	12,9	7,8	3,9	2,0	4,0	13,0	1,0	0,0	-	-	po odrzuceniu ziarn > 80 mm naturalne uziarnienie
Frydman	F	+	1,6	20,3	9,9	23,3	13,6	5,2	3,6	5,0	5,4	11,2	0,8	0,2	-	-	po odrzuceniu ziarn > 80 mm naturalne uziarnienie
Jazowsko	J	-	23,5	6,7	3,9	9,0	12,1	8,5	4,9	5,6	7,1	16,7	1,7	0,4	-	-	po odrzuceniu ziarn > 80 mm naturalne uziarnienie
		+	5,6	13,0	17,3	12,1	7,1	8,0	10,1	23,8	2,4	0,6	36	14,89			po odrzuceniu ziarn > 80 mm naturalne uziarnienie
		-	8,4	14,6	29,5	11,6	2,2	0,5	1,0	29,6	2,0	0,5	100	19,36			po odrzuceniu ziarn > 80 mm naturalne uziarnienie
		-	3,0	16,8	6,8	11,8	23,7	9,3	1,8	0,4	0,8	23,8	1,6	0,2	-	-	po odrzuceniu ziarn > 80 mm naturalne uziarnienie

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Kojsówka	K	+			13,7	13,1	18,1	9,7	6,5	6,5	9,1	21,5	1,4	0,3	45	19,29	po odrzuce- niu ziarn $\emptyset > 80$ mm
Niedzica	N	-	5,0	17,8	10,6	10,1	14,0	7,5	5,0	5,0	7,0	16,7	1,1	0,2	-	-	naturalne uziarnienie
Wisła-Czarne	W.Cz.-I	+			7,0	22,0	16,0	15,0	10,0	8,0	4,0	12,0	3,8	2,2	147	19,31	po odrzuce- niu ziarn $\emptyset > 80$ mm
Wisła-Czarne	W.Cz.-II	-	21,0	16,0	6,6	3,9	12,2	8,3	7,4	5,0	5,7	10,0	2,6	0,7	80	31,00	$\emptyset > 80$ zast. 60-80
Wisła-Czarne	W.Cz.-III	+			41,6	10,4	13,0	10,0	8,0	4,0	3,0	8,0	1,0	-	34	31,22	$\emptyset > 80$ zast. 60-80
Wisła-Czarne	W.Cz.-II	-	22,6	11,0	8,0	10,4	13,0	10,0	8,0	4,0	3,0	8,0	1,0	-	34	51,18	naturalne uziarnienie
Wisła-Czarne	W.Cz.-II	+			39,7	5,5	4,2	5,0	5,1	3,5	8,5	23,5	2,3	1,7	480	26,01	$\emptyset > 80$ zast. 60-80
Wisła-Czarne	W.Cz.-IV	-	31,0	6,2	3,5	5,5	4,2	5,0	5,1	3,5	8,5	23,5	2,3	1,7	480	51,06	naturalne uziarnienie
Wisła-Czarne	W.Cz.-V	+			42,5	3,4	5,8	6,1	6,1	6,1	5,5	17,0	4,5	3,0	480	27,62	$\emptyset > 80$ zast. 60-80
Wisła-Czarne	W.Cz.-V	-	25,4	12,5	4,6	3,4	5,8	6,1	6,1	6,1	5,5	17,0	4,5	3,0	480	49,29	naturalne uziarnienie
Głębiny /złóże N1	N-1	+	18,0	8,6	8,8	3,4	7,2	5,9	4,8	4,6	4,6	22,4	7,8	3,9	855	47,81	- " -
Głębiny /złóże N2	N-2	+	-	-	-	3,5	10,5	12,0	11,0	9,0	12,0	40,0	2,0	1,0	12	6,89	- " -
Głębiny /złóże N5	N-5	+	-	2,5	4,5	4,0	16,0	11,0	9,0	6,5	10,0	32,5	2,0	2,0	43	15,45	- " -
Głębiny /złóże N5	N-5	+	-	-	-	-	5,5	11,0	12,5	12,0	15,0	40,0	2,0	2,0	8	4,39	- " -

4.3. Badanie składu litologicznego

4.3.1. Wstęp

Ustalenie rodzaju materiału budującego grunty gruboklastyczne jest konieczne ze względu na określenie tendencji do wietrzenia wbudowanego w korpus zapory gruntu z upływem czasu oraz określenia wpływu składu petrograficznego na cechy fizyko-mechaniczne.

Skład litologiczny określa się ilością procentowego występowania różnych skał /magmowych, osadowych i metamorficznych/ /22/.

Badania składu litologicznego można przeprowadzać makroskopowo lub przy użyciu odpowiednio precyzyjnych przyrządów np. mikroskopu polaryzacyjnego.

Badanie składu litologicznego makroskopowo polega na opisie rodzaju skały na podstawie oględzin gołym okiem lub przy użyciu prostych przyrządów /lupy, scyzoryka, młotka/.

Badanie składu litologicznego badanych prób gruntów gruboklastycznych wykonano zgodnie z opisem podanym niżej.

4.3.2. Opis badań składu litologicznego

Analizę składu litologicznego przeprowadzono makroskopowo w poszczególnych frakcjach.

W całości analizowano frakcję powyżej 120; 120+80, 80+60, 60+40 i 40+20 mm. Frakcję 20+10 mm analizowano w całości o ile jej ciężar nie przekraczał 2 kg. W przypadku większego ciężaru wydzielano metodą ćwiartowania próbkę o ciężarze 0,5 kg. Z frakcji \emptyset 10+5 mm i \emptyset 4+2 mm wydzielano metodą ćwiartowania próbkę o ciężarze około 0,1 kg. We frakcji \emptyset 2+1 mm określono

skład litologiczny jedynie orientacyjnie pod lupą binokularną. Wyniki badań składu litologicznego frakcji > 2 mm podano w tablicy 4.2.

We frakcji poniżej 2 mm dominuje we wszystkich próbach kwarc.

Skład granulometryczny i litologiczny badanych prób potwierdza się z danymi podanymi w rozdziale 3.

4.4. Badanie kształtu ziarn

Kształt ziarn ma znaczenie zarówno przy zagęszczeniu gruntów gruboklastycznych, jak i wpływa na wielkość oporu tarcia wewnętrznego.

Oznaczanie kształtu kruszywa do betonu określa się zgodnie z PN-66/B-06714 /60/.

Do analizy kształtu otoczek w geologii przyjęta jest metoda Zingga /52/. Metoda ta polega na zmierzeniu trzech głównych średnic ziarna /a, b i c/ i określeniu wzajemnych stosunków tych średnic / $\frac{b}{a}$ i $\frac{c}{b}$ /. Schemat klasyfikacji Zingga pokazano na rys.4.2.

Według klasyfikacji Zingga rozróżniamy następujące typy ziarn: dyskoidalny, sferoidalny, elipsoidalny /pryzmatyczny/ i wrzecionowaty /listewkowaty/.

Wyniki badań kształtu ziarn podano w tablicy 4.3.

W gruntach gruboklastycznych z kamieńca Dunajca przeważa kształt dyskoidalny i sferoidalny /granity/. natomiast w gruntach ze złoża w Wiśle-Czarne i Niedzicy przeważa kształt dyskoidalny przy mniej więcej równomiernym występowaniu kształtów pozostałych. W gruncie z Głębinowa występują kształty sferoidalne, elipsoidalne i dyskoidalne w jednakowym stopniu /40/.

Skład litologiczny gruntów gruboklastycznych /frakcji > 2 mm/ badanych w aparatach wielkowymiarowych w % wag. w stosunku do ciężaru całej próby

Miejsce pobrania próby i oznaczenie	Rzeka	Frakcja	Skały magmowe		Skały osadowe										Skały metamorf. Grejsy i łupki krystal.
			Granity	Pegmatyty	Piaski i kwarcy	Skały węglanowe	Piaszkowce	Piaszki	Radio-laryty	Kwarcy	Kalcyt	Łupki szowe	Zlepieńce		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Sromowce Wyżne /S-1/1965	Dunajec	>2	37,2	-	-	1,8	19,9	-	0,6	-	-	-	-	-	
Sromowce Wyżne /S-2/1966	Dunajec	>2	42,3	-	7,0	9,2	21,3	0,05	2,5	0,05	-	-	-	-	
Fradman /F/	Białka	>2	58,2	-	8,2	-	5,9	-	1,9	-	-	-	-	-	
Jazowsko /J/	Dunajec	>2	8,7	-	2,6	6,6	55,6	-	0,1	-	-	-	-	-	
Kojsówka /K/	Czarny Dunajec	>2	32,7	0,9	4,7	5,8	23,2	-	4,5	-	-	-	-	3,9	
Niedzica /N/	Niedziczanka	>2	-	-	-	10,2	77,8	-	-	0,2	-	-	-	-	

d.c. tablicy 4.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Wisła-Czarne /W.Cz.-I/	Biała Wisłoka	> 2	-	-	-	-	78,1	-	2,9	-	0,5	0,5	-	-
Wisła-Czarne /W.Cz.-III/	" -	> 80 ^{x/}	-	-	-	-	26,9	-	-	-	3,8	2,7	-	x/ Bada- no tylko frak. > 80mm
Wisła-Czarne /W.Cz.-II/	" -	> 2	-	-	-	-	52,4	-	5,4	-	-	6,4	-	-
Wisła-Czarne /W.Cz.-IV/	" -	> 2	0,4	-	-	-	56,6	-	4,6	-	0,2	8,2	-	-
Głębinów /N -1/	Nysa Kłodzka	> 2	11,2 ^{xx/}	-	7,8	-	-	1,3	21,1	-	-	-	5,9	xx/ grani- -zdoby
Głębinów /N -2/	Nysa Kłodzka	> 2	8,1 ^{xx/}	-	3,7	-	-	0,3	29,0	-	-	-	4,5	-
Głębinów /N-5/	Nysa Kłodzka	> 2	5,5 ^{xx/}	-	6,6	-	-	0,2	23,0	-	-	-	4,5	-

Kształt ziarn⁴⁹Zingga prób gruntu gruboklastycznego badanych w aparatach wielkowymiarowych /% ilościowy/

Miejsca pobrania dużej próby	Rzeka	Fracja mm	Dyskoidalny	Sferoidalny	Elipsoidalny	Wrzecionowaty
Sromowce Wyżne 1965	Dunajec	>5	40,5	38,5	6,8	14,2
Sromowce Wyżne 1966	- " -	>5	37,0	43,1	7,3	12,6
Frydman	Biała	>5	26,9	55,1	3,3	14,7
Jazowsko	Dunajec	>5	45,5	25,5	15,5	13,5
Kojsówka	Czarny Dunajec	>5	38,8	25,9	17,0	18,3
Niedzica	Niedziczanka	>5	56,0	10,0	24,0	10,0
Wisła-Czarne /W.Cz.I/	Biała Wiselka	>20	44,4	23,7	17,0	14,9
Wisła-Czarne /W.Cz.III/	- " -	>80	56,8	19,4	17,9	5,9
Wisła-Czarne /W.Cz.II/	- " -	>60	51,9	17,1	18,4	13,2
Wisła-Czarne /W.Cz.IV/	- " -	>40	58,8	11,8	19,3	10,1

4.5. Badanie stopnia obtoczenia

Obtoczenie ziarn posiada istotny wpływ na wytrzymałość gruntów na ścinanie, osiadanie oraz zagęszczanie.

Stopień obtoczenia ziarn określa się zazwyczaj w odpowiedniej skali, przez porównanie badanych ziarn lub ich zarysów z ziarnami wzorcowymi.

Do określenia stopnia obtoczenia różni badacze stosują różne skale i różne metody. Turnau-Morawska /87/ podaje 3 stopniową skalę obtoczenia, Ruchin /8, 77/ podaje 5 stopniową, Stein /79/ podaje 6 stopniową, Kolbuszewski /30/ aż 9 stopniową skalę obtoczenia. Krygowski /31/ do określenia stopnia obtoczenia ziarn stosuje metodę zwaną graniformometrią mechaniczną.

Do badania stopnia obtoczenia ziarn metodą Krygowskiego służy graniformometr spychaczowy; badania prowadzi się dla frakcji 0,3 - 2 mm. Do gruntów gruboziarnistych metoda ta nie nadaje się; należałoby zaprojektować większy graniformometr. Pozostałe metody można natomiast zastosować do badań stopnia obtoczenia gruntów ziarnistych.

Jednym z najprostszych sposobów wyznaczania stopnia obtoczenia ziarn jest metoda opisana przez Ruchina /8, 77/. Metoda ta polega na porównaniu badanych ziarn z 5 stopniową skalą obtoczenia /rys.4.3/.

Średni stopień obtoczenia $S_{o\text{sr}}$ badanej frakcji gruntu wyraża się wzorem:

$$S_{o\text{sr}} = \frac{1}{n} \sum y_o \cdot S_o \cdot 25 \% \quad /4.4/$$

n - liczba użytych ziarn do analizy

y_o - liczba ziarn o danym stopniu obtoczenia

S_o - stopień obtoczenia przyjmowany: dla ziarn a równy $S_o = 0$,

dla $b S_0 = 1$, dla $c S_0 = 2$, dla $d S_0 = 3$ i dla $e S_0 = 4$. Według Ruchina do kategorii ziarn nieobtoczonych zalicza się ziarna, których średni stopień obtoczenia wynosi mniej niż 50 %, w przeciwnym przypadku zalicza się ziarna do kategorii obtoczonych.

Wyniki badań pobranych prób do badań w aparatach wielkomiarowych podano w tabelicy 4.4. Z przedstawionych danych widać, że grunty z doliny Dunajca są bardziej obtoczone niż grunty ze złoża w Wiśle-Czarne. We frakcjach drobniejszych średni stopień obtoczenia ziarn jest mniejszy niż w grubszych. Grunty z Głębinowa mają ziarna na ogół kanciaste i słabo obtoczone /40/.

4.6. Badania ciężarów objętościowych, nasiąkliwości i ciężarów właściwych niektórych skał wchodzących w skład badanych gruntów gruboziarnistych.

Ciężar objętościowy i właściwy oraz nasiąkliwość gruntu mają wpływ na parametry określające zagęszczenie gruntu / γ_{os} , w/.

Badanie ciężaru objętościowego ziarn wykonano w wodzie zgodnie z normą PN-55/B-04488 /59/.

Badanie nasiąkliwości ziarn wykonano zgodnie z normą PN-66/B-06714 /60/.

Badanie ciężaru właściwego wykonano zgodnie z normą PN-60/B-04486 /58/.

Wyniki poszczególnych badań podano w tabelicy 4.5. Z przedstawionych danych widać, że grunt z doliny Dunajca charakteryzuje się większym ciężarem objętościowym poszczególnych ziarn oraz znacznie mniejszą nasiąkliwością niż grunt z doliny Wisły i Soły.

Tablica 4.4.

Sredni stopień obtoczenia ziarn badanych gruntów gruboziarnis-
-tych w wielkowymiarowych aparatach wg Ruchina w %%

Miejsce pobrania dużej próby	Rzeka	Frakcja	Sredni stopień obtroczenia
Sromowce Wyżne 1965	Dunajec	>40 5 ÷ 40	57,0 26,0
Sromowce Wyżne 1966	Dunajec	>40 5 ÷ 40	62,5 24,7
Frydman	Biała	>40 5 ÷ 40	51,0 23,2
Jazowsko	Dunajec	>40 5 ÷ 40	53,0 60,0
Kojsówka	Czarny Dunajec	>40 5 ÷ 40	45,5 36,0
Niedzica	Niedziczanka	>40 5 ÷ 40	41,0 35,6
Wisła-Czarne /W.Cz.I/	Biała Wisłoka	>40 20 ÷ 40	31,8 22,2
Wisła-Czarne /W.Cz.III/	- " -	>80	59,5
Wisła-Czarne /W.Cz.II /	- " -	>60	16,4
Wisła-Czarne /W.Cz.IV/	- " -	>40	37,5

Zestawienie wyników badań ciężarów objętościowych / γ_{os} nasiąkliwości i ciężarów właściwych ziarn z poszczególnych złóż x/

Miejsce pobrania próby i numer	Rodzaj skały	Frakcja	Ciężar objętościowy szkieletu γ_{os} / G/cm ³	Ciężar właściwy γ / G/cm ³	Nasiąkliwość /N/ %	Dane z literatury /27, 48/ γ / G/cm ³	N
1	Granit	20-120	2,61-2,71 /2,67/	2,67-2,69 /2,68/	0,4-0,7 /0,5/	2,61-2,68	0,02-0,39
	Piaskowiec	20-120	2,43-2,62 /2,52/	2,64	0,5-1,7	2,31-2,67	0,3-4,8
	Kwarcyt	20-120	2,55-2,75 /2,64/	2,70	0,5-1,1	2,36-2,64	0,5-3,4
	Wapień	20-120	2,66-2,82 /2,75/	2,90	1,4-1,7 /1,6/	2,71-2,74	0,2-0,5
		7-40	-	-	3,0	-	-
		<7	-	2,67-2,71 /2,69/	-	-	-
	Piaskowiec	>7	2,61-2,63 /2,62/	2,68-2,71 /2,69/	3,7	2,31-2,67	0,3-4,8
		<7	-	2,69	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wisła-Czarne /W.Cz.-I i W.Cz.-III/	Piaskowiec	>80			1,2			
		20-80	2,55-2,63 /2,57/	2,61-2,71	1,0-3,0 /1,8/			
		10-40	-	/2,67/	2,7			
		5-10	-		5,8			
		<7		2,63-2,70 /2,66/				
Wisła-Czarne /W.Cz.-II i W.Cz.-IV/	Piaskowiec	20-120	2,55-2,63 /2,57/		1-6-2,8 /2,2/			
		10-20	-	2,67	3,6	2,36-2,67	2,60-2,70	0,2-6,2
		5-10	-		5,9			
		<7	-		2,66			
Tresna	Piaskowiec	20-80	-	-	-	2,44		2,4
		10-20	-	-	-	2,47	2,65	2,5
		5-10	-	-	-	2,49		2,1

x/ w nawiasach podano wartości średnie - arytmetyczne

5. Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym typu Proctora

Wstęp

Zagęszczalnością gruntów nazywa się ich zdolność do uzyskania określonych ciężarów objętościowych szkieletu gruntowego / γ_{os} / w zależności od użytej energii zagęszczania /E/ i sposobu jej użycia oraz rodzaju i wilgotności /w/ gruntu /93, 94/.

Nasypy ziemne buduje się z różnych przydatnych do tego celu gruntów, które zagęszcza się tak, aby budowla po ukończeniu miała odpowiednią /dostateczną/ stabilność i nie ulegała dodatkowej i długotrwałej konsolidacji. Aby sprawdzić, że osiągnięto pożądaną efekt zagęszczenia nasypu, przeprowadza się jego badania kontrolne; najczęściej określa się wskaźnik zagęszczenia nasypu $W_z = \frac{\gamma_{os_{nas}}}{\gamma_{os_{max}}}$.

Do określenia wskaźnika zagęszczenia należy znać ciężar objętościowy szkieletu gruntowego / γ_{os} / w nasypie oraz maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego / $\gamma_{os_{max}}$ / wg badań Proctora /94/.

5.1. Przegląd literatury

Badania kontrolne jakości nasypów zapoczątkował Proctor /94/, który w 1933 r. podał opracowane przez siebie metody badań gruntów drobnoziarnistych. Ustalił on sposób laboratoryjnego wyznaczania wilgotności optymalnej " w_{opt} ", przy której uzyskuje się największe zagęszczenie gruntu " $\gamma_{os_{max}}$ " dla określonej energii.

Obecnie znane są podstawowe cztery metody laboratoryjnego zagęszczania gruntów drobnoziarnistych przez ubijanie w cylindrze; metoda normalna /Proctora/, metoda zmodyfikowana, metoda tłoczko-wa i metoda DORNII /94/. Ze względu na małe objętości cylindrów /71+2200 cm³/ oraz istniejące ograniczenia wymiarów cylindra w stosunku do wymiaru maksymalnych ziarn w gruncie, metody te bezpośrednio nie nadają się do badania w_{opt} i $\gamma_{os_{max}}$ gruntów gruboziarnistych / $d > 7$ mm/.

Na temat wymiarów cylindrów do zagęszczania gruntu w stosunku do maksymalnych ziarn gruntu w literaturze są różne zdania.

Według normy PN-59/B-04491 /61/ do zagęszczania dopuszcza się ziarna mniejsze od 1/16 średnicy cylindra. W badaniach wykonywanych przez Proctora /94/ stosunek średnicy maksymalnego ziarna do średnicy cylindra wynosi $\sim \frac{1}{21}$.

W Niemczech przyjmuje się, że średnica cylindra powinna być 8-krotnie większa od ziarn, których w gruncie jest 75 % /1, 9/.

Gilg /13/, Sherard /93/, Breth /6/ i inni /1, 100/ przyjmują, że stosunek średnicy próbki do średnicy największego ziarna w badanej próbce powinien być większy od 5.

Z powyższego wynika, że do laboratoryjnego określenia zagęszczalności gruntów gruboziarnistych / w_{opt} i $\gamma_{os_{max}}$ /, należy stosować aparaty wielkowymiarowe.

Badaniami zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparatach wielkowymiarowych zajmowali się Breth /6/, Gordon i Miller /14/, Marsal /45/ i inni. Breth /6/ zagęszczał ubijakiem grunty używane do budowy zapory w Vianden w aparacie o średnicy $D=h = 30$ cm; uziarnienie gruntu $d < 60$ mm. Gordon i Miller /14/ badali zagęszczalność gruntów zapory w Orovill o uziarnieniu do 75 mm w aparatach o średnicy 50 cm ubijakiem o ciężarze 58 kG.

Oprócz badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych ubijakiem stosuje się badania zagęszczalności metodami wibracyjnymi w aparatach wielkowymiarowych /14, 45/.

Na podstawie rozważań teoretycznych opracowano też do określania $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} gruntów gruboziarnistych wzory w oparciu o $\gamma'_{os_{max}}$ i w'_{opt} frakcji drobnej / $d < 7$ mm/; są to wzory podane przez Wilczyńskiego /97/, Akroyda /1/, Flossa /9/, MacLeoda /1/ i innych.

Podawane wzory przez w/w autorów w różnej postaci są równoważne. W najprostszej formie wzory na $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} podane są przez Flossa /9/, wg którego:

$$\gamma_{os_{max}} = \frac{100 \cdot \gamma \cdot \gamma'_{os_{max}}}{\gamma / 100 - P + P \cdot \gamma'_{os_{max}}}, \text{ G/cm}^3 \quad /5.1./$$

$$w_{opt} = \frac{w'_{opt} / 100 - P + w \cdot P}{100}, \% \quad /5.2/$$

gdzie:

$\gamma_{os_{max}}$ - maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntu gruboziarnistego,

$\gamma'_{os_{max}}$ - maksymalny ciężar objętościowy szkieletu frakcji drobnej / $d < 7$ mm/ określony laboratoryjnie wg metody Proctora,

γ - ciężar właściwy grubej frakcji,

P - procentowa zawartość frakcji gruboziarnistej / $d > 7$ mm/,

w_{opt} - wilgotność optymalna gruntu gruboziarnistego

w'_{opt} - wilgotność optymalna frakcji drobnej / $d < 7$ mm/ określona wg metody Proctora,

w_g - wilgotność frakcji gruboziarnistej $/d > 7 \text{ mm}/$ przyjmowana do obliczeń za równą nasiąkliwości, a według Wilczyńskiego /97/ za równą zero.

Wzory te według US Reclamation Bureau - USA /1/ można stosować dla gruntów zawierających do 50 - 60 % zawartości ziarn grubych /rys.5.1/, Floss /9/ natomiast zaleca stosować je tylko do 25 % zawartości ziarn grubych, gdyż powyżej tej granicy spada zagęszczenie wypełniacza. Przy większej zawartości nadziarna zagęszczenie maleje; związane to jest z utworzeniem się szkieletu z frakcji grubej, w związku z czym zagęszczenie frakcji drobnej jest znacznie mniejsze niż przy zerowej zawartości nadziarna.

Zagęszczalność gruntów zależy też od wielu innych czynników. Najważniejsze z nich to są:

- a/ uziarnienie gruntu
- b/ kruszenie się ziarn
- c/ stopień obtoczenia
- d/ suszenie gruntu przed zagęszczeniem.

Wpływ uziarnienia uwydatnia się tym, że im drobniejszy materiał zagęszczamy, tym wyższe otrzymujemy w_{opt} i niższe $\gamma_{os_{max}}$ /1, 49/. Zagęszczalność żwirów jest tym większa im większy jest wskaźnik różnoziarnistości /89/.

Kruszenie się ziarn przy ubijaniu może spowodować wzrost ciężaru objętościowego nawet o $0,08 - 0,16 \text{ G/cm}^3$ /1/.

Zagęszczalność zależy od kształtu i obtoczenia ziarn /1/; materiał ostrokrawędzisty zagęszcza się bardziej niż obtoczony /rys.5.1/.

Dość znaczny wpływ może wywierać suszenie gruntu; wysuszenie próbek gruntu i ich zagęszczanie po ponownym zawilgoceniu zgodnie z normą PN-59/B-04491 /61/ nie odpowiada warunkom natu-

-ralnym formowania nasypu, gdzie zagęszcza się najczęściej grunt o wilgotności naturalnej bez suszenia. Wykonane badania porównawcze zagęszczalności gruntu spoistego o naturalnej wilgotności przy zmianie jej stopniami przez nieznaczne podsuszanie /ewentualnie zawilgacanie/, wykazały w stosunku do wyników badań według normy różnice w wilgotnościach optymalnych ok. 10 % względnych i maksymalnego ciężaru objętościowego szkieletu około 2 % względnych /93/.

Z przedstawionej literatury wynika, że brak jest jednoznacznych metod określania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych używanych do budowy zapór ziemnych, a mających niejednokrotnie ziarna większe od 200 mm. Brak jest też wyjaśnienia wpływu różnych czynników na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych. Stosowalność wzorów obliczeniowych jest też ograniczona; brak jest porównania danych obliczeniowych z wynikami badań gruntów gruboziarnistych w aparatach wielkowymiarowych. W Polsce poza tym brak jest również danych co do w_{opt} i $\gamma_{os_{max}}$ gruntów pochodzenia fliszowego i innych gruntów gruboziarnistych używanych do budowy zapór ziemnych.

W związku z powyższym zaprojektowano i wykonano w 1966 r wielkowymiarowy aparat typu Proctora do badania gruntów gruboziarnistych /rys.5.2 i 5.3/.

5.2. Badania zagęszczalności gruntu w aparacie wielkowymiarowym

5.2.1. Opis aparatu

Aparat /rys.5.2 i 5.3/ składa się z cylindra o średnicy 100 cm i wysokości 130 cm, ubijaka o ciężarze 109 kg lub 320 kg i średnicy 45 cm / ciężar ubijaka uzależniony jest od metody zagęszczania/ i obrotowej prowadnicy rurowej, w której opada ubijak.

Pierścień obrotowej prowadnicy zawieszony jest na trójnożu. Ubijak jest podnoszony przy pomocy ręcznej windy kozłowej, a opuszczany jest przez uchylenie haka, na którym jest zawieszony. Zaletą aparatu jest możliwość szybkiego przestawiania ubijaka /prowadnica/ oraz łatwe opróżnianie cylindra z gruntu, przez zastosowanie w cylindrze otwieranych drzwiczek. Należy też zaznaczyć, że jest to prototyp oryginalnego aparatu wielkowymiarowego, skonstruowanego po raz pierwszy w Polsce.

5.2.2. Opis metod badań zagęszczalności w aparacie wielkowymiarowym

5.2.2.1. Metoda normalna

Grunt według metody normalnej zagęszczano w 3-ch warstwach o grubości 33 cm każda ubijakiem 109 kG. Ilość uderzeń na warstwę 119. Wysokość opadania ubijaka 121 cm. Grubość całkowita ubitych 3-ch warstw ~ 100 cm. Energia jednostkowa zagęszczania 6 kGcm/cm^3 .

Zagęszczanie gruntu przeprowadzano rozpoczynając od wilgotności w stanie powietrzno suchym, a następnie grunt zawilgaczano zwiększając wilgotność stopniami o $0,5 \pm 2 \%$. Po zagęszczeniu gruntu określano jego objętość, ciężar oraz wilgotność. Objętość zagęszczonego gruntu ustalano na podstawie pomiaru wysokości powierzchni próbki w kilkadziesiąt punktach. Ciężar zagęszczonego gruntu w cylindrze określano przez ważenie na wadze dziesiętnej z dokładnością 0,1 kg. Wilgotność gruntu oznaczano na 3-ch wysokościach próby. Do oznaczenia wilgotności pobierano z 10-ciu punktów na danej wysokości około 5-8 kg gruntu, a następnie suszono do stałego ciężaru.

W aparacie wykonywano badania gruntów gruboklastycznych:
a - o naturalnym uziarnieniu $\varnothing < 200 \text{ mm}$, b - o naturalnym uziarnieniu po odrzuceniu ziarn $\varnothing > 80 \text{ mm}$, c - o naturalnym

uziarnieniu przy zastąpieniu ziarn $\emptyset > 80$ mm ziarnami $\emptyset 60-80$ mm. Badania zagęszczalności o uziarnieniu $\emptyset < 80$ mm wykonywano ze względu na aparat skrzynkowy wielkowymiarowy, w którym badano grunt zagęszczany do γ_{os}/w z krzywej zagęszczalności, a dla którego przyjęto stosunek maksymalnego ziarna do najmniejszego wymiaru próby $\frac{1}{10}$.

5.2.2.2. Metoda zmodyfikowana

Grunt według metody zmodyfikowanej zagęszczano w 5-ciu warstwach o grubości ~ 20 cm każda ubijakiem 320 kG. Ilość uderzeń na warstwę 107. Wysokość opadania ubijaka 124 cm. Grubość całkowita ubitych 5-ciu warstw ~ 100 cm. Energia jednostkowa zagęszczania 27 kGcm/cm^3 . Dalsze postępowanie jak w metodzie normalnej.

5.2.2.3. Zagęszczanie gruntu według energii równej 1/2 energii normalnej

Kilka prób gruntu wg tej metody zagęszczano podobnie jak wg metody normalnej w 3-ch warstwach lecz stosowano ilość uderzeń na warstwy kolejno 59, 59 i 60.

Energia jednostkowa zagęszczania 3 kGcm/cm^3 .

5.2.2.4. Zagęszczanie się gruntu luzem nasypanego

Kilka badań wykonano przez usypanie gruntu do cylindra aparatu bez zagęszczania udarowego. Badanie rozpoczynano od wilgotności gruntu w stanie powietrzno suchym, a następnie grunt zawilgacano zwiększając wilgotność stopniami.

Zestawienie wyników badań zagęszczenia gruntów gruboklastycznych w aparacie wielkowymiarowym typu Proctora

Miejsce pobrania próby /Numer próby/	Uziarnienie	d _{sr} próby	Metoda							
			normalna	zmodyfikowana	Eng. = 1/2 norm.	Luzemsypany	γ _{os} max / E=0/			
			γ _{os} max	w _{opt}	γ _{os} max	w _{opt}	γ _{os} max	w _{opt}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sromowce Wyżne /S-2/ kamieniec Dunajca	φ < 80 mm; bez zastępowania φ > 80 mm frakcją 60÷80 mm	22,51	2,245	5,9						
Frydman /F/ kamieniec Białki	- " -	14,89	2,23	6,2						
Jazowsko /J/ kamieniec Dunajca	- " -	19,36	2,162	6,9						
Kojsówka /K/ kamieniec Czarnego Dunajca	- " -	19,29	2,21	5,5						
Niedzica /N/ kamieniec Niedziczanki	- " -	19,31	2,11	8,4						
Wisła-Czarne /W.Cz.-I/ kamieniec Białej Wisłki	φ < 80 mm; φ > 80 mm zast. φ 60-80 mm	31,00	2,22	6,6						

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Wisła-Czarne /W.Cz.-III/ kamieniec Białej Wisłęki	∅ < 80 mm; ∅ > 80 mm zast. ∅ 60-80 mm	31,22	2,13	6,7			2,08	8,0	~1,85	~6
Wisła-Czarne /W.Cz.-II/ taras wysoki Białej Wisłęki	- "	26,01	2,15	7,3					~1,83	~11
Wisła-Czarne /W.Cz.-IV/ taras wysoki Białej Wisłęki	- "	27,62	2,135	6,7						
Wisła-Czarne /W.Cz.-III/ naturalne uziarnienie		51,18	2,22	6,0	2,31	3,0				
Wisła-Czarne /W.Cz.-IV/ -	- "	49,29	2,165	6,5						
Wisła-Czarne /W.Cz.-V/ taras wysoki Białej Wisłęki	- "	47,81	2,13	5,7	2,26	4,5				
Głębinów /złóże N-1/ taras Nysy Kłodzkiej	- "	6,89	2,01	9,7						
Głębinów /złóże N-2/ taras Nysy Kłodzkiej	- "	15,45	2,12	7,3						
Głębinów /złóże N-5/ taras Nysy Kłodzkiej	- "	4,39	1,99	9,7						

5.2.3. Badania zagęszczalności w wielkowymiarowym aparacie gruntów gruboziarnistych o różnym uziarnieniu i składzie litologicznym.

5.2.3.1. Cel badań

Celem badań było określenie $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} gruntów gruboziarnistych przy różnej energii zagęszczania oraz ustalenie wpływu uziarnienia, składu litologicznego i pochodzenia gruntów gruboklastycznych na zagęszczalność. Charakterystykę badanych gruntów podano w tablicy 4.1 - 4.5 i na rys.4.1.

5.2.3.2. Wyniki badań

Badania zagęszczalności przeprowadzono przy energii normalnej /6 kGcm/cm³/, zmodyfikowanej /27 kGcm/cm³/, energii równej 0,5 energii normalnej /3 kGcm/cm³/ i gruntu luzem nasypanego /energia równa 0/.

Wyniki badań zagęszczalności podano w tablicy 5.1 i na rys.5.4 - 5.8.

5.2.3.3. Oszacowanie błędu pomiaru γ_{os} w wielkowymiarowym aparacie Proctora

a/ Oszacowanie błędu γ_0 :

$$\gamma_0 = \frac{G}{V} = \frac{n \cdot G_1 \cdot 4}{\pi \cdot d^2 \cdot h}$$

gdzie:

- G - ciężar próbki
- V - objętość próbki
- d - średnica próbki
- h - wysokość próbki
- G₁ - ciężar gruntu w 1 ważeniu
- n - ilość ważeń.

Po zlogarytmowaniu /przy podstawie e/ i zróżniczkowaniu przechodząc od przyrostów nieskończenie małych do przyrostów skończonych otrzymamy wzór na błąd względny γ_0 :

$$\left/ \frac{\Delta \gamma_0}{\gamma_0} \right/ = \left/ -\frac{\Delta G_1}{G_1} \right/ + \left/ \frac{2 \cdot \Delta d}{d} \right/ + \left/ -\frac{\Delta h}{h} \right/$$

Oszacowanie błędów

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
G_1	100 kG	ΔG_1	0,1 kG	dokładność ważenia
d	100 cm	Δd	0,1 cm	dokładność pomiaru
h	100 cm	Δh	1 cm	dokładność pomiaru

Po podstawieniu danych do wzoru otrzymamy wielkość błędu względnego:

$$\left/ \frac{\Delta \gamma_0}{\gamma_0} \right/ = \frac{0,1}{100} + \frac{2 \cdot 0,1}{100} + \frac{1}{100} = 0,001 + 0,002 + 0,01 = 0,013 = 1,3 \%$$

b/ Oszacowanie błędu wilgotności w_{opt} :

$$w = \frac{G_w}{G_s} \cdot 100 \% = \frac{G + T - G_s + T}{G_s + T - T} \cdot 100 \%$$

gdzie:

G_w - ciężar wody zawartej w próbce

G_s - ciężar próbki po wysuszeniu

G - ciężar próbki wilgotnej

T - tara.

Błąd względny wilgotności /w_{opt}/ wynosi:

$$\frac{\Delta w}{w} = \frac{\Delta G_w}{G_w} + \frac{\Delta G_s}{G_s} = \frac{12}{400} + \frac{7}{4600} = 0,03 + 0,0015 = 0,0315 \approx 3,2 \%$$

Oszacowanie błędów

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
G	5000 G	ΔG	5 G	dokładność ważenia
G _s	4600 G	ΔG_s	7 G	równy sumie błędów
T	500 G	ΔT	1 G	- " -
G _w	400 G	ΔG_w	12 G	- " -

$$G_w = G + T - G_s - T$$

$$\Delta G_w = \Delta G + \Delta T + \Delta G_s + \Delta T = 5 + 1 + 5 + 1 = 12 \text{ G}$$

$$G_s = G_s + T - T$$

$$\Delta G_s = \Delta G_s + \Delta T + \Delta T = 5 + 1 + 1 = 7 \text{ G}$$

c/ Oszacowanie błędu $\gamma_{os_{max}}$:

$$\gamma_{os} = \frac{100 \cdot \gamma_0}{100+w} = \frac{100 \cdot \gamma_0}{w'}$$

Błąd względny $\gamma_{os_{max}}$ wynosi:

$$\frac{\Delta \gamma_{os_{max}}}{\gamma_{os_{max}}} = \frac{\Delta \gamma_0}{\gamma_0} + \frac{\Delta w'}{w'} = 0,013 + \frac{0,19}{106} = 1,5 \%$$

$$\Delta w' = \Delta w = 0,032 \cdot 6 = 0,19$$

Z przedstawionych danych wynika, że błąd względny $\gamma_{os_{max}}$ wynosi ok. 1,5 %, a wilgotności optymalnej ok. 3, 2 %.

5.2.3.4. Analiza otrzymanych wyników

a/ Wpływ energii zagęszczania na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych.

Z przedstawionych zależności /tablica 5.1 i rys.5.4-5.6/ wynika, że zagęszczalność gruntów gruboziarnistych podobnie jak i drobnoziarnistych zależy od energii zagęszczania; ze wzrostem energii zagęszczania wzrasta $\gamma_{os_{max}}$, a maleje w_{opt} . Zwiększenie $\gamma_{os_{max}}$ przy zagęszczaniu wg metody zmodyfikowanej wynosi średnio ok. 5 % względnych w stosunku do $\gamma_{os_{max}}$ przy zagęszczaniu wg metody normalnej. Spadek w_{opt} wynosi średnio około 35 % względnych w stosunku do w_{opt} przy energii normalnej. Wzrost $\gamma_{os_{max}}$ przy energii normalnej w stosunku do $\gamma_{os_{max}}$ gruntu luzem nasypanego wynosi średnio około 17 %, a przy energii zmodyfikowanej średnio około 23 %.

b/ Wpływ składu granulometrycznego i litologicznego

Z przedstawionych wykresów na rys. 5.7 i 5.8 widać, że $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} badanych gruntów gruboklastycznych w wielkowieściowym aparacie zależy od uziarnienia i pochodzenia /składu litologicznego/. Z badań gruntów z kamieńca Dunajca, zawierających dużą ilość granitów /tabl.4.2/, otrzymano większe wartości $\gamma_{os_{max}}$ niż dla gruntów z kamieńca Niedziczanki i Białej Wisieki składających się zasadniczo z piaskowców /tabl.4.2/. Potwierdza się to też w przypadku gruntu z Jazowska, w którym jest pewna ilość granitów; $\gamma_{os_{max}}$ dla gruntu z Jazowska jest większy niż dla gruntu z Niedzicy /kamieniec Niedziczanki/, a mniejszy niż dla gruntu z

Kojsówki, Sromowiec Wyż. i Frydmana.

Wilgotność optymalna tych gruntów, maleje ze wzrostem grubości uziarnienia. W_{opt} gruntów składających się w przeważającej części tylko z piaskowców jest większa niż gruntów składających się z piaskowców i granitów.

W celu wyjaśnienia wpływu uziarnienia i składu litologicznego na zagęszczalność gruntów wykonano dodatkowe badania zagęszczalności na próbkach gruntu ze złoża w Sromowcach Wyżnych /kamieniec Dunajca/ i Wisły-Czarne /taras wysoki Białej Wisłki/. Badania wykonano w aparacie normowym i w cylindrze CBR stosując energię normalną. Badano próby gruntu o uziarnieniu naturalnym po odrzuceniu ziarn większych od 2 mm, 7 mm, 10 mm i 20 mm. Wykresy uziarnienia badanych prób podano na rys.5.9. Wyniki badań zagęszczalności / w_{opt} i $\gamma_{os_{max}}$ / zestawiono w tablicy 5.2 i na rys.5.10 i 5.11.

Z przedstawionych zależności widać, że $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} zależy od uziarnienia i od składu litologicznego. Ze wzrostem d_{max} w próbce wzrasta $\gamma_{os_{max}}$ a maleje w_{opt} . Grunty z kamieńca Dunajca wykazały większe zagęszczenie niż próby z tarasu wysokiego Białej Wisłki. Wynika to z tego, że grunty z kamieńca Dunajca mają w swoim składzie ziarna granitów i wapieni /ok.50 %/ o większym ciężarze objętościowym / $2,67 + 2,75 \text{ G/cm}^3$ / w porównaniu z ziarnami piaskowców o mniejszym ciężarze objętościowym / $2,36 + 2,67 \text{ G/cm}^3$ / w gruncie z Wisły-Czarne /tabl.4.5/. Wilgotność optymalna gruntów gruboklastycznych z Wisły-Czarne składających się zasadniczo z piaskowców jest większa niż gruntów ze Sromowiec Wyżnych składających się z piaskowców i granitów; wynika to z dużej nasiąkliwości piaskowców /0,2 - 6,2 %/ w porównaniu do nasiąkliwości granitów /0,02-0,7%/ /tabl.4.5/.

Tablica 5.2

Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych o różnym uziarnieniu i składzie litologicznym

D _{max}	Sromowce Wyżne			Wisła-Czarne			Uwagi
	d _{śr}	γ _{os max}	w _{opt}	d _{śr}	γ _{os max}	w _{opt}	
	mm	G/cm ³	%	mm	G/cm ³	%	
2	0,91	1,98	11,4	0,55	1,96	10,3	1/Badania wykonane w cylindrze CBR
7	1,29	1,99	10,4	0,90	1,99	9,8	
10	1,93	2,03	9,5	1,56	2,02	9,8	2/Badania wykonane w aparacie wielkowi- miarowym
20	3,47	2,09	9,1	2,65	2,03	8,4	
20	-	-	-	2,65	2,07 ^{1/}	8,4 ^{1/}	
80	22,51	2,245 ^{2/}	6,0 ^{2/}	26,01	2,15 ^{2/}	7,3 ^{2/}	
80				27,62	2,14 ^{2/}	6,7 ^{2/}	
200				49,29	2,17 ^{2/}	6,5 ^{2/}	
200				47,81	2,13 ^{2/}	5,7 ^{2/}	

5.2.4. Porównanie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowi-
miarowym z wynikami badań zagęszczalności frakcji $\emptyset < 7$ mm w aparacie normowym

W aparacie normowym Proctora /94/ wykonano badania zagęszczalności gruntów po odsianiu ziarn $\emptyset > 7$ mm. Wyniki badań zagęszczalności w aparacie normowym podano w tablicy 5.3. Stosunek $\gamma_{os max}$ uzyskanego z badań w aparacie wielkowi-
miarowym do $\gamma_{os max}$ z badań w aparacie normowym średnio wynosi dla gruntów z doliny Dunajca 1,14, z Wisły Czarne 1,08 i z Głębinowa 1,09, a odpowiedni stosunek wilgotności optymalnych wynosi 0,58; 0,54-0,64 i 0,63.

W tablicy 5.3 zestawiono też wartości $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} obliczone na podstawie wzorów 5.1 i 5.2 /9, 97/. Obliczone wartości $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} dla gruntów z doliny Dunajca i Wisły-Ozarne nie pokrywają się z wynikami, uzyskanymi z badań w aparatach wielkowymiarowych. Obliczane wartości $\gamma_{os_{max}}$ są około 3-15 % większe od wyznaczanych z badań w aparacie wielkowymiarowym, a obliczone wartości w_{opt} wynoszą tylko około $0,34 \pm 0,83 w_{opt}$ wyznaczonych z badań w aparacie wielkowymiarowym. Uzyskane różnice między innymi wynikają z tego, że przy wprowadzaniu wzoru na $\gamma_{os_{max}}$ założono, że $\gamma'_{os_{max}}$ /drobnej frakcji/ nie zmienia się w miarę dodawania grubej frakcji, a wiadomym jest /9/, że przy zawartości frakcji grubej powyżej 25-30 % następuje zmniejszenie zagęszczenia frakcji drobnej. Potwierdzają to wyniki uzyskane z badań gruntów z Głębinowa /Próba N 1 i N 5/, które zawierają tylko 22 ± 31 % frakcji $\emptyset > 7$ mm; dla tych gruntów uzyskano zgodność obliczeń z wynikami badań.

5.2.5. Badanie wpływu stosunku średnicy cylindra do średnicy maksymalnego ziarna na zagęszczalność gruntów

Celem badań było sprawdzenie wpływu średnicy cylindra i średnicy maksymalnego ziarna na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych.

Badania ciężarów objętościowych gruntu luzem nasypanego i zagęszczanego przy stosowaniu energii normalnej wykonano w cylindrach o różnej średnicy.

Wyniki badań podano na rys. 5.12.

Z przedstawionych danych można orientacyjnie przyjąć, że dla stosunku średnicy cylindra do średnicy maksymalnego ziarna powyżej 5 następuje stabilizacja zagęszczenia.

Otrzymane wyniki potwierdzają dane podane w literaturze /1, 6, 13, 93, 98, 100/, że aparaty do badań gruntów gruboziarnistych powinny mieć średnicę co najmniej 5-krotnie większą do maksymalnego ziarna.

5.2.6. Wpływ zawartości grubej frakcji na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych

Badania wpływu zawartości grubej frakcji /nadziarna/ na zagęszczalność wykonano dla mieszanek gruntu: z kamieńca Dunajca i Niedziczanki oraz tarasu wysokiego Białej Wisiełki.

Badania zagęszczalności wykonano w aparacie normowym Proctora.

Zagęszczano mieszanki gruntu o składzie:

- 1/ $\emptyset < 7$ mm - 100 %
- 2/ $\emptyset < 7$ mm - 80 % i $\emptyset 7 - 20$ mm - 20 %
- 3/ $\emptyset < 7$ mm - 60 % i $\emptyset 7 - 20$ mm - 40%
- 4/ $\emptyset < 7$ mm - 40% i $\emptyset 7 - 20$ mm - 60 %
- 5/ $\emptyset < 7$ mm - 20 % i $\emptyset 7 - 20$ mm - 80 %
- 6/ $\emptyset < 7 - 20$ mm - 100 %.

Wyniki badań $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} poszczególnych prób podano na rys. 5.13 i 5.14.

Z przedstawionych zależności widać, że maksymalne zagęszczenie uzyskuje się przy zawartości ok. 50+70 % ziarn $\emptyset > 7$ mm, co pokrywa się z danymi z literatury /1, 9/.

Przy wzroście zawartości frakcji grubej maleje wilgotność optymalna gruntu ze złoża Sromowce Wyżne. Zależności tej nie otrzymano dla gruntu ze złoża w Wiśle-Czare. Różnice te wynikają stąd, że w czasie ubijania ziarna gruntu z Wisły-Czarne ulegały rozkruszeniu w znacznie większym stopniu niż ze Sromowiec Wyżnych.

Badania zgodnie z PN-59/B-06714 /60/ wykazały, że około 36 % ziarn \emptyset 7-20 mm gruntu z Wisły-Czarne ulega rozkruszeniu, a gruntu ze Sromowiec Wyżnych tylko około 5 %.

5.3. Wnioski z badań zagęszczalności

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

- 1/ Zwiększenie $\gamma_{os_{max}}$ przy zagęszczaniu energią 27 kGcm/cm³ wynosi średnio około 5 %, a spadek wilgotności optymalnej średnio około 35 % w stosunku do wyników zagęszczania energią normalną 6 kGcm/cm³.
- 2/ Wraz ze wzrostem grubości uziarnienia gruntu wzrasta jego zagęszczenie / $\gamma_{os_{max}}$ /, a maleje wilgotność optymalna / w_{opt} /. Największe zagęszczenie uzyskuje się przy zawartości w gruncie około 50-70 % ziarn > 7 mm.
- 3/ Grunty pochodzące z różnych rejonów, różniące się składem litologicznym, dają różne zagęszczenia; grunty zawierające w swoim składzie materiał o większym ciężarze właściwym dają większe wartości $\gamma_{os_{max}}$. Wpływ składu litologicznego na zagęszczalność zaznacza się wyraźnie dopiero przy zawartości w gruncie ziarn > 7 mm.
- 4/ Wartości $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} obliczone wzorami teoretycznymi /5.1 i 5.2/ wyprowadzonymi w oparciu o zagęszczalność frakcji drobnej < 7 mm nie pokrywają się z wynikami badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych o dużej zawartości frakcji grubej / $\emptyset > 7$ mm/ w aparacie wielkowymiarowym; obliczone wartości $\gamma_{os_{max}}$ są około 3-15 % większe od wyznaczonych z badań w aparacie wielkowymiarowym, a obliczone wartości w_{opt} wynoszą około 34-83 % w_{opt} wyznaczonych z badań. Wzory te można stosować do 30 % zawartości frakcji

>7 mm. Orientacyjne wartości $\gamma_{os\max}$ i w_{opt} gruntów gruboziarnistych można wyznaczać w oparciu o $\gamma'_{os\max}$, i w'_{opt} frakcji $\emptyset < 7$ mm przyjmując, że $\gamma_{os\max}$ gruntu gruboziarnistego równa się $/1,08 + 1,14/ \gamma'_{os\max}$, a $w_{opt} = /0,54 + 0,64/ w'_{opt}$.

5/ Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych należy wykonywać w aparatach wielkowymiarowych, o średnicy aparatu większej co najmniej 5 razy od średnicy maksymalnego ziarna w gruncie, lecz zaleca się dążyć do stosunku 10:1.

6/ Na podstawie przeprowadzonych badań gruntów gruboziarnistych można przyjąć następujące wartości $\gamma_{os\max}$ i w_{opt} przy zagęszczaniu energią 6 kGcm/cm^3 :

a/ grunt z doliny Dunajca; $\gamma_{os\max} = 2,11 + 2,25 \text{ T/m}^3$
i $w_{opt} = 8,4 + 5,5 \%$

b/ grunt z doliny Białej Wisłoki; $\gamma_{os\max} = 2,13 + 2,22 \text{ T/m}^3$
i $w_{opt} = 7,3 + 5,7 \%$

c/ grunt z doliny Nysy Kłodzkiej; $\gamma_{os\max} = 2,00 + 2,12 \text{ T/m}^3$
i $w_{opt} = 9,7 + 7,3 \%$

6. Badania kontrolne zagęszczenia gruntów gruboklastycznych w nasypach

6.1. Przegląd literatury

Badania kontrolne zagęszczenia nasypów polegają na określeniu ciężaru objętościowego gruntu / γ_0 / i jego wilgotności /w/ oraz ciężaru objętościowego szkieletu / γ_{os} /.

Kontrola zagęszczenia / γ_{os} / nasypów z gruntów gruboziarnistych jest bardzo trudna. Duża zawartość w gruncie grubych ziarn wyklucza możliwość zastosowania metod wycinania próby metalowym cylindrem /72/, a brak spójności wyklucza także zastosowanie innych metod stosowanych przy gruntach spoistych.

Oznaczanie ciężaru objętościowego gruboziarnistego gruntu wbudowanego w korpus zapory lub inny nasyp przeprowadza się następującymi metodami:

- 1/ metodą próbnego dołka /wykopu/
- 2/ metodami izotopowymi.

6.1.1. Metoda próbnego dołka

Metoda ta polega na określeniu ciężaru objętościowego gruntu drogą wykonania dołka /wykopu/, pomiarze jego objętości, zważeniu wydobytego gruntu i określeniu jego wilgotności.

Objętość dołka można między innymi określić przy pomocy:

- a/ bezpośredniego pomiaru geometrycznych elementów dołka /13/
- b/ piasku kalibrowanego /2, 23, 85/
- c/ zawiesiny tiksotropowej lub zawiesiny kleju /9,82/
- d/ folii oraz wody zimnej lub gorącej /65, 68/

e/ aparatu przeponowego /3, 9, 13/.

Przy metodzie "a" ważną rolę odgrywa wielkość wykopu. Im wykop jest większy tym dokładność określenia γ_0 jest większa. Na przykład dla zapory w Mattmark /13/ /Szwajcaria/ ustalono, że dla gruntu o uziarnieniu do 200 mm wykop powinien mieć objętość $\gg 6 \text{ m}^3$ i odpowiedni kształt.

Określenie objętości dołka przy pomocy piasku kalibrowanego polega na zasypaniu dołka suchym piaskiem kalibrowanym o znanym ciężarze objętościowym w stanie luźnym /rys.6.1/ /85/. Przy określaniu objętości dołka należy zachować takie same warunki sypania piasku kalibrowanego jak i przy jego kalibracji, gdyż γ_0 luzem sypanego piasku zależy między innymi od wysokości opadania i szybkości sypania ziarn /30, 2/. Szmakow /85/ podaje, że według tej metody błędy mogą sięgać wartość 12 % określonego ciężaru objętościowego gruntu. Na budowie zapory Orto-Tokojskiej wykorzystano do kontroli zagęszczenia gruntu gruboziarnistego $\emptyset < 200 \text{ mm}$ metodę opracowaną przez SANIIRI /23/. Istota tej metody polega na częściowym zastąpieniu piasku kalibrowanego ciałem o znanej objętości /rys.6.2/. Przedstawiony sposób jest wygodniejszy od poprzednio opisanych, ze względu na stosowanie mniejszej ilości piasku. Błąd określenia γ_0 według tej metody jest w porównaniu do poprzedniej metody 2 razy mniejszy /23/.

Badania objętości dołka przy pomocy zawiesiny tiksotropowej /ilastej/ i kleju rozpuszczonego w wodzie opisuje Sperling /82/ i Floss /9/. Objętość dołków w gruncie o uziarnieniu $\emptyset < 20 \text{ mm}$ wynosiła 3-4 l. Ciężar objętościowy zawiesiny wynosił $1,05 \pm 1,07 \text{ G/cm}^3$, a zawiesiny kleju $1,002-1,005 \text{ G/cm}^3$. Niedociągnięciem tej metody jest możliwość przygotowania zbyt gęstej lub zbyt ciekłej zawiesiny lub też niedokładne jej wymieszanie /82/.

Zastosowanie folii do określenia objętości dołków w gruntach drobnoziarnistych opisuje Paul /65/. Metoda ta polega na wyłożeniu dołka w gruncie folią plastikową i następnie wypełnienie go wodą zimną lub gorącą. Objętość dołków w badaniach Paula /65/ wynosiła około 50 cm^3 . Do określenia zagęszczenia gruntów gruboziarnistych zastosowano folię na zaporze Czarwaskiej w Zw.Radz. /68/. Grubość folii wynosiła 0,15-0,2 mm. Z przedstawionych badań wynika, że minimalna objętość wykopu, przy której ustala się γ_0 gruntu o zawartości frakcji <10 mm 3+10 % i frakcji 10+500 mm 90+97 % wynosi około 2 m^3 /rys.6.3/. Maksymalny błąd pojedynczego określenia γ_0 przy tej metodzie nie przewyższa 1,5 %.

Zastosowanie aparatu przeponowego do pomiaru objętości w gruncie gruboziarnistym opisuje Baveaux /3/. Opisany aparat składa się ze zbiornika na wodę o objętości 18 l, przepony gumowej /o grubości 0,5 mm/ w postaci balona napiętego na stożku metalowym umieszczonym pod zbiornikiem. Zbiornik zaopatrzony jest w tłok z wypuszczonym na zewnątrz wskaźnikiem prętowym objętości oraz manometr. W celu zabezpieczenia dokładnego przylegania przepony do ścianek dołka zadawano w zbiorniku ciśnienie $0,1 \text{ kg/cm}^2$. Objętość dołka odczytywano bezpośrednio na wskaźniku prętowym.

Aparat był wypróbowany na modelach sztywnych obrazujących dołki w gruncie o uziarnieniu 0+80 mm. Objętość badanych dołków wynosiła 12+14 l. Na podstawie badań porównawczych i analizy statystycznej stwierdzono, że objętości mierzone za pomocą aparatu przeponowego są mniejsze od rzeczywistych o 1,5 %.

O badaniach objętości dołków metodą przeponową wspomina też Floss /9/ i Gilg /13/. Gilg /13/ podaje, że metoda przeponowa przy wielkości dołków $\sim 200 \text{ l}$ jest niewystarczająca do

kontroli zagęszczenia gruntu o uziarnieniu do 200 mm. Błąd jest systematyczny t.zn. ciężary γ_{os} są stale za wysokie i to często o 10 %. Przyczyny szuka w uginaniu się ścian dołka po jego wykonaniu.

6.1.2. Metoda izotopowa

Metoda ta pozwala wyznaczyć gęstość gruntu w jego naturalnym stanie bez pobierania próbek. Pomiar ciężaru objętościowego gruntu za pomocą izotopów promieniotwórczych opiera się na zjawisku pochłaniania i rozpraszania emitowanych źródło przez przez kwantów gamma, przy przechodzeniu ich przez materię. Pomiar wykonuje się za pomocą sondy, w której znajdują się oddzielone przegrodą ołowianą źródło i detektor. Istota pomiaru według tej metody opiera się na istnieniu zależności funkcyjnej między natężeniem rozproszonego promieniowania gamma, a gęstością badanego ośrodka. Natężenie rejestrowanego przez detektor promieniowania gamma jest odwrotnie proporcjonalne do gęstości ośrodka /4, 29, 46, 47/.

Pierwsze badania zagęszczenia gruntów gruboziarnistych $\emptyset < 25$ cm /filtry odwrotne/ metodą izotopową w Polsce przeprowadzone zostały na zaporze w Tresnej /1963 r/ przez Katedrę Gruntoznawstwa i Bud. Ziemi SGGW przy współudziale Katedry Mechaniki Gruntów i Fundamentowania Politechniki Łódzkiej /4, 46, 47/. Badania przeprowadzono przy pomocy sondy powierzchniowej. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że różnice w pomiarze ciężaru objętościowego pomiędzy metodą wykopów z zastosowaniem piasku kalibrowanego, a metodą izotopową osiągają średnio około 5 % wartości oznaczonego ciężaru objętościowego /46/.

Badania zagęszczenia przy pomocy izotopów przeprowadzono między innymi też na zaporze Mattmark /13/. Uzyskane tam wyniki zagęszczenia metodą izotopową / $\gamma_{os} = 2,27 \div 2,59 \text{ G/cm}^3$ / są zbliżone do wyników uzyskanych metodą wykopów / $\gamma_{os} = 2,30 \div 2,61 \text{ G/cm}^3$ /. Uziarnienie badanego gruntu $< 200 \text{ mm}$.

Zaletą metody izotopowej przy pomocy sondy powierzchniowej jest to, że badanie wykonuje się szybko. Wadą natomiast jest to, że objęta badaniem strefa sięga tylko do głębokości około 15 cm /46/, a więc do gruntów gruboziarnistych może mieć ograniczone zastosowanie ze względu na występowanie w gruncie grubych ziarn oraz nieobejmowanie swym zasięgiem całej grubości zagęszczanej warstwy.

6.2. Przegląd literatury na temat metod oznaczania wilgotności gruntów gruboziarnistych

Jedną z podstawowych cech gruntów jest wilgotność. Znajomość wilgotności gruntów jest potrzebna przy określaniu zagęszczenia / γ_{os} /, ściśliwości i wytrzymałości. Określenie wilgotności gruntów drobnoziarnistych nie nastrocza większych trudności. Określenie natomiast wilgotności gruntów gruboziarnistych jest trudniejsze, gdyż przy suszeniu gruntu mamy do czynienia z dużymi próbkami.

Do określenia wilgotności gruntów gruboziarnistych stosowane są między innymi następujące metody:

- 1/ metoda suszenia
- 2/ metoda obliczeniowa
- 3/ metoda piknometryczna
- 4/ metoda izotopowa.

Metoda suszenia polega na wysuszeniu próbki gruntu do stałego ciężaru. Wielkość próbki gruntu gruboziarnistego uzależniona jest od wielkości maksymalnych ziarn w gruncie. Dla gruntu gruboziarnistego $\emptyset < 25$ mm ustalono /46/, że wielkość próbki powinna wynosić około 500 g.

Metoda obliczeniowa /34/ polega na obliczeniu ogólnej wilgotności gruntu gruboziarnistego na podstawie znajomości wilgotności frakcji drobnej i frakcji grubej oraz procentowej zawartości tych frakcji, wg wzoru:

$$w = w_d / 1 - a/ + w_g \cdot a \quad /6.3/$$

gdzie:

w_d - wilgotność frakcji drobnej oznaczona metodą suszenia /%/

w_g - wilgotność frakcji grubej, często przyjmowana jako równa 0

a - zawartość w gruncie frakcji grubej /w ułamku/.

Dla gruntów żwirowo-otoczkowych niezwiertrzałych wilgotność frakcji grubej, w związku z małą powierzchnią właściwą i słabymi własnościami adsorbcyjnymi, można przyjąć zero /38/. W takim przypadku wzór przybiera postać:

$$w = w_d / 1 - a/ \% \quad /6.4/$$

Na podstawie przeprowadzonych badań Kulczickij /34/ podaje, że dla gruntów zawierających ziarna zwiertrzałe wilgotność gruntu obliczona według podanych wzorów /6.3 i 6.4/ nie odpowiada rzeczywistej wilgotności, otrzymanej metodą suszenia; błąd wzrasta z zawartością frakcji grubych.

Objaśnia to tym, że we wzorach obliczeniowych /6.3 i 6.4/ nie uwzględniono stopnia zwiertzenia frakcji grubych. Do określenia wilgotności eluwialnych gruntów gruboziarnistych podaje

wzór:

$$w = w_d / 1 - b/ + w_g \cdot b \quad /6.5/$$

gdzie:

$b = a / 1 - k_B/$ - współczynnik uwzględniający obniżenie zawartości frakcji grubych w związku z ich zwiętrzeniem,

a - zawartość frakcji grubych,

k_B - współczynnik zwiętrzenia zawierający się w granicach $0 \div 1$, określony według specjalnych badań /86/.

Metodę piknometryczną do określania wilgotności gruntów gruboziarnistych zaleca stosować Szmakow /85/. Ciężar badanej próbki gruntu według Szmakowa ma wynosić 1-2 kg; objętość naczynia 3-4 l.

Metoda izotopowa pomiaru wilgotności oparta jest na zjawisku spowalniania i rozpraszania neutronów.

Badania wilgotności gruntów gruboziarnistych $/\varnothing < 25 \text{ mm}/$ w Polsce metodą izotopową przy użyciu sondy powierzchniowej wykonano na budowie zapory w Tresnej /4, 29, 46, 47/.

Porównanie wyników badań wilgotności metodą izotopową i za pomocą suszenia dało następujące wyniki /46/:

- maksymalna różnica wyników wynosiła 2 % wilgotności, co stanowiło około 20 % błędu,
- średnia różnica wynosiła 1 %, co stanowiło około 10 % błędu.

Gilg /13/ podaje, że metoda izotopowa do badań wilgotności gruntu $/\varnothing < 200 \text{ mm}/$ na zaporze Mattmark okazała się bezużyteczna.

6.3. Wnioski z przeglądu literatury na temat badań ciężaru objętościowego i wilgotności gruntów gruboziarnistych

Z przedstawionego przeglądu metod badań ciężaru objętościowego i wilgotności widać, że różne ośrodki badawcze stosują różne metody. Przedstawione metody badań wykorzystane były do badań gruntów o różnym uziarnieniu. Stosowane objętości wykopów do oznaczania γ_0 były bardzo różne; od kilku litrów do kilku metrów sześciennych dla gruntów o podobnych wymiarach maksymalnych ziarn.

Na temat stosowania poszczególnych metod tak badań ciężaru objętościowego jak i wilgotności istnieją sprzeczne poglądy. W literaturze brak jest danych odnośnie badań naszych gruntów gruboziarnistych pochodzenia fliszowego i innych przydatnych do budowy korpusów statycznych zapór ziemnych.

W związku z planowaną budową zapór w dolinie Dunajca oraz budowanych zapór w Tresnej i Wiśle-Czarne opracowanie metod badań ciężaru objętościowego i wilgotności gruntów gruboziarnistych pochodzenia fliszowego i innych jest bardzo potrzebne, gdyż są to podstawowe badania przy określaniu zagęszczenia nasypu.

6.4. Badania własne kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych

Celem badań było wypróbowanie niektórych istniejących metod badań zagęszczenia gruntów gruboziarnistych w naszych warunkach oraz opracowanie nowych metod badań kontroli zagęszczenia.

6.4.1. Badania ciężaru objętościowego

6.4.1.1. Opis badań i wyniki badań

Badania ciężaru objętościowego gruntów gruboziarnistych wykonywano na budowie zapory w Tresnej, Wiśle-Czarne i Głębinowie.

Celem badań na budowie zapory w Tresnej było:

- określenie minimalnej objętości, przy której ustala się ciężar objętościowy gruntu,
- wypróbowanie metody izotopowej do kontroli zagęszczenia gruntów wbudowywanych w korpus statyczny zapory,
- wypróbowanie geodezyjnej metody kontroli zagęszczenia gruntów.

W celu określenia minimalnej objętości wykopu, przy której ustala się γ_0 w zagęszczonym nasypie wykonano serię wykopów o kształcie prostopadłościanu przy stopniowym wzroście objętości wykopów $/0,1125 + 3,768 \text{ m}^3/$. Wydobywany z wykopu grunt był ważony, a objętość wykopu obliczano na podstawie kilkudziesięciu pomiarów jego boków i głębokości. Wyniki badań podano na rys.6.4.

Z przedstawionych danych widać, że ciężar objętościowy ustala się przy objętości wykopu powyżej $1,5-1,7 \text{ m}^3$. Górna granica uziarnienia wynosiła 120 mm.

Metoda wykopów jest powolna i pracochłonna, co komplikuje organizację robót ziemnych.

W dążeniu do usprawnienia kontroli zagęszczania zastosowano w końcowym etapie budowy /1964 r/ izotopowy pomiar ciężarów objętościowych i wilgotności gruntu w nasypie statycznym. Badanie izotopowe wykonało P.G.I.B.W. "Hydrogeo" z Warszawy, posługując się gęstościomierzem powierzchniowym GP-61 i wilgotnościomierzem WP-62.

Z przeprowadzonych 52 pomiarów kontrolnych nasypu statycznego za pomocą tej aparatury uzyskano następujące średnie

wartości /35, 40/:

$$\gamma_0 = 2,06 \text{ T/m}^3 \text{ /odchylenie standardowe } s = 0,096 \text{ G/cm}^3/$$

$$w = 4,4 \% \text{ /odchylenie standardowe } s = 0,3 \%/$$

$$\gamma_{0s} = 1,97 \text{ T/m}^3 \text{ /odchylenie standardowe } s = 0,12 \text{ G/cm}^3/.$$

Porównanie z wynikami pomiarów, prowadzonych na nasypie statycznym zapory w latach 1962-1964 za pomocą wykopów wykazuje, że obydwie metody dają prawie identyczne wyniki. Wartości

γ_{0s} oznaczone za pomocą wykopów /rys.6.4/ wahały się w granicach 1,95-2,12 T/m^3 /dla wykopów powyżej 1,5 m^3 /, zaś przy metodzie izotopowej - w granicach 1,85 - 2,15 T/m^3 .

Istnieją teoretyczne zastrzeżenia co do stosowalności metody izotopowej na tak gruboziarnistych gruntach /13/, których górna granica uziarnienia /120 mm/ jest niemal równa miąższości warstwy objętej pomiarem /około 15 cm/. Dobrze, mimo tych zastrzeżeń, wyniki badań terenowych należy prawdopodobnie tłumaczyć znaczną gładkością powierzchni nasypu po jego zagęszczeniu, spowodowaną dużą zawartością drobnych ziarn w gruncie oraz wyrównaniem tej powierzchni drobnym piaskiem podsypnym pod przyrząd pomiarowy.

Trudny problem kontroli zagęszczenia nasypów z gruboziarnistych gruntów usiłowano rozwiązać również metodą geodezyjną /28/, która polegała na pomiarze, za pomocą kolejnych niwelacji, obniżenia powierzchni warstwy gruntu w wyniku postępującego procesu zagęszczania. W wyniku badań, przeprowadzonych na wydzielonych działkach nasypu statycznego i uzupełnionych pomiarami γ_{0s} za pomocą wykopów /tablica 6.1/ ustalono, że:

Zestawienie wyników badań zagęszczenia
metodą niwelacji

Faza zagęszczenia	Grubość warstwy mm	γ_{os} wg badań w wykopie	γ_{os} wg niwelacji	γ_{os}
Po splantowaniu	551	1,717	1,717	1,000
po 4 przejściach spych	510	1,840	1,853	0,988
po 2 " samochodu	506	1,981	1,870	1,055
po 4 " "	488	2,006	1,935	1,036
po 8 " "	489	1,988	1,932	1,031

- a/ wyniki niwelacji wykazały postępujące obniżenie powierzchni nasypu w miarę ilości przejść maszyny zagęszczającej;
- b/ wyliczone na podstawie niwelacji grubości warstwy i odpowiadające im obliczeniowe ciężary objętościowe szkieletu gruntowego dość dobrze korespondują z wartościami γ_{os} , wyznaczonymi na podstawie badań w wykopach; różnice zamknęły się w granicach $1,2 \pm 5,5$ %.

Można więc przyjąć, że niwelacyjna metoda kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych może być stosowana do kontroli zagęszczenia gruntów o podobnym uziarnieniu jak w Tresnej. Istnieją natomiast zastrzeżenia co do jej walorów organizacyjnych w warunkach budowy zapory. Stosowanie tej metody powodowałoby bowiem konieczność sypania wyrównanych kolejnych warstw, co na zaporze jest zbyt często zakłócanie różnorodnymi czynnikami, nie zawsze zależnymi od wykonawcy robót.

Na poletkach doświadczalnych badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych używanych do budowy zapory w Wiśle-Czarne wypróbowano i porównano metody badań ciężaru objętościowego:

- przy użyciu aparatu przeponowego,
- przy użyciu folii,
- bezpośredni pomiar geometrycznych elementów dołka,
- niwelacja,
- przy użyciu aparatury izotopowej.

Aparat przeponowy /rys.6.5/ używany do pomiaru objętości dołków w gruntach gruboziarnistych skonstruowano w Katedrze Geotechniki Politechniki Warszawskiej /projekt autora/. Aparat ten w porównaniu do aparatu omawianego w pkt.6.11. charakteryzuje się większą objętością zbiornika / 80 l/, oraz możliwością badania 5-krotnie większych objętości dołków /70 l/.

Oznaczenie objętości dołka przy użyciu aparatu przeponowego wykonuje się następująco. Po wykonaniu dołka o średnicy około 40 cm i głębokości ≤ 60 cm oraz zważeniu wydobytego gruntu ustawia się nad dołkiem aparat /rys.6.5/ i mierzy objętość wody wypełniającej dołek.

Objętość dołka określa się według wzoru:

$$V_d = 1250 \cdot \Delta h - V_s \quad /cm^3/ \quad /6.6/$$

gdzie:

- V_d - objętość dołka w cm^3
- 1250 - pole przekroju poprzecznego zbiornika w cm^2
- Δh - różnica poziomów wody w zbiorniku w cm
/odczyty poziomów z dokładnością 1 mm/
- V_s - objętość stożka ponad poziomem terenu oraz przepony w cm^3 /wartość stała dla danego urządzenia i równa $4680 cm^3$ /.

Ciężar objętościowy gruntu oblicza się według wzoru:

$$\gamma_o = \frac{G}{V_d} \quad /G/cm^3/ \quad /6.7/$$

gdzie:

G - ciężar wydobytego gruntu

V_d - objętość dołka.

Po wykonaniu pomiaru objętości dołka przy pomocy aparatu przeponowego, wykonano pomiar objętości dołka przy użyciu folii. Wyłożony dołek folią zalewano wodą /rys.6.6/. Mając ciężar wody w naczyniu przed zalaniem dołka i po zalaniu wodą określano objętość dołka, a następnie γ_{os} . W niektórych badanych punktach wykonywano wykop o znacznie większej objętości /200-600l/ i określono objętość wykopu bezpośrednim pomiarem.

Przed wykonywaniem dołków w oznaczonych miejscach na poletku wykonywano pomiar γ_{os} metodą izotopową. Badania te wykonała Katedra Gruntoznawstwa i Budownictwa Ziarnego SGGW przy użyciu sondy powierzchniowej /42/. Porównanie wyników badań podano w tablicy 6.2.

Z porównania wyników badań wynika, że przy użyciu aparatu przeponowego i folii uzyskuje się podobne wartości γ_{os} ; średnio różnica γ_{os} w stosunku do γ_{os} określonego na podstawie aparatu przeponowego wynosi około 2 % /przy maksymalnej 10 %/. Różnica ta prawdopodobnie wynika z niedokładności przylegania folii do ścian wykopu. Przy wykonywaniu dużych wykopów średnio różnica γ_{os} w stosunku do γ_{os} określonego na podstawie aparatu przeponowego wynosi około 4÷5 %.

Najmniejsze wartości γ_{os} uzyskano metodą izotopową; różnica γ_{os} w stosunku do γ_{os} określonego na podstawie aparatu przeponowego wynosi 7÷21 % /średnio 14 %/. Tak duża różnica γ_{os} określonych metodą izotopową w stosunku do pozostałych metod wynika prawdopodobnie stąd, że sonda była skalowana dla gruntu o drobniejszym uziarnieniu niż grunt w nasypie, który posiada kamienie o $\emptyset \sim 400$ mm.

Tablica 6.2

Porównanie wyników badań ciężaru objętościowego różnymi metodami

Lp.	Aparat przeponowy		Folia		Wykop-pomiary całówką		Metoda izotopowa		Zawartość ziarn $\phi > 80$ mm %	γ_{os}^I γ_{os}	γ_{os}^{II} γ_{os}	γ_{os}^{III} γ_{os}	Rodzaj gruntu
	γ_o G/cm ³	γ_{os} G/cm ³	γ_o G/cm ³	γ_{os} G/cm ³	γ_o G/cm ³	γ_{os} G/cm ³	γ_o G/cm ³	γ_{os} G/cm ³					
1	2,12	2,00	2,01	1,90	-	-	-	-	18,0	0,95	-	-	
2	2,46	2,36	2,49	2,38	-	-	-	-	34,7	1,01	-	-	
3	2,42	2,33	2,38	2,30	2,47	2,39	-	-	47,5	0,99	1,05	-	
4	2,52	2,36	2,49	2,34	-	-	-	-	22,6	0,99	-	-	
5	2,27	2,10	2,45	2,27	-	-	2,00	1,85	12,9	1,08	-	0,88	Grunt z kamieńca
6	2,40	2,26	2,64	2,49	-	-	2,15	1,99	34,7	1,10	-	0,88	Białej
7	2,37	2,22	2,45	2,38	-	-	2,06	1,94	24,2	1,07	-	0,87	Wisęki
8	2,28	2,13	2,33	2,18	-	-	1,98	1,86	11,4	1,02	-	0,87	
9	2,43	2,36	2,50	2,41	-	-	2,08	1,95	54,0	1,02	-	0,83	
10	2,44	2,33	2,49	2,43	-	-	1,94	1,80	41,0	1,04	-	0,77	
11	2,50	2,35	2,46	2,30	-	-	2,05	1,89	25,6	0,95	-	0,80	
12	2,22	2,14	2,24	2,15	-	-	2,09	1,93	37,5	1,01	-	0,90	
13	2,57	2,45	2,59	2,46	-	-	2,11	1,94	39,2	1,00	-	0,79	
14	2,57	2,47	2,63	2,52	-	-	2,11	1,98	16,5	1,02	-	0,80	
15	2,46	2,37	2,44	2,35	-	-	2,19	2,05	16,5	0,99	-	0,86	
16	2,38	2,26	2,34	2,21	-	-	2,18	2,03	27,5	0,98	-	0,90	
17	2,30	2,23	2,47	2,40	-	-	2,23	2,08	27,5	1,07	-	0,94	
18	2,34	2,27	2,42	2,35	-	-	2,14	2,00	27,5	1,03	-	0,88	

d.c. tablicy 6.2.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
19	2,34	2,26	2,44	2,36	-	-	2,00	1,86	37,4	1,04	-	0,82	Grunt z ka- mieńca Białej Wisłki
20	2,33	2,26	2,33	2,25	-	-	2,17	2,05	37,4	0,99	-	0,91	
21	2,37	2,29	-	-	-	-	2,28	2,13	37,4	-	-	0,93	
									średnio:	1,018	1,05	0,86	
1	1,89	1,79	1,97	1,86	-	-	-	-	29,0	1,04	-	-	Grunt z ta- rasu wysokie- go Białej Wisłki
2	2,11	2,01	2,23	2,11	-	-	-	-	33,9	1,05	-	-	
3	2,35	2,19	2,35	2,19	2,27	2,13	-	-	13,1	1,00	0,97	-	
4	2,26	2,20	2,26	2,20	-	-	-	-	44,0	1,00	-	-	
5	2,35	2,26	2,38	2,30	2,20	2,11	2,20	2,30	36,4	1,02	0,93	-	
6	2,34	2,20	2,38	2,24	-	-	2,24	2,24	29,4	1,02	-	-	
7	2,38	2,25	2,32	2,20	2,44	2,31	2,20	2,20	23,3	0,98	1,03	-	
8	-	-	2,30	2,14	2,25	2,09	2,14	2,14	19,2	-	-	-	
9	2,30	2,11	2,38	2,20	-	-	2,20	2,20	0,00	1,04	-	-	
10	2,35	2,21	2,39	2,25	2,15	2,01	2,25	2,25	25,0	1,02	0,91	-	
									średnio:	1,019	0,96		

Zastosowana w Wiśle-Czarne metoda pomiarów niwelacyjnych do określania osiadań warstwy gruntu w wyniku postępującego procesu zagęszczania nie dała rezultatów. Otrzymane wyniki nie pozwoliły ustalić żadnej zależności. Spowodowane to było bardzo nierówną powierzchnią zagęszczanych warstw, wynikającą z dużej zawartości dużych kamieni.

6.4.1.2. Oszacowanie błędów pomiaru γ_0 gruntów gruboziarnistych

a/ Oszacowanie błędu pomiaru γ_0 aparatem przeponowym:

$$\gamma_0 = \frac{G}{V_d} = \frac{n \cdot G_1}{F \cdot \Delta h - V_s}$$

gdzie:

- G - ciężar gruntu wydobytego z dołka
- V_d - objętość dołka
- G_1 - ciężar jednego ważenia
- n - ilość ważeń
- F - przekrój zbiornika
- Δh - różnica poziomów wody w zbiorniku
- V_s - objętość stożka.

Oszacowanie błędów

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
G_1	20 kG	ΔG_1	0,1 kG	dokładność ważenia
F	1250 cm ²	ΔF	6 cm ²	dokładność pomiaru
h	20 cm	$\Delta/\Delta h/$	0,2 cm	dokładność pomiaru w 2 rurkach
V_s	4680 cm ³	ΔV_s	10 cm ³	dokładność pomiaru
V_d	25000 cm ³	ΔV_d	260 cm ³	równy sumie błędów

Błąd względny γ_0 wynosi:

$$\begin{aligned} \left/ \frac{\Delta \gamma_0}{\gamma_0} \right/ &= \left/ \frac{\Delta G_1}{G_1} \right/ + \left/ \frac{\Delta V_d}{V_d} \right/ = \frac{0,1}{20} + \frac{260}{25000} = 0,005 + 0,01 = \\ &= 0,015 \approx 1,5 \% \end{aligned}$$

$$V_d = F \cdot \Delta h - V_s$$

$$\Delta V_d \approx 1250 \cdot 4 / \Delta h / + \Delta V_s = 250 + 10 = 260 \text{ cm}^3$$

Błąd bezwzględny γ_0 wynosi:

$$\text{dla } \gamma_0 = 2,0 \text{ T/m}^3 - 0,03 \text{ T/m}^3$$

$$\text{dla } \gamma_0 = 2,5 \text{ T/m}^3 - 0,04 \text{ T/m}^3.$$

b/ Określenie dokładności pomiarów objętości wykopu aparatem przeponowym

W celu określenia dokładności pomiarów objętości wykopu aparatem przeponowym wykonano pomiar objętości V_i tego samego wykopu 3 razy /tabl.6.3/. Następnie określono wartość średnią \bar{V} odchylenia standardowego S , współczynnik zmienności W_s oraz przedział ufności ΔV .

Tablica 6.3

Wyniki pomiarów objętości wykopu aparatem przeponowym

Numer badania	Objętość wykopu V_i /cm ³	$V_i - \bar{V}$ /cm ³	$(V_i - \bar{V})^2$
1	31820	217	47089
2	31570	33	1089
3	31420	183	33489
Σ	94810		81667

Wartość średnia:

$$\bar{V} = \frac{\sum V_i}{N} = \frac{94810}{3} = 31603 \text{ cm}^3$$

Odchylenie standardowe /błąd średni/

$$S = \sqrt{\frac{\sum (V_i - \bar{V})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{81667}{2}} \approx 200 \text{ cm}^3$$

Współczynnik zmienności /względne odchylenie standardowe/

$$W_s = \frac{S}{\bar{V}} \cdot 100\% = \frac{200}{31603} \cdot 100 \approx 0,6 \%$$

Przedział ufności dla prawdopodobieństwa 95% wynosi:

$$\Delta V = \frac{t_{\alpha} \cdot S}{\sqrt{N}} = \frac{4,303 \cdot 200}{\sqrt{3}} = \pm 500 \text{ cm}^3$$

/ t_{α} - z tablic rozkładu t - Studenta/.

Z powyższego widać, że błąd względny $-\frac{\Delta V}{\bar{V}}$ oznaczania objętości wykopu nie przekracza 1,4 %.

b/ Oszacowanie błędu pomiaru γ_0 przy użyciu folii:

$$\gamma_0 = \frac{G}{V_d} = \frac{n \cdot G_1}{G_{w1} - G_{w2}}$$

gdzie:

G_{w1} - ciężar wody w naczyniu przed nalaniem do wykopu

G_{w2} - ciężar wody w naczyniu po napełnieniu wykopu.

Oszacowanie błędów

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
G_1	20 kG	ΔG_1	0,1 kG	dokładność ważenia
G_{w1}	30 kG	ΔG_{w1}	0,1 kG	" "
G_{w2}	5 kG	ΔG_{w2}	0,1 kG	" "
V_d	25000 cm ³	ΔV_d	200 cm ³	równy sumie błędów

$$V_d = G_{w1} - G_{w2}$$

$$\Delta V_d = \Delta G_{w1} + \Delta G_{w2} = 0,1 + 0,1 = 0,2 \text{ kG} = 200 \text{ cm}^3.$$

Błąd względny wynosi:

$$\begin{aligned} \left| \frac{\Delta \gamma_0}{\gamma_0} \right| &= \left| \frac{\Delta G_1}{G_1} \right| + \left| \frac{\Delta V_d}{V_d} \right| = 0,005 + \frac{200}{25000} = 0,005 + 0,008 = \\ &= 0,013 = 1,3 \%. \end{aligned}$$

d/ Oszacowanie błędu pomiaru γ_0 przy pomiarze elementów geometrycznych wykopu calówką:

$$\gamma_0 = \frac{G}{V_d} = \frac{n \cdot G_1}{a \cdot b \cdot h}$$

gdzie:

- a - długość wykopu
- b - szerokość wykopu
- h - głębokość wykopu.

Oszacowanie błędów

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
G_1	400 kG	ΔG_1	10 kG	dokładność ważenia
a	100 cm	Δa	1 cm	dokładność pomiaru
b	100 cm	Δb	1 cm	" "
h	min. 20 cm	Δh	1 cm	" "

Błąd względny wynosi:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \gamma_0}{\gamma_0} &= \frac{\Delta G_1}{G_1} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta h}{h} = \\ &= \frac{10}{400} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{20} = 0,095 = 9,5 \% \end{aligned}$$

Błąd bezwzględny /maksymalny/ wynosi:

$$\Delta \gamma_0 = \gamma_0 \cdot 0,095 = 2,5 \cdot 0,095 = 0,235 \text{ T/m}^3$$

Chcąc określić γ_0 z błędem względnym nie przekraczającym 5 % należałoby wykonywać wykopy o objętości obliczonej niżej:

Zakładając wykop sześcienny mamy:

$$\frac{\Delta \gamma_0}{\gamma_0} = \frac{\Delta G_1}{G_1} + \frac{3 \cdot \Delta a}{a}, \text{ podstawiając dane otrzymamy}$$

$$0,05 = 0,025 + \frac{3 \cdot 0,01}{a}$$

$$a = \frac{0,03}{0,025} = 1,2 \text{ m, a objętość wykopu}$$

$$V = a^3 = 1,2^3 \approx 1,7 \text{ m}^3.$$

Obliczona wartość $V = 1,7 \text{ m}^3$ odpowiada wartości

$V = 1,5 - 1,7 \text{ m}^3$ ustalonej doświadczalnie na podstawie badań polowych /patrz pkt 6.4.1.1/.

6.4.1.3. Wnioski z badań ciężaru objętościowego

Z przedstawionych badań wynika, że:

- 1/ Ciężar objętościowy najprościej można wyznaczyć metodą dołka z zastosowaniem do określenia objętości dołka aparatu przeponowego lub folii i wody.
- 2/ Najbardziej szybką metodą jest metoda izotopowa, na podstawie której uzyskuje się natychmiastowe wyniki. Wydaje się jednak, że do kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych należałoby zastosować sondy powierzchniowe o głębszym zasięgu lub sondy o innej konstrukcji. Wadą tych badań jest to, że przy zmianie rodzaju gruntu w przypadku niejednorodnego złoża należy przeprowadzić dodatkowe skalowanie sondy.
- 3/ Przy określaniu ciężaru objętościowego metodą wykopu z pomiarem geometrycznych elementów wykopu całówką, objętość wykopu powinna być większa od $1,7 \text{ m}^3$ dla gruntu o uziarnieniu do 120 mm. Dla gruntu o grubszym uziarnieniu przed przystąpieniem do badań kontrolnych należy wcześniej wyznaczyć objętość wykopu, przy którym ustala się γ_0 .
- 4/ Niwelacyjna metoda kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych może być stosowana do gruntów o uziarnieniu do 120 mm w warunkach sypania wyrównanych warstw.

6.4.2. Badania wilgotności gruntu gruboziarnistego

6.4.2.1. Opis badań i wyniki badań

Do określania γ_{os} potrzebna jest znajomość wilgotności gruntu. Wilgotność całkowitą gruntu przyjmowaną do obliczania γ_{os} /wyznaczonych metodą dołków/ określano obliczeniowo na podstawie wilgotności prób gruntu o uziarnieniu $\emptyset < 80$ mm według wzoru 6.4. Dla porównania wpływu wilgotności frakcji grubej na całkowitą wilgotność gruntu wykonano badania porównawcze. Wilgotność frakcji $\emptyset < 80$ mm określono metodą suszenia próbki oraz metodą obliczeniową w oparciu o wilgotność frakcji $\emptyset < 7$ mm przy założeniu, że wilgotność frakcji $\emptyset > 7$ mm równa się zero. Ciężar próbki używanej do badań wilgotności frakcji $\emptyset < 80$ mm ustalano laboratoryjnie /rys.6,7/; wynosił on powyżej 5 kg. Wyniki badań podano w tablicy 6.4.

Z przedstawionych danych widać, że wilgotność frakcji $\emptyset < 80$ mm obliczona tylko w oparciu o wilgotność frakcji $\emptyset < 7$ mm jest znacznie niższa /średnio 29÷44 %/ od wilgotności rzeczywistej wyznaczonej metodą suszenia. Znając rzeczywiste wilgotności gruntu o uziarnieniu $\emptyset < 80$ mm i $\emptyset < 7$ mm, oznaczone metodą suszenia, określono wpływ frakcji $\emptyset 7 \div 80$ mm na rzeczywistą wilgotność gruntu o uziarnieniu $\emptyset < 80$ mm.

Wilgotność frakcji $7 \div 80$ mm wyznaczono ze wzoru:

$$w_{7\div 80} = \frac{\Delta w_{<80} \cdot 100}{a_1} \quad /6.8/$$

gdzie:

$\Delta w_{<80}$ - różnica pomiędzy wilgotnością uzyskaną metodą suszenia i obliczoną na podstawie wilgotności frakcji $\emptyset < 7$ mm

a_1 - procentowa zawartość frakcji $\emptyset 7 \div 80$ mm,

$w_{<7}$ - wilgotność frakcji $\emptyset < 7$ mm określona metodą suszenia,

Zestawienie wyników badań wilgotności

Lp.	Wilgotność określona metodą suszenia		Zawartość ziarn		Wilgotność obliczona		Wilgotność określona metodą izotopową	Porównanie gólnych wilgotności	Wilgotność frakcji $\phi 7 \div 80$ mm	Rodzaj gruntu
	$w < 80$	$w < 7$	$\phi > 80$ mm	$\phi > 80$ mm	$w < 80$	$w < 7$				
1	6,6	12,6	34,7	67,3	4,3	2,7	-	0,63	2,5	3,7
2	8,0	12,1	22,6	72,5	6,2	2,6	-	0,42	4,7	6,4
3	7,5	11,7	47,5	62,5	3,9	2,3	-	0,59	3,1	5,0
4	9,1	14,6	12,9	49,0	7,9	6,5	8,1	0,82	1,6	3,5
5	9,2	17,9	34,7	69,1	6,0	3,5	8,1	0,58	3,7	5,3
6	8,3	13,4	24,2	69,4	6,3	3,1	6,3	0,49	4,2	6,0
7	7,9	12,3	11,4	67,4	7,0	3,6	6,4	0,51	3,9	5,8
8	7,4	11,0	54,0	70,4	3,5	1,5	6,8	0,43	4,1	5,8
9	7,3	9,4	41,0	64,2	4,3	2,0	7,9	0,47	3,9	6,1
10	8,9	13,2	25,6	63,1	6,6	3,5	8,3	0,53	4,0	6,3
11	6,5	11,1	37,5	70,0	4,1	2,1	8,5	0,51	3,2	4,6
12	7,9	14,1	39,2	62,0	4,8	3,3	8,9	0,69	2,5	4,0
śred.	7,9	12,8	32,1	65,6	5,4	3,1	7,7	0,58	3,4	5,2

odchylenie standardowe 1,0

Grunt z kamienca; Blakiej Wiskietki; Badania wykonane na poligonie doświadczalnym

d.c. tablicy 6.4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	9,6	11,0	23,0	17,0	9,2	7,4	7,1	-	0,96	0,4	2,4			
2	8,2	9,4	21,0	42,0	5,5	6,5	4,3	-	0,66	2,7	6,4			
3	8,7	10,2	12,0	34,0	6,8	7,7	6,0	-	0,78	1,9	5,6			
4	6,0	8,1	18,0	35,0	5,3	4,8	4,4	-	0,90	0,7	2,0			
5	9,6	9,7	12,0	23,0	7,5	8,4	6,6	-	0,79	2,1	9,1			
6	8,8	11,0	24,0	37,0	6,9	6,6	5,2	-	0,78	1,9	5,1			
7	6,6	7,8	46,0	23,0	5,6	3,6	3,0	-	0,84	1,0	4,3			
8	9,8	9,8	29,0	32,0	6,6	7,0	4,7	-	0,67	3,0	9,4			
9	7,2	9,6	16,0	44,0	5,4	6,0	4,5	-	0,74	1,8	4,1			
10	4,8	5,4	33,0	52,0	2,6	3,2	1,7	-	0,53	2,2	4,2			
11	9,0	9,6	15,0	42,0	5,5	7,7	4,7	-	0,61	3,5	8,3			
12	8,0	7,4	37,0	47,0	3,9	5,0	2,5	-	0,50	4,1	8,7			
13	8,2	8,6	5,0	35,0	5,5	7,7	5,2	-	0,68	2,7	7,7			
14	7,0	9,0	48,0	41,0	5,7	3,7	2,7	-	0,74	1,3	3,2			
15	8,4	8,7	13,0	38,0	5,4	7,3	4,7	-	0,64	3,0	7,9			
16	9,0	10,0	42,0	38,0	6,2	4,6	3,6	-	0,70	2,8	7,4			
17	9,6	9,1	3,0	36,0	5,8	8,8	5,6	-	0,60	3,8	10,6			
18	8,2	10,6	13,0	40,0	6,3	7,1	5,4	-	0,76	1,9	4,8			
19	7,5	9,7	11,0	57,0	4,2	6,7	3,7	-	0,55	3,3	5,8			
20	10,4	11,0	31,0	45,0	6,1	7,2	4,2	-	0,58	4,3	9,6			
sred.	8,2	9,3	22,6	37,9	5,8	6,4	4,5	-	0,70	2,4	6,3			

Grunt z tabasu wysokiego Białej Wisiecki / badania wykonane na poligonie doświadczalnym

odchylenie standardowe 2,6

$w_{<80}$ - wilgotność frakcji $\emptyset < 80$ mm określona metodą suszenia.

Obliczoną według wzoru 6.8 wilgotność frakcji $\emptyset 7+80$ mm podano w tablicy 6.4.

Średnia wilgotność frakcji $\emptyset 7+80$ mm wynosi 5,2 % przy odchyleniu standardowym 1 % dla badanego gruntu gruboziarnistego z kamieńca Białej Wisłki i 6,3 % przy odchyleniu standardowym 2,6 % dla gruntu z tarasu wysokiego Białej Wisłki.

Z przedstawionych zestawień widać, że do określania wilgotności gruntu gruboziarnistego o pełnym uziarnieniu nie powinno się pomijać wilgotności frakcji grubej.

Zakładając, że wilgotność frakcji $\emptyset > 7$ mm równa się wilgotności frakcji $\emptyset 7 + 80$ mm można obliczyć wilgotność gruntu o całkowitym uziarnieniu według wzoru:

$$w_n = w_{<7} \cdot b + w_{>7} / 1-b/ \quad /6.9/$$

gdzie:

$w_{<7}$ - wilgotność frakcji $\emptyset < 7$ mm wyznaczona metodą suszenia

b - zawartość w gruncie frakcji $\emptyset < 7$ mm brana z wykresu uziarnienia gruntu lub obliczana na podstawie zawartości frakcji $\emptyset 7+80$ mm $/a_1/$ i frakcji $\emptyset > 80$ mm $/a/$ wg wzoru; $b = /1-a_1/ /1-a/$.

Przyjmując z tablicy 6.4 dla gruntu z kamieńca Białej Wisłki średnie wartości:

$$w_{<7} = 12,8 \% ; \quad w_{7+80} = 5,2 \% , \quad a = 0,321 \text{ i } a_1 = 0,656$$

obliczono średnią wilgotność gruntu o całkowitym uziarnieniu:

$$w_n = w_{<} / 1 - a_1 / / 1 - a / + w_{>} [1 - a_1 / / 1 - a /] =$$
$$= 12,8 \cdot 0,344 + 0,679 + 5,2 \cdot 0,766 = 3 + 4 = 7,0 \%$$

Z przedstawionych obliczeń wynika, że przy określaniu wilgotności całkowitej gruntu należy brać pod uwagę wilgotność frakcji grubszej. Przy obliczaniu wilgotności wg wzoru 6.4 popełniamy tym większy błąd im do obliczeń weźmiemy drobniejszą frakcję oraz im bardziej ziarna są zwietrzałe.

Przedstawione obliczenia pokrywają się z rozważaniami podanymi przez Kulczickiego /34/.

Do określania γ_{os} wyznaczonych metodą izotopową wilgotność określano metodą izotopową za pomocą sondy powierzchniowej. Badania wykonała Katedra Gruntoznawstwa i Budownictwa Ziarnego SGGW. Wyniki badań podano w tabelicy 6.3.

Z przedstawionych danych wynika, że wilgotność całkowita określona metodą izotopową jest nieznacznie zawyżona w stosunku do wyznaczonej metodą suszenia i średnio równa się wilgotności frakcji $\phi < 80$ mm. Wynika to z tego, że przy skalowaniu sondy wilgotność skalowanego gruntu określano dla frakcji $\phi < 80$ mm.

6.4.2.2. Wnioski z badań wilgotności

Z przedstawionych rozważań wynika: że:

- 1/ Najbardziej pewną metodą określania wilgotności gruntu gruboziarnistego jest metoda suszenia. Przy stosowaniu tej metody należy określić wielkość próby używanej do badań w zależności od uziarnienia.
- 2/ Przy stosowaniu metod obliczeniowych do określania wilgotności ^{należy} uwzględnić wilgotność frakcji grubej.

- 3/ Najbardziej nowoczesną i szybką metodą badań wilgotności jest metoda izotopowa. Wadą tej metody jest jej mały zasięg oraz konieczność każdorazowego skalowania przy zmianie rodzaju gruntu w złożu.

7. Próbné badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych przy użyciu różnych maszyn na poletkach doświadczalnych

7.1. Wstęp

Opracowanie właściwej technologii zagęszczania gruntów w nasypie przy pomocy maszyn do założonego wskaźnika zagęszczenia, omawianego w pkt.5, wymaga przeprowadzenia próbnych badań zagęszczalności na poletkach doświadczalnych. W czasie próbnych badań ustala się najbardziej przydatną maszynę, grubość zagęszczanej warstwy oraz ilość przejazdów maszyny.

W literaturze na temat próbnych zagęszczeń gruntów gruboziarnistych jest stosunkowo mało danych; nie spotkano natomiast żadnych opisów badań zagęszczalności gruntów gruboklastycznych pochodzenia fliszowego używanych do budowy korpusów statycznych.

7.2. Przegląd literatury

Problemem badań zagęszczania gruntów gruboziarnistych na poletkach doświadczalnych względnie bezpośrednio na budowanych nasypach zamowali się Griszin /16/, Roździestwienski /73/, Frołow /10/, Katedra Budownictwa Ziarnego SGGW /46/, Road Research Laboratory D.C.J.R. /Londyn/ /75/ i inni. Griszin /16/ np. podaje, że grubość warstw gruntu gruboziarnistego D_{max} gruntu = 100÷200 mm/ zagęszczanego gładkimi walcami drogowymi lub wywrotkami np. ZIL - 385 powinna wynosić 20÷30 cm. Przy zastosowaniu wibratorów lub walców wibracyjnych grubość warstw może wynosić do 50÷60 cm. Ciężar objętościowy gruntu w nasypie zagęszczanego walcem drogowym wynosi 2,0-2,2 T/cm³/

/ γ_0 w złożu wynosi $1,9 \pm 2,0 \text{ T/m}^3$ /, a zagęszczanego walcem wibracyjnym jest o 3-3,5 % większy.

Wyniki badań zagęszczalności gruntu o uziarnieniu jak na rys.7.1a przy pomocy ciągnika gąsienicowego /nacisk około $0,5 \text{ kg/cm}^2$ / podaje Raźdiestwienskij /73/. Z rys.7.2 wynika, że najbardziej efektywne zagęszczenie występuje przy pierwszych 4 przejściach. Zagęszczenie przy 4-tym przejściu jest o 9 % wyższe od zagęszczenia początkowego. Przy dalszych przejściach efektywność zagęszczania maleje, osiągając przy 6-ym przejściu tylko 11 % ponad początkowe zagęszczenie; powyżej 6 przejść dalsze zagęszczenie praktycznie nie występuje. Po czterech przejściach zagęszczenie gruntu osiągnęło 96 % naturalnego zagęszczenia, a po 6 tylko 97 %, a więc o 1 % wyższe.

Zależność ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego od miąższości zagęszczanej warstwy przykładowo pokazano na rys.7.3. Badania te były wykonane przy pomocy ubijaka ES-200 przez Katedrę Gruntoznawstwa i Budownictwa Ziarnego SGGW /46/ na próbnym nasypie wykonanych z gruntu /rys.7.1c/ używanego do budowy filtrów odwrotnych zapory w Tresnej. Z rys.7.3 widać, że zagęszczenie gruntu gruboziarnistego zależy od grubości warstw i ilości przejść ubijaka.

Na budowie zapory Karters /USA/ badania zagęszczalności nasypów wykonywano statycznymi i wibracyjnymi walcami o ciężarze 4,5-9,1 T /10/. W nasyp wbudowywano materiał o maksymalnych kamieniach nie większych od $2/3$ grubości zagęszczanej warstwy. Zagęszczenie nasypu określano przy pomocy niwelacji ze średnią dokładnością 3 mm. Krzywe osiadań, wykonane na podstawie danych z pomiarów, przedstawiano na rys.7.4.

Badania wykazały, że walec wibracyjny o ciężarze 9,1 T daje bardziej efektywne zagęszczenie niż walec 4,5 T. Zagęsz-

-czenie nasypu powiększało się z ilością przejść walca, nawet powyżej zagęszczenia maksymalnego przyjętego dla próbnych nasypów. Dostateczne zagęszczenie materiałów uzyskiwano w czasie pierwszych 4 przejść walca. Przy 6-8 przejściach 9,1 T walca występowało silne kruszenie ziarn na powierzchni warstwy. Wyniki badań wskazują, że ekonomiczne zagęszczenie może być osiągnięte przy miąższości warstwy 1,1-1,2 m lub nawet 1,5 m zwiększając ilość przejść walca. Jednak żeby zapewnić lepszą jednorodność sypanego materiału pod względem składu granulometrycznego i równomierniejsze zagęszczenie nasypu, grubość warstwy ograniczono do 75 cm. Na rys. 7.5 pokazano wyniki badań zagęszczalności walcami wibracyjnymi 9,1 i 13,6 t warstwy gruntu o grubości 90 cm. Badania wykazały, że dla walca 13,6 t silne kruszenie ziarn na powierzchni warstwy występuje już przy 4 przejściach. Wyniki badań /rys.7.5/ wykazują, że bardziej ciężki walec /13,6 t/ daje większe zagęszczenie po 2 przejściach, niż walec lżejszy /9,1 t/ po 4 przejściach. Charakterystykę wymienionych walców podaje tablica 7.1.

Tablica 7.1

Charakterystyka walców wibracyjnych /10/

Typ walca	Ogólny ciężar	Ciężar walca	Siła wzbudzająca	Ilość obrotów napędu wibratora
	T	kG	kG	ob/min.
Ferguson 65	4,5		7300	1800
Bros VP 20D	9,1	8590	18100	1300
Ferguson Vibro-Plus	9,1		18800	1300
CT 60	13,6	11300	27100	1200

Kompleksowe badania zagęszczalności gruntu gruboziarnistego o uziarnieniu jak na rys.7.1b przeprowadzone przez RRL /W.Brytania/ /75/ przedstawiono na rys.7.6 i 7.7. Z przedstawionych wykresów /rys.7.6 i 7.7/ widać, że zagęszczenie gruntu gruboziarnistego zależy od wilgotności gruntu, ilość przejazdów i typu maszyny. Najlepsze zagęszczenie uzyskano przy zastosowaniu ubijaka 0,5 T o napędzie spalinowym oraz 8 T walca statycznego; najniższe zagęszczenie uzyskano przy zastosowaniu walca ogumionego wielkokołowego. Z wykresów widać też, że stabilizacja zagęszczenia zależy od rodzaju sprzętu; np. dla 2,75 T walca statycznego i walców okołowanych przy 64 przejazdach nie nastąpiła jeszcze stabilizacja zagęszczenia.

Analizując przedstawione wyniki badań widzimy, że zagęszczalność gruntów gruboziarnistych w warunkach polowych zależy od wielu czynników. Do najważniejszych z nich należą rodzaj gruntu i jego wilgotność, grubość zagęszczanej warstwy, rodzaj zastosowanego sprzętu i ilość włożonej pracy /ilość przejazdów maszyny/. W przypadku stosowania maszyn wibracyjnych o intensywnym oddziaływaniu bardzo duży wpływ na zagęszczenie może wywierać rozkruszanie się ziarn, co w przypadku gruntu pochodzenia fliszowego może mieć duże znaczenie.

W naszej literaturze brak jest danych odnośnie badań gruntów gruboziarnistych pochodzenia fliszowego pod kątem ich przydatności jako materiału do budowy korpusów statycznych zapór ziemnych. Istniejące w literaturze obcej dane otrzymane z badań na innych gruntach oraz przy użyciu innego sprzętu nie mogą być bezpośrednio przeniesione do naszych warunków.

W związku z powyższym przeprowadzono szereg badań na terenie budowy zapory w Tresnej, Wiśle-Czarne i Głębinowie.

7.3. Badania własne zagęszczalności gruntów gruboklastycznych przy pomocy różnych maszyn w warunkach polowych

7.3.1. Cel doświadczeń

Polskie doświadczenie w dziedzinie budowy zapór ziemno-narzutowych nie jest zbyt duże, szczególnie w stosowaniu jako podstawowego materiału gruntów fliszu karpackiego.

Zagadnienie technologii budowy nasypów z gruntów fliszowych jest w ogóle trudne, zwłaszcza w przypadku budowy zapór, gdzie wchodzi w grę duże objętości robót ziemnych. Trudności te w obecnych warunkach polskich powiększa dodatkowo brak sprzętu budowlanego, w tym głównie sprzętu do zagęszczania gruntów. To też roboty budowlane muszą być poprzedzone próbami dla ustalenia racjonalnej technologii robót, zapewniającej sprawne i właściwe pod względem technicznym wykonanie nasypów. Bezpośrednim celem badań powinno być stwierdzenie efektywności sprzętu stosowanego do próbnego zagęszczania gruntów doświadczalnych oraz określenie geotechnicznych właściwości badanych gruntów przy różnych wskaźnikach ich zagęszczenia. Uzyskane wyniki powinny umożliwić ustalenie potrzebnych wskaźników zagęszczenia gruntów dla zapór oraz określenie sposobu ich osiągnięcia za pomocą sprzętu, stojącego do dyspozycji wykonawcy robót ziemnych.

7.3.2. Zasadnicze czynniki wpływające na efektywność zagęszczania gruntów i ich krótka charakterystyka

a/ Wilgotność zagęszczanego gruntu limituje wartość możliwego

do uzyskania ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego oraz poważnie wpływa na geotechniczne właściwości zagęszczonego gruntu /wytrzymałość, ścisłość/. W zakresie wykonawstwa robót wilgotność wpływa na ilość pracy, potrzebnej do uzyskania określonego zagęszczenia gruntu.

Z uwagi na wyżej wymienione czynniki najkorzystniejszą wilgotnością do zagęszczania gruntów jest t.zw. wilgotność optymalna, której wartość zależy od:

- rodzaju gruntu i
- rodzaju sprzętu zagęszczającego.

Laboratoryjnie określone wilgotności optymalne wg metody normalnej odpowiadają wilgotnościom optymalnym dla najbardziej rozpowszechnionego sprzętu, głównie dla walców statycznych. W razie jednak stosowania sprzętu wibracyjnego i ubijaków, należy ustalać doświadczalnie rzeczywistą wartość wilgotności optymalnej dla każdego rodzaju gruntu i maszyny zagęszczającej.

b/ Grubość zagęszczanej warstwy zależy przede wszystkim od rodzaju maszyny zagęszczającej i od rodzaju gruntu.

Dla maszyn o oddziaływaniu statycznym grubość warstw jest dość mała, a dla maszyn o działaniu dynamicznym /ubijaki i maszyny wibracyjne/, grubość warstw może być nawet wielokrotnie większa.

c/ Rodzaj maszyny zagęszczającej

Do zagęszczania gruntów gruboklastycznych nadają się najlepiej maszyny o działaniu dynamicznym, wśród których wyróżnia się płyty i deski wibracyjne, działające na grunt wyłącznie za pomocą wibracji i walce wibracyjne łączące w sobie oddziaływanie statyczne /ciężarem włas-

-nym/ i dynamiczne drgania oraz ubijaki ciężkie zagęszczające grunt pod wpływem spadającego ciężaru.

W Polsce jednak brak jest większej ilości tego rodzaju sprzętu; dlatego do zagęszczenia nasypów z gruntów gruboklastycznych, używa się często sprzętu zastępczego /spycharek i samochodów/.

7.3.3. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Tresnej

Na budowie zapory w Tresnej zagęszczanie gruntów w korpusie statycznym zapory przeprowadzano przy pomocy spycharek i samochodów dowożących grunt. Na poligonie doświadczalnym jednak przeprowadzono badania zagęszczalności gruntów również i przy pomocy innego sprzętu:

- kroczącej zagęszczarki wibracyjnej BCM-2 /elektrycznej/,
- spycharki gąsienicowej,
- samochodów ciężarowych,
- walca ogumionego wielokołowego "Madro",
- ubijaka wibracyjnego E S-200.

7.3.3.1. Charakterystyka gruntu doświadczalnego

Do doświadczeń użyto gruntów gruboklastycznych /żwiru z otoczkami/ z kopalni Tresna, położonej na tarasie rzeki Soły, znajdującym się przez większą część okresu budowlanego pod wodą. Uziarnienie badanego gruntu podano na rys.7.8. Ciężar objętościowy szkieletu gruntowego oznaczony w złożu na 10 próbkach, każda o objętości powyżej 1 m^3 , wynosi średnio $1,936 \text{ T/m}^3$.

7.3.3.2. Ustalenie racjonalnych sposobów zagęszczania gruboklastycznych gruntów fliszowych, używanych do budowy nasypu statycznego zapory w Tresnej.

Próbné badania zagęszczalności wykonano przy zróżnicowaniu:

- grubości zagęszczanej warstwy,
- rodzaju maszyny zagęszczającej i
- ilości przejść maszyny.

Jednocześnie oznaczano:

- ciężar objętościowy gruntu,
- obniżenie powierzchni zagęszczanej warstwy,
- moduł podatności przez próbné obciążenie.

Próbné zagęszczanie gruntu gruboklastycznego na poletkach doświadczalnych na zaporze w Tresnej przeprowadzono w 1962 i 1963 r przy pomocy:

- 1 - zagęszczarki wibracyjnej BCM-2,
- 2 - spycharki D-157 /100 KM/ oraz wywrotki "Praha" obciążonej do 11,5 T,
- 3 - spycharki D-157 oraz wywrotki "Tatra" obciążonej do około 20,0 T,
- 4 - spycharki D-157 oraz walca ogumionego wielokołowego "Madro" o ciężarze 19 ton,
- 5 - ubijaka wibracyjnego ES-200.

Poletka doświadczalne znajdowały się na nasypie statycznym zapory.

Dla próby 1-ej /BCM-2/ przygotowano poletko o wymiarach 16x18 m, które splantowano za pomocą spycharki D-157, a następnie zagęszczono tą samą spycharką oraz załadowanymi samochodami. Grunt dowożony samochodami "Praha" i "Tatra", zładowywano

wprost na poletko, a następnie splantowano spycharką D-157, która przejechała 26 razy wzdłuż poletka, co odpowiada około półtorakrotnemu pokryciu poletka śladami gąsienic. Grubość ułożonej w taki sposób warstwy wynosiła około 90 cm. Właściwe zagęszczanie prowadzono na czterech niezależnych pasmach o wymiarach 4x18 m. Pasma pierwsze zostało zagęszczone jednym przejściem maszyny BCM-2 z prędkością 0,15 m/sek, zaś następne pasma - odpowiednio dwoma, trzema i czterema przejściami tej samej maszyny posuwającej się z prędkością 0,31 m/sek. Różne prędkości nie były planowane lecz zostały spowodowane trudnościami w prowadzeniu maszyny. Uzyskany w efekcie zagęszczania ciężar objętościowy gruntu oznaczono za pomocą wykopów o objętości około $1,3 + 3,3 \text{ m}^3$. Wyniki tych badań przedstawiono na rys.7.9.

Poletko dla próby 2-ej o wymiarach 20x20 m przygotowano podobnie jak dla próby 1-ej, zagęszczając podłoże po splantowaniu trzema przejściami /ślad przy śladzie/ wibracyjnej zagęszczarki BCM-2. Charakterystyka BCM-2:

- waga - 3500 kg
- częstotliwość uderzeń na minutę - 600+900
- prędkość przesuwu - 10+12 m/min.

Nawieziony grunt wyrównano trzynastoma przejściami spycharki D-157, co odpowiada niespełna jednokrotnemu pokryciu powierzchni gąsienicami maszyny. Grubość warstwy gruntu po wyrównaniu wynosiła około 55 cm. Właściwe zagęszczanie przeprowadzono kolejno jak następuje:

- seria 1a - 4 przejścia spycharki D-157
- " 2a - 2 " samochodu "Praha" 11,5 T
- " 3a - 2 " " " "

seria 4a - 4 przejścia samochodu "Praha" 11,5 T

" 5a - 8 " " " "

wykonując przed zagęszczaniem oraz po każdej serii przejść maszyn zagęszczających niwelację powierzchni doświadczalnego nasypu w siatce kwadratów 2 x 2 m oraz oznaczając ciężar objętościowy gruntu za pomocą wykopów o objętości ponad 2 m³. Wyniki tych badań przedstawiono na rys.7.10.

Poletko dla próby 3-ej o wymiarach 12x50 m przygotowano podobnie jak dla próby 2-giej. Grubość ułożonej warstwy wynosiła około 67 cm. Po uformowaniu warstwy gruntu przeprowadzono zagęszczanie spycharką pokrywając powierzchnię poletka pięciokrotnie w pierwszej kolejności śladami gąsienic, a następnie dziesięciokrotnie śladami kół wywrotki "Tatra". Przed zagęszczeniem oraz po każdej serii przejść maszyn zagęszczających wykonano niwelację powierzchni doświadczalnego poletka w siatce 2x2 m, oznaczono ciężar objętościowy za pomocą wykopów o objętości około 1,5 m³ i wykonano próbne obciążenia gruntu do 7 kg/cm². /Opis badań próbnych obciążeń podano w pkt.9.4./. Wyniki badań podano na rys.7.11.

Poletko dla próby 4-tej o wymiarach 20 x 38 m przygotowano podobnie jak dla próby 2-giej i 3-ciej. Grubość ułożonej warstwy wynosiła 59 cm. Po uformowaniu warstwy gruntu przeprowadzono zagęszczanie walcem ogumionym wielokołowym "Madro" /7 kół na przedniej osi i 8 kół na tylnej osi/ o całkowitym ciężarze 19 ton, ciągnionym przez spycharkę, pokrywając powierzchnię poletka dziesięciokrotnie śladami kół. Badania kontrolne przeprowadzono tak samo jak przy zagęszczaniu samochodem "Tatra". Wyniki badań podano na rys.7.12.

Próbie piątą badania zagęszczalności przeprowadzono przy pomocy ubijaka ES-200 w wykopach o wymiarach 2,0x2,0x0,6 m,

wykonanych w zagęszczonym nasypie statycznym zapory w Tresnej, ubijając grunt w trzech warstwach o grubościach po 20 cm w stanie luźnym. Charakterystyka ubijaka ES-200 przedstawia się następująco:

- ciężar - 200 kG
- moc - 3,3 KW
- φ - 0,8
- obrotów - 1400/min
- ilość uderzeń na minutę - 430

Wyniki badań przedstawiono na rys.7.13. Z rys.7.13 wynika, że ubijak ES-200 daje dobre zagęszczenie i można by go było używać w miejscach trudno dostępnych dla innych maszyn. Wadą ubijaka jest jednak jego krótka żywotność przy pracy na gruntach kamienistych ze względu na delikatną konstrukcję.

W celu określenia optymalnej głębokości zagęszczania przy pomocy zagęszczarki wibracyjnej BCM-2 przeprowadzono próbne zagęszczanie żwirów używanych do budowy filtrów odwrotnych między rdzeniem i korpusem statycznym zapory w Tresnej.

Zagęszczony materiał posiadał następujące uziarnienie:

frakcja żwirowa	25 ÷	2 mm	-	58 %
"	piaskowa	2 ÷ 0,05 mm	-	35 %
"	pyłowa	0,05 ÷ 0,002 mm	-	6 %
"	iłowa	< 0,002 mm	-	1 %

Po nasypaniu żwiru o wilgotności 9,6 % warstwą o grubości 110 cm zagęszczono go najpierw jednokrotnie ubijakiem wibracyjnym ES-200, a potem trzykrotnie zagęszczarką BCM-2. Następnie oznaczono ciężar objętościowy szkieletu gruntowego na różnych głębokościach zagęszczonej warstwy, pobierając z niej próbki dwoma stalowymi cylindrami o jednakowej wysokości 10 cm

lecz różnych średnicach 10 i 15 cm. Wyniki tych badań zestawiono na rys.7.14.

Jak widać maksimum zagęszczenia uzyskano na głębokości 55 cm, tj. w połowie grubości warstwy. W odległościach około 20 cm w dół i w górę od tego poziomu żwir wykazuje już tylko 95 % maksymalnego zagęszczenia; różnica ta była wyczuwalna w trakcie kopania. Z powyższego wynika, że praktyczna skuteczność BCM-2 dla badanego żwiru nie przekracza głębokości 75 cm, przy czym konieczne jest dodatkowe zagęszczenie górnej warstwy o grubości 35 cm za pomocą innej maszyny.

7.3.3.3. Wnioski z przeprowadzonych badań na zaporze w Tresnej

Z przedstawionych danych /rys. 7.9 - 7.14 wynika, że:

- 1/ Zagęszczenie gruntu możliwe do osiągnięcia przy użyciu badanych maszyn następuje przy początkowych przejściach maszyny zagęszczającej i tak przy użyciu zagęszczarki wibracyjnej BCM-2 następuje już po 1-2 przejściach, spycharki po 4-5 przejściach, a obciążonego samochodu "Praha" po 2-3 przejściach.
- 2/ Wzrost zagęszczenia po około 1+4 przejściach maszyny zagęszczającej w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu gruntu spycharką wynosi: ok.7-8,5 % przy użyciu spycharki D-157, ok.10 % przy użyciu BCM-2 i ok.16 % przy użyciu obciążonych samochodów "Praha". Wzrost zagęszczenia po 10 przejściach samochodu "Tatra" w stosunku do zagęszczenia spycharką po 5 przejściach wynosi ok.6 %. Dalsze przejścia powodują minimalny wzrost zagęszczenia /max.2 %/.
- 3/ Maksymalne zagęszczenie uzyskano przy pomocy zagęszczarki wibracyjnej BCM-2 i obciążonego samochodu "Tatra"; jest

ono około 5 % wyższe od maksymalnego zagęszczenia uzyskanego obciążonym samochodem "Praha", około 8 % wyższe od zagęszczenia uzyskanego walcem "Madro" i około 3÷14 % od zagęszczenia spycharką. Grubość zagęszczanych warstw wynosiła 55÷90 cm /90 cm dla BCM-2/.

- 4/ Zagęszczanie gruntów gruboziarnistych w miejscach trudno dostępnych można wykonywać przy pomocy ubijaka ES-200.
- 5/ Grubość zagęszczanych warstw gruntu o uziarnieniu do 25 mm przy pomocy zagęszczarki BCM-2 nie powinna przekraczać 75 cm.
- 6/ Sypanie gruntu z wywrotek oraz plantowanie przy pomocy spycharki powoduje wstępne zagęszczenie dochodzące do 18% w stosunku do zagęszczenia gruntu w stanie luźnym.
- 7/ Wyniki niwelacji powierzchni zagęszczanej warstwy potwierdzają ogólną zależność między γ_{os} gruntu i ilością przejeżdż maszynы zagęszczającej. Wyliczone na podstawie niwelacji grubości warstwy i odpowiadające im obliczeniowe ciężary objętościowe szkieletu gruntowego również dość dobrze korespondują z wartościami γ_{os} , wyznaczonymi na podstawie badań w wykopach /rys.7.10-7.12/.
- 8/ Próbnе obciążenia ze względu na duże rozrzuty uzyskiwanych wyników badań nie mogą być miarodajną metodą kontroli zagęszczania nasypów z gruntów gruboziarnistych /rys.7.11/; duży wpływ na rozrzuty wyników mają przypadkowo ułożone grubsze ziarna.

7.3.4. Badania zagęszczalności gruntu na zaporze w Głębinowie

7.3.4.1. Cel badań

Celem badań było określenie jak grubą warstwę można zagęszczać walcem wibracyjnym i jakie otrzymuje się zagęszczenie przy różnej ilości przejść walca.

7.3.4.2. Opis przeprowadzonych badań

Do badań użyto przyczepnego walca wibracyjnego typu SVAW 25 produkcji NRD, używanego na budowie zapory w Głębinowie. Ciężar walca 3900 kg; szerokość 1500 mm; średnica walca 1200 mm, częstotliwość drgań $33 \frac{1}{2} - 20 \text{ Hz}$. Badanie wykonano przy szybkości jazdy 1 km/godz. i średniej częstotliwości drgań.

Poletko do badań przygotowano na korpusie zapory uprzednio zagęszczonym trzykrotnym przejściem w/w walca wibracyjnego.

Do badań użyto gruntu o uziarnieniu jak na rys.7.15. Grunt na poletku przepychano sycharkami spod taśmociągu. Na poletku usypano warstwę o zmiennej grubości. Wymiary poletka w planie oraz przekrój podano na rys.7.16. Zagęszczanie przeprowadzono na 3 pasach, przy 2, 4 i 8 przejściach walca na pasie.

Badania ciężaru objętościowego przeprowadzono dla każdego przekroju i pasa oraz na poszczególnych głębokościach warstw przy pomocy aparatu przeponowego i folii.

7.3.4.3. Wyniki badań i wnioski

Wyniki badań przedstawiono na rys.7.17 i 7.18. Z przeprowadzonych badań wynika, że zagęszczenie gruntu zależy od grubości usypanej warstwy i ilości przejść maszyny. Można przyjąć, że praktycznie po 2-4 przejściach walca zagęszczenie się stabilizuje. Wzrost zagęszczenia przy 8 przejściach dla warstwy 30 i 50 cm należy tłumaczyć kruszeniem się ziarn w powierz-

-chniowej strefie zagęszczanej warstwy. W warstwach o grubości powyżej 100 m największe zagęszczenie uzyskano w strefie do głębokości około 50 cm. Zagęszczenie warstwy 30 i 50 cm jest prawie jednakowe i jest około 3-4 % większe od średniego zagęszczenia warstwy 100 i 150 cm.

W czasie przesuwania gruntu spod taśmociągu i formowania warstwy przy pomocy spycharki uzyskuje się wzrost zagęszczenia około 32 % w stosunku do zagęszczenia w stanie luźnym.

Natomiast maksymalny wzrost zagęszczenia po 8 przejściach walca wynosi średnio tylko 3% dla warstwy 100 i 150 cm i 10 % dla warstw 30 i 50 cm w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu spycharką.

Wskaźnik zagęszczenia po 2 przejściach dla warstw o grubości 100-150 cm wynosi około 1,0, a dla warstw o grubości 30 i 50 cm wynosi około 1,03.

Średnie zagęszczenie korpusu zapory wykonanego z tego gruntu przy użyciu w/w walca wg badań laboratorium budowy zapory w Głębinowie wynosiło $\gamma_{os} = 2,125 \text{ G/cm}^3 / W_z \approx 1,0/$. Średnia grubość zagęszczanych warstw wynosiła około 60 cm, a ilość przejść walca - 3.

Z powyższego widać, że uzyskane zagęszczenie gruntu w korpusie zapory pokrywa się z wynikami uzyskanymi na poletku doświadczalnym.

7.3.5. Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych na poligonie w Wiśle-Czarne

7.3.5.1. Ogólna charakterystyka badanych gruntów

Badania zagęszczalności przeprowadzono dla dwóch rodzajów gruntów znajdujących się w sąsiedztwie budowy zapory, a mianowicie:

- grunt "A" z kamieńca i tarasów zalewowych Białej Wiśłki
- grunt "B" z tarasu wysokiego Białej Wiśłki /główne złoże/.

Na kamieńcach i tarasach zalewowych występują otoczaki głównie piaskowców fliszowych o różnych wymiarach, rzadziej łupków i innych skał z domieszką żwirów. Wśród otoczaków sporo jest bloków skalnych o wymiarach przekraczających 40 cm. Główne złoże materiału ziemnego przeznaczonego do budowy korpusu zapory /taras wysoki/ zlokalizowane jest na lewym zboczu doliny Białej Wiśłki w odległości ca 600 m od wideł rzecznych Czarnej i Białej Wiśłki, w górę biegu rzeki. Złoże budują głównie otoczaki piaskowców gruboziarnistych i zlepieńców o wymiarach niekiedy do 50 cm, słabo obtoczonych, z domieszką żwiru i gliny piaszczystej. Uziarnienie badanych gruntów podano na rys.7.19.

7.3.5.2. Próbne zagęszczanie gruntu gruboklastycznego z Wiśły-Czarne

Na poligonie doświadczalnym w Wiśle-Czarne wykonano badania zagęszczalności przy pomocy spycharki S-100, obciążonego samochodu "Kraz" i walca wibracyjnego. Poligon doświadczalny usytuowano na korpusie budowanej zapory. Po przeprowadzeniu badań nawieziony grunt pozostał w korpusie zapory.

Podłoże pod poligon zostało odpowiednio przygotowane. Wybraną powierzchnię nasypu wyrównano i odpowiednio zagęszczono obciążonym samochodem "Kraz". Po zagęszczeniu podłoża wytyczono zarys poletka i przekroje, w których wykonywano badania kontrolne - rys.7.20. Przekroje zaznaczono przy pomocy palików, na których naniesiono projektowaną grubość zagęszczanej warstwy.

7.3.5.3. Usypanie poletka

Grunt na poligon dowożono przy pomocy samochodów - wywrotek /Kraz i ZIL/ zsypując ich zawartość w takich odległościach, aby po rozgarnięciu spycharką otrzymać warstwę odpowiedniej grubości. Po nawiezieniu gruntu i rozgarnięciu spycharką, otrzymano poletko o zmiennej grubości warstwy. Grubość warstw w przekrojach, w których prowadzono badania kontrolne wynosiła ca 20, 40 i 60 cm.

Poletko podzielono na trzy pasy. Każdy pas zagęszczano inną ilością przejść maszyny.

7.3.5.4. Charakterystyka maszyn zagęszczających i sposób zagęszczania

Zagęszczalność gruntów gruboklastycznych zbadano przy użyciu: spycharki S-100, obciążonego samochodu "Kraz" i walca wibracyjnego.

Spycharka S-100 /moc 100 KM, ciężar własny 14,5 T, nacisk efektywny około $0,8 \text{ kg/cm}^2$ / pokrywała śladami gąsienic /o szerokości 50 cm/ cały teren poletka. Spycharka pracowała na jednym paśmie w ten sposób, że raz posuwała się do przodu, drugi raz cofała się. Każde następne pasmo przesunięte było w stosunku do poprzedniego o szerokość gąsienicy, aż do momentu, gdy cały pas objęty gąsienicami został zagęszczony. Następnie spycharka przechodziła obok na pas niezagęszczony i pracowała jak wyżej.

W ten sposób odpowiednie pasy poletka /1, 2 i 3/ pokryto dwoma, czterema i ośmioma przejściami.

Zagęszczanie obciążonym samochodem "Kraz" odbywało się podobnie jak zagęszczanie spycharką. Zagęszczenie poletka samochodem "Kraz" poprzedziło rozgarnięcie i wyrównanie powierzchni poletka przy pomocy spycharki. Użyty do zagęszczania samochód "Kraz" obciążony był do pełnej ładowności tj. około 12 T. Jest to samochód o trzech osiach /tylne koła podwójne/ i ciężarze własnym 12,5 T, co dało w sumie obciążenie około 24,5 T. Obciążenie na osie tylne ^{wynosiło} około 8 T, przy efektywnym nacisku 5,5 kg/cm².

Zagęszczanie przy pomocy walca wibracyjnego poprzedziło rozgarnięcie i wyrównanie powierzchni poletka przy pomocy spycharki. Do zagęszczania użyto walec wibracyjny produkcji Fabryki Urządzeń Technicznych Ostrówek.

Ciężar walca - 0,6 T
obroty - 3300 obr/min.
efekt wałowania - 9 T
średnica walca - 60 cm
szerokość " - 80 cm

Prędkość jazdy do przodu i do tyłu; I bieg - 1,5 km/godz
II " - 3,0 "

Zagęszczanie przeprowadzono na 3 parach przy 2,4 i 8 przejściach walca na pasie z szybkością 1,5 km/godz.

7.3.5.5. Wyszczególnienie badań kontrolnych

Przeprowadzone na poligonie doświadczalnym badania kontrolne obejmowały:

- oznaczenia γ_0 - metodą wykopów; objętość dołka pomierzono aparatem przeponowym, folią lub bezpośrednio calówką,
- oznaczenia γ_0 - metodą radioizotopową,
- oznaczenia w - metodą suszenia,

- oznaczenia w - metodą radioizotopową
- próbne obciążenia
- oznaczenie wskaźnika wodoprzepuszczalności
- oznaczenie składu granulometrycznego.

7.3.5.6. Wyniki badań i wnioski z zagęszczalności gruntu "A"

Badania zagęszczalności gruntu "A" wykonano obciążonym samochodem "Kraz" i spycharką S-100. Ciężar objętościowy gruntu określono metodą wykopów, stosując do pomiaru objętości wykopu aparat przeponowy lub folię. Wilgotność określano obliczeniowo w oparciu o wilgotność frakcji $\phi < 80$ mm oznaczoną metodą suszenia. Opis badań próbnych obciążeń podano w pkt.9.4, a wskaźnik wodoprzepuszczalności w pkt.10.3.2. Wyniki badań przedstawiono na rys.7.21 i 7.22.

Przy zagęszczaniu gruntu "A" obciążonym samochodem "Kraz" największe zagęszczenie / $\gamma_{os} = 2,47 \text{ T/m}^3$ / otrzymano dla warstwy o grubości 20 cm, a najmniejsze / $\gamma_{os} = 2,27 \text{ T/m}^3$ / o grubości warstwy 60 cm. Orientacyjnie można przyjąć, że zagęszczenie gruntu stabilizuje się po 2-4 przejściach obciążonego samochodu "Kraz". Maksymalny wzrost zagęszczenia przy użyciu samochodu "Kraz" w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu spycharką wynosi około 20 % przy grubości warstwy 20 cm oraz około 4 i 12 % przy grubości warstw 40 i 60 cm.

Przy zagęszczaniu gruntu "A" spycharką, największe zagęszczenie / $\gamma_{os} = 2,36 \div 2,40 \text{ T/m}^3$ / otrzymano dla warstwy o grubości 40 i 60 cm; najmniejsze / $\gamma_{os} = 2,26 \text{ T/m}^3$ / dla warstwy o grubości 20 cm.

Najmniejsze zagęszczenie dla warstwy 20 cm należy tłumaczyć najdrobniejszym uziarnieniem gruntu w tym przekroju /rys.7.19/. Grubsze ziarna z tego przekroju przy rozgarnianiu

pryzm zostały przesunięte w kierunku przekrojów o większej miąższości.

Zagęszczenie gruntu dla warstwy 20 cm stabilizuje się przy 4 przejściach spycharki; maksymalny wzrost zagęszczenia w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu spycharką wynosi około 12 %. Dla warstwy o grubości 40 i 60 cm po rozgarnięciu i rozplanowaniu pryzm spycharką, następne jej przejścia nie wykazały wzrostu zagęszczenia. Fakt ten należy tłumaczyć tym, że w czasie przygotowywania poletka spycharka dla wyrównania warstwy, manewrowała po poletku dość dużo razy powodując duże wstępne zagęszczenie gruntu.

Wskaźnik zagęszczenia gruntu o grubości ^{warstw} 20+60 cm przy ilości przejść > 2 obciążonego samochodu "Kraz" i samej spycharki jest $\gg 1,0$,

7.3.5.7. Wyniki badań zagęszczalności gruntu "B"

Badania zagęszczalności gruntu "B" wykonano obciążonym samochodem "Kraz", spycharką i walcem wibracyjnym.

Ciężar objętościowy określano metodą wykopów stosując do pomiaru objętość wykopu aparat przeponowy, folię lub mierząc wykop bezpośrednio calówką. Wilgotność określano obliczeniowo w oparciu o wilgotność frakcji $\emptyset < 80$ mm wyznaczoną metodą suszenia. Wyniki badań przedstawiono na rys. 7.23 - 7.25.

Z danych na rys. 7.23 - 7.25 wynika, że praktycznie biorąc zakończenie procesu zagęszczania występuje po 2-4 przejściach maszyny zagęszczającej. Wzrost zagęszczenia w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu spycharką wynosi około 3-20 % /średnio około 10 %/. Na rys. 7.25 duże rozrzuty wyników zagęszczania warstwy 20 cm w porównaniu do pozostałych grubości

należy tłumaczyć grubym uziarnieniem /rys.7.19/ i zbyt małą grubością warstwy.

Stabilizacja zagęszczenia gruntu spycharką następuje po około 4 przejściach; wskaźnik zagęszczenia warstwy 60 cm wynosi około 0,96, a warstwy 40 cm około 1.

Przy zagęszczaniu samochodem "Kraz" stabilizacja zagęszczenia następuje po 2 przejściach; wskaźnik zagęszczenia dla wymienionych warstw jest $\gg 1$.

Przy zagęszczaniu walcem wibracyjnym warstw 40 i 60 cm stabilizacja zagęszczenia następuje po 4 przejściach; wskaźnik zagęszczenia jest wtedy $\gg 1$.

7.3.6. Określenie metodami statystycznymi ilości badań γ_0

Przy badaniu gruntów gruboziarnistych powtarzalność wyników zależy od zawartości grubych ziarn w gruncie; dla gruntów o drobniejszym uziarnieniu /Tresna, Głębinów/ uzyskiwano stosunkowo nieduże rozrzuty wyników γ_{0s} , natomiast dla gruntów zawierających duże kamienie /Wisła-Czarne/ rozrzuty są duże.

Wykonywanie 2-3 pomiarów w tych gruntach jest niewystarczające.

W celu obliczenia ilości badań γ_0 , wykorzystano wyniki badań zagęszczalności gruntu z Wisły-Czarne na poligonie doświadczalnym. Do obliczeń przyjęto dane z zagęszczenia warstwy o grubości 40 cm po 4 przejściach "Kraza". Dla warstwy tej uzyskano największe rozrzuty wyników badań γ_{0s} /Tablica 7.2/.

Na podstawie tych danych obliczono odchylenie standardowe /S/, przedział ufności $|4\gamma_{0s}|$ i współczynnik zmienności.

Tablica 7.2

Zestawienie wyników pomiaru γ_{os}

Lp.	γ_{os_i} T/m ³	$\gamma_{os_{gr}} = \bar{\gamma}_{os}$ T/m ³	$\gamma_{os_i} - \bar{\gamma}_{os}$	$(\gamma_{os_i} - \bar{\gamma}_{os})^2$
1	2,00		0,107	0,0115
2	2,19	2,107	0,083	0,0069
3	2,13		0,023	0,0004
				$\Sigma = 0,0188$

Odchylenie standardowe:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\gamma_{os_i} - \bar{\gamma}_{os})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{0,0188}{2}} \approx 0,1 \text{ G/cm}^3$$

Przedział ufności $\Delta \gamma_{os}$ dla prawdopodobieństwa 95 % wynosi:

$$\Delta \gamma_{os} = \pm \frac{t_{\alpha} \cdot s}{\sqrt{N}} = \frac{4,2303 \cdot 0,1}{\sqrt{3}} = \pm 0,25 \text{ G/cm}^3$$

/ t_{α} - z tablic rozkładu t - Studenta/.

Współczynnik zmienności W_s wynosi:

$$W_s = \frac{s}{\bar{\gamma}_{os}} \cdot 100 \% = \frac{0,1}{2,107} \cdot 100 \approx 4,7 \%$$

Obliczony przedział ufności $\Delta \gamma_{os}$ na podstawie 3 pomiarów jest bardzo duży; wskazuje to na potrzebę wykonywania większej ilości pomiarów γ_o .

Ilość pomiarów dla założonego przedziału ufności i prawdopodobieństwa można obliczyć na podstawie wzoru podanego przez Hellwiga /20/;

$$N = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot S^2}{\Delta \gamma_{os}^2}$$

Zakładając prawdopodobieństwo 95 % i $\Delta \gamma_{os} = \pm 0,1 \text{ G/cm}^3$ z tablic rozkładu t - Studenta znajdujemy N i t_{α} .

$$\frac{N}{t_{\alpha}^2} = \frac{S^2}{\Delta \gamma_{os}^2} = \frac{0,1^2}{0,1^2} = 1 \rightarrow N \approx 7 \text{ i } t_{\alpha} = 2,447$$

Z przedstawionych obliczeń wynika, że grunty gruboziarniste charakteryzują się dużą niejednorodnością. Znacznie większy wpływ na pomiary ciężarów objętościowych ma przypadkowe ułożenie kamieni niż dokładność metody pomiarowej. Wskazuje na to współczynnik zmienności $W_s = 4,7 \%$, który jest znacznie większy od błędu względnego pomiaru $1,5 \%$.

7.3.7. Wnioski z przeprowadzonych badań

Z przeprowadzonych badań wynika, że:

1. Grunty gruboziarniste zagęszczają się bardzo łatwo; stabilizacja zagęszczenia warstw o grubości około 20-60 cm następuje po około 2 przejściach w przypadku użycia ciężkich maszyn /obciążone samochody "Praha", "Tatra" i "Kraz", walec wibracyjny 4 T, zagęszczarka wibracyjna BCM-2 3,5 T/ i po około 4 przejściach przy użyciu maszyn lżejszych /spycharki, lekki walec wibracyjny/.

Wskaźnik zagęszczenia przy tych ilościach przejść jest $\geq 1,0$.

2. Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych zależy od pochodzenia i uziarnienia gruntu, grubości zagęszczonej warstwy, rodzaju maszyny i ilości przejść maszyny po tym samym miejscu. Grunty z Wisły-Czarne, przy zagęszczaniu ich podobnym sprzętem jak w Tresnej, wykazały większe wartości γ_{os} .

Większe zagęszczenia związane jest między innymi z grubszym uziarnieniem gruntu z Wisły. Wraz ze wzrostem grubości warstw zmniejsza się średnie zagęszczenie gruntu.

3. Maksymalne zagęszczenie walcem wibracyjnym 4 T uzyskuje się przy grubości warstwy około 60 cm już po około 2 przejściach. Przy grubości warstwy 100-150 cm uzyskuje się średnie zagęszczenie ^{odpowiadające wskaźnikowi zagęszczenia} około 1,0 po 4 przejściach walca 4 T.
4. Przy badaniu gruntów gruboziarnistych powtarzalność wyników zależy od zawartości grubych ziarn w gruncie; dla gruntów o drobniejszym uziarnieniu /Tresna, Głębinów/ uzyskiwano stosunkowo nieduże rozrzuty wyników γ_{os} , natomiast dla gruntów zawierających duże kamienie /Wisła-Czarne/ rozrzuty są duże, co potwierdza, że przypadkowe ułożenie grubych ziarn wpływa na rozrzuty wyników.

W celu uzyskania miarodajnych danych γ_{os} dla gruntów bardzo różnoziarnistych należy wykonywać znaczną ilość pomiarów / > 7/.

5. W celu opracowania technologii zagęszczania gruntów w korpusie zapory należy wcześniej wykonać badania poligonowe, na podstawie których będzie można wybrać optymalne grubości warstw i ilość przejść dla dysponowanego sprzętu, oraz opracować metodykę kontroli zagęszczania. Z gruntu użytego do badań należy usunąć grube ziarna.

8. Badania wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboziarnistych

8.1. Wstęp

Rozwój budownictwa wysokich zapór z gruntu i kamieni postawił przed projektantami problem stateczności wysokich skarp tych budowli. Stateczność skarp budowli ziemnych zależy od wytrzymałości na ścinanie, która jest funkcją kąta tarcia wewnętrznego. Kąt tarcia wewnętrznego gruntów gruboziarnistych zależy natomiast między innymi od zagęszczenia, wilgotności, uziarnienia i składu petrograficznego oraz obciążeń. Wpływ tych czynników do tej pory nie został jeszcze jednoznacznie wyjaśniony. Kąt tarcia wewnętrznego ma też decydujący wpływ na objętość zapór.

Objętość zapór zależy od pochylenia skarp korpusu zapory, które przyjmuje się w zależności od kąta tarcia wewnętrznego. Ponieważ wysokości współczesnych zapór są duże, to nawet niewielkie zmiany kąta tarcia wewnętrznego mogą mieć istotny wpływ na zmianę objętości i kosztu budowy.

Jak podaje Nicziporowicz /53/, dla zapory Nuriekskiej o objętości o objętości około 60 mln m³, zmiana kąta tarcia wewnętrznego otoczków korpusu statycznego z 35° do 38°, tj. około 8 % spowoduje zmniejszenie objętości zapory o około 4 mln m³, a jej kosztu około 10 mln rubli.

Pomimo dużej ważności tego zagadnienia, do tej pory brak jest dokładnych danych odnośnie wielkości kąta tarcia wewnętrznego gruntów gruboklastycznych.

8.2. Przegląd literatury na temat wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboklastycznych

Wśród prac poświęconych badaniom wytrzymałości na

ściananie gruboziarnistych materiałów należy wymienić prace Collorisa /98/, który pierwszy zaczął badać w wielkowymiarowym aparacie trójosiowym o $d = 30$ cm i $h = 90$ cm grunty dla potrzeb budowy zapór w górach Harzu /1936 r/. Powiększony aparat trójosiowy o $d = 160$ mm wg projektu Bjeruma zastosowano w 1951 r dla zbadania gruntów zapory Marmorera w Szwajcarii /98/. Podobne badania prowadził Nonveiller /98/ na próbkach o średnicy $d = 45$ cm i wysokości $h = 90$ cm.

Na IV Konferencji Mechaników Gruntów i Fundamentowania w 1957 r Schultze /83/ przedstawił wyniki metodycznych badań gruntów zapory Schwammenavel w wielkowymiarowym aparacie trójosiowym o średnicy $d = 50$ cm i $h = 130$ cm, a Zeller i Wulliman /99/ podali wyniki podobnych badań przeprowadzonych dla potrzeb budowy zapory Göschenenalp. Poza tymi badaniami znane są jeszcze badania Fukuoka /11/, Love /53/, Gilga /12, 13/, Hennesa /53/, Marsala /47/, Bretha /48/, Schluttinga i Schöna /84/, Gordona /50/, Smolczyka /6/, Nicziporowicza /53, 54/, Rasskazo-wa /53, 71/ i innych.

Schultze /53, 83/ badał gruboziarniste grunty o uziarnieniu $d < 100$ mm w wielkowymiarowym aparacie trójosiowym podciśnieniowym o średnicy próbki $d = 50$ cm. Badania przeprowadzał przy $\sigma_3 = 0,3$ at; $0,6$ i $0,9$ at na kilkunastu próbkach zagęszczonych do $\gamma_0 = 1,55$ T/cm³ i $\gamma_0 = 1,87$ T/m³. Dla zagęszczenia $\gamma_0 = 1,55$ T/m³ uzyskał $\varphi = 42^\circ 17'$ i $c = 0,1$ kG/cm², a dla zagęszczenia $\gamma_0 = 1,87$ T/m³ uzyskał $\varphi = 43^\circ$ i $c = 0,46$ kG/cm².

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych w aparacie trójosiowym i aparatach skrzynkowych o różnych wymiarach gruntu o uziarnieniu $d < 5$ mm oraz badań w wielkowymiarowym aparacie trójosiowym Schultze stwierdził, że badania gruboziarnistych gruntów w aparacie skrzynkowym i aparacie

trójosiowym są równoznaczne; przy $\frac{D_{\text{aparatu}}}{d_{\text{max.ziarna}}} \geq 5$ wyniki badań nie są skażone; grubość cząstek w znacznym stopniu wpływa na wytrzymałość gruntu na ścinanie; zagęszczenie badanego gruntu nie wpływa na kąt tarcia wewnętrznego.

Zeller i Wulliman /99/ w rezultacie badań przeprowadzonych w aparacie trójosiowym o średnicy $d = 505$ mm w związku z projektowaną zaporą Göschenenalp ustalili, że wytrzymałość na ścinanie nieobtoczonego gruboziarnistego gruntu zmniejsza się ze zwiększeniem grubości ziarn, a zwiększa się ze zmniejszeniem porowatości przy zachowaniu tego samego składu granulometrycznego /rys.8.1/. Dla uziarnienia $d < 100$ mm i zakresu zmian porowatości 38 ± 22 % kąt tarcia wewnętrznego zmieniał się od $25 \pm 42^\circ$. Do tych wniosków autorzy doszli na podstawie szeregu doświadczeń na próbkach, z których odsortowywane były kolejno frakcje $d > 100$ mm, $d > 30$ mm, $d > 10$ mm i $d > 1$ mm.

Zmiany parametrów wytrzymałościowych gruntów o ziarnach $d < 100$ mm i o $d < 30$ mm były bardzo małe, podczas gdy pomiędzy gruntami o ziarnach $d < 30$ mm i $d < 10$ mm już znacznie większe, a jeszcze większe pomiędzy gruntami o ziarnach $d < 10$ mm i $d < 1$ mm.

Stwierdzono też, że: 1/ wielkość naprężeń / $\bar{\sigma}_3 = 0,9 - 7,65 \text{ kG/cm}^2$ / nie wpływa na wytrzymałość na ścinanie, 2/ wytrzymałość próbek zawilgoconych zmniejsza się, 3/ usunięcie do 25% frakcji grubych $d > 100$ mm nie ma większego wpływu na wyniki badań, natomiast przekroczenie tej granicy wyraźnie wyniki te zniekształca.

Fukuoka /11/ przeprowadzał badania gruntów żwirowych w aparacie trójosiowym o wysokości próbek 14 i 65 cm i średnicy równej 7 i 28 cm, a także w aparacie bezpośrednim o wymiarach

próbki 100x100 mm i wysokości 60 mm. Przy porównaniu wyników badań ustalił, że aparat bezpośredni daje nieznacznie większe wartości kąta tarcia wewnętrznego. Przy ścinaniu w aparacie bezpośrednim gruntów zawierających frakcje do 200 mm kąt tarcia wewnętrznego zmieniał się od 60 do 70°. Fukuoka zaleca stosować w doświadczeniach stosunek

$$\frac{D_{\text{aparatu}}}{d_{\text{max.ziarna}}} \gg 6.$$

Lowe /53/ w celu określenia charakterystyk żwirowo-otoczkowych gruntów korpusu zapory Szimen wykonał badania w aparacie trójosiowym o średnicy $d = 15,2$ cm i wysokości $h = 30$ cm przy σ_3 do $3,5 \text{ kG/cm}^2$. Skład granulometryczny żwirowo-otoczkowej mieszanki jest podobny do naturalnego, ale zmniejszony 8 razy w celu spełnienia warunku:

$$\frac{D_{\text{aparatu}}}{d_{\text{max.ziarna}}} = 4; \quad d_{\text{max.ziarna}} = 3,8 \text{ cm.}$$

Z przeprowadzonych badań gruntu z koryta rzeki przy porowatości $n = 23,5 \% / \gamma_o = 2,08 \text{ G/cm}^3 /$ i $n = 19,5 \% / \gamma_o = 2,19 \text{ G/cm}^3 /$ wynikało, że kąt tarcia wewnętrznego zmieniał się od 41° do 43°, a gruntu z tarasu o ciężarze objętościowym od $1,9 \text{ G/cm}^3$ do $2,1 \text{ G/cm}^3$ kąt tarcia wewnętrznego zmieniał się od 43° do 44°.

Gilg /12, 13/ do badań gruntów zapory Mattmark /Szwajcaria/ skonstruował aparat trójosiowy wielkowymiarowy do badań próbek o średnicy 62 cm i wysokości 120 cm. W aparacie badano próbki o uziarnieniu $d < 80$ mm przy $\sigma_3 \leq 5 \text{ kG/cm}^2$ i $\sigma_1 \leq 34 \text{ kG/cm}^2$.

Gilg /13/ na podstawie badań porównawczych podaje jaki ma wpływ wielkość próbki na wyniki ścinań /tablica 8.1/.

Tablica 8.1

Wpływ wielkości próbki na otrzymane wskaźniki

Rodzaj gruntu	Przekrój próbki cm ²	Wymiar max. ziarn mm	tg φ	c kG/cm ²
z rdzenia	50	10	0,84	0,9
- " -	3000	70	0,92	0,2
z filtru	50	10	0,84	0,6
- " -	3000	70	0,80	0,8

Na podstawie przeprowadzonych badań Gilg zaleca używać aparaty trójosiowe, które umożliwiają pozostawienie w próbkach ziarn o średnicy równej 1/3 lub nawet 1/2 średnicy ziarn maksymalnych. Jeśli wynosi ona np. 10 cm to próbka musi posiadać przekrój co najmniej 500 cm².

Hennes /53/ stosował w swoich badaniach aparat bezpośredniego ścinania o wymiarach próbki w planie 15,25 x 30,5 cm /przesuwała się dolna skrzynka/. Badał on wpływ grubości ziarn na kąt tarcia wewnętrznego dla jednorodnych i różnorodnych pod względem składu granulometrycznego gruntów /rys.8.2/. Różnorodność gruntów określał równaniem Talbota /wzór 4.3/. Z rys.8.2 widać, że kąt tarcia wewnętrznego zależy od grubości badanych frakcji. Zależność ta szczególnie przejawia się dla frakcji 0-10 mm. Należy zaznaczyć, że przy zmniejszeniu wykładnika potęgi x do 0,3, zależność ta jest mniej widoczna, co można objaśnić zmniejszeniem się d_{gr} .

Szczególnie interesująco przedstawiają się badania, wykonane w związku z budową kamienno-narzutowej zapory Infernillo w Meksyku /45, 53/. Korpus statyczny zapory o wysokości

148 m wykonany jest z kamienia łamanego o uziarnieniu do 200 mm /dioryt, zlepieniec, wapień/.

Do badania tych gruntów skonstruowano wielkowymiarowy aparat trójosiowy umożliwiający badanie próbek o średnicy 113 cm i wysokości 250 cm.

Aparat umożliwia zadawanie nacisków pionowych do 100 kg/cm^2 przy pomocy 9 lewarów, szeregowo połączonych do płyt, między którymi ustawia się próbkę. Ogólny udźwig lewarów wynosi 1500 T; wysuw tłoków 75 cm. Dla zadania bocznego ciśnienia próbka gruntu umieszczana jest w kulistym stalowym zbiorniku o średnicy 4,2 m i objętości 40 m^3 napełnionym wodą.

Ciśnienie zadaje się przez podłączenie zbiornika kulistego do jednego z 5-ciu zbiorników wodnych położonych na różnych wysokościach na zboczu. Taki sposób podłączenia daje możliwość uzyskiwania stałego bocznego ciśnienia na próbkę 2; 5; 10; 17 i 25 kg/cm^2 .

Przeprowadzone badania wykazały, że kąt tarcia wewnętrznego zależy od wielkości σ_1 , a także od uziarnienia i zagęszczenia.

Kąt tarcia wewnętrznego kamienia dla zapory Infernillo o $\gamma_0 = 1,7 \div 2,0 \text{ T/m}^3$ i $n = 0,4 \div 0,6$ zawierał się w granicach $50 \div 35^\circ$, a dla żwiru $53 \div 39^\circ$. Badania wykonywano przy $\sigma_3 = 0,5 - 25 \text{ kg/cm}^2$ uzyskując $\sigma_1 = 4 - 100 \text{ kg/cm}^2$; osiowe jednostkowe odkształcenia w doświadczeniach wynosiły $4 \div 15 \%$ dla kamienia i $3 \div 8 \%$ dla żwiru.

Badania wykazały, że odkształcenie gruboziarnistych materiałów zależy od zagęszczenia i nawodnienia próbki. We wszystkich badaniach, szczególnie z kamieniem zauważono kruszenie się ziarn; przy czym ilość rozkruszonych ziarn przy ciśnie-

-niu $\sim 25 \text{ kg/cm}^2$ wynosiła $\sim 23 \%$. Współczynnik rozkruszenia ziarn ze wzrostem σ_3 zwiększa się i znacznie jest większy dla kamienia niż żwiru.

Dla zapory Infernillo do obliczeń był przyjęty kąt tarcia wewnętrznego 45° .

Ciekawe badania grubookruchowych materiałów były przeprowadzone przez Bretha /5/ dla zapory Rosshaupten oraz Schluttiga i Schöna dla zapory Ohra /84/. Kąt tarcia wewnętrznego kamiennego narzutu określano za pomocą obrotu pionowej ścianki podporowej /rys.8.3/.

Nasyp o wysokości 5 m i długości 20 m usypano warstwami po 30 cm i zagęszczano lekkimi ubijakami. Dla lepszego zaznaczenia powierzchni poślizgu, powierzchnię każdej warstwy nasypu pokrywano cienką warstwą gipsu. Po obróceniu ścianki wokół dolnej krawędzi mierzono kąt odłamu.

Dla nasypu z kamienia /łupka/ o uziarnieniu $d < 75 \text{ cm}$ Breth przy zagęszczeniu $\gamma_0 = 1,76 \text{ T/m}^3$ otrzymał kąt odłamu $V_m = 66^\circ$. Dla tego materiału o uziarnieniu $d < 150 \text{ mm}$ przy zagęszczeniu $\gamma_0 = 1,72 \text{ T/m}^3$ Breth w aparacie trójosiowym o średnicy 0,5 m i wysokości 1,25 m otrzymał kąt tarcia wewnętrznego 42° . Kąt odłamu dla nasypu zapory Ohra o uziarnieniu do 200 mm przy zagęszczeniu $\gamma_0 = 1,58 \text{ T/m}^3$ wynosił $V_m = 42^\circ 40'$.

W celu sprawdzenia otrzymanych wyników /84/ wykonano badania ścinania w skrzyni 2x3 m i wysokości 0,5 m gruntu ułożonego na podłożu z tego samego gruntu co w skrzyni. Skrzynia przesuwiała się po podłożu. Kąt tarcia wewnętrznego, otrzymany przy ścinaniu za pomocą skrzyni okazał się mniejszy niż przy obrocie ścianki oporowej i wynosił 39° .

Na podstawie badań przy przesuwaniu skrzyni wyjaśniono też wpływ zagęszczenia gruntu na wielkość kąta tarcia wewnętrznego. Przy zmianie zagęszczenia γ_0 z $1,6 \text{ T/m}^3$ do $1,93 \text{ T/m}^3$ współczynnik tarcia $\mu_s = \text{tg}\phi$ zmieniał się z $0,82 / \phi = 39^\circ /$ do $1,33 / \phi = 53^\circ / \text{rys.8.4./}$.

Gordon /15, 53/ podaje wyniki badań otoczków aluwialnych wbudowanych w korpus zapory Orovill. Badania przeprowadzano w aparacie trójosiowym o średnicy 305 mm. Maksymalny rozmiar cząstek był równy 76,2 mm. Boczne ciśnienie σ_3 osiągało $8,8 \text{ kG/cm}^2$, a zagęszczenie $\gamma_0 = 2,28 \text{ T/m}^3$. Kąt tarcia wewnętrznego wynosił 38° . Na podstawie badań ustalono też, że kąt tarcia wewnętrznego zmniejsza się wraz ze wzrostem ciśnień poziomych.

Zależność kąta tarcia wewnętrznego od naprężeń normalnych i zagęszczenia w aparacie skrzynkowym przedstawia wykreślenie /rys.8.5/ Smoltczyk /79/.

Z rysunku widać, że kąt tarcia wewnętrznego zależy od obciążenia i zagęszczenia; przy większych obciążeniach kąt tarcia wewnętrznego przy tym samym zagęszczeniu ma mniejszą wartość.

Nicziporowicz /53, 54/ i Rasskazow /53, 71/ przedstawiają wyniki badań wytrzymałości na ścinanie gruntów grubo-okruchowych $d < 200 \text{ mm}$ zapory Nuriekskiej w aparatach wielkometrycznych /trójosiowym i bezpośrednim/.

Kąt tarcia wewnętrznego otoczków zapory Nuriekskiej w stanie luźnym / $n = 32 \%$ / był równy 40° /rys.8.6/, a w stanie zagęszczonym / $n = 23-21 \%$ / - 47° .

Kąt tarcia wewnętrznego zależał od wielkości przykładowych naprężeń normalnych i zmieniał się od 40° /przy $\bar{\sigma} =$

= 0 + 7 kG/cm²/ do 38° /przy $\bar{\sigma} = 7 + 10$ kG/cm²/ przy n = 32 %
/rys.8.6/.

Nicziporowicz /54/ podaje, że dla oceny wytrzymałości na ścinanie grubookruchowych materiałów należy rozpatrywać następujące parametry:

- ∅ - kąt tarcia wewnętrznego,
- φ - kąt tarcia między ziarnami,
- ψ - kąt zaczepienia,
- α - kąt ścięcia,
- θ - kąt stoku naturalnego.

Na podstawie teoretycznych rozważań i badań eksperymentalnych Nicziporowicz podaje następujące zależności /rys.8.7/:

$$\emptyset = \varphi + \psi \quad /8.1/$$

$$\psi = f / \varphi, d, n, \xi / \quad /8.2/$$

$$\emptyset > \theta \quad /8.3/$$

$$\theta \cong \varphi \quad /8.4/$$

$$\tau = \bar{\sigma}_n \operatorname{tg} \emptyset + \tau_0 \quad /8.5/$$

gdzie:

d - średnia średnica cząstek

n - porowatość

ξ - współczynnik rozporu bocznego

$\bar{\sigma}, \tau, \tau_0$ - normalne i ścinające naprężenia / τ_0 przy $\bar{\sigma}_n = 0$ /
/ τ_0 wg Nicziporowicza może dochodzić do 1,0 kG/cm² /.

Zależności te rozwija Rasskazow /71/ podając wzory na kąt zaczepienia:

Kąt zaczepienia wyraża wzorem:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\frac{1}{k+1} + \xi \operatorname{tg} \varphi}{\frac{m \cdot 41}{d} \sec^2 \varphi + \frac{1}{k+1} \operatorname{tg} \varphi} \lambda, \quad /8.6/$$

gdzie wielkość parametrów należy przyjmować:

- $\varphi = 35^\circ - 42^\circ$ dla kamienia /tłucznia/ i $30^\circ - 35^\circ$ dla gruntu żwirowo-otoczkowego /kąt φ w przybliżeniu równa się kątowi stoku naturalnego θ /,
- $\xi = 0,2$ dla kamienia /tłucznia/ i $0,3$ dla gruntu żwirowo-otoczkowego,
- $m = 3 \div 5$ w zależności od porowatości próbki,
- $k = 0,24 \div 0,51$ w zależności od rodzaju gruntu i zagęszczenia,
- $d =$ średnia średnica gruntu $/d_{\text{sr}} = \sum_0^{D_{\text{max}}} \frac{d_i \cdot p}{100}$ lub $d_{\text{sr}} = \frac{D_{\text{max}} \cdot x}{1 + x}$; x - wykładnik potęgi z równania Talbota/
- $d_1 = a + \frac{d}{2}$, gdzie $a = a_0 \cdot h$
- h - wysokość próbki
- $a_0 = 0,13 - 0,17$ dla gruntu żwirowo-otoczkowego i $0,14 - 0,34$ dla gruntu kamienistego, w zależności od zagęszczenia gruntu,
- $\lambda =$ współczynnik rozkruszenia cząstek / ≤ 1 /.

Rasskazow /53, 71/ dla wyeliminowania spójności wynikającej z ząbienia ziarn, zwiększył szczelinę między skrzyniami do $0,8$ wymiaru maksymalnych ziarn /rys.8.6/. Podaje on, że dla aparatu skrzynkowego stosunek średnicy aparatu do średnicy maksymalnego ziarna powinien być większy od 10 .

Z badań w aparacie skrzynkowym i trójosiowym podciśnieniowym podobnie jak Schultze uzyskał on dobre zgodności wielkości kątów tarcia wewnętrznego.

8.3. Wnioski z przedstawionych danych z literatury

1. Wpływ grubości uziarnienia, zagęszczenia i obciążeń gruntu na kąt tarcia wewnętrznego jest określany niejednoznacznie; uzyskane wyniki i wnioski są czasami bardzo rozbieżne.
2. Brak jest zgodności co do metodyki badań i otrzymywanych wyników w aparacie skrzynkowym i trójosiowym.
3. Brak jest wyjaśnienia wpływu zazębiana się ziarn przy ściankach skrzyni na wytrzymałość na ścinanie i kąt tarcia wewnętrznego.
4. Brak jest wyjaśnienia wpływu wilgotności na wytrzymałość na ścinanie gruntów gruboziarnistych.
5. Brak jest wyjaśnienia wpływu składu litologicznego i stopnia obtoczenia ziarn na wytrzymałość na ścinanie.
6. Brak jest zależności parametrów wytrzymałościowych od zagęszczenia wg krzywej zagęszczalności /proctorowskiej/ dla gruntów gruboziarnistych/.
7. U nas w Polsce do tej pory nie wykonywało się badań wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboziarnistych w aparatach wielkowymiarowych.

W związku z szerokim programem wykonawstwa zapór z gruntu gruboziarnistego, szczególnie pochodzenia fliszowego, zagadnienie badań wytrzymałości na ścinanie gruboziarnistych gruntów posiada duże znaczenie, gdyż od tego zależeć będzie koszt budowli ziemnych.

8.4. Badania własne wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboziarnistych

Badania wytrzymałości na ścinanie wykonano dla gruntów gruboziarnistych z Tresnej /rz. Soła/, doliny Dunajca, Wisły-Czarne /rz. Biała Wiselka/ i Głębinowa /rz. Nysa Kłodzka/.

Badania wytrzymałości na ścinanie wykonano w wielkomiarowym aparacie skrzyńkowym /rys. 8.8/.

8.4.1. Opis aparatu i metody badań

Aparat ten /rys. 8.8/ składał się początkowo z 3-ch skrzyń o wymiarach 120 x 80 x 40 cm ustawionych jedna na drugiej oraz ramy pozwalającej wywierać na grunt obciążenie pionowe i poziome ścinające przy pomocy lewarków. Nacisk pionowy można było dawać do około $2,0 \text{ kg/cm}^2$. Zgodnie z projektem przewidywano wykonywanie badań przy przesuwie skrzyni środkowej /ścinań w dwóch płaszczyznach/. Próbne badania wykazały, że ścięcie gruntu w dwóch płaszczyznach wymaga znacznej siły poziomej, co ograniczało wielkość siły pionowej. Wobec powyższego zmieniono układ skrzyń w ten sposób, że ścinanie gruntu odbywało się wzdłuż jednej płaszczyzny.

W czasie badania notowano opór ścinania oraz nacisk pionowy w zależności od przesunięcia skrzyń co 1cm, ustalając opór maksymalny /rys. 8.9/. Szybkość przesuwu skrzyń wynosiła 2-3 cm/min.

Próbki gruntu ścinano przy początkowym obciążeniu poziomym 0,54; 1,08 i 2,16 kg/cm^2 /wskazania manometru 50, 100 i 200 atm/. Ścinanie rozpoczynano po ustabilizowaniu się założonego nacisku pionowego.

Nacisk pionowy σ_n i opór na ścinanie t obliczano wg wzorów:

$$\sigma_n = \frac{Q \cdot At}{a/b - \Delta l} \quad /8.7/$$

$$t = \frac{T_{\max} - \Delta T/at}{a/b - \Delta l} \quad /8.8/$$

gdzie:

- Q - nacisk pionowy w czasie ścinania /at/,
- T_{max} - maksymalny opór poziomy w czasie ścinania /at/,
- ΔT - opór własny aparatu przy ścinaniu /at/,
- At - powierzchnia tłoka lewara /104 cm²/,
- a - długość skrzyni /120 cm/,
- b - szerokość skrzyni /80 cm/,
- Δl - przesunięcia skrzyni przy Q i T_{max} /cm/.

W oparciu o literaturę /71/ przyjęto, że maksymalna średnica ziarn gruntu nie powinna przekraczać 10 % krótszego wymiaru badanej próbki. Wobec czego w aparacie badano grunt o uziarnieniu $d < 80$ mm.

8.4.2. Badania gruntu gruboziarnistego zapory w Tresnej

Pierwsze badania wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboklastycznych w Polsce wykonano w 1963 r na budowie zapory w Tresnej.

W 1964 r wykonano serię badań mającą na celu ustalenie zależności wytrzymałości na ścinanie od uziarnienia. W tym celu próbę gruntu z Tresnej podzielono na 2 frakcje: I /0÷20 mm/ i II /20÷80 mm/ i zmieszano je w różnych proporcjach, a mianowicie:

- próbka 1 - 100 % frakcji I
- " 2 - 67 % fr. I + 33 % fr. II
- " 3 - 50 % fr. I + 50 % fr. II

próbka 4	-	37 % fr. I + 67 % fr. II
" 5	-	20 % fr. I + 80 % fr. II
" 6	-	100 % frakcji II

Wykres uziarnienia mieszanek podan \dot{y} na rys. 8.10.

Grunt zagęszczano 20 cm warstwami za pomocą zagęszczarki wibracyjnej typu WSE-1A. Czas zagęszczania każdej warstwy wynosił 3 min.

Badania przeprowadzono przy trzech stopniach obciążenia pionowego $\bar{\sigma}_n = 0,48 / 0,69 / ; 1,10 / 1,41 /$ i $1,90 / 2,30 /$ kG/cm². Przy każdym stopniu obciążenia ścinano 2-3 próbki określając ich γ_0 i w. Wyniki badań przedstawiono na rys. 8.11-8.13.

Z przedstawionych wykresów widać, że kąt tarcia wewnętrznego oraz opór ścinania t_0 zależą od uziarnienia; ze wzrostem średniej grubości ziarn kąt tarcia wewnętrznego i opór t_0 rosną. Wzrost procentowej zawartości w próbce ziarn grubych /nadziarna/ do 50 % powoduje intensywny wzrost kąta tarcia wewnętrznego; dalszy wzrost zawartości nadziarna do 80 % ma nieznaczny wpływ na kąt tarcia wewnętrznego; przy 100 % zawartości ziarn grubych w próbce obserwuje się spadek kąta tarcia wewnętrznego o około 6°.

Z powyższego widać, że wytrzymałość gruboziarnistych gruntów zależy nie tylko od grubych ziarn ale i od zawartości drobnoziarnistego wypełniacza.

Uzyskany dość znaczny opór ścinania t_0 przy $\bar{\sigma}_n = 0$ jest prawdopodobnie wynikiem zaklinowania się ziarn między sobą i przy ściankach skrzyni. Potwierdzają to obserwowane w czasie badań ścięte i skruszone większe ziarna oraz wzrost nacisków pionowych w trakcie ścinania w warunkach uniemożliwionego podnoszenia się górnej płyty obciążającej.

Uzyskaną zależność kąta tarcia wewnętrznego φ i oporu t_o od uziarnienia $/d_{50}$ i $d_{\text{sr}}/$ można przedstawić wzorami:

$$\varphi = 24^\circ + 20^\circ \lg d_{50} \quad / \text{stopni} / \quad / 8.9 /$$

$$t_o = 0,25 + 0,35 \lg d_{50} \quad / \text{kG/cm}^2 / \quad / 8.10 /$$

lub
$$\varphi = 14^\circ + 24^\circ \lg d_{\text{sr}} \quad / \text{stopni} / \quad / 8.11 /$$

$$t_o = 0,07 + 0,45 \lg d_{\text{sr}} \quad / \text{kG/cm}^2 / \quad / 8.12 /$$

gdzie:

d_{50} - średnica gruntu, poniżej której w gruncie jest 50 % ziarn i cząstek mniejszych lub równych wyrażona w mm,

d_{sr} - średnia średnica ziarn gruntu obliczona według wzoru /4.1/ mm.

8.4.3. Badania gruntu gruboziarnistego z doliny Dunajca

8.4.3.1. Cel badań

W związku z projektowanymi zaporami ziemnymi w dolinie Dunajca należało dla gruntów w miejscach planowanej budowy zapór lub wałów ochronnych określić parametry wytrzymałościowe gruntów gruboziarnistych, gdyż brak było u nas danych odnośnie cech mechanicznych naszych gruntów gruboziarnistych oraz metodyki ich badań.

Badania wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboziarnistych przeprowadzono dla następujących złóż: Kojsówki, Frydmana, Sromowiec Wyżnych, Niedzicy i Jazowska.

Opis gruntów z w/w złóż podano w rozdziale 4.

8.4.3.2. Wstępne badania

Wstępne badania wytrzymałości na ścinanie przeprowadzono w 1965 i 1966 roku na gruntach ze złoża Sromowce Wyżne i Frydmana.

Badano grunt o uziarnieniu naturalnym po odrzuceniu otoczków $\varnothing > 80$ mm. Przeprowadzono badania próbek gruntu luzem nasypanego i zagęszczonego. Wyniki tych badań podano na rys. 8.14-8.16.

Ponieważ dla tych gruntów otrzymano duże wartości kątów tarcia wewnętrznego i opór t_0 /przy $\bar{\sigma}_n = 0$ / nawet w stanie luźnym, co nie powinno mieć miejsca, zaczęto prowadzić badania na próbkach gruntu różnie przygotowywanych. Badania te miały wyjaśnić sprawę oporu t_0 tych gruntów. Przypuszczano, podobnie jak w pkt.8.4.2, że opór t_0 jest wynikiem między innymi wzajemnego zaklinowania się ziarn w powierzchni ścinania i o ścianki skrzyń.

Dla wyjaśnienia tego zjawiska przeprowadzono badania ścinań prób gruntu gruboklastycznego ze złoża Sromowce Wyżne i Frydmana jak poprzednio "bez przygotowanej powierzchni poślizgu" i "z przygotowaną powierzchnią poślizgu". Badania takie przeprowadzono na gruncie luźno nasypanym i gruncie zagęszczanym.

a. Ścinanie prób gruntu w stanie luźnym

Grunt do ścinania "bez przygotowanej powierzchni poślizgu" sypano luzem bezpośrednio do zestawionych dwóch skrzyń. Próby gruntu z "przygotowaną powierzchnią poślizgu" uzyskano sypiąc początkowo grunt tylko do dolnej skrzyni, a następnie po wyrównaniu powierzchni gruntu równo z górną krawędzią skrzyni sypano grunt luzem do skrzyni górnej. Po badaniu określano ciężar objętościowy i wilgotność gruntu

z powierzchni ścinania.

b. Ścinanie prób gruntu zagęszczanego

Grunt do ścinania "bez przygotowanej powierzchni poślizgu" zagęszczano w 3-ch lub 5-ciu warstwach o równej wysokości tak, że warstwa środkowa zajmowała część skrzyni dolnej i górnej.

Grunt do badań "z przygotowaną powierzchnią poślizgu" przygotowywano następująco: w dolnej skrzyni zagęszczano 2-3 warstwy równo z górną krawędzią skrzyni, powierzchnię wyrównano, a następnie zagęszczano podobnie grunt w skrzyni górnej.

Grunt zagęszczano w skrzyniach aparatu do odpowiednich wartości γ_{os} , wyznaczając wartość γ_{os} i w z krzywej zagęszczalności wykonanej przy normalnej energii zagęszczania.

W czasie ścinania gruntu zagęszczonego, szczególnie bez przygotowanej powierzchni poślizgu, obserwowano wzrost nacisku pionowego oraz ścinanie, łamanie i kruszenie się otoczków. Wyniki badań podano na rys. 8.14-8.16 w postaci zależności oporu ścinania od naprężeń normalnych. Z przedstawionych rysunków widać, że opór ścinania gruntu luzem nasypanego nie zależy od sposobu przygotowania próbki.

Przy badaniach próbek gruntu zagęszczanego otrzymano nieznacznie mniejsze opory ścinania próby "z przygotowaną powierzchnią" w stosunku do gruntu "bez przygotowanej powierzchni".

Otrzymaną wartość początkowego oporu t_0 /przy $\sigma_n=0$ / należy tłumaczyć wzajemnym zaklinowaniem ziarn, szczególnie przy ściankach skrzyń.

Należy tu również uwzględnić, że ścinanie prowadzono

w skrzyniach stalowych, a więc w warunkach wymuszonej płaskiej powierzchni ścinania co nie pokrywa się z warunkami poślizgu w korpusie zapory, gdzie może występować swobodne tarcie suwne i obrotowe obejmujące dość grubą strefę poślizgu.

W celu wyjaśnienia różnic występujących w obu wyżej wymienionych przypadkach przeprowadzono dodatkowe badania w skali laboratoryjnej.

8.4.3.3. Badania laboratoryjne żwiru

W laboratorium przeprowadzono badania oporu ścinania żwiru ostrokrawędzistego i obtoczonego o uziarnieniu 1+4 mm w aparacie trójosiowym / $d = 38$ cm i $h = 10$ cm/ i aparacie skrzynkowym /6 x 6 x 2 cm/.

Badania w aparacie skrzynkowym przeprowadzono według następujących sposobów ścinania:

1. wzdłuż jednej płaszczyzny ścinania /klasycznie/,
2. wzdłuż jednej płaszczyzny ścinania wprowadzając pomiędzy gruntem a filtrami wkładki z mikro gumy, co miało zniwelować wpływ sztywności dociskających filtrów,
3. ścinanie wielopłaszczyznowe, wprowadzając pomiędzy obie skrzynki 5 ramek metalowych o wysokości po 2 mm i otworach 6 x 6 cm, co umożliwiło wykonanie ścinania strefowego,
4. ścinanie wielopłaszczyznowe jak wyżej z wkładkami z mikro gumy.

Zastosowane ramki miały modelować warunki poślizgu ziarn w grubszej strefie ścinania.

Wyniki tych badań podano na rys.8.17 i 8.18.

Jak wynika z badań najmniejszą wartość kąta tarcia wewnętrznego otrzymano w aparacie trójosiowym, nieznacznie większe w aparacie skrzynkowym przy zastosowaniu ramek w strefie

ścinania t.j. przy umożliwieniu poślizgu ziarnom w grubszej strefie.

Kąt tarcia wewnętrznego żwiru uzyskany z badań w aparacie skrzynkowym z ramkami w strefie ścinania jest około 10-20 % mniejszy od kąta tarcia wewnętrznego uzyskanego z badań w aparacie skrzynkowym bez ramek. Natomiast kąt tarcia wewnętrznego żwiru uzyskany z badań w aparacie trójosiowym jest około 10 % /grunt zagęszczany/ i około 20 % /grunt luźny/ mniejszy od kąta tarcia wewnętrznego uzyskanego z badań w aparacie skrzynkowym z ramkami oraz około 30 % mniejszy od kąta tarcia wewnętrznego uzyskanego z badań w aparacie skrzynkowym bez ramek.

Na podstawie przeprowadzonych badań żwiru o różnym uziarnieniu wynika, że wysokość strefy ramek powinna być większa od 2 średnic maksymalnych ziarn w gruncie /rys.8.19/.

Fakt uzyskania mniejszych wartości kąta tarcia wewnętrznego w aparacie skrzynkowym laboratoryjnym z ramkami wykorzystano do modernizacji wielkowymiarowego aparatu skrzynkowego, dając w strefie ścinania 4 ramki przesuwne na rolkach o wysokości po 30 mm do aparatu wielkowymiarowego /rys.8.20 i 8.21/; szczeliny między ramkami wynosiły 5 mm; łączna wysokość strefy ramek między skrzynkami wynosiła 145 mm. Jednocześnie przeprowadzono próby ścinania z ramkami przy zastosowaniu wkładek z mikrogliny pod płytami obciążającymi, co miało wyeliminować wpływ sztywności dociskających płyt stalowych.

8.4.3.4. Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie w wielkowymiarowym aparacie skrzynkowym przy zastosowaniu ramek i wkładek z mikrogliny

Przy wstępnym badaniu oporu ścinania gruntu ze złoża

Sromowce Wyżne w wielkowymiarowym aparacie skrzynkowym uzyskano najmniejsze wartości oporów ścinania przy zastosowaniu ramek i ramek z wkładkami z mikrogumy /rys.8.22/.

Jak widać z rys.8.22 wkładki z mikrogumy mają nieznaczny wpływ na uzyskiwany opór ścinania.

Badania ścinania przy zastosowaniu ramek wykonano na gruncie ze źróz: Sromowce Wyżne, Frydman, Jazowsko, Kojsówka i Niedzica. Wyniki tych badań podano na rys.8.23 - 8.29.

Z przedstawionych danych widać, że próby gruntu luzem nasypanego jak i zagęszczonego przy zastosowaniu ramek w strefie ścinania, umożliwiającą objęcie ścięciem szerszej strefy, wykazały mniejsze wartości kąta tarcia wewnętrznego w porównaniu ze ścinaniem wzdłuż jednej powierzchni. Grunty ścinane w stanie luźnym przy zastosowaniu ramek nie wykazały początkowego oporu t_0 ; grunty zagęszczane pomimo zastosowania ramek wykazały przy ścinaniu opór t_0 , który wynosi $0,2 \div 0,8 \text{ kg/cm}^2$.

Przy zastosowaniu ramek kąt tarcia wewnętrznego jest około $10-15^\circ / 20 \div 30 \%$ mniejszy od kąta tarcia wewnętrznego uzyskiwanego według badań bez ramek.

Podobne różnice uzyskano przy ścinaniu frakcji $\varnothing < 7 \text{ mm}$ w aparacie skrzynkowym laboratoryjnym /rys.8.30/.

Z przedstawionych danych /rys.8.28 - 8.30/ wynika, że kąt tarcia wewnętrznego gruntów gruboziarnistych z doliny Dunajca zagęszczanych do γ_{0s} przy odpowiedniej wilgotności z krzywej zagęszczalności zależy w większym stopniu od wilgotności niż od zagęszczenia oraz zależy od uziarnienia gruntu. Ze wzrostem wilgotności kąt tarcia wewnętrznego spada, pomimo wzrostu γ_{0s} . Grunty o drobniejszym uziarnieniu wykazują mniejsze kąty tarcia wewnętrznego.

Wytrzymałość na ścinanie gruntów zagęszczanych jest

większa od wytrzymałości na ścinanie gruntów luzem sypanych.

8.4.4. Badania gruntu gruboklastycznego zapory w Wiśle-Czarne

Celem badań było określenie wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboklastycznych używanych do budowy korpusu zapory ziemnej w Wiśle-Czarne w zależności od wilgotności i uziarnienia.

Badania wykonano na 2 próbkach gruntu pobranego z kamieńca Białej Wisłki /próba W.Cz.-I i W.Cz.-III/ oraz na 2 próbach pobranych z tarasu wysokiego Białej Wisłki /próba W.Cz.-II i W.Cz.-IV/.

Do badań użyto grunt o uziarnieniu naturalnym po odrzuceniu ziarn $\varnothing > 80$ mm i zastąpieniu ich ziarnami $\varnothing 60 \pm 80$ mm.

Badania wykonano w wielkowymiarowym aparacie skrzynkowym z zastosowaniem 4 ramek na rolkach.

Badano grunt luzem nasypyany o różnej wilgotności i zagęszczany do γ_{os} przy odpowiedniej wilgotności z krzywej zagęszczalności. Wyniki badań podano na rys. 8.31 - 8.36.

Z zestawionych danych widać, że przy wzroście wilgotności kąt tarcia wewnętrznego φ i początkowy opór t_0 /przy $\sigma_n = 0$ / maleją, nawet pomimo wzrostu zagęszczenia γ_{os} /patrz zakres $w < w_{opt}$ /.

Wytrzymałość na ścinanie gruntu luzem nasypanego jest mniejsza niż zagęszczanego. Grunt luzem nasypyany przy wzroście wilgotności wykazuje większy spadek kąta tarcia wewnętrznego niż grunt zagęszczany.

Wyniki badań wykazują dość duży rozrzut kąta tarcia wewnętrznego. Rozrzut ten należy tłumaczyć dużą zawartością w gruncie grubych ziarn i przypadkowością ich ułożenia. Większe

wartości kątów tarcia wewnętrznego gruntu z tarasu niż gruntu z kamieńca związane są prawdopodobnie z tym, że grunty z tarasu są bardziej ostrokrawędziste, a badania wykonywano przy niedużych naciskach pionowych / $\sigma_n < 2,5 \text{ kg/cm}^2$ /.

Grunt z Wisły-Czarne jest bardziej wrażliwy na zawilgocenie niż badany grunt z doliny Dunajca; spowodowane to jest większą zawartością frakcji pyłowej i iłowej w gruncie z Wisły-Czarne.

8.4.5. Badania gruntu gruboklastycznego zapory w Głębinowie

Celem badań było określenie wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboklastycznych z 3 złożeń /N-1, N-2 i N-5/ używanych do budowy korpusu zapory ziemnej w Głębinowie, w zależności od zagęszczenia i wilgotności według proctorowskiej krzywej zagęszczalności.

Do badań użyto grunt o naturalnym uziarnieniu. Wyniki badań podano na rys.8.37 i 8.38. Z przedstawionych danych widać, że wytrzymałość na ścinanie tych gruntów zależy od zagęszczenia i pochodzenia gruntu.

Grunt ze złoża N-2 wykazał mniejsze wartości kąta tarcia wewnętrznego niż grunt ze złoża N-1 i N-5, pomimo grubszego uziarnienia i większego zagęszczenia co należy tłumaczyć bardziej ostrokrawędzistym kształtem drobnych ziarn złoża N-1 i N-5; do dalszej analizy przyjęto wartości φ jak dla złoża N-2.

8.4.6. Badanie wpływu składu petrograficznego na wytrzymałość na ścinanie

Celem badań było wyjaśnienie wpływu składu litologicznego na kąt tarcia wewnętrznego.

Do badań użyto ziarn granitu i piaskowca o takim samym uziarnieniu /rys.8.40/ w stanie luźnym. Badania wykonano w wielkowirowym aparacie skrzynkowym z ramkami w strefie ścinania.

Wyniki badań podano na rys.8.41 w postaci zależności oporu ścinania od naprężeń normalnych. Z przedstawionych danych wynika, że kąt tarcia wewnętrzznego ziarn granitu jest nieznacznie większy /około 3° / od kąta tarcia wewnętrzznego ziarn piaskowca.

Z badań gruntu ze złoża N-1, N-2 i N-5 z Głębinowa w porównaniu z badaniami gruntów z innych złóż widać też wyraźny wpływ składu litologicznego na wytrzymałość na ścinanie. W tym przypadku wynika to nie tylko z litologii grubych ziarn ale i ze względu na zawarte w gruncie drobne ziarna o dużej wytrzymałości.

8.4.7. Badanie kąta stoku naturalnego

Celem badań było porównanie kąta tarcia wewnętrzznego z kątem stoku naturalnego.

Wiadomym jest, że w czasie badania ścinania grunt w stanie luźnym ulega dodatkowemu zagęszczeniu, a więc wyznaczone kąty tarcia wewnętrzznego nie odpowiadają kątom tarcia wewnętrzznego gruntu w stanie luźnym.

Najbardziej zbliżonym do kąta tarcia wewnętrzznego gruntu w stanie luźnym wydaje się być kąt stoku naturalnego.

Badania kąta stoku naturalnego gruntów gruboklastycznych przeprowadzono w skrzyni z otwieraną ścianą i na usypanym z gruntu stożku.

Badania w skrzyni wykonano w następujący sposób. Grunt w stanie powietrzno-suchym nasypano do skrzyni o wymiarach 100 x 60 x 60 cm lub 120 x 120 x 80 cm stojącej na podwyż-

-szeniu. Następnie jedną ze ścian szybko otwierano, opuszczając na dół, dzięki czemu grunt mógł swobodnie usypywać się. W skrzyni pozostał grunt o pewnym pochyleniu skarpy w stosunku do poziomu. Pochylenie skarpy mierzono przy ściankach skrzyni i w 2+3 miejscach w środku.

Druga metoda polegała na pomiarze kąta pochylenia skarpy usypanego stożka w stosunku do poziomu. Wyniki tych badań podano na rys. 8.42 i 8.43.

Z przedstawionych danych wynika, że badany kąt stoku zależy od metody badania.

Kąt stoku pomierzony na stożku jest mniejszy około 16° od kąta stoku pomierzonego w skrzyni. Kąt stoku pomierzony na stożku jest około 3° /Dunajec/ i około 12° /Wisła/ mniejszy od kąta tarcia wewnętrznego gruntu luzem nasypanego uzyskanego z badań w wielkowymiarowym aparacie skrzynkowym z ramkami.

Podobnie Breth /5/ i Schluttig /84/ przy badaniu gruntów gruboziarnistych w skrzyni z odchylaną ścianą otrzymywali znacznie większe kąty tarcia wewnętrznego niż w aparacie trójosiowym lub skrzynkowym.

W celu wyjaśnienia wpływu metody badań na kąt stoku naturalnego wykonano dodatkowe badania kąta stoku wysegregowanego żwiru /2+4 mm/ następującymi metodami modelowymi:

- 1/ przy pomocy naczynia w postaci ściętego stożka o kącie przy podstawie 80° , ustawionego na stoliku o średnicy równej dolnej podstawie naczynia; po nasypaniu żwiru naczynie podnoszono do góry; na stoliczku tworzył się stożek żwiru,
- 2/ przez usypanie przy pomocy łyżki stożka ze żwiru na płaszczyźnie,
- 3/ przez usypanie przy pomocy lejka stożka ze żwiru na okrągły stolik,

- 4/ przez usypanie przy pomocy lejka stożka ze żwiru na płaszczyźnie,
- 5/ przy pomocy skrzyni z otwieranymi bokami ustawionej na podwyższeniu; po nasypaniu żwiru do skrzyni opuszczano wszystkie boki na dół przez obrót wokół krawędzi dolnej; na dnie skrzyni formował się ostrosłup,
- 6/ przy pomocy skrzyni jak w p-cie 5 z otwieranym jednym bokiem; po otwarciu boku w skrzyni pozostał grunt o pewnym pochyleniu skarpy,
- 7/ przy pomocy naczynia w postaci stożka o kącie przy podstawie 37° , ustawionego na stoliku; badanie wykonano jak w p-cie 1.

Dla każdej z metod wykonano po 40 pomiarów kąta pochylenia skarp do poziomu. Wyniki otrzymanych badań podano w tabelicy 8.2.

Tablica 8.2

Zestawienie wyników badań kąta stoku żwiru /2÷4 mm/

Metoda badania	Ilość pomiarów	Sredni kąt stoku °	Odchylenie standardowe S
1	40	$31^{\circ}12'$	$2^{\circ}18'$
2	40	$32^{\circ}48'$	$2^{\circ}06'$
3	40	$33^{\circ}54'$	$2^{\circ}18'$
4	40	$35^{\circ}06'$	$2^{\circ}42'$
5	40	$37^{\circ}00'$	$2^{\circ}48'$
6	40	$38^{\circ}54'$	$1^{\circ}12'$
7	40	$35^{\circ}40'$	$1^{\circ}50'$
Aparat trójosiowy	3	$36^{\circ}20'$	$0^{\circ}35'$

Przeprowadzone badania ze żwirem potwierdzają rezultaty badań z gruntami gruboklastycznymi.

Największy kąt stoku otrzymano przy badaniu w skrzyni z otwieranym jednym bokiem /metoda 6/, najmniejszy przez uformowanie stożka za pomocą naczynia w postaci ściętego stożka /metoda 1/.

W skrzyni ze względu na ograniczone wymiary następują dodatkowe zazębenia ziarn przy ściankach, co nie pozwala na wytworzenie się swobodnej powierzchni poślizgu, natomiast przy badaniu według metody 1 występuje zachwianie równowagi ziarn przy podnoszeniu naczynia do góry.

W związku z powyższym wydaje się, że najbardziej odpowiednią metodą do badania kąta stoku naturalnego gruntów gruboklastycznych jest metoda usypywania stożka na podwyższeniu przy użyciu naczynia w postaci stożka o kącie przy podstawie równym w przybliżeniu kątowi stoku naturalnego.

3.4.8. Oszacowanie błędu pomiaru kąta tarcia wewnętrznego

1. Oszacowanie błędu pomiaru oporu ścinania t

$$t = \frac{T_{\max} - \Delta T}{a/b - \Delta l} \cdot A_t$$

przyjmuję: $T_{\max} - \Delta T = T' \cdot b - \Delta l = b'$

wtedy $t = \frac{T' \cdot A_t}{a \cdot b'}$

Po zlogarytmowaniu i zróżniczkowaniu przechodząc od przyrostów nieskończenie małych do przyrostów skończonych otrzymamy wzór na błąd względny oporu ścinania t :

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{\Delta T'}{T'} + \frac{\Delta A_t}{A_t} + \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b'}{b'}$$

$$\Delta T' = \Delta T_{\max} + \Delta / \Delta T / = 2 + 1 = 3 \text{ at}$$

$$\Delta b' = \Delta b + \Delta / \Delta l / = 0,1 + 1 = 1,1 \text{ cm}; b' = 80 - 10 = 70 \text{ cm}$$

Oszacowanie błędów

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
T_{\max}	70 at dla $\zeta_n = 0,54 \text{ at}$ 200 at dla $\zeta_n = 2,16 \text{ at}$	ΔT	2 at	Dokładność odczytu na manometrze
T	1÷5 at	$\Delta / \Delta T /$	1 at	Ustalono z kilku pomiarów
b	80 cm	Δb	0,1 cm	Dokładność pomiaru
a	120	Δa	0,1 cm	- " -
Δl	10 cm	$\Delta / \Delta l /$	1 cm	Dokładność pomiaru przesunięcia
Q	50-200 at	ΔQ	2 at	Dokładność odczytu
A_t	104 cm ²	ΔA_t	0,01 cm ²	Dokładność pomiaru

Dla $\zeta_n = 0,54 \text{ kg/cm}^2$ błąd względny wynosi:

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{3}{70} + \frac{0,01}{104} + \frac{0,1}{120} + \frac{1,1}{70} = 0,043 + 0,016 \approx 0,05 \approx 5\%$$

Dla $\zeta_n = 2,16 \text{ kg/cm}^2$ błąd względny wynosi:

$$\frac{\Delta t}{t} = \frac{3}{200} + \frac{0,01}{104} + \frac{0,1}{120} + \frac{1,1}{70} = 0,015 + 0,016 \approx 0,03 \approx 3\%$$

2. Oszacowanie błędu pomiaru naprężeń $\tilde{\sigma}_n$:

$$\tilde{\sigma}_n = \frac{Q \cdot A_t}{a/b - \Delta l} = \frac{Q \cdot A_t}{a \cdot b'}$$

Wzór na błąd względny $\tilde{\sigma}_n$ jest:

$$\left| \frac{\Delta \tilde{\sigma}_n}{\tilde{\sigma}_n} \right| = \left| \frac{\Delta Q}{Q} \right| + \left| \frac{\Delta A_t}{A_t} \right| + \left| \frac{\Delta a}{a} \right| + \left| \frac{\Delta b'}{b'} \right|$$

Dla $\tilde{\sigma}_n = 0,54 \text{ kg/cm}^2$ błąd względny wynosi:

$$\left| \frac{\Delta \tilde{\sigma}_n}{\tilde{\sigma}_n} \right| = \frac{2}{50} + \frac{0,01}{104} + \frac{0,1}{120} + \frac{1,1}{70} = 0,04 + 0,016 = 0,056 = 5,6 \%$$

Dla $\tilde{\sigma}_n = 2,16 \text{ kg/cm}^2$ błąd względny wynosi:

$$\left| \frac{\Delta \tilde{\sigma}_n}{\tilde{\sigma}_n} \right| = \frac{2}{200} + \frac{0,01}{104} + \frac{0,1}{120} + \frac{1,1}{70} = 0,01 + 0,016 = 0,026 = 2,6 \%$$

3. Oszacowanie błędu pomiaru kąta tarcia wewnętrznego φ :

$$\text{tg } \varphi = \frac{t_2 - t_1}{2 - 1} = \frac{t}{\sigma}; \quad t = t_2 - t_1; \quad \Delta t = \Delta t_2 + \Delta t_1 = 0,03 \cdot 2,16 + 0,05 \cdot 0,76 \approx 0,10 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tilde{\sigma} = \tilde{\sigma}_2 - \tilde{\sigma}_1; \quad \Delta \tilde{\sigma} = \Delta \tilde{\sigma}_2 + \Delta \tilde{\sigma}_1 = 0,026 \cdot 2,16 + 0,056 \cdot 0,54 = 0,086 \text{ kg/cm}^2$$

Błąd względny wynosi:

$$\left| \frac{\Delta \text{tg } \varphi}{\text{tg } \varphi} \right| = \left| \frac{\Delta t}{t} \right| + \left| \frac{\Delta \tilde{\sigma}}{\tilde{\sigma}_n} \right| = \frac{0,10}{1,5} + \frac{0,086}{1,5} = 0,067 + 0,057 = 0,12 = 12 \%$$

4. Określenie dokładności pomiarów kąta tarcia wewnętrznego metodą statystyczną

W celu statystycznego opracowania wyników,

wartości kątów tarcia wewnętrznego posegregowano w przedziałach wilgotności co 2 %, a następnie obliczono wartości średnio-arytmetyczne, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności i przedział ufności.

Wyniki obliczeń podano w tablicy 8.3.

Z przedstawionych obliczeń wynika, że badane grunty gruboziarniste charakteryzują się dużym rozrzutem kątów tarcia wewnętrznego.

W celu ustalenia bardziej miarodajnych wartości kątów tarcia wewnętrznego należy wykonywać większą ilość badań / najmniej 5/ przy tym samym zagęszczeniu próbek gruntu o możliwie jednorodnym uziarnieniu.

8.4.9. Porównanie wyników badań kąta tarcia wewnętrznego gruntów gruboziarnistych z wynikami obliczeń według wzorów teoretycznych

W celu porównania wyników badań kąta tarcia wewnętrznego z wynikami obliczeń według wzorów 8.1 i 8.6 podanych przez Nicziporowicza i Rasskazowa wykonano obliczenia kąta tarcia wewnętrznego badanych gruntów przy maksymalnym zagęszczeniu przyjmując do tych wzorów kąt tarcia między ziarnami $\varphi = 34^\circ$ współczynnik rozporu bocznego $\xi = 0,3$ oraz pozostałe współczynniki $m = 3$, $k = 0,51$, $d_1 = 10 \text{ cm}$ i $\lambda = 1$.

Porównanie wyników podano w tablicy 8.4.

Z przedstawionego zestawienia widać, że nie ma zgodności obliczeń z wynikami badań. Otrzymane różnice kątów tarcia wewnętrznego wynikają prawdopodobnie z niedokładnego przyjęcia parametrów do wzorów oraz z tego, że wzór 8.6 został wyprowadzony w oparciu o wyniki badań gruntów innych niż badane. Podany wzór nie uwzględnia też wpływu wilgotności na kąt tarcia wewnętrznego.

Zestawienie wyników badań kąta tarcia wewnętrzznego wg badań w wielkowymiarowym aparacie skrzynekowym z ramkami

Miejsce pobrania próby	Zagęszczenie	Przedział wilgotności %	Wilgotność %	φ stopni	φ_{sr} przedziału wilgotności	S W s	Przedział ufności dla $P = 90^\circ$
Grunt z doliny Dunajca	luzem nasypany	0-2,5	1,7	36,50	37,7°	2	3,4°
			1,7	36,50		5,3%	
			2,9	40,00		2,5°	
			2,2	22,00		9,3%	
Grunt z doliny Białej Wiśłki	luzem nasypany	4,5-6,5	6,3	24,00	37,3°	-	± 10,6°
			3,4	40°		6,3°	
			4,8	41°		16,9%	
			5,2	30°		4°	
Grunt z doliny Białej Wiśłki	luzem nasypany	6,5-8,5	5,8	41°	28,5°	4°	± 3,3°
			6,7	24°		14%	
			6,9	28°		-	
			7,7	34°		-	
Grunt z kamieńca Białej Wiśłki	zagęszczany	8,5-10,5	8,1	30°	19°	-	-
			8,1	31°		17,6°	
			8,5	24°		40,5%	
			9,9	19°		3°	
Grunt z kamieńca Białej Wiśłki	zagęszczany	2,5-4,5	3,4	56°	30°	3,6°	± 6°
			3,7	31°		12%	
			4,5	31°		-	
			2,8	26°		-	
Grunt z kamieńca Białej Wiśłki	zagęszczany	6,5-8,5	6,9	33°	29,6°	6,6°	± 11°
			8,4	31°		22,3%	
			8,7	34°		-	
			10,2	22°		-	
Grunt z kamieńca Białej Wiśłki	zagęszczany	8,5-10,5	10,2	33°	-	-	-
			10,3	33°	-	-	-

S - odchylenie standardowe

W s - współczynnik zmienności

Tablica 8.4.

Zestawienie wartości kątów tarcia wewnętrznego według
obliczeń i badań

Rodzaj gruntu	Kąt tarcia wewnętrznego	
	wg obliczeń	wg badań 1/
z kamieńca Dunajca /złoża Sromowce Wyżne/	39°	33°
z kamieńca Białej Wisłoki	41°	31°
z tarasu wysokiego Białej Wisłoki	40°	42°
z zapory w Głębinowie	35° + 37°	38°
z zapory w Tresnej	-	35°

1/ Wartości kątów tarcia wewnętrznego podano na podstawie badań w wielkowymiarowym aparacie skrzynkowym z ramkami przy $W_z \approx 1$ i $\omega = \omega_{opt}$ po uwzględnieniu współczynnika zmniejszającego 10 % w stosunku do badań w aparacie trójosiowym.

8.5. Wnioski

1. Kąt tarcia wewnętrznego zależy od uziarnienia; ze wzrostem średniej grubości uziarnienia tego samego gruntu kąt tarcia wewnętrznego rośnie /pkt 8.4.2/
2. Największy kąt tarcia wewnętrznego mieszanki gruntu, o zmiennym dodatku nadziarna, uzyskuje się przy zawartości w mieszance 50+80 % nadziarna /pkt 8.4.2/.

3. Kąt tarcia wewnętrznego gruntu gruboklastycznego zagęszczanego według γ_{os} i w z krzywej zagęszczalności maleje ze wzrostem wilgotności gruntu; zmniejszanie się kąta tarcia wewnętrznego ze wzrostem wilgotności jest tym większe im grunt zawiera więcej frakcji pyłowej i iłowej /pkt 8.4.3-8.4.5./
4. Opór ścinania gruntów gruboziarnistych zagęszczanych przy tej samej wilgotności rośnie ze wzrostem zagęszczenia /pkt 8.4.3-8.4.5/.
5. Kąt tarcia wewnętrznego gruntów gruboklastycznych zależy od składu litologicznego; grunty zawierające w swoim składzie bardziej wytrzymałe ziarna /np. kwarcu, granitu/ pomimo drobniejszego uziarnienia wykazują większą wytrzymałość na ścinanie /pkt 8.4.5 i 8.4.6/.
6. Grunty, które zawierają ziarna mniej obtoczone posiadają większą wytrzymałość przy tym samym składzie litologicznym /pkt 8.4.4/.
7. Duży wpływ na otrzymywane parametry wytrzymałości gruntu na ścinanie mają metody badań /pkt 8.4.3/.

Badania w aparacie skrzynekowym wzdłuż jednej powierzchni ścinania wykazują zawyżone wartości kątów tarcia wewnętrznego; dla gruntów sypkich uzyskuje się też początkowy opór t_0 przy $\sigma_n = 0$. Opór ten należy tłumaczyć wzajemnym zaklinowaniem się ziarn, szczególnie przy ściankach skrzyni.

Wprowadzenie ramek umożliwiających łatwiejszy obrót ziarn w grubszej strefie daje mniejsze wartości kąta tarcia wewnętrznego w porównaniu ze ścinaniem wzdłuż jednej powierzchni. Zmniejszenie kąta φ wynosi około $10-15^\circ$ t.j. około 20-30 % /średnio 25 %/. W gruncie luźnym nie uzyskuje

się początkowego oporu t_0 przy $\sigma_n = 0$.

Jak wynika z przeprowadzonych badań laboratoryjnych ścinanie w aparacie skrzynkowym pomimo zastosowania ramek daje większe wartości kąta tarcia wewnętrznego niż w aparacie trójosiowym /ok. 10÷20 %/.

Również fakt otrzymania znacznego oporu $t_0 = 0,2+1,0$ kG/cm² przy ścinaniu gruntu zagęszczonego w aparacie skrzynkowym wielkowymiarowym nawet z ramkami wskazuje na to, że aparat skrzynkowy nie zapewnia pełnego modelowania warunków ścinania w naturze.

W związku z powyższym zachodzi potrzeba prowadzenia badań w aparacie trójosiowym wielkowymiarowym. Taki aparat jest już wykonany przez Katedrę Geotechniki /rys. 8.44/. Aparat umożliwia badanie próbek o średnicy 30, 50 i 80 cm. Badania przewiduje się wykonywać przy naciskach $\sigma_3 \leq 10$ at i $\sigma_1 \leq 50$ at.

8. Kąt stoku naturalnego pomierzony na stożku jest mniejszy od około 3° /Dunajec/ do około 12° /Wisła/ od kąta tarcia wewnętrznego gruntu w stanie luźnym według badań w wielkowymiarowym aparacie skrzynkowym z ramkami /pkt 8.4.7/.
9. Kąty tarcia wewnętrznego zbadanych gruntów gruboziarnistych przy zagęszczeniu $W_z \approx 1,0$ i $w = w_{opt}$ na podstawie badań w wielkowymiarowym aparacie skrzynkowym z ramkami, po uwzględnieniu współczynnika zmniejszającego 10 % w stosunku do badań w aparacie trójosiowym, można orientacyjnie przyjąć:
 - a/ z kamieńców doliny Dunajca 27°÷33°,
 - b/ z kamieńca doliny Białej Wisłoki 31°
 - c/ z tarasu wysokiego Białej Wisłoki 42°
 - d/ z doliny Soły 35°
 - e/ z doliny Nysy Kłodzkiej 38°.

9. Badania ścisłości gruntów gruboziarnistych

9.1. Wstęp

Ścisłością nazywamy zdolność gruntu do zmniejszania objętości pod wpływem przyłożonego obciążenia. Za miarę ścisłości gruntu przyjęto moduł ścisłości E w kg/cm^2 .

Badaniami ścisłości gruntów gruboziarnistych zaczęto się zajmować w związku z budową wysokich zapór w rejonach górskich z miejscowych materiałów gruboziarnistych. Problem określenia deformacji tych zapór nabrał pierwszorzędного znaczenia.

9.2. Przegląd literatury

Po raz pierwszy badania ścisłości gruntów gruboziarnistych przeprowadził w 1936 r. Colloris /98/. Badał on grunty gruboziarniste używane do budowy zapory w górach Harzu.

Badaniami ścisłości gruboziarnistych gruntów między innymi zajmowali się: Zeller i Wulliman /99/, Fukuoka /11/, Marsal /45/, Nicziporowicz /53, 54/, Schultze /83/ i Żurek /79, 100/.

9.2.1. Aparaty do badań ścisłości gruntów gruboziarnistych

Badanie ścisłości gruntów w laboratorium przeprowadzamy w edometrach.

W laboratoryjnej praktyce przy badaniu ścisłości drobnoziarnistych gruntów przyjmuje się, że stosunek średnicy próbki do wysokości powinien być większy od 3-6.

Przy badaniu ściśliwości gruntów gruboziarnistych warunek ten został naruszony. Zrobiono to z myślą badania gruntów z dużymi ziarnami w stosunkowo niedużych aparatach.

Schultze, Zeller i Wuliman /79/ podają, że stosunek średnicy próbki do średnicy maksymalnego ziarna w próbce $\frac{D}{d_{\max}}$ powinien być ≥ 5 .

Nicziporowicz /54/ podaje, że stosunek wysokości próbki do średnicy maksymalnego ziarna $\frac{h}{d_{\max}}$ i stosunek średnicy próbki do jej wysokości $\frac{D}{h}$ powinien wynosić 2-4. Żurek /100/ natomiast podaje, że stosunek $\frac{D}{h}$ powinien wynosić 1 przy zachowaniu warunku $\frac{D}{d_{\max}} \geq 5$.

Do badań ściśliwości gruboziarnistych gruntów poszczególni badacze /100/ używali edometrów o różnych konstrukcjach:

- a/ edometry ze stałym dnem rys.9.1 /Schultze, Davin, Nicziporowicz, Żurek/
- b/ edometry z ruchomym dnem rys.9.2 /Davin/
- c/ edometry dwudzielne i z ruchomym dnem rys.9.3 /Davin/
- d/ edometry pierścieniowe rys.9.4 /Schultze/
- e/ edometr do określania ściśliwości przez wciskanie płyty rys.9.5 /Schultze/.

Wprowadzenie różnych typów edometrów miało na celu wyeliminowanie wpływu wielu czynników na wyniki ściśliwości.

Edometr z ruchomym dnem /rys.9.2/ pozwala znacznie zmniejszyć wpływ tarcia po ściankach na wyniki ściśliwości; natomiast edometr pierścieniowy /rys.9.4/ powinien całkowicie wyeliminować wpływ tarcia po ściankach.

Edometr dwudzielny /rys.9.3/ pozwala określać nie tylko parametry ściśliwości, ale i współczynnik rozporu bocznego.

W celu porównania badań w edometrze pierścieniowym /rys. 9.4/ z badaniami w naturze, Schultze skonstruował edometr do określania ściśliwości przez wciskanie płyty /rys.9.5/. Badania wykazały, że przy podanych rozmiarach aparatów uzyskane wyniki różnią się nieznacznie.

2.2. Czynniki wpływające na wyniki badań ściśliwości gruntów gruboziarnistych

Badania ściśliwości gruntów gruboziarnistych obarczone są różnymi błędami. Podstawowymi są błędy wynikające z wyboru stosunku między wielkością ziarn i rozmiarami aparatu, a także między wysokością próbki i jej średnicą.

Pierwszy stosunek jest istotny w związku z niejednakową ściśliwością dużych ziarn oraz cząstek tworzących grunt. Drugi stosunek odzwierciedla wpływ tarcia po ściankach cylindra i niedokładne przyleganie próbki gruntu do powierzchni pierścienia oraz dnaⁱ płyty górnej /efekt podpłytyowy/.

Badania na temat wpływu tarcia i efektu podpłytyowego przeprowadził Żurek /100/. Podaje on, że wpływ tarcia i efektu podpłytyowego dla $\frac{h}{D} = 0,25 \div 1,0$ jest nieznaczny; zmniejszenie deformacji wynosi $\sim 4\%$ /rys.9.6/.

Wielkość deformacji gruboziarnistych gruntów zależy od całego szeregu czynników, które można podzielić na wewnętrzne i zewnętrzne. W grupie czynników wewnętrznych odróżniamy fizyczne własności samego gruntu: skład granulometryczny i petrograficzny, porowatość, stopień zagęszczenia, kształt cząstek, wytrzymałościowe i deformacyjne własności samych ziarn i ich powierzchni /kontaktów/, wilgotność i t.p. Do grupy czynników zewnętrznych zalicza się: wielkość obciążenia, czas jego działania, charakter zmian obciążenia i czynniki wywołane wpływem

otaczającego środowiska, /wielkość i charakter zmian temperatury, dynamiczne działanie wody i t.p./.

Wpływ uziarnienia i składu petrograficznego oraz porowatości i zagęszczenia na ściskanie tłuczni badał Żurek /100/. Ustalił on, że wielkość osiadań wzrasta z grubością ziarn i porowatością początkową oraz zależy od składu petrograficznego /rys.9.7 i 9.8/.

Zależność ścisłości gruntów gruboziarnistych od składu granulometrycznego i petrograficznego przedstawia też Marsal /45/ rys.9.9 i 9.10 oraz Stein /79/ rys.9.11.

Z przedstawionych zależności widać, że grunt o grubszym uziarnieniu osiada bardziej niż o drobniejszym; wpływ na osiadanie posiada też rodzaj skały.

Wpływ kształtu, wilgotności i wytrzymałości ziarn na ścisłość badał Żurek /100/. Stwierdził on, że grunty z ziarnami obtoczonymi mniej się odkształcają niż grunty z ziarnami ostrokrawędzistymi oraz, że ze wzrostem wytrzymałości ziarn odkształcenie maleje, a ze wzrostem wilgotności rośnie.

Badania wpływu wielkości czasu oddziaływania i charakteru zmian obciążeń pionowych oraz działania wody na ścisłość gruntów przeprowadzał Żurek /100/, Marsal /45/, Schultze /79/ i inni.

Z przedstawionych wyników badań przeprowadzonych przez Marsala /45/ /rys.9.10/ i Żurka /100/ /rys.9.12/ wynika, że ścisłość gruboziarnistych gruntów zależy od wielkości obciążeń pionowych.

Ze wzrostem obciążeń z początku następuje zagęszczenie wskutek przemieszczenia oddzielnych cząstek, następnie kruszą się ostre krawędzie, a po osiągnięciu w ziarnach naprężeń równych granicy wytrzymałości na rozczepianie /rozciąganie, rozłupywanie/ następuje masowe rozkruszanie się ziarn /rys.9.13/.

Odkształcenia gruntów gruboziarnistych narastają w czasie po przyłożeniu obciążenia /rys.9.11 i 9.14/.

Z przeprowadzonych przez Żurka /100/ badań tłucznia wynika, że w ciągu 5 min. realizuje się podstawowa część osiadań /rys.9.14/.

Ścisłość gruntów gruboziarnistych wg Żurka /100/ zależy też od szybkości narastania obciążenia /rys.9.15/. Większa szybkość narastania obciążenia przy tej samej jego wielkości powoduje mniejszą deformację i na odwrót.

Badania na temat cyklicznego obciążania gruntu przeprowadzał Schultze i Żurek /100/.

Schultze przeprowadził badania czystego tłucznia o grubości do 100 mm przy 15-krotnej zmianie obciążenia $0+4 \text{ kg/cm}^2$.

Żurek przeprowadził badania przy obciążeniu $10+50 \text{ kg/cm}^2$ i cyklach $n = 1+100$. Wyniki tych badań pokazuje rys.9.16, gdzie na osi pionowej odkładano dodatkowe odkształcenia, określane jako różnice pomiędzy całkowitym odkształceniem po n obciążeniach i odkształceniem po pierwszym obciążeniu, a na osi poziomej liczbę obciążeń w skali logarytmicznej. Przedstawione krzywe wskazują na charakterystyczny wzrost zmęczeniowego odkształcenia ze wzrostem obciążenia i ze wzrostem cykli obciążeń.

Działanie wody w gruncie gruboziarnistym wywołuje 2 zjawiska; natychmiastowe odkształcenie dodatkowe i intensyfikację pełzania, spowodowane z jednej strony stopniowym przenikaniem wody w pory skały, a z drugiej strony pełzaniem wskutek obniżenia się wytrzymałości /rys.9.17/.

Z przedstawionych zależności wynika, że wielkość osiadania gruntów gruboziarnistych jest proporcjonalna do początkowej porowatości i wielkości ziarn oraz odwrotnie proporcjonalna do wytrzymałości w miejscach kontaktów ziarn i wytrzymałości ziarn na rozłupywanie oraz wskaźnika różnoziarnistości. Działanie

czynników zewnętrznych wywołuje deformację sprężystoplastyczną, pęczanie i dodatkowe osiadanie po zamoczeniu.

9.2.3. Metody wyznaczania parametrów ścisłości

9.2.3.1. Moduły ścisłości pierwotnej, wtórnej i odprężenia

Mając wielkość osiadań gruntu w edometrze przy każdym stopniu obciążenia sporządza się wykres ścisłości lub odprężenia gruntu. Moduł ścisłości pierwotnej określa się z krzywej ścisłości pierwotnej; moduł odprężenia określa się z krzywej odprężenia, a moduł ścisłości wtórnej określa się z krzywej ścisłości wtórnej.

Edometryczny moduł ścisłości oblicza się ze wzoru:

$$E_{ei} = \frac{\Delta\sigma_i \cdot h_i}{\Delta h_i} \quad /9.1/$$

gdzie:

E_{ei} - moduł ścisłości /w warunkach niemożliwej bocznej rozszerzalności/, w kg/cm^2 ,

$\Delta\sigma_i$ - przyrost /zmniejszenie/ naprężenia;

$$\Delta\sigma_i = \sigma_{i+1} - \sigma_i, \text{ w } \text{kg/cm}^2,$$

Δh_i - osiadanie /odprężenie/ próbki na skutek zwiększenia naprężenia o $\Delta\sigma_i$,

h_i - wysokość próbki gruntu przed zwiększeniem /zmniejszeniem/ naprężenia o $\Delta\sigma_i$, w cm.

9.2.3.2. Moduł odkształcenia

Moduł odkształcenia wyznaczamy w warunkach bocznej rozszerzalności gruntu. Moduł odkształcenia jest mniejszy od modułu ścisłości edometrycznej.

Zależność pomiędzy modułem odkształcenia a modułem edometrycznym wyraża się wzorem:

$$E_v = \frac{1 + \nu}{1 - \nu} \cdot E_e = \sigma \cdot E_e \quad /9.2/$$

gdzie:

$$\sigma = \frac{1 + \nu}{1 - \nu} \cdot \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu}$$

ν - współczynnik bocznej rozszerzalności /wg Rasskazowa /54/ dla gruntów żwirowo-otoczkowych wynosi $\sim 0,25/$.

9.2.3.3. Wyznaczanie modułów podatności i ścisłości na podstawie próbnych obciążeń

Próbne obciążenia wykonuje się za pomocą stalowej płyty okrągłej o $D = 30 + 65$ cm.

Moduł podatności podłoża na podstawie próbnych obciążeń wyznacza się według wzoru:

$$E_p = \frac{q \cdot D}{s}, \quad /9.3/$$

moduł odkształcenia według wzoru:

$$E_v = E_p / 1 - \nu^2 / , \quad /9.4/$$

a moduł ścisłości edometrycznej według wzoru:

$$E_e = \frac{E_p / 1 - \nu^2 /}{\sigma} \quad /9.5/$$

Gdzie:

- q - obciążenie, kg/cm^2
- D - średnica płyty, cm
- s - osiadanie płyty, cm

ν - współczynnik bocznej rozszerzalności

δ - współczynnik jak we wzorze 9.2.

Moduł odkształcenia zależy od zawartości grubych ziarn w gruncie, uziarnienia, wilgotności i zagęszczenia /od γ_{os} i W_z /.

Badaniami modułów podatności gruntów gruboziarnistych zajmował się między innymi Floss /9/ i Joksić /26/.

Według Flossa /9/ moduł odkształcenia określany na podstawie próbnych obciążeń zależy od zawartości grubych ziarn w gruncie i od wilgotności /rys.9.18/. Zależność modułów podatności od wskaźnika zagęszczenia W_z , wilgotności i uziarnienia podaje Joksić /26/ /rys.9.19 i 9.20/. Z podanych rysunków widać, że ze wzrostem wskaźnika zagęszczenia wzrasta moduł podatności; moduły gruntów o grubszym uziarnieniu nie zależą od wilgotności lecz moduły gruntów o drobniejszym uziarnieniu wyraźnie zależą od wilgotności.

9.3. Badania własne ścisłości gruntów gruboziarnistych w wielkowiarym edometrze

9.3.1. Cel badań

Celem badań było określenie ścisłości gruntów gruboziarnistych w zależności od zagęszczenia wg krzywej zagęszczalności Proctora, określenie wpływu składu granulometrycznego i litologicznego na ścisłość oraz porównanie wyników badań modułów ścisłości edometrycznej z badaniami modułów podatności uzyskanymi z próbnymi obciążeniami.

Konieczność prowadzenia tych badań wynikała z braku danych odnośnie modułów ścisłości naszych gruntów gruboziarnistych oraz braku metod badań tych gruntów.

9.3.2. Opis edometru

Wielkowymiarowy edometr /rys.9.21 i 9.22/ zaprojektowany, został przez autora i wykonany przez Katedrę Geotechniki Politechniki Warszawskiej w 1968 r.

Płyty obciążające wykonano w dwu odmianach: 1/ płyta pokrywająca całą powierzchnię próbki i 2/ płyta dwudzielna, składająca się z płyty środkowej o \emptyset 33 cm, przez którą przekazuje się obciążenie na grunt, oraz płyty pierścieniowej, zapobiegającej wyporowi gruntu na boki.

9.3.3. Opis badań

W wielkowymiarowym edometrze badano grunt z Wisły-Czarne z kamieńca Białej Wisłki /próba W.Cz.-III/ i z tarasu wysokiego /próba W.Cz.-IV/. Do badań użyto grunt o uziarnieniu $\emptyset < 80$ mm; ziarna $\emptyset > 80$ mm zastąpiono ziarnami \emptyset 60+80 mm.

Badania przeprowadzono dla gruntu luzem nasypanego i zagęszczanego.

Grunt zagęszczano w 3-ch warstwach, przyjmując γ_{os} i w według krzywej zagęszczalności uzyskanej z badań w wielkowymiarowym aparacie Proctora. Po zagęszczeniu i wyrównaniu powierzchni gruntu położono na nią cienką folię. Na folię dano zaczyn z szybkosprawnego cementu i przyłożono płytę obciążającą, dając równocześnie wstępne obciążenie $0,125 \text{ kg/cm}^2$.

Po stwardnieniu zaczynu ustawiono odpowiednio na płycie obciążającej czujniki, a następnie wykonywano właściwe badania ściśliwości.

Obciążanie gruntu przeprowadzano stopniami, zaczynając od obciążenia $0,25 \text{ kg/cm}^2$. Każdy stopień obciążenia utrzymywano tak długo, aż przyrost osiadania był mniejszy od $0,01$ mm na 10 minut.

Po zakończeniu obciążania /do założonego q / przeprowadzano stopniami odciążanie gruntu, a później wtórne obciążanie. Maksymalne obciążenia przy płycie \emptyset 33 cm wynosiły 4 kg/cm^2 , a przy pełnej płycie / \emptyset 100 cm/ $2,5 \text{ kg/cm}^2$.

Moduły ścisłości przy pełnej płycie obciążającej obliczano zgodnie ze wzorem 9.1, a przy płycie \emptyset 33 cm zgodnie ze wzorem 9.3.

9.3.4.. Wyniki badań gruntu z doliny Białej Wisłoki

Wyniki badań ścisłości w wielkowymiarowym edometrze gruntów z doliny Białej Wisłoki podano w tablicy 9.1 i 9.2 oraz na rys. 9.23 - 9.27. Zależność modułów ścisłości /rys. 9.25 i 9.26/ podano w oparciu o uśrednione wartości odkształceń /rys.9.23 i 9.24/.

Z przedstawionych zależności wynika, że ścisłość gruntu gruboziarnistego zależy od zagęszczenia, wilgotności i zakresów obciążenia.

W celu wyjaśnienia wpływu składu litologicznego i zawilgocenia gruntu na ścisłość, wykonano dodatkowe badania wysegregowanych frakcji.

9.3.5. Badania wpływu składu litologicznego na ścisłość gruntów gruboziarnistych

Badania wpływu składu litologicznego na ścisłość wykonano na próbkach wysegregowanych ziarn piaskowca i granitu ze złoże w Sromowcach Wyżnych o tym samym uziarnieniu /rys.8.39/, w stanie luźnym.

Badania wykonano na 2-ch próbkach składających się z ziarn piaskowca i 2-ch próbkach z ziarn granitu. Uśrednione wyniki badań podano na rys.9.28.

Tablica 9.1

Zestawienie wyników badań ścisłości w edometrze wielkowymiarowym /próba W.Cz.-III/

$\frac{\gamma_{os}}{w}$	Zakres obciążeń kG/cm ²	Moduły ścisłości pierwotnej /E'/ kG/cm ²	Moduły ścisłości wtórnej /E''/ kG/cm ²	Rodzaj płyty
<u>2,07</u>	0,25-1,0	311	1926	
<u>5,0</u>	1,0 -2,5	398	1481	
<u>2,13</u>	0,25-1,0	122	1160	Płyta pełna /Ø 100 cm/
<u>6,7</u>	1,0 -2,5	165	943	
<u>2,08</u>	0,25-1,0	80	950	
<u>7,8</u>	1,0 -2,5	100	822	
<u>2,07</u>	0,25-1,0	178	16500	
<u>5,0</u>	1,0 -2,0	148	1784	
	2,0 -4,0	183	1517	
<u>2,13</u>	0,25-1,0	80	1138	Płyta mała /Ø 33 cm/
<u>6,7</u>	1,0 -2,0	63	687	
	2,0 -4,0	50	512	
<u>2,08</u>	0,25-1,0	46	1672	
<u>8,0</u>	1,0 -2,0	39	640	
	2,0 -4,0	49	430	

Zestawienie wyników badań modułów ścisłości edometrycznej /próba W.Cz.-IV/

Nazwa modułów	σ_{os} w	Obciążenie kg/cm ²	E kg/cm ²	E_{6r} kg/cm ²	$\frac{s}{w}$	Przedział ufności dla P=90%	Uwagi
Moduły ściśłości pierwotnej /E'/	2,07	0,25-1,0	458 953	705	$\frac{350}{6}$ kg/cm ² 50%	1560 kg/cm ²	Grunt zagęszczany
	5,0	1,0 -2,5	451 644	547	$\frac{136}{25}$ kg/cm ² 25%	610 kg/cm ²	
	2,13	0,25-1,0	219 408 400	342	$\frac{150}{44}$ kg/cm ² 44%	254 kg/cm ²	
	6,7	1,0 -2,5	229 322 333	294	$\frac{80}{27}$ kg/cm ² 27%	135 kg/cm ²	
	2,10	0,25-1,0	123	123	-	-	
	8,0	1,0 -2,5	110	110	-	-	
Moduły ściśłości wtórnej /E''/	2,07	0,25-1,0	1627 3425	2526	$\frac{1260}{50}$ kg/cm ² 50%	-	
	5,0	1,0 -2,5	1518 1777	1648	$\frac{183}{11}$ kg/cm ² 11%	820 kg/cm ²	
	2,13	0,25-1,0	1928 1323 1620	1624	$\frac{302}{4}$ kg/cm ² 4%	510 kg/cm ²	
	6,7	1,0 -2,5	1182 1276 1224	1227	$\frac{47}{4}$ kg/cm ² 4%	80 kg/cm ²	
	2,10	0,25-1,0	123	123	-	-	
	8,0	1,0 -2,5	110	110	-	-	

1	2	3	4	5	6	7	8
Moduły ściślności wtórnej /E ⁿ /	2,10 8,0	0,25-1,0 1,0 -2,5	681 572	681	- -	- -	Grunt zagęszczany
Moduły ściślności pierwotnej /E ⁿ /	1,74 2,6	0,25-1,0 1,0 -2,5	28 23 58 51	25 54			Grunt luzem nasypany
Moduły ściślności wtórnej /E ⁿ /	1,74 2,6	0,25-1,0 1,0 -2,5	1384 796	1384 796	- -	- -	

Z przedstawionych danych widać, że ścisłość gruntu gruboziarnistego zależy od składu litologicznego; odkształcenia prób piaskowcowych są około 15÷30 % większe od odkształceń prób granitowych.

9.3.6. Badanie wpływu zawilgocenia na odkształcenia gruntu gruboziarnistego

W celu wyjaśnienia wpływu zawilgocenia na odkształcalność gruntów gruboziarnistych wykonano badania ścisłości wysuszonego żwiru \varnothing 2÷4 mm w stanie luźnym w 3-ch edometrach normowych.

Badanie wykonano w ten sposób, że próbki obciążano stopniami do $4,0 \text{ kG/cm}^2$, następnie odciążono do $0,25 \text{ kG/cm}^2$ i później ponownie obciążono do $4,0 \text{ kG/cm}^2$. Po zakończeniu osiadań przy $4,0 \text{ kG/cm}^2$ próbki zalano wodą i obserwowano dodatkowe osiadanie pod tym obciążeniem. Uśredniony wykres zależności osiadań od obciążenia podano na rys.9.29.

Z przedstawionego rysunku widać, że po zalaniu wodą próbki dodatkowo osiadły średnio około 21 % w stosunku do osiadań całkowitych przed zalaniem wodą.

Zjawisko to należy tłumaczyć zmniejszeniem się wytrzymałości poszczególnych ziarn i ich krawędzi pod wpływem zawilgocenia oraz zlikwidowaniem ściskających sił kapilarnych, występujących na powierzchni suchych okruchów skalnych.

9.3.7. Oszacowanie błęd pomiarów modułów ścisłości

- a/ Oszacowanie błęd pomiaru modułu ścisłości edometrycznej /przy pełnej płycie/

Moduł ściśliwości wyrażamy wzorem 9.1.:

$$E_{ei} = \frac{\Delta \tilde{\sigma}_i \cdot h_i}{\Delta h_i} = \frac{4 \cdot \Delta Q_i \cdot A_t}{\pi d^2} \cdot \frac{h_i}{\Delta h_i},$$

gdzie:

- Q_i = ciśnienie na tłok podnośnika, at
 A_t = przekrój tłoka podnośnika, cm^2
 d = średnica płyty, cm.

Błąd względny modułu ściśliwości wyrażamy wzorem:

$$\begin{aligned} \left/ \frac{\Delta E_{ei}}{E_{ei}} \right/ &= \left/ \frac{\Delta \tilde{\sigma}_i}{\tilde{\sigma}_i} \right/ + \left/ \frac{\Delta h_i}{h_i} \right/ + \left/ \frac{\Delta / \Delta h_i}{h_i} \right/ = \\ &= \left/ \frac{\Delta / \Delta Q_i}{\Delta Q_i} \right/ + \left/ \frac{\Delta A_t}{A_t} \right/ + \left/ \frac{2 \Delta d}{d} \right/ + \left/ \frac{\Delta h_i}{h_i} \right/ + \left/ \frac{\Delta / \Delta h_i}{\Delta h_i} \right/ \end{aligned}$$

Oszacowanie błędów dla zakresu obciążeń 0,25-1,0 kg/cm^2

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
ΔQ_i	114 at	$\Delta / \Delta Q_i$	2 at	Podwójna dokładność odczytu
A_t	50 cm^2	ΔA_t	0,01 cm^2	Dokładność pomiaru
d	100 cm	Δd	0,1 cm	" "
h	100 cm	Δh	1 cm	" "
$\Delta h_i'$	1 mm	$\Delta / \Delta h_i'$	0,01 mm	" "
$\Delta h_i''$	0,35 mm	$\Delta / \Delta h_i''$	0,01 mm	" "

Błąd względny /maksymalny/ modułu ściśliwości pierwotnej wynosi:

$$\left/ \frac{\Delta E_i'}{E_i'} \right/ = \frac{2}{114} + \frac{0,01}{50} + \frac{2 \cdot 0,1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{0,01}{1} = 0,04 = 4 \%$$

Błąd względny /maksymalny/ modułu ściśliwości wtórnej wynosi:

$$\left/ \frac{\Delta E''_i}{E''_i} \right/ = \frac{2}{114} + \frac{0,01}{50} + \frac{2 \cdot 0,1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{0,01}{0,35} \approx 0,06 \approx 6 \%$$

b/ Oszacowanie błędu pomiaru modułu podatności w edometrze /płyta \varnothing 33 cm/

Moduł podatności wyrażamy wzorem:

$$E_{pi} = \frac{\Delta Q_i \cdot D}{\Delta s_i} = \frac{4 \Delta Q_i \cdot A_t \cdot D}{\pi \cdot D^2 \cdot \Delta s_i} = \frac{4 \Delta Q_i \cdot A_t}{\pi \cdot D \cdot \Delta s_i}$$

Błąd względny modułu podatności wyrażamy wzorem:

$$\left/ \frac{\Delta E_{pi}}{E_{pi}} \right/ = \left/ \frac{\Delta \Delta Q_i}{\Delta Q_i} \right/ + \left/ \frac{\Delta A_t}{A_t} \right/ + \left/ \frac{\Delta D}{D} \right/ + \left/ \frac{\Delta \Delta s_i}{\Delta s_i} \right/$$

Oszacowanie błędów dla zakresu obciążeń 0,25-1,0 kg/cm²

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
ΔQ_i	13 at	$\Delta / \Delta Q_i /$	2 at	Podwójna dokładność odczytu
A_t	50 cm ²	ΔA_t	0,01 cm ²	Dokładność pomiaru
D	33 cm	ΔD	0,1 cm	" "
$\Delta s'_i$	1 mm	$\Delta / \Delta s'_i /$	0,01 mm	" "
$\Delta s''_i$	0,15 mm	$\Delta / \Delta s''_i /$	0,01 mm	" "

Błąd względny modułu podatności pierwotnej /maksymalny/ wynosi:

$$\left/ \frac{\Delta E'_{pi}}{E'_{pi}} \right/ = \frac{2}{13} + \frac{0,01}{50} + \frac{0,1}{33} + \frac{0,01}{1} = 0,163 \approx 16 \%$$

Błąd względny modułu podatności wtórnej /maksymalny/
wynosi:

$$\frac{\Delta E_{pi}''}{E_{pi}''} = \frac{2}{13} + \frac{0,01}{50} + \frac{0,1}{33} + \frac{0,01}{0,15} \approx 0,22 \approx 22 \%$$

c/ Określenie dokładności pomiarów modułów ściśliwości
w edometrze wielkowymiarowym metodami statystycznymi

Obliczenia wykonano w oparciu o wyniki badań ściśliwości gruntu próby W.Cz.-IV, gdyż dla tej próby wykonanych było po 2-3 badań przy tych samych wartościach γ_{os} i w.

Zestawienie wyników badań i obliczone parametry statystyczne podano w tablicy 9.2.

Z przedstawionych danych widać, że grunt charakteryzuje się dużą zmiennością; wskazuje na to współczynnik zmienności, który jest znacznie większy od błędu względnego pomiaru.

W celu otrzymywania bardziej miarodajnych wyników badań modułów ściśliwości, należy wykonywać większą ilość badań przy tych samych parametrach fizycznych.

Zmniejszenia rozrzutów jednak można będzie uzyskać na drodze badania jednorodnych mieszanek gruntowych, sztucznie zestawianych z odsianych frakcji.

9.4. Próbne obciążenia gruntów gruboziarnistych

9.4.1. Cel badań

Celem badań, polegających na obciążaniu powierzchni nasypu z gruntu gruboziarnistego było:

- a/ oznaczenie modułów podatności zagęszczanych gruntów gruboziarnistych,
- b/ ewentualne wykorzystanie tej metody do kontroli zagęszczania gruntu polegającej na dwukrotnym obciążaniu gruntu i porównaniu modułów ścisłości wtórnej i pierwotnej, których stosunek przy dobrym zagęszczeniu gruntu powinien być większy od $2 + 2,2 / 89/$.

9.4.2. Metodyka badań

Do prowadzenia badań zaprojektowano w Katedrze Geotechniki Politechniki Warszawskiej specjalne urządzenie. Urządzenie to /rys.9.30/ jest stalowym pomostem, który po obciążeniu z obydwóch końców samochodami ciężarowymi stanowi oparcie dla podnośnika hydraulicznego o udźwigu 25 ton. Przekazywanie siły podnośnika na grunt odbywa się za pośrednictwem okrągłej płyty stalowej o średnicy 50 cm. Nacisk wywierany przez podnośnik odczytuje się z manometru; osiadanie płyty wskazują 3 czujniki umieszczone na oddzielnym rusztowaniu, niezależnym od konstrukcji obciążającej /rys. 9.31/. Obciążenia na grunt zadawano stopniami: 0,5; 2,0; 4,0 i 6,0 kg/cm^2 . Każdy stopień obciążenia i odprężenia wytrzymywano do czasu, gdy przyrost osiadania lub odprężenia był mniejszy od 0,01 mm/min.

W każdym badanym punkcie wykonano 2 cykle obciążeń i odciążeń.

Badania próbnych obciążeń wykonano na poligonie doświadczalnym budowy zapory w Tresnej i Wiśle-Czarne. Metodyka badań na poligonie w Wiśle-Czarne różniła się od metody w Tresnej tym, że w Wiśle pod płytą dawano około 1 cm warstwę zaczynu cementowego z szybkosprawnego cementu na folii, a w Tresnej pod płytę dawano 1 cm warstwę piasku.

9.4.3. Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych badań sporządzono wykresy zależności przyrostu osiadań od γ_{os} i zakresu obciążeń /rys. 9.32 - 9.34/.

Z wyrównanych wykresów zależności przyrostu osiadań od γ_{os} odczytano wartości przyrostów osiadań dla danych zakresów obciążeń i γ_{os} oraz obliczono moduły podatności zgodnie ze wzorem 9.3.

Wartości obliczonych modułów podatności w zależności od γ_{os} podano na rys. 9.35 - 9.38.

Wilgotność badanego gruntu z kamieńca Białej Wiszki wynosiła $3,3 \div 6,6 \%$ /średnio $4,6 \%$ /, z tarasu wysokiego Białej Wiszki $5,5 \div 8,2 \%$ /średnio $7,0 \%$ / i zapory w Tresnej średnio $5,3 \%$.

9.4.4. Oszacowanie błędu pomiaru modułów podatności według próbnych obciążeń.

Moduł podatności określamy wzorem:

$$E_{pi} = \frac{\Delta Q_i \cdot D}{\Delta s_i} = \frac{4 \Delta Q_i \cdot A_t}{\pi \cdot D \cdot \Delta s_i}$$

Błąd względny modułu podatności wyrażamy wzorem:

$$\left| \frac{\Delta E_{pi}}{E_{pi}} \right| = \left| \frac{\Delta / \Delta Q_i /}{\Delta Q_i} \right| + \left| \frac{\Delta A_t}{A_t} \right| + \left| \frac{\Delta D}{D} \right| + \left| \frac{\Delta / \Delta s_i /}{\Delta s_i} \right|$$

Oszacowanie błędów dla zakresu obciążeń 0-0,5 kG/cm²

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
ΔQ_i	20 at	$4/\Delta Q_i/$	1 at	Dokładność odczytu
A_t	50 cm ²	ΔA_t	0,01 cm ²	Dokładność pomiaru
D	50 cm	ΔD	0,1 cm	" "
$\Delta s_i'$	0,4	$\Delta/\Delta s_i'/$	0,01 mm	" "
$\Delta s_i''$	0,15	$\Delta/\Delta s_i''/$	0,01 mm	" "

Błąd względny /maksymalny/ dla modułów pierwotnych wynosi:

$$\frac{\Delta E'_p}{E'_p} = \frac{1}{20} + \frac{0,01}{50} + \frac{0,1}{50} + \frac{0,01}{0,4} \approx 0,077 \approx 8 \%$$

Błąd względny /maksymalny/ dla modułów wtórnych wynosi:

$$\frac{\Delta E''_p}{E''_p} = \frac{1}{20} + \frac{0,01}{50} + \frac{0,1}{50} + \frac{0,01}{0,15} \approx 0,118 \approx 12 \%$$

Rozrzuty uzyskanych wyników badań modułów podatności są znacznie większe od błędów pomiarów. Spowodowane to jest bardzo dużą niejednorodnością gruntu gruboziarnistego oraz przypadkowym znalezieniem się kamieni pod płytą, co bardzo zniekształca wyniki badań.

W celu uzyskania bardziej miarodajnych wyników należałoby wykonywać większą ilość próbnych obciążeń i większymi płytami.

9.5. Analiza wyników badań edometrycznych i próbnych obciążeń oraz wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań w edometrze jak i próbnych obciążeń zaobserwowano:

- 1/ duże rozrzuty wyników badań,
- 2/ duże różnice między modułami przy pierwszym i wtórnym obciążeniu,
- 3/ duże różnice modułów ścisłości gruntu w stanie luźnym w stosunku do gruntu w stanie zagęszczonym,
- 4/ różnice pomiędzy modułami ścisłości edometrycznej i podatności.

Duże różnice w uzyskiwanych modułach ścisłości spowodowane są w największym stopniu przypadkowym ułożeniem grubych ziarn w gruncie.

Natomiast duże różnice wartości modułów ścisłości pierwotnej i wtórnej dochodzące do około 1000 % są wynikiem niedokładności przylegania gruntu do płyt i pierścienia przy pierwszym obciążeniu, małej wytrzymałości ziarn /ziarna ulegają kruszeniu szczególnie przy większym zawilgoceniu/, wypierania gruntu jak również klinowym rozpieraniem gruntu przez grube ziarna.

Niedokładność przylegania płyty do gruntu może powodować duże dodatkowe osiadania, które zniekształcają wyniki pierwotnych modułów. Np. przy module podatności 300 kg/cm^2 w zakresie obciążeń $2+4 \text{ kg/cm}^2$ otrzymujemy przy płycie $\phi = 50 \text{ cm}$ osiadanie $s = 3 \text{ mm}$. Uniknięcie w gruncie gruboziarnistym niedokładności przylegania rzędu 3 mm jest trudne ze względu na wystające z nasypu grube ziarna.

W związku z powyższym próbne obciążenia nie mogą być miarodajną metodą kontroli zagęszczenia nasypów z gruntów

gruboziarnistych zawierających dużo grubych kamieni /pkt
9.4.1.b/.

W celu wyeliminowania błędów wynikających z niedokładnego przylegania płyt w edometrze lub przy próbnym obciążeniu do gruntu należy w przyszłości ustalić poprawki na drodze dwukrotnego obciążania gruntu większą płytą, a następnie zamienić ją mniejszą płytą: różnice modułów obliczone z E_w płyty dużej i E_p płyty małej dadzą współczynniki poprawkowe dla danego gruntu.

Moduły ścisłości pierwotnej gruntu w stanie luźnym / $\gamma_{os} = 1,74 \text{ g/cm}^3$ i $w = 2,6 \%$ / rzędu $25 \div 60 \text{ kg/cm}^2$ są znacznie mniejsze od modułów ścisłości pierwotnej gruntu zagęszczanego, które np. przy zagęszczeniu $\gamma_{os} = 2,07 \text{ kg/cm}^3$ i $w = 5\%$ wynoszą $450 \div 950 \text{ kg/cm}^2$. Tak małe wartości modułów ścisłości pierwotnej wskazują na konieczność zagęszczania gruntu w nasypie.

Wielkość modułów ścisłości gruntu w stanie luźnym można wyznaczać tylko w edometrze, gdyż na próbnym nasypie grunt w czasie układania ulega wstępnemu zagęszczeniu już przy rozplantowywaniu spycharką.

Porównanie wyników badań modułów edometrycznych i podatności przy wskaźniku zagęszczenia $W_z = 1$ podano w tablicy 9.3.

Z przedstawionego zestawienia widać, że największe różnice występują w modułach ścisłości pierwotnej, natomiast moduły ścisłości wtórnej określane w edometrze są zbliżone do modułów podatności z próbnymi obciążeniami przy obciążeniu wtórnym. Fakt ten wskazuje na poprawność uzyskiwania modułów wtórnych próbnymi obciążeniami i w edometrze. Różnice pomiędzy modułami ścisłości pierwotnej są wynikiem między innymi niedokładnością przylegania płyt i przypadkowym ułożeniem

grubych ziarn.

Tablica 9.3

Zestawienie wyników badań modułów ścisłości edometrycznej i podatności przy $W_z \approx 1$

Miejsce pobrania prób	Badania w edometrze			Próbnne obciążenia			
	Wilg.	E'_e/E''_e /kg/cm ² /		Wilg.	E'_p/E''_p /kg/cm ² /		
		zakres obciążeń /kg/cm ² /			Zakres obciążeń /kg/cm ² /		
	γ_{os}	0,25+1,0	1,0+2,5	γ_{os}	0,5+2,0	2+4,0	4+6
kamieniec Białej Wisiełki	<u>6,7</u> 2,13	<u>120</u> 1160	<u>170</u> 940	<u>4,6</u> 2,15	<u>300</u> 1200	<u>300</u> 1200	-
taras wysoki Białej Wisiełki	<u>6,7</u> 2,13	<u>340</u> 1620	<u>290</u> 1230	<u>7,0</u> 2,13	<u>100</u> 1200	<u>100</u> 500	-
zapora w Tresnej	-	-	-	- 2,10	<u>730</u> 1600	<u>850</u> 2150	<u>970</u> 2300

Moduły ścisłości pierwotnej obliczone według wzoru 9.5 na podstawie modułów podatności, określanych z badań płytą \varnothing 33 cm są mniejsze od modułów ścisłości pierwotnej określanych z badań przy użyciu pełnej płyty o około 50 %, a odpowiednio porównywane moduły ścisłości wtórnej różnią ok.20 % /rys.9.27/.

Różnice te wynikają z wypierania gruntu spod płyty oraz małej średnicy płyty w stosunku do wymiaru maksymalnych ziarn. Potwierdzają to wartości modułów podatności gruntu z Tresnej, gdzie w czasie badań nie obserwowano wypierania gruntu. Grunt z Tresnej poza tym w stosunku do gruntu z Wisły-Czarne charakteryzował się drobniejszym uziarnieniem, mniejszym zwietrzeniem i lepszym obtoczeniem ziarn.

Dla zapewnienia uzyskiwania bardziej miarodajnych wyników powinien być spełniony warunek, że stosunek maksymalnych ziarn w gruncie do średnicy aparatu będzie wynosił co najwyżej 1:10 oraz będzie się wykonywać większą ilość badań.

Na podstawie wykonanych badań oraz przeprowadzonej analizy można wyciągnąć następujące wnioski.

- 1/ Ścisłość gruntu gruboziarnistego zależy od pochodzenia gruntu, składu litologicznego i granulometrycznego, obtoczenia ziarn i od stopnia ich zwietrzenia.
- 2/ Duży wpływ na ścisłość posiada zagęszczenie i wilgotność gruntu. Grunt w stanie luźnym charakteryzuje się znacznie mniejszymi modułami niż grunt zagęszczany. Wzrost odkształcenia przy wzroście wilgotności spowodowany jest głównie zmniejszeniem się wytrzymałości poszczególnych ziarn pod wpływem ich zawilgocenia.
- 3/ W celu uniknięcia wpływu przypadkowego układu grubych ziarn w edometrze na wyniki badań ścisłości zaleca się usuwanie ziarn większych od 1/10 wymiaru aparatu z zamianą ich frakcją 1/10 + 1/15 wymiaru aparatu.
- 4/ W celu wyeliminowania błędów wynikających z niedokładnego przylegania płyt do gruntu w edometrze lub przy próbnym obciążaniu należy wprowadzić odpowiednie poprawki.
- 5/ Biorąc pod uwagę duży wpływ braku dobrego przylegania płyt do gruntu na wyniki badań, do obliczeń zaleca się przyjmować większe uśrednione wartości modułów ścisłości pierwotnej uzyskanych z badań edometrycznych bądź próbnym obciążeniem. Na podstawie przeprowadzonych badań orientacyjnie można przyjąć przy zagęszczeniu $W_z \approx 1,0$ i $w \approx w_{opt}$ następujące wartości modułów ścisłości gruntów:

- z doliny Białej Wiśłki; moduł ścisłości pierwotnej około 300 kg/cm^2 i wtórnej około 1200 kg/cm^2 ,

- z doliny Soły; moduł ścisłości pierwotnej około $700+1000 \text{ kg/cm}^2$ i wtórnej około $1600+2300 \text{ kg/cm}^2$

- 6/ Próbne obciążenia nie mogą być miarodajną metodą kontroli zagęszczenia nasypów z gruntów gruboziarnistych zawierających dużo grubych kamieni, gdyż występują duże rozrzuty wyników badań, spowodowane przypadkowym ułożeniem grubych kamieni oraz intensywnym niszczeniem ziarn przy pierwotnych obciążeniu, co powoduje duże różnice pomiędzy modułami ścisłości pierwotnej i wtórnej.

10. Badania wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych

10.1. Wstęp

Zdolność gruntu do przepuszczania wody siecią kanałków, utworzonych z jego porów, nazywa się wodoprzepuszczalnością /filtracją wody/.

Przy projektowaniu i budowie zapór ziemnych jednym z ważniejszych problemów jest określenie położenia krzywej depresji w korpusie zapory, ilości filtrującej wody przez korpus i podłoże zapory oraz prędkości filtracyjnych w miejscach wyjścia wody do drenażu lub na skarpe odpowietrzną.

Badaniami wodoprzepuszczalności gruntów drobnoziarnistych zajmowało się wielu badaczy /Darcy, Krüger, Zunker, Kozena, Zamarin, Slichter, Hazen, Seelheim i inni/.

Określanie współczynnika wodoprzepuszczalności sypkich gruntów drobnoziarnistych może być przeprowadzone obliczeniowo na podstawie danych o uziarnieniu i porowatości /59, BN-64/8950-09/, laboratoryjnie /PN-55/B-04492/ lub wg badań terenowych /7, 46/.

Badania wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych prowadzone są natomiast od niedawna w związku z wykonywaniem zapór z gruboziarnistych gruntów.

10.2. Przegląd literatury dotyczącej badań wodoprzepuszczalności gruboziarnistych gruntów

Badaniami wodoprzepuszczalności gruboziarnistych gruntów zajmowali się: Pałagin /66/, Mientiukow /50/ Iwaszczenko /24", Schaeff /79/ i inni.

Z badań przeprowadzonych przez Mientiukowa /50/ wynika, że współczynnik wodoprzepuszczalności zależy od uziarnienia; ze wzrostem grubości uziarnienia zwiększa się współczynnik wodoprzepuszczalności /rys.10.1 i 10.2/.

Iwaszczenko /24/ na podstawie badań gruntów gruboziarnistych $\emptyset < 80$ mm w wielkowymiarowym aparacie /rys.10.3/ ustalił, że współczynnik wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych zależy od zagęszczenia, spadku hydraulicznego i czasu /rys.10.4 i 10.5/. Dla zabezpieczenia od przysciennej filtracji co 10 cm na wysokości próbki układano wałek plasteliny po obwodzie wewnętrznym cylindra aparatu /rys.10.3/.

Schaef /6/ podaje, że średnica aparatu do badania gruboziarnistych gruntów powinna być 5 razy większa od maksymalnego ziarna badanego gruntu. Do badania gruntów gruboziarnistych $\emptyset < 120$ mm skonstruował on aparat o średnicy 600 mm i wysokości ~ 2700 mm /rys.10.6/. Podany warunek przez Schaefa zachowuje też i Iwaszczenko /rys.10.3/.

Pałagin /60/ na podstawie przeprowadzonych badań filtracji w korytach o rozmiarach 6,0 x 0,19 x 0,45 i 12 x 0,6 x 0,8 m materiałów ziarnistych, których średnia grubość zmieniała się od 0,016 do 14,0 cm, a wskaźnik różnorodności od 1,22 do 19,1 ustalił wzory empiryczne do określania współczynnika wodoprzepuszczalności materiałów ziarnistych.

W przypadku ruchu laminarnego współczynnik wodoprzepuszczalności określa wzorem:

$$k_{10} = \frac{13,2 \cdot D_{50}^2 \cdot n}{0,332 \cdot W_r^{0,523}} = \frac{39,7 \cdot D_{50}^2 \cdot n}{W_r^{0,523}} \text{ m/dobę} \quad /10.1/$$

gdzie:

D_{50} - średnia średnica cząstek /cm/

n - porowatość

$W_r = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ - wskaźnik różnoziarnistości.

Określanie współczynnika wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych wbudowanych w korpus zapory w Związku Radzieckim przeprowadza się metodami np. Bołdyriewa lub Kamieńskiego /7/.

Metoda Bołdyriewa polega na pomiarze ubytku wody z wykopu w czasie, przy utrzymaniu stałego poziomu wody w wykopie. W celu przeprowadzenia pomiarów wg tej metody należy wykonać w nasypie wykop o głębokości około 20 cm i powierzchni 1 x 1 m. Wykop należy napełnić wodą tak, aby zwierciadło wody było 10 cm ponad dnem, a następnie utrzymywać stały poziom w ciągu kilku godzin dolewając ciągle wody /rys.10.7/. Współczynnik filtracji określamy po ustaleniu się filtracji wg wzoru:

$$k_t = \frac{Q}{A \cdot T \cdot i} \quad \text{cm/sek} \quad /10.2/$$

gdzie:

k_t - współczynnik filtracji przy temp. wody $t^{\circ}\text{C}$,

Q - wydatek wody cm^3 w czasie T sek,

A - pole przekroju wykopu, cm^2 ,

i - spadek hydrauliczny równy 1.

Metoda Kamieńskiego jest udoskonaloną metodą Bołdyriewa /rys.10.8/.

Z przedstawionych danych z literatury wynika, że wodoprzepuszczalność gruboziarnistych gruntów w głównej mierze zależy od składu granulometrycznego, zagęszczenia, spadku hydraulicznego i temperatury wody.

Istniejące metody obliczeniowe są opracowane tylko dla określonych gruntów. Należy zaznaczyć, że metody zalewania dołka są możliwe do stosowania dopiero po wykonaniu korpusu zapory. Brak jest też porównania metod obliczeniowych, laboratoryjnych i polowych stosowanych do określania współczynnika wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych.

Z powyższego widać, że w związku z projektowanymi zaporama ziemnymi w rejonach górskich w Polsce zachodzi potrzeba opracowania metod określania współczynnika filtracji gruntów gruboziarnistych. Metodą wyjściową powinna być metoda laboratoryjna, pozwalająca uzyskiwać dane w okresie projektowania, które można będzie porównywać z obliczeniami wg wzorów teoretycznych, a następnie sprawdzać badaniami polowymi w czasie wykonywania nasypu.

10.3. Badania własne wodoprzepuszczalności gruntów gruboklastycznych

10.3.1. Badania wodoprzepuszczalności gruntów gruboklastycznych w wielkowymiarowym aparacie

Celem badań było określenie współczynnika wodoprzepuszczalności gruntów gruboklastycznych w zależności od zagęszczenia i porównanie otrzymanych wyników badań laboratoryjnych z wynikami badań polowych oraz z obliczeniami wg wzorów teoretycznych.

Badania laboratoryjne przeprowadzano w wielkowymiarowym aparacie zaprojektowanym przez autora i wykonanym w Katedrze Geotechniki Politechniki Warszawskiej. Aparat /rys.10.9 i 10.10/ składa się z cylindra stalowego, w którym znajduje się próbka gruntu i zbiornika z wodą /odpowietrzacza/. Średnica cylindra wynosi 98 cm, a wysokość próbki około 50 cm. Woda ze zbiornika

przez odpowietrzacz doprowadzana jest od dołu do cylindra z próbką; filtracja odbywa się przy przepływie wody z dołu do góry.

Pomiar współczynnika wodoprzepuszczalności rozpoczynano po ustaleniu się przepływu wody przez próbkę.

Badania wykonywano przy spadku hydraulicznym $0,1 \div 0,68$.

Współczynnik wodoprzepuszczalności k_t obliczano według wzoru:

$$k_t = \frac{Q}{A \cdot i \cdot t} \quad /10.3/$$

a k_{10} według wzoru:

$$k_{10} = \frac{k_t}{0,7 + 0,03 t} \quad /10.4/$$

gdzie:

- Q - wydatek wody w czasie T,
- A - przekrój próbki,
- i - spadek hydrauliczny,
- t - temperatura °C.

W aparacie wielkowymiarowym badano grunt z Wisły-Czarne i Głębinowa.

Grunt z Wisły-Czarne badano po odrzuceniu z próbki ziarn $\emptyset > 80$ mm i zastąpieniu ich ziarnami $\emptyset 60 \div 80$ mm.

Grunt z Głębinowa badano o naturalnym uziarnieniu.

W aparacie badano grunt luzem sypany i zagęszczany.

W celu zabezpieczenia od filtracji przyściennej co 10 cm na wysokości próbki układano pierścień z gliny po obwodzie wewnętrznym cylindra aparatu /rys.10.9/. Początkowo w czasie badań wstępnych bez uszczelnienia obserwowano wzmożoną filtrację przy ścianie cylindra.

Wyniki badań podano na rys.10.11 i 10.12. Na rysunkach tych podano też zależności k_{10} od γ_{os} obliczone według wzoru Slichtera /46/;

$$k_{10} = 7,8 \cdot c \cdot d_{10}^2 \quad /cm/sek/ \quad /10.5/$$

gdzie:

c - współczynnik zależny od porowatości gruntu n
/ $c = n^{3,26}$ /,

d_{10} - średnica miarodajna, mm

i wzoru Krügera /37/;

$$k_{10} = 1350 \frac{n}{\theta^2} \quad /cm/sek/ \quad /10.6/$$

gdzie:

n - porowatość gruntu,

θ - powierzchnia cząstek gruntu $/cm^2/$ zawartych w 1 cm^3 .

Wielkość θ oblicza się ze wzoru:

$$\theta = 6/1-n / \sum_1^N \frac{g_i}{d_i} \quad /cm^2/ \quad /10.7/$$

gdzie:

n - porowatość gruntu,

N - liczba frakcji składowych w próbce gruntu, określona na podstawie wykresu uziarnienia gruntu,

g_i - część próby gruntu, stanowiąca składową frakcję rzędu i , wyrażona jako ułamek całości próbki,

d_i - przeciętna średnica frakcji rzędu i , równa średniej wartości granicznych średnic frakcji rzędu i $/cm/$.

Badania laboratoryjne gruntu z kamieńca Białej Wisłki wykazały zbliżone wartości k_{10} do obliczonych wzorem Slichtera /rys.10.11/. Badania wodoprzepuszczalności gruntu z tarasu wysokiego Białej Wisłki i Głębinowa zgodności tej nie potwierdzają

/rys.10.11 i 10.12/.

Obliczone według wzoru Krügera wartości k_{10} są znacznie większe od uzyskanych z badań i obliczonych wg wzoru Slichtera i Pałagina.

Współczynnik wodoprzepuszczalności na podstawie badań w aparacie wielkowymiarowym wynoszą:

1/ dla gruntu z kamieńca Białej Wisiełki

a/ $k_{10} = 3,3 \cdot 10^{-2} - 7,6 \cdot 10^{-2}$ cm/sek /średni $5,5 \cdot 10^{-2}$ cm/sek/przy $\gamma_{os} = 1,63 - 1,74$ G/cm³

b/ $k_{10} = 1,9 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-2}$ cm/sek /średni $7,2 \cdot 10^{-3}$ cm/sek/ przy $\gamma_{os} = 2,10 - 2,13$ G/cm³

2/ dla gruntu z tarasu wysokiego Białej Wisiełki

a/ $k_{10} = 2,7 \cdot 10^{-3}$ cm/sek przy $\gamma_{os} = 1,73$ G/cm³

b/ $k_{10} = 9,7 \cdot 10^{-6} - 3,8 \cdot 10^{-4}$ cm/sek /średni $1,9 \cdot 10^{-4}$ cm/sek/ przy $\gamma_{os} = 2,03 - 2,10$ G/cm³

3/ dla gruntu z Głębinowa

a/ $k_{10} = 4,2 \cdot 10^{-5} - 5,4 \cdot 10^{-3}$ cm/sek /średni $1,5 \cdot 10^{-3}$ cm/sek/ przy $\gamma_{os} = 1,93 - 2,00$ G/cm³

b/ $k_{10} = 9,2 \cdot 10^{-6} - 3,3 \cdot 10^{-5}$ cm/sek /średni $2,5 \cdot 10^{-5}$ cm/sek/ przy $\gamma_{os} = 2,08 - 2,14$ G/cm³.

10.3.2. Badania wodoprzepuszczalności metodą polową

Badania współczynnika wodoprzepuszczalności metodą polową Kamieńskiego /rys.10.8/ wykonano na nasypie zapory w Głębinowie i Wiśle-Czarne.

Po wykonaniu dołka o głębokości około 20 cm wstawiono do niego pierścień stalowy o średnicy 39,6 cm i wysokości 50 cm. Przestrzeń pomiędzy zewnętrzną ścianą pierścienia, a gruntem w nasypie uszczelniono gliną. Na dnie dołka ułożono warstwę

3-4 cm żwiru. Następnie nalano ostrożnie wodę do pierścienia na wysokość 10 cm. Przez cały czas badania utrzymywano stały poziom wody w pierścieniu, uzupełniając ciągle jej ubytek. Współczynnik wodoprzepuszczalności określono wg wzoru 10.2 i 10.4. Wyniki badań podano na rys. 10.12 - 10-14.

Współczynniki wodoprzepuszczalności na podstawie badań polowych wynoszą:

1/ dla gruntu z kamieńca Białej Wisiełki:

$$k_{10} = 8,9 \cdot 10^{-6} - 4,2 \cdot 10^{-1} \text{ cm/sek /średni } 6,1 \cdot 10^{-2} \text{ cm/sek/}$$

przy $\gamma_{os} = 2,17 - 2,4 \text{ G/cm}^3$

2/ dla gruntu z tarasu wysokiego Białej Wisiełki:

$$k_{10} = 1,3 \cdot 10^{-5} - 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ cm/sek /średni } 3 \cdot 10^{-3} \text{ cm/sek/}$$

przy $\gamma_{os} = 2,0 - 2,29 \text{ G/cm}^3$

3/ dla gruntu z Głębinowa:

a/ $k_{10} = 1,8 \cdot 10^{-3} - 1,4 \cdot 10^{-1} \text{ cm/sek /średni } 1,6 \cdot 10^{-2}$
cm/sek/ przy $\gamma_{os} = 1,83 - 2,01 \text{ G/cm}^3$

b/ $k_{10} = 5,2 \cdot 10^{-5} - 7 \cdot 10^{-3} \text{ cm/sek /średni } 1,8 \cdot 10^{-3}$
cm/sek/ przy $\gamma_{os} = 2,04 - 2,18 \text{ G/cm}^3$

4/ dla gruntu z Tresnej

$$k_{10} = 5,7 \cdot 10^{-4} - 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ cm/sek /średnio } 5,5 \cdot 10^{-3}$$

cm/sek/

Z przedstawionych danych widać, że współczynniki wodoprzepuszczalności gruntu z Głębinowa określone metodą polową są większe niż w aparacie wielkowymiarowym i zależą od zagęszczenia.

Współczynnik wodoprzepuszczalności ustala się po czasie około 40 min /rys.10.11/.

Dla gruntu z Wisły-Czarne nie uzyskano zależności k_{10} od γ_{os} ; przy tym samym zagęszczeniu mamy duże rozrzuty wyników k_{10} /rys.10.14/. Spowodowane to jest dużą niejednorodnością gruntu ułożonego w korpusie zapory ponieważ w czasie sypania gruntu z wywrotek następuje jego segregacja; grubsze ziarna układają się na dole przyzmy, a drobniejsze na górze. Po rozpro-wadzeniu spycharką grubsze ziarna są zasypywane i tworzą skupis-ka ziarn o dużej przepuszczalności.

Wykonany wykres zależności k_{10} od procentowej zawartości w gruncie frakcji $\varnothing > 80$ mm /rys.10.15/ wskazuje, że ze wzrostem grubych ziarn w gruncie rośnie współczynnik filtracji pomimo wzrostu γ_{os} .

Na podstawie badań gruntu z Głębinowa można przyjąć, że wyniki badań metodą polową odpowiadają warunkom przepływu wody w kierunku równoległym do warstw, a w aparacie wielkowymia-rowym w kierunku prostopadłym do warstw.

Dla wyjaśnienia wpływu kierunku przepływu wody w stosunku do układanych warstw przeprowadzono badania w specjalnie wykona-nym do tego celu aparacie /rys.10.16/.

Wykonane badania współczynnika wodoprzepuszczalności z Głębinowa o uziarnieniu $\varnothing < 2$ mm w zależności od kierunku przepływu i ilości warstw w w/w aparacie podano w tablicy 10.1.

Z tablicy 10.1 widać, że współczynnik filtracji zależy od kierunku przepływu wody w stosunku do układanych warstw. Przy przepływie w kierunku równoległym do warstw współczynnik k_{10} jest około 10 razy większy od kierunku prostopadłego do warstw.

Zestawienie współczynników wodoprzepuszczalności
od kierunku przepływu wody i ilości warstw

Lp.	γ_{os} G/cm ³	Ilość warstw	Kierunek przepływu	10 cm/sek	Uwaga
1	1,77	3	prostopadły do warstw	$4,8 \cdot 10^{-4}$	k_{10} - średnie z 20 pomiarów
		3	równoległy do warstw	$4,5 \cdot 10^{-3}$	
2	1,77	6	prostopadły do warstw	$4,3 \cdot 10^{-4}$	- " -
		6	równoległy do warstw	$3,2 \cdot 10^{-3}$	

10.3.3. Oszacowanie błędu pomiaru współczynnika wodoprzepuszczalności

a/ Oszacowanie błędu pomiaru współczynnika wodoprzepuszczalności w aparacie wielkowymiarowym

Współczynnik wodoprzepuszczalności określamy wzorem:

$$k_t = \frac{Q}{A i T} = \frac{4 Q \cdot l}{\pi d^2 \Delta h \cdot T}$$

Błąd względny określamy wzorem:

$$\frac{\Delta k_t}{k_t} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{\Delta l}{l} + \frac{2 \Delta d}{d} + \frac{\Delta \Delta h}{\Delta h} + \frac{\Delta T}{T}$$

Oszacowanie błędów

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
Q	10 l	ΔQ	0,1 l	Dokładność pomiaru
l	50 cm	Δl	1 cm	" "
d	98 cm	Δd	1 mm	" "
h	20 cm	$\Delta/\Delta h/$	1 cm	" "
T	10 min	ΔT	1 sek	" "

Błąd względny wynosi:

$$\frac{\Delta k_t}{k_t} = \frac{0,1}{10} + \frac{1}{50} + \frac{20,1}{98} + \frac{1}{20} + \frac{1}{600} \approx 0,08 \approx 8\%$$

b/ Oszacowanie błędu pomiaru współczynnika wodoprzepuszczalności metodą Kamińskiego

Współczynnik wodoprzepuszczalności określamy wzorem:

$$k_t = \frac{Q}{A \cdot T} = \frac{4 Q}{\pi d^2 \cdot T}$$

Błąd względny określamy wzorem:

$$\frac{\Delta k_t}{k_t} = \frac{\Delta Q}{Q} + \frac{2 \Delta d}{d} + \frac{\Delta T}{T}$$

Oszacowanie błędów:

Mierzona wielkość	Orientacyjne wartości mierzonych wielkości	Δ	Oszacowanie	Uzasadnienie
Q	1000 cm ³	ΔQ	10 cm ³	Dokładność pomiaru
d	40 cm	Δd	0,1 cm	" "
T	10 min	ΔT	1 sek	" "

Błąd względny wynosi:

$$\frac{\Delta k_t}{k_t} = \frac{10}{1000} + \frac{20,1}{40} + \frac{1}{600} \approx 0,015 \approx 1,5\%$$

c/ Określenie dokładności pomiarów współczynnika wodoprzepuszczalności metodą statystyczną

Przykładowo obliczone wartości odchylenia standardowego, współczynnika zmienności i przedziału ufności podano w tablicy 10.2. Do obliczeń przyjęto wartości k_{10} w przybliżeniu przy tych samych γ_{os} .

Tablica 10.2.

Zestawienie wyników badań k_{10}
w aparacie wielkowymiarowym

Próba	γ_{os} T/m ³	k_{10} cm/sek	k_{10sr} cm/sek	$\frac{S}{W_s}$	Przedział ufności dla P=90%	
W.Cz.-I	2,11	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-3}$ cm/sek	$1,5 \cdot 10^{-2}$ cm/sek	
	2,11	$1,1 \cdot 10^{-2}$				95%
W.Cz.-III	2,10	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$ cm/sek	$3,7 \cdot 10^{-4}$ cm/sek	
W.Cz.-V	2,09	$3,8 \cdot 10^{-4}$				170%
	2,10	$1,3 \cdot 10^{-5}$				
	2,10	$9,7 \cdot 10^{-6}$				

Z przedstawionych danych wynika, że grunt charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością.

0.4. Wnioski

1/ Współczynniki wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych zależą od pochodzenia, uziarnienia i zagęszczenia gruntu

- oraz od kierunku przepływu wody i zastosowanej metody badań.
- 2/ Duże rozrzuty wyników badań szczególnie w materiale o dużej zawartości grubych ziarn /Wisła-Czarne/, spowodowane są przypadkowym układem grubszych ziarn gruntu w zagęszczanej warstwie.
 - 3/ Dotychczas stosowane metody polowe dają nam wyniki punktowe. W celu wyeliminowania wpływu miejscowego skupionego ułożenia ziarn w nasypie na współczynniki wodoprzepuszczalności badaniem należałoby objąć grubszą strefę na dłuższym odcinku. Strefa ta powinna obejmować kilka zagęszczanych warstw. Prowadzenie jednak takich badań w czasie kontroli budowanego nasypu może być kłopotliwe ze względu na duże objętości wykopów, wody i.t.p., w związku z tym przy stosowaniu dotychczasowych metod polowych badań w celu określenia miarodajnych współczynników wodoprzepuszczalności należy na danej warstwie nasypu wykonać większą ilość badań.
 - 4/ W czasie wykonywania badań polowych należy równocześnie wykonywać badania w aparatach wielkowymiarowych, umożliwiającym modelowanie przepływu w kierunku prostym i równoległym do kierunku układanych i zagęszczanych warstw gruntu.
 - 5/ Na podstawie przeprowadzonych badań przy zagęszczeniu $W_z = 1,0$ można przyjąć orientacyjnie następujące współczynniki wodoprzepuszczalności k_{10} :
 - a/ dla gruntu z kamieńca Białej Wisiełki - 10^{-2} cm/sek
 - b/ dla gruntu z tarasu wysokiego Białej Wisiełki - 10^{-4} cm/sek
 - c/ dla gruntu z doliny Soły - $5 \cdot 10^{-3}$ cm/sek
 - d/ dla gruntu z doliny Nysy Kłodzkiej - $10^{-5} + 10^{-2}$ cm/sek.

11. Ogólne zasady określania miarodajnych fizyko-mechanicznych cech gruntów gruboziarnistych

11.1.* Wstęp

W istniejących opracowaniach nie ma konkretnych metod wyznaczania uogólnionych cech fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych.

Grunty gruboziarniste cechuje duża różnorodność, a wyniki badań zależą w dużym stopniu od przypadkowego ułożenia grubych ziarn. W związku z powyższym przy badaniu przypadkowo pobranych prób otrzymuje się duże rozrzuty wyników, co wiąże się z potrzebą wykonywania dużej ilości bardzo pracochłonnych badań w celu ustalenia miarodajnych parametrów.

Zachodzi więc potrzeba ustalenia takiej metody badań i interpretacji wyników, żeby z jednej strony ograniczyć ilość badań, a z drugiej strony dać możliwość interpretacji własności fizyko-mechanicznych gruntów o zróżnicowanym uziarnieniu.

W celu właściwego ustalenia cech fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych rozpatrywanego złoża jako cechę wiodącą można przyjąć uziarnienie gruntu zakładając, że skład litologiczny poszczególnych frakcji będzie jednorodny.

Biorąc powyższe pod uwagę dochodzimy do wniosku, że badania cech fizyko-mechanicznych należy przeprowadzać na sztucznie przygotowanych jednorodnych mieszankach zestawionych z odsianych frakcji danego gruntu w odpowiednich proporcjach. Zawartość poszczególnych frakcji gruntu jak i uogólnione inne cechy fizyko-mechaniczne należy ustalać w oparciu o metody statystyki matematycznej.

11.2. Ogólne zasady wykonywania badań złóż gruntów gruboziarnistych

Badania złóż gruntów gruboziarnistych prowadzi się w celu ustalenia zasobności złoża oraz wyznaczenia uogólnionych cech fizyko-mechanicznych gruntów dla bezpiecznego i ekonomicznego projektowania zapór ziemnych.

W celu ustalenia zasobności złoża oraz określenia uogólnionych cech fizyko-mechanicznych gruntów należy wykonać na złożu otwory badawcze stwierdzające miąższość złoża oraz umożliwiające pobranie prób gruntu do badań laboratoryjnych.

Grunty gruboziarniste ze złoża powinny być zbadane pod względem: uziarnienia, wilgotności, składu litologicznego, kształtu ziarn, stopnia obtoczenia, zagęszczalności, wytrzymałości na ścinanie, ściśliwości i wodoprzepuszczalności.

W celu przeprowadzenia badań gruntów gruboziarnistych należy pobrać odpowiednie próby z otworów wiertniczych lub odkrywek. Na podstawie obserwacji z terenu wierceń i analizy wyników badań ^{stwierdzić} można, że ziarna przy małych średnicach otworów ulegają w dużym stopniu rozdrabnianiu, a wiercenia udarowe całkowicie zniekształcają wyniki badań uziarnienia.

W związku z powyższym otwory wiertnicze powinny mieć średnice większe od 5 średnic maksymalnych ziarn, a w przypadku niemożliwości wykonania takiego wiercenia należy wykonać szybiki. W żadnym przypadku otwory badawcze nie powinny być wiercone metodą udarową.

Próby do badań uziarnienia pobiera się z każdego 2 m odcinka danej warstwy lub całej warstwy, gdy miąższość warstwy jest mniejsza od 2 m /próby odcinkowe/. Następnie wykonuje się badania uziarnienia, wilgotności, składu litologicznego, kształtu ziarn i stopnia obtoczenia na próbkach pobranych

metodą ćwiartkowania z prób odcinkowych. Metody w/w badań zostały omówione w rozdziale 4 pracy.

W celu ustalenia reprezentatywnych mieszanek gruntu należy wszystkie wyniki badań uziarnienia zgrupować w 6 następujących zbiorach statystycznych:

- zawartości frakcji iłowej / < 0,002 mm/,
- zawartości frakcji pyłowej / 0,002-0,05 mm/,
- zawartości frakcji piaskowej / 0,05-2 mm/,
- zawartości frakcji żwirowej / 2-25 mm/,
- zawartości frakcji kamienistej / 25-80 mm/,
- zawartości frakcji kamienistej / > 80 mm/.

Dla każdego zbioru należy określić średnią arytmetyczną zawartość danej frakcji wraz z przedziałami ufności przy prawdopodobieństwie 95 % oraz graniczne zawartości frakcji o prawdopodobieństwie występowania 90 %.

Na podstawie tych danych można sporządzić cztery wykresy uziarnienia gruntu /A, B, C i D/ dla całego złoża /rys.11.1/ a mianowicie:

- 1/ dwa uziarnienia miarodajne odpowiadające przedziałom ufności przy prawdopodobieństwie 95 % /krzywa A i B/,
- 2/ dwa uziarnienia graniczne przy prawdopodobieństwie 90 % /krzywa C i D/.

Odpowiednie mieszanki według uziarnień A, B, C i D można sporządzić z gruntu wydobytego z otworów badawczych po badaniu uziarnienia.

Grunt wydobywany z otworów po pobraniu próby do badań uziarnienia składamy w jednym miejscu. Do badań zagęszczalności, wytrzymałości na ścinanie, ściśliwości i wodoprzepuszczalności pobieramy z odłożonego gruntu odpowiednią próbę, metodą ćwiartkowania. Pobraną próbę gruntu rozdzielamy na frakcje

$\emptyset > 80$ mm, $\emptyset 60 \pm 20$ mm, $\emptyset 20 \pm 7$ mm i $\emptyset < 7$ mm. Następnie kamienie większe od $\emptyset > 80$ mm odrzucamy i zastępujemy je frakcją $\emptyset 80 \pm 60$ mm w celu zachowania warunku, że stosunek średnicy maksymalnego ziarna do średnicy aparatu powinien wynosić $\sim 1 : 10$. Mając 4 frakcje gruntu tworzymy mieszanki gruntu o uziarnieniu A', B', C' i D' /rys.11.1/ różniące się od uziarnienia A, B, C, D brakiem frakcji $\emptyset > 80$ mm.

Badania zagęszczalności, wytrzymałości na ścinanie, ściśliwości i wodoprzepuszczalności mieszanek gruntowych A', B', C' i D' wykonujemy w aparatach wielkowymiarowych. Badania zagęszczalności każdej mieszanki wykonujemy około 5 razy /za każdym razem na nowej próbie/. Po wykonaniu badań zagęszczalności określamy średnie krzywe zagęszczalności oraz średnie wartości $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} wraz z przedziałami ufności dla prawdopodobieństwa 95 % /zgodnie z punktem 11.4./.

Badania wytrzymałości na ścinanie, ściśliwości i wodoprzepuszczalności wykonujemy na próbkach zagęszczanych do γ_{os} przy odpowiedniej wilgotności ze średniej krzywej zagęszczalności. Punkty do badań obieramy następująco: 2 punkty poniżej w_{opt} , przy w_{opt} i 2 punkty powyżej w_{opt} /rys.11.2/. Dla każdego punktu należy wykonać około 5 badań /za każdym razem na nowej próbie/.

Metoda w/w badań została podana w rozdziałach 8-10 pracy.

Otrzymane wyniki badań należy opracować statystycznie podając wartości średnie, wraz z przedziałami ufności, i wartości miarodajne zgodnie z punktem 11.4.

Oprócz opracowania analitycznego, wyniki badań należy zestawić wykreslnie, przyjmując jako cechę wiodącą

wilgotność gruntu /rys.11.2/.

Z wykresów tych można określić dla celów projektowania odpowiednie parametry cech fizyko-mechanicznych gruntu dla każdego wskaźnika zagęszczenia i uziarnienia.

Pełny zakres w/w badań zaleca się wykonywać dla zapór o wysokościach większych od 50 m oraz zapór budowanych z gruntów nasuwających wątpliwości. Ilość badań parametrów φ , E i k_{10} w takim przypadku wyniesie ~ 100 .

W związku z tym, że pracochłonność badań jest duża, w przypadku mniejszych zapór oraz łatwych warunków gruntowych można ilość badań ograniczyć.

W tym przypadku dla poszczególnych krzywych uziarnienia A', B', C' i D' można ograniczyć się do 1-2 badań zagęszczalności każdej mieszanki. Tak samo można ograniczyć badania wytrzymałości na ścinanie, ściśliwości i wodoprzepuszczalności wykonując dla 4 punktów z krzywej zagęszczalności po 1-2 badania, a dla punktu 5-go odpowiadającego zagęszczeniu $W_z = 0,95$ z prawej strony gałęzi krzywych zagęszczalności większą ilość badań /ok.5/.

Otrzymane wyniki badań należy opracować statystycznie tak jak przy pełnym zakresie badań.

11.3. Kontrola jakości gruntu wbudowanego w korpus zapory

Badania kontrolne w trakcie wykonywania nasypów mają na celu sprawdzenie zgodności uziarnienia, wilgotności i wskaźnika zagęszczenia gruntu wbudowanego w nasyp z danymi przyjętymi w projekcie.

Mając dla krzywych uziarnienia A', B', C' i D' zależność cech fizyko-mechanicznych od zagęszczenia i wilgotności sporządzamy wykresy /rys.11.3/ zależności tych cech od średniej ważonej średnicy gruntu d_{gr} obliczonej zgodnie ze wzorem 4.1.

Z otrzymanych zależności można będzie dla uziarnień pośrednich i różnych wilgotności określać cechy fizyko-mechaniczne. Do korzystania z wykresów /rys.11.3/ określone uziarnienie gruntu należy sprowadzić do uziarnienia $\emptyset < 80$ mm z zastąpieniem ziarn $\emptyset > 80$ mm ziarnami $\emptyset 60+80$ mm oraz obliczając d_{gr} .

Badania kontrolne na nasypie powinny więc objąć uziarnienie $/d_{gr}/$ i zagęszczenie $/\gamma_0, w, \gamma_{os}/$; $\gamma_{os_{max}}$ określamy z wykresu /rys.11.3/ w oparciu o zbadane uziarnienie. Dodatkowo można oznaczać wodoprzepuszczalność korpusu zapory /metodami polowymi/ i moduły podatności /próbnymi obciążeniami/.

Próby do badań laboratoryjnych uziarnienia, γ_0 i w należy pobierać na każdej zmianie roboczej lecz nie rzadziej niż co 2500 m^3 wbudowanego gruntu. Wodoprzepuszczalność i moduły podatności należy określać nie rzadziej niż co 5000 m^3 wbudowanego gruntu. Wszystkie punkty badań kontrolnych powinny znajdować się w stałych przekrojach pomiarowych prostopadłych do osi zapory.

Punkty pobrania prób powinny być oznaczone współrzędnymi X /przekrój/, Y i Z.

Wyniki badań kontrolnych powinny być systematycznie analizowane z zastosowaniem statystyki matematycznej /punkt 11.4/. Umożliwia to ocenę jakości wykonania robót i powzięcia decyzji co do ewentualnych zmian technologii robót ziemnych.

W przypadku stwierdzenia niezgodności uziarnienia gruntu w nasypie z uziarnieniem przyjętym w projekcie należy wykonać dodatkowo w czasie formowania nasypu badania zagęszczalności i pozostałych cech fizyko-mechanicznych gruntu wbudowywanego w nasyp.

11.4. Statystyczne opracowanie wyników badań gruntów gruboziarnistych

11.4.1. Założenia wstępne

Otrzymane zbiory liczbowe dowolnego wskaźnika opisującego grunt w złożu czy też grunt wbudowany w nasyp, charakteryzują się pewnym rozkładem. Jeśli różnorodne wpływy zewnętrzne wywołujące zmienność wskaźników nie działają systematycznie w jakimś określonym kierunku, to zbiór liczbowy w przeważającej ilości przypadków powinien być opisany następującym równaniem /rozkład normalny/:

$$f /X/ = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(X - \bar{X})^2}{2 S^2}} \quad /11.1/$$

gdzie:

$f/X/$ - funkcja gęstości prawdopodobieństwa

X - zmienna losowa /badana cecha/

\bar{X} - wartość średnia wielkości X /parametr rozkładu/

S - odchylenie standardowe /parametr rozkładu/.

Celem statystycznego opracowania wyników jest dla każdego rozpatrywanego wskaźnika:

- określenie parametrów rozkładu \bar{X} i S ,
- zbadanie zgodności rozkładu empirycznego z teoretycznym /normalnym/,
- określenie przedziałów ufności tj. granic, w których znajduje się rzeczywista średnia wartość zmiennej losowej \bar{X}_0 /charakteryzująca grunt przy nieskończonej ilości pomiarów/ i rzeczywiste odchylenie standardowe S_0 , jeśli wyjściowymi wskaźnikami są wartości \bar{X} i S , charakteryzujące grunt przy skończonej ilości pomiarów,
- określenie ilości pomiarów mieszczących się w zadanym przedziale,
- określenie przedziału, w którym mieści się zadana ilość pomiarów.

4.2. Określenie parametrów rozkładu przy małej ilości pomiarów / $n < 30$ /.

Parametry rozkładu przy małej ilości pomiarów można określać ze wzorów:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad /11.2/$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad /11.3/$$

4.3. Sprawdzenie zgodności rozkładu empirycznego z teoretycznym

Sprawdzenie zgodności rozkładu empirycznego z teoretycznym najprościej można przeprowadzić nanosząc otrzymane wyniki na siatkę prawdopodobieństwa /współrzędne liniowo - gaussowskie/

/rys.11.4./. W tym celu należy najpierw otrzymane wyniki zgrupować w odpowiednie przedziały klasowe, określić częstość występowania $\frac{n_i}{n}$ /gdzie: n_i - ilość pomiarów w i-tej klasie, n - ogólna ilość pomiarów/ i sumując je kolejno od najmniejszej określonej wartości X_i do największej nanieść wyniki sumowania na siatkę /rys.11.4/. Jeśli naniesione w ten sposób punkty układają się wzdłuż prostej - rozkład empiryczny jest zgodny z teoretycznym /normalnym/.

Sprawdzenie można wykonać też testem λ - Kołmogorowa lub χ^2 - Pearsona /20, 74/. W przypadku niestwierdzenia zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem teoretycznym /normalnym/ należałoby zastosować transformację cechy, która pozwoliłaby na znormalizowanie jej rozkładu.

11.4.4. Określenie przedziałów ufności średniej wartości zmiennej losowej i odchylenia standardowego

Rzeczywiste średnie wartości zmiennej losowej i rzeczywiste odchylenie standardowe określane na podstawie \bar{X} i S obliczonych dla pewnego zbioru statystycznego o skończonej ilości pomiarów znajduje się w następujących granicach:

$$\bar{X} - \frac{t_\alpha \cdot S}{\sqrt{n}} < \bar{X}_0 < \bar{X} + \frac{t_\alpha \cdot S}{\sqrt{n}} \quad /11.4/$$

$$S - \frac{t_\alpha \cdot S}{\sqrt{2n}} < S_0 < S + \frac{t_\alpha \cdot S}{\sqrt{2n}} \quad /11.5/$$

gdzie:

\bar{X}_0, S_0 - parametry rozkładu przy nieskończonej ilości pomiarów,

t_{α} - wartość tabelaryczna, zależna od ilości pomiarów i zadanego prawdopodobieństwa.

Na podstawie wzoru 11.4 określamy miarodajne krzywe uziarnienia A i B /rys.11.1/. W podobny sposób można wyznaczać wartości miarodajne pozostałych cech fizyko-mechanicznych gruntów.

11.4.5. Określenie ilości pomiarów mieszczących się w zadanym przedziale

Jeśli zadamy określone wartości X_1 i X_2 jako wartości graniczne, to po zestandaryzowaniu ich według wzorów

$$U_1 = \frac{X_1 - \bar{X}}{S} \quad \text{i} \quad U_2 = \frac{X_2 - \bar{X}}{S} \quad /11.6/$$

możemy określić prawdopodobieństwo, że wyniki znajdują się w tym przedziale:

$$P /X_1, X_2/ = \Phi /U_1/ - \Phi /U_2/ \quad /11.7/$$

gdzie wartości funkcji $\Phi /U/$ określa się z odpowiednich tablic.

Prawdopodobieństwo, że zmienna losowa przyjmie wartości większe niż granica górna obliczamy ze wzoru:

$$P /X \geq X_2/ = 1 - \Phi /U_2/ \quad /11.8/$$

mniejsze niż górna granica:

$$P /X \leq X_2/ = \Phi /U_2/ \quad /11.9/$$

mniejsze niż granica dolna:

$$P /X \leq X_1/ = \Phi /U_1/ \quad /11.10/$$

większe niż dolna granica

$$P /X \geq X_1/ = 1 - \Phi /U_1/ \quad /11.11/$$

11.4.6. Określenie granicznych wartości

Gdy zadane jest prawdopodobieństwo $P /X/$ szukamy w tabelicach dystrybuanty wartości U_1 i U_2 .

Granice dolną wyznaczamy ze wzoru:

$$x_1 = \bar{X} + U_1 \cdot S \quad /11.12/$$

a górną ze wzoru:

$$x_2 = \bar{X} + U_2 \cdot S \quad /11.13/$$

Graniczne uziarnienia /krzywa C i D rys.11.1/ wyznaczamy w oparciu o wzór 11.12 i 11.13.

12. Wnioski

Analiza danych z literatury i wyników badań laboratoryjnych zagęszczalności, wytrzymałości na ścinanie, ściśliwości, wodoprzepuszczalności oraz badań polowych nasypów z gruntów gruboziarnistych umożliwia wyprowadzić następujące wnioski ogólne i szczegółowe.

12.1. Wnioski ogólne

1. Metodyka badań właściwości fizyko-mechanicznych gruntów gruboziarnistych jest zbliżona do metodyki badań gruntów drobnoziarnistych.
2. W badaniach gruntów gruboziarnistych zaleca się przyjęcie stosunek średnicy maksymalnego ziarna w próbce do średnicy aparatu ok. 1:10, a w żadnym wypadku nie powinien przekraczać 1:5.
3. Zaprojektowane i wykonane aparaty wielkowieńiarowe do badań zagęszczalności, oporów ścinania, ściśliwości i wodoprzepuszczalności wykazały ich przydatność do badań gruntów o uziarnieniu do 80 mm.
4. Stwierdzono, że cechy fizyko-mechaniczne gruntów gruboziarnistych zależą od pochodzenia, składu granulometrycznego i litologicznego.
5. Stwierdzono duży wpływ przypadkowego ułożenia grubych ziarn na wyniki badań, przejawiający się dużymi ich rozrzutami. Wynika stąd konieczność wykonywania badań w dostatecznej ilości na próbach gruntu możliwie jednorodnego; w tym celu zaleca się stosować specjalnie przygotowane typowe mieszanki z wysegregowanych frakcji

/rozd.11/. Wyniki badań należy opracowywać statystycznie.

6. W celu zapewnienia właściwego poboru prób gruntu gruboklas-
tycznego otwory wiertnicze powinny mieć średnice większe
od 5 średnic maksymalnych ziarn. Wiercenia należy wykonywać
metodą nieudarową, gdyż wiercenie udarowe całkowicie
zniekształca uziarnienie gruntu.

12.2. Wnioski szczegółowe

1. Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych wykazały,
że:
 - a/ zagęszczenie gruntu zależy nie tylko od energii zagęsz-
czania, uziarnienia i wilgotności lecz i od składu li-
tologicznego i pochodzenia gruntu /punkt 5.2.3/; wynika
stąd konieczność szczegółowego badania gruntów z każde-
go złoża /rozd.11/,
 - b/ największe zagęszczenie gruntu gruboziarnistego uzysku-
je się przy zawartości w gruncie około 50-70 % ziarn
 $\emptyset > 7 \text{ mm}$ /punkt 5.2.6/,
 - c/ zamiana grubych ziarn do 40 % ziarnami drobniejszymi
nie ma dużego wpływu na zagęszczalność gruntu /tabl.
5.3/, dlatego też można zalecić usuwanie pojedynczych
grubszych ziarn o średnicy większej od 1/10 wymiaru
aparatu z zamianą ich frakcją o średnicy ok.1/10÷1/15
wymiaru aparatu,
 - d/ wzory teoretyczne zalecane przez Flossa i innych auto-
rów do obliczania $\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} gruntów gruboziarnis-
tych na podstawie badań frakcji drobnoziarnistej
/ $\emptyset < 7 \text{ mm}$ / można stosować do 30 % zawartości frakcji
 $\emptyset < 7 \text{ mm}$ /punkt 5.2.4/,

e/ orientacyjnie można przyjąć następujące wartości

$\gamma_{os_{max}}$ i w_{opt} :

- $\gamma_{os_{max}} = 2,11 \div 2,25 \text{ T/cm}^3$ i $w_{opt} = 5,5 \div 8,4 \%$; dla gruntów z kamieńców doliny Dunajca,

- $\gamma_{os_{max}} = 2,13 \div 2,23 \text{ T/m}^3$ i $w_{opt} = 5,7 \div 7,3 \%$; dla gruntów z doliny Białej Wisłoki,

- $\gamma_{os_{max}} = 2,00 \div 2,13 \text{ T/m}^3$ i $w_{opt} = 7,3 \div 9,7 \%$; dla gruntów z doliny Nysy Kłodzkiej,

f/ zagęszczalność gruntów gruboziarnistych w nasypie przy użyciu maszyn jest łatwa; stabilizacja zagęszczenia warstw o grubości ok. 40-60 cm następuje po ok. 2 przejściach w przypadku użycia maszyn ciężkich i po ok. 4 przejściach przy użyciu maszyn lżejszych, wskaźnik zagęszczenia przy tych ilościach przejść jest $\gg 1,0$ /punkt 7.3.7/.

2. Badania wytrzymałości na ścinanie gruntów gruboziarnistych wykazały, że:

a/ badania wytrzymałości na ścinanie w aparacie skrzynkowym wzdłuż jednej powierzchni ścinania są niewłaściwe, gdyż uzyskuje się zawyżone wartości oporu ścinania; bardziej właściwe wyniki uzyskuje się przy wprowadzeniu do aparatu skrzynkowego ramek, co pozwala uzyskać ścinanie strefowe; najwłaściwsze są badania w aparacie trójosiowym, gdyż dają najmniejsze wartości φ /punkt 8.4.3/

b/ w razie stosowania aparatu skrzynkowego z ramkami do badań gruntu zagęszczanego otrzymuje się wartości

około 10 % większe od uzyskanych w aparacie trójosiowym: opór t_0 /przy $\sigma_n = 0$ / zaleca się pomijać,

- c/ do określania wytrzymałości na ścinanie gruntu w stanie luźnym $/S_z = 0$ / należy przyjmować kąt stoku naturalnego, gdyż przy ścinaniu gruntu w aparatach następuje dogęszczenie gruntu, a więc uzyskany kąt tarcia wewnętrznego nie odpowiada kątowi tarcia wewnętrznego gruntu w stanie luźnym /punkt 8.4.7/; kąt stoku naturalnego zaleca się określać metodą usypania próby gruntu w stalowej formie o kształcie stożka o średnicy podstawy $D_p \geq 10 d_{max}$ i nachyleniu tworzącej $40, 45$ i 50° oraz przez podnoszenie formy; uzyskane maksymalne statyczne nachylenie skarpy można przyjąć za równoważne kątowi tarcia wewnętrznego,
- d/ największy kąt tarcia wewnętrznego mieszanki gruntu, o zmiennym dodatku nadziarna, uzyskuje się przy zawartości w mieszance 50-80 % nadziarna /punkt 8.4.2/,
- e/ kąt tarcia wewnętrznego gruntu gruboklastycznego zagęszczanego wg γ_{os} i w z krzywej zagęszczalności uzyskanej przy użyciu energii normowej 6 kGcm/cm^3 maleje ze wzrostem wilgotności gruntu; zmniejszanie się kąta tarcia wewnętrznego ze wzrostem wilgotności jest tym większe im więcej zawiera grunt frakcji pyłowej i iłowej /punkt 8.4.3-8.4.5/,
- f/ orientacyjnie można przyjąć przy zagęszczeniu $W_z \approx 1,0$ i $w \approx w_{opt}$ następujące wartości kątów tarcia wewnętrznego:

- dla gruntów z kamieńców doliny Dunajca $27+33^\circ$,
- dla gruntów z kamieńca doliny Białej
Wisielki 31° ,

- dla gruntów z tarasu wysokiego Białej Wisełki 42°
- dla gruntów z doliny Nysy Kłodzkiej 38°.

3. Badania ścisłości gruntów gruboziarnistych wykazały, że:

- a/ ścisłość gruntu gruboziarnistego zależy w dużej mierze od pochodzenia gruntu, składu granulometrycznego i litologicznego, obtoczenia ziarn i od stopnia ich zwiętrzenia /punkt 9.3 i 9.4/,
- b/ duży wpływ na ścisłość gruntu posiada zagęszczenie gruntu; grunt w stanie luźnym charakteryzuje się znacznie mniejszymi modułami niż grunt zagęszczany /punkt 9.3.4 i 9.5/,
- c/ moduły ścisłości gruntu gruboziarnistego maleją ze wzrostem wilgotności gruntu /punkt 9.3.4/,
- d/ w celu uniknięcia wpływu przypadkowego układu grubych ziarn na wyniki badań ścisłości gruntów gruboziarnistych w edometrach zaleca się usuwanie ziarn większych od ok.1/10 od wymiaru aparatu z zamianą ich frakcją ok.1/10÷1/15 wymiaru aparatu,
- e/ w celu wyeliminowania błędów wynikających z niedokładnego przylegania płyt do gruntu w edometrze lub przy próbnym obciążeniu należy wprowadzać odpowiednie poprawki /punkt 9.5/,
- f/ orientacyjnie można przyjąć przy zagęszczeniu $W_z \approx 1,0$ i $w \approx w_{opt}$ następujące wartości modułów ścisłości gruntów:

- z doliny Białej Wisełki

- moduł ścisłości pierwotnej ok. 300 kg/cm²
- moduł ścisłości wtórnej ok. 1200 kg/cm²

- z doliny Soły

- moduł ścisłości pierwotnej ok. 700÷1000
kG/cm²

- moduł ścisłości wtórnej ok. 1600÷2300
kG/cm²

4. Badania wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych wykazały, że:

a/ współczynnik wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych zależy w dużym stopniu od kierunku przepływu wody w stosunku do kierunku ułożenia warstw i przyjętej metody badawczej /punkt 10.3.2/; współczynnik wodoprzepuszczalności gruntów gruboziarnistych należy określać na podstawie badań w aparacie wielkowsymiarowym, umożliwiającym modelowanie przepływu wody w kierunku równoległym i prostopadłym do kierunku układanych i zagęszczanych warstw gruntu,

b/ w czasie wykonywania nasypu badania kontrolne należy przeprowadzać metodami polowymi umożliwiającymi objęcie filtracją kilka zagęszczanych warstw na dłuższym odcinku /punkt 10.4/.

c/ orientacyjnie można przyjąć przy zagęszczeniu $W_z \approx 1,0$ następujące współczynniki wodoprzepuszczalności gruntów:

- z doliny Białej Wisełki $k_{10} \approx 10^{-4} \div 10^{-2}$ cm/sek,

- z doliny Soły $k_{10} \approx 5 \cdot 10^{-3}$ cm/sek,

- z doliny Nysy Kłodzkiej $k_{10} \approx 10^{-5} \div 10^{-2}$ cm/sek.

5. Badania kontrolne zagęszczenia gruntów w nasypach wykazały, że:

a/ zagęszczenie gruntu gruboziarnistego w nasypie naj-

-prościej można wyznaczać stosując do określania objętości dołka aparat przeponowy lub folię i wodę /punkt 6.4.1/,

- b/ przy określaniu zagęszczenia gruntu gruboziarnistego metodą wykopu z pomiarem geometrycznych elementów wykopu całówką, objętość wykopu powinna być większa od $1,7 \text{ m}^3$ /punkt 6.4.1/,
- c/ niwelacyjna metoda kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych może być stosowana do gruntów o uziarnieniu do około 120 mm w warunkach sypania wyrównanych warstw /punkt 6.4.1/,
- d/ próbne obciążenia nie mogą być miarodajną metodą kontroli zagęszczenia nasypów z gruntów gruboziarnistych zawierających dużo grubych kamieni, gdyż występują duże rozrzuty wyników badań spowodowane przypadkowym ułożeniem kamieni oraz intensywnym ich niszczeniem przy pierwotnym obciążeniu, co powoduje duże różnice pomiędzy modułami ścisłości pierwotnej i wtórnej /punkt 7.3.3.3 i 9.5/.

13. Wykaz literatury

1. Ambros M. i Petrak I. - Je Proctorowa standardni zkouška zhutňovani zemin skutečné standarni, Inženýrské Stavby 10, 1964.
2. Aliksiejew K.W. - Opriedielienije obiemnogo wiesa moriennogo grunta s nienarusziennoj strukturoj, Gidrotiechničeskoje Stroitelstwo, 1, 1950.
3. Baveaux M. - Précision d'une mesure de compacite' en place effectue'e au gros densitomètre a' membrane, Bull. de Liaison des Lab. Rout 5, 1964.
4. Bojanowski W., Gnutek J., Rossiński B. - Zastosowanie metod izotopowych do pomiaru gęstości i wilgotności pewnego gruntu gruboziarnistego, Gospodarka Wodna 2, 1964.
5. Breth H. - Einige Bemerkungen über die Stand- sicherheit von Dämmen und Böschungen, Die Bau- technik 1, 1956.
6. Breth H. - Die boden - und felsmechanischen Untersuchungen für das Pumpspeicherwerk Vianden, Die Wasserwirtschaft 7, 1963.
7. Dobrzański Z. - Polowe metody oznaczania współczyn- nika przepuszczalności skał wodonośnych i gruntów, Warszawa 1956.
8. Falkiewicz A., Kowalski W.C. - Przewodnik do ćwiczeń z geolo- gii inżynierskiej, Warszawa 1959.
9. Floss R. - Verdichtungs und Verformungseigen- schaften grobkörniger, bindiger Mischböden, Strasse und Autobahn 1, 1968.

10. Frołow B.K. - Projektowanie i stroitelstwo kamienno-nabrosnoj płotiny Karters, Gidrotechniczeskoje Stroitelstwo 10, 1968.
11. Fukuoka M. - Testing of gravely soils with largescale apparatus, Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, t.I. London 1957.
12. Gilg B. - Ein Beitrag zur neuzeitlichen Bodenuntersuchung, Schweizerische Bauzeitung 23, 1965.
13. Gilg B. - Erdbaumechanische Probleme bei der Projektierung und beim Bau des Staudammes Mattmark, Schweizerische Bauzeitung 11, 1965.
14. Gordon B., Miller R. - Control of earth and rockfill for Oroville dam. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division SM 3, 1966.
15. Gordon B., Wulff J.G. - Desing and methods of construction Oroville dam. Eighth International Congress on Large Dams, Edinburgh 4-8.V.1964.
16. Griszin M.M. - Płotiny, Moskwa 1964.
17. Grabowski Z. - Geotechniczne właściwości spoistych gruntów pochodzenia fliszowego. Praca doktorska. Warszawa 1964.
18. Grocholski W.- Sudety. Wyd.Geologiczne. Warszawa 1967.
19. Guzik K., Zdrojewska N., Lenczewska E. - Zastosowanie fotointerpretacyjno-geologicznej metody badań i kartowania złóż gruntów dla budowy zapór ziemnych w dorzeczu Dunajca /maszynopis oddany do druku w pracach IGW/ Warszawa 1965.

20. Hellwig Z. - Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej, PWN Warszawa 1967.
21. Hydrogeo Kraków - Dokumentacja geologiczno-inżynierska do projektu wstępnego zbiornika Wisła-Czarne, Kraków 1962.
22. Informator geologa, Warszawa 1965.
23. Ibragimow M.I. - Kontrol za płotnostju krupnoobłomocznych gruntow na stroitielstwie Orto-Tokojskoj płotiny. Gidrotiechniczieskoje Stroitielstwo 10, 1956.
24. Iwaszczenko I.N., Czerniłow A.B. - Issledowanija filtracjonnych ustojczivosti krupnoobłocznowo grunta. Gidrotiechniczieskoje Stroitielstwo 11, 1968.
25. Janiszewski W. - Naturalne kruszywa mineralne, Arkady Warszawa 1964.
26. Joksić Z. - Corrélation entre la valeur du module de compressibilité M_E et le degré atteint de compacité des matériaux non cohésifs á gros grains et analyse des facteurs qui agissent sur les valeurs obtenues, Routes 407, 1966.
27. Kowalski W.C. - Inżyniersko-geologiczna charakterystyka głównych gruntów Polski, Gruntoznawstwo Techniczne, Wyd. Arkady, Warszawa 1966.
28. Kołodziński E., Pisarczyk S. - Wstępne badania polowe na terenie budowy zapory w Tresnej, IGW. Materiały badawcze Tom III, z.3, Warszawa 1968.
29. Kollis W. i inni - Gruntoznawstwo techniczne, Warszawa 1966.

30. Kolbuszewski J. - Specjalne własności piasków. Porowatość graniczna, Wykład 1, SGGW, Warszawa 1967.
31. Krygowski B. - Graniformamateria mechaniczna, teoria, zastosowanie, Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk. Poznań 1964.
32. Kordas B., Kamiński B. - Empiryczne wzory na określenie współczynnika filtracji w świetle badań laboratoryjnych, Gospodarka Wodna 10, 1968.
33. Kulczickij G.B. - Opriedielenije ziemnogo sostawa eluwialnych krupnoobłomocznych gruntow. Oslowanija, fundamienty i miechanika gruntow 2, 1968.
34. Kulczickij G.B. - Opriedielenije włożnosti eluwialnych krupnoobłomocznych gruntow. Oslowanija, fundamienty i miechanika gruntow 4, 1967.
35. Katedra Geotechniki P.W. - Sprawozdanie z wykonania pracy naukowo-badawczej pt. "Technologia wykonawstwa zapór ziemnych projektowanych w dorzeczu Dunajca" za rok 1961, 1962, 1963, 1964 /maszynopis/ Warszawa.
36. Katedra Geotechniki P.W. - Zastosowanie fotogrametrycznej metody badania złóż dla celów budowy zapór ziemnych oraz wstępne dane dotyczące klucza geotechnicznego gruntów gruboklastycznych w dorzeczu Dunajca /maszynopis/. Warszawa 1966.
37. Katedra Geotechniki P.W. - Sprawozdanie z wykonania w 1966 r pracy naukowo-badawczej pt. "Wstępne kryteria własności fizyko-mechanicznych gruntów gruboklastycznych w dorzeczu Dunajca", Warszawa 1966.

38. Katedra Geotechniki P.W. - Wyniki analizy dokumentacji w Wiśle-Czarne wraz z wynikami badań sprawdzających dodatkowe złoża gruntów gruboklastycznych /maszynopis/, Warszawa 1967.
39. Katedra Geotechniki P.W. - Sprawozdanie z wykonania w 1968 r pracy naukowo-badawczej pt. "Wykorzystanie i optymalne zagęszczanie pospółek otoczkowych i fliszowych gruntów gruboklastycznych dla celów budowy zapór /maszynopis/, Warszawa 1968.
40. Katedra Geotechniki P.W. - Sprawozdanie z wykonania badań właściwości gruntów zapory zbiornika w Głębinowie na rzece Nysa Kłodzka /maszynopis/, Warszawa 1968.
41. Katedra Geotechniki P.W. - Sprawozdanie z wykonania w 1967 r i I kwartale 1968 r pracy naukowo-badawczej pt. "Badania poligonowe i w aparatach wielkowymiarowych efektywności zagęszczania pospółek otoczkowych i rumoszków" /maszynopis/, Warszawa 1968.
42. Katedra Geotechniki P.W. - Sprawozdanie z wykonania w 1968 r badań zagęszczalności pospółek otoczkowych i rumoszu na poletkach doświadczalnych w Wiśle-Czarne /maszynopis/, Warszawa 1969.
43. Katedra Geotechniki P.W. - Sprawozdanie z wykonania w 1969 r badań zagęszczalności pospółek otoczkowych i rumoszu na poletkach doświadczalnych w Wiśle-Czarne /maszynopis/, Warszawa 1970.

44. Lenczewska E., Zdrojewska N. - Charakterystyka osadów gruboklastycznych w dolinie Dunajca na odcinku od podnóża Tatr do Nowego Sącza /maszynopis przygotowany do druku/ Warszawa 1969.
45. Marsal R.I. - Large scale testing of rockfill materials, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division SM 2, 1967.
46. Mikucki Z., Fürstenberg A., Mioduszewski W., Reczek J., Wolski W. - Wykonanie i kontrola filtrów odwrotnych przy rdzeniach zapór z gruntów fliszowych, Prace IGW. Tom V, z 2, 1968.
47. Mioduszewski W., Reczek J., Sokołowski J., Wolski W. - Możliwości zastosowania metod izotopowych do kontroli zagęszczania nasypów w budownictwie hydrotechnicznym, Gospodarka Wodna 2, 1964.
48. Moryl J. - Metodyka określania średniego ciężaru gatunkowego żwiru dla projektowania betonów dla typowego złoża karpackiego, Archiwum Hydrotechniki, zeszyt 4, 1962.
49. Myznikow I.N. - Upłotniajemost szchiebienisto-drieswianych suglinkow pri otricatielnych tiempieraturach narużnogo wozducha, Gidrotiechniczeskoje Stroitelstwo 2, 1969.
50. Mientiukow W.P. - Namyw płotín iz grawielistych gruntow, Moskwa 1967.
51. Nawara K. - Transport i sedymentacja współczesnych żwirów Dunajca i jego niektórych dopływów. Prace Muzeum Ziemi Nr 6. Wydanie Geologiczne, Warszawa 1963.

52. Nawara K. - Analiza kształtu otoczków w górnym biegu Dunajca i jego dopływach na Podhalu. Muzeum Ziemi 1, 1960.
53. Nicziporowicz A.A., -Rasskazow L.N. - Soprotiwlenije krupno-obłomocznych gruntow sđwigu, Gidrotiechniczeskoje Stroitelstwo 8, 1969.
54. Nicziporowicz A.A - O dieformacijach i ustojczivosti płotiniestnykh materiałow, Gidrotiechniczeskoje Stroitelstwo 4, 1964.
55. Norma PN-55/B-04484 - Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Analiza sitowa.
56. Norma PN-59/B-04483 - Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Analiza areometryczna.
57. Norma PN-61/B-06720 - Pobieranie próbek materiałów kamiennych.
58. Norma PN-60/B-04486 - Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Oznaczanie ciężaru właściwego.
59. Norma PN-55/B-04488 - Grunty budowlane. Badanie właściwości fizycznych. Oznaczenie ciężaru objętościowego, ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego, porowatości i wskaźnika porowatości.
60. Norma PN-66/B-06714 - Kruszywo mineralne. Badania techniczne.
61. Norma PN-59/B-04491 - Grunty budowlane. Oznaczanie wilgotności optymalnej i maksymalnego ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego.
62. Norma PN-64/8950-03 - Budownictwo hydrotechniczne. Badania hydrogeologiczne. Obliczanie współczynnika filtracji gruntów sypkich na podstawie uziarnienia i porowatości.
63. Norma PN-55/B-04492 - Grunty budowlane. Oznaczenie właściwości fizycznych. Oznaczenie wskaźnika wodoprzepuszczalności.

64. Osuch B. - Skład granulometryczny niespoistego materiału skalnego cieków karpackich w świetle potrzeb budownictwa. Praca doktorska, Politechnika Krakowska 1964.
65. Paul O. - Eine Methode zur Ramgewichtsbestimmung des Untergrundes, Bauplanung-Bautechnik 9, 1960.
66. Pałagin I.A.- Opriedielenije wodopronicajemosti ziernistych materiałów i nieswiaz-nych gruntow, Gidrotiechniczieskoje Stroitielstwo 3, 1964.
67. Pisarczyk S.- Badania wodoprzepuszczalności gruntów gruboklastycznych w aparacie wielkowymiarowym, III Sympozjum Filtracji w Gdańsku, Polskie Towarzystwo Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej Oddział w Gdańsku 21-22.XI.1969.
68. Pietrow G.N., Riejfman L.S. i Sieliewierstow G.G. - Kontrol płotnosti gornoj massy, Gidrotiechniczieskoje Stroitielstwo 6, 1969.
69. Polskie Towarzystwo Geologiczne - Regionalna Geologia Polski /tom I/ Karpaty, Kraków 1951.
70. Praca zbiorowa - Zmęczenie metali. Warszawa 1962.
71. Rasskazow L.N. - Soprotiwlieniije krupnoobłomocznych gruntow sdwigu pri rasczietie gidrotiechniczieskich sooruzienij na ustoicziwost, Moskwa 1966.
72. Reczek J. - Wpływ wielkości cylindra na dokładność oznaczenia ciężaru objętościowego gruntu gruboziarnistego, Gospodarka Wodna 6, 1966.
73. Roźdiestwienski E.D., Korotkow M.E. - Powiedienije galiecznikow pri układkie ich w tieło sooruzienija, Gidrotiechniczieskoje Stroitielstwo 2, 1950.

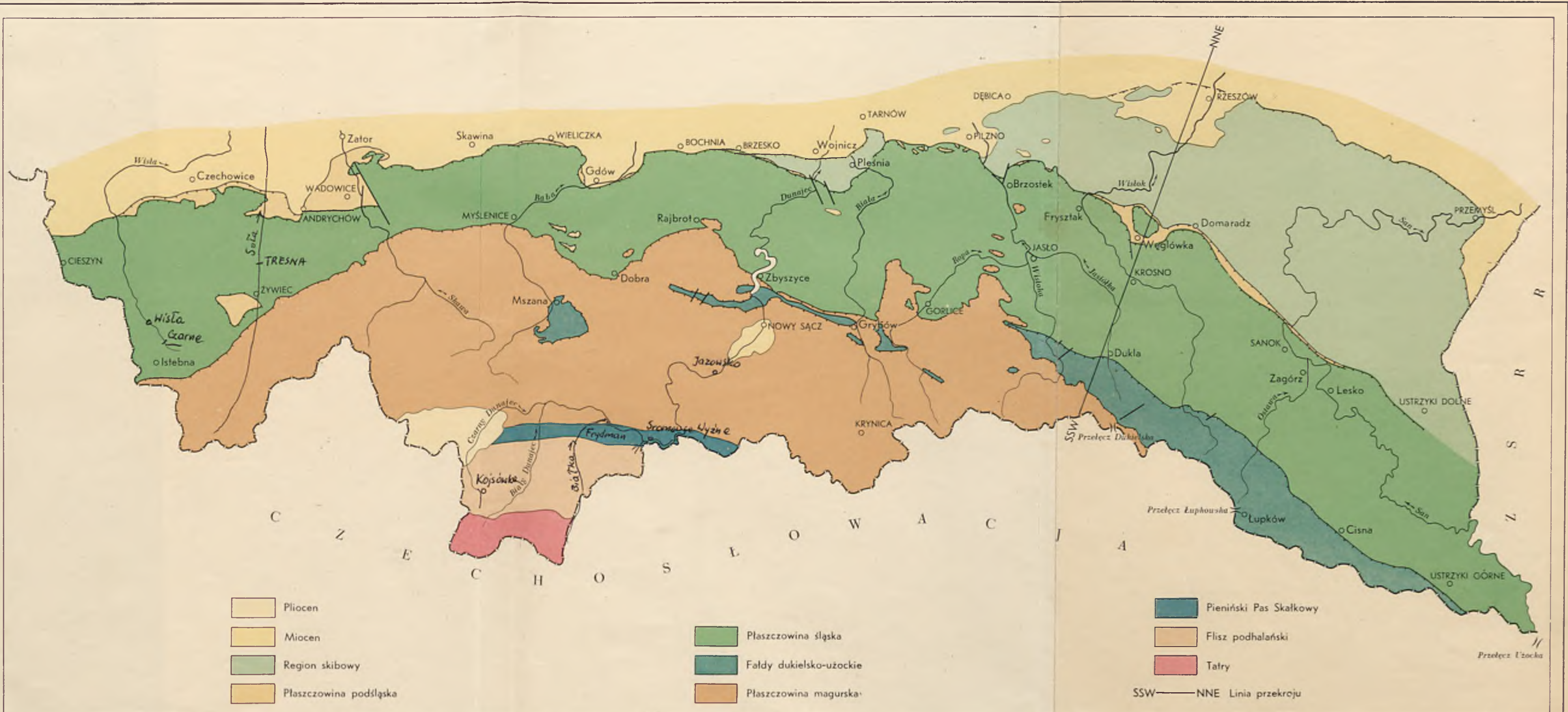
74. Reczek J., Wolski W. - Przykład zastosowania metod statystycznych do opracowania wyników kontroli zagęszczania zapory Tresna, Gospodarka Wodna 8, 1967.
75. Road Research Laboratory D.C.I.R. Soil Mechanics for Road Engineers /tłum.rosyjs./ Moskwa 1957.
76. Ryżienko A.P. - Ispytanije krupnoobłomocznych gruntow na bolszom gidrawliczieskim priborie triechosnogo szatija. Osnowanija, fundamienty i miechanika gruntow 3, 1967.
77. Ruchin L.B. - Osnovy žitołogi, Leningrad 1953.
78. Scherrer H.U. - Praktische Anwendung der Verdichtungs - kontrolle nach Hilf, Schweizerische Bauzeitung 31, 1961.
79. Stein D. - Untersuchungsverfahren zur Ermittlung der Projektierungskennwerte für Steindämme, Berlin 1966.
80. Stupnicka E. - Utwory czwartorzędowe w dolinach górnej Wisły i Soły /Karpaty/ Biuletyn Geologiczny Tom 3 /nadbitka/.
81. Starkel L. - Rozwój rzeźby Karpat fliszowych w holocenie, Warszawa 1966.
82. Sperling G. - Ermittlung der Rohdichte grobkörniger Erdstoffe durch Tonsuspension, Bauplanung - Bautechnik 4, 1963.
83. Schultze E. - Large scale shear tests. Proceedings of the Fourth International Conference Mechanics and Foundation Engineering, t.I, London 1957.
84. Schluttig H., Schön J. - Grossversuche zur Bestimmung des Reibungsbeiwertes grobkörnigen Materials für Dammschüttungen, Bauplanung-Bautechnik 11, 1964.

85. Szmakow M.I. - Polewoje opriedielenije płotnosti piesczanogalecznych gruntow. Gidrotiechniczeskoje Stroitielstwo 3, 1955.
86. Szwiec W.B. - Eliuwialnyje grunty kak osnowanija sooruzenij, Moskwa 1964.
87. Turnau-Morawska M. - Petrografia skał osadowych, Warszawa 1954.
88. Unrug R. - Współczesny transport i sedymentacja żwirów w dolinie Dunajca, Akta Geologica Polonica 1957.
89. Voss R. - Lagerungsdichte und Tragwerte von Böden bei Strassenbautten, Strasse und Autobahn 4, 1961.
90. Wdowiarz S. - Karpaty. Wyd.Geol. Warszawa 1959.
91. Wiłun Z. - Wyznaczanie dopuszczalnych obciążeń gruntów. Arkady, Warszawa 1958.
92. Wiłun Z., Kołodziński E., Hałwryłkiewicz E. - Technologia wykonawstwa robót ziemnych przy budowie zapory w dorzeczu Dunajca /maszynopis oddany do druku w pracach IGW/ Warszawa 1965.
93. Wiłun Z. - Zagęszczalność i cechy fizyko mechaniczne gruntów nasypowych w budowlach ziemnych. IV Ogólnopolska konferencja na temat Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Część II, Wrocław 1967.
94. Wiłun Z. - Mechanika Gruntów i Gruntoznawstwo Drogowe. Wyd.Łączności, Warszawa 1967.
95. Wiłun Z., Pisarczyk S. - Badania gruntów gruboklastycznych w aparatach wielkowymiarowych. Archiwum Hydrotechniki tom XVI, rok 1969, zeszyt 3.

96. Wiłun Z., Pisarczyk S., Szwech Z, Bukowski M., Obrycki M. - Laboratoryjne metody badań właściwości mechanicznych gruntów pochodzenia fliszowego z dorzecza Dunajca zagęszczanych w korpusach zapór. /maszynopis oddany do druku w pracach IGW/ Warszawa 1965.
97. Wilczyński A. - Wykorzystanie wyników badań Proctora przy kontroli zagęszczenia, Drogownictwo 4, 1961.
98. Wolski W. - Nowe metody badań gruntów gruboziarnistych stosowanych do budowy zapór ziemnych, Gospodarka Wodna 1, 1959.
99. Zeller I., Wulliman R. - The shear strength of the shell materials for Göschenenalp dam. Proceedings of the Fourth International Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering, t.II, London 1957,
100. Żurek J. - Woprosy szimajemosti krupnoobłomocznych gruntow pri projektirowanii płotin iz miestnych materiałów. Praca doktorska, Moskwa 1965.

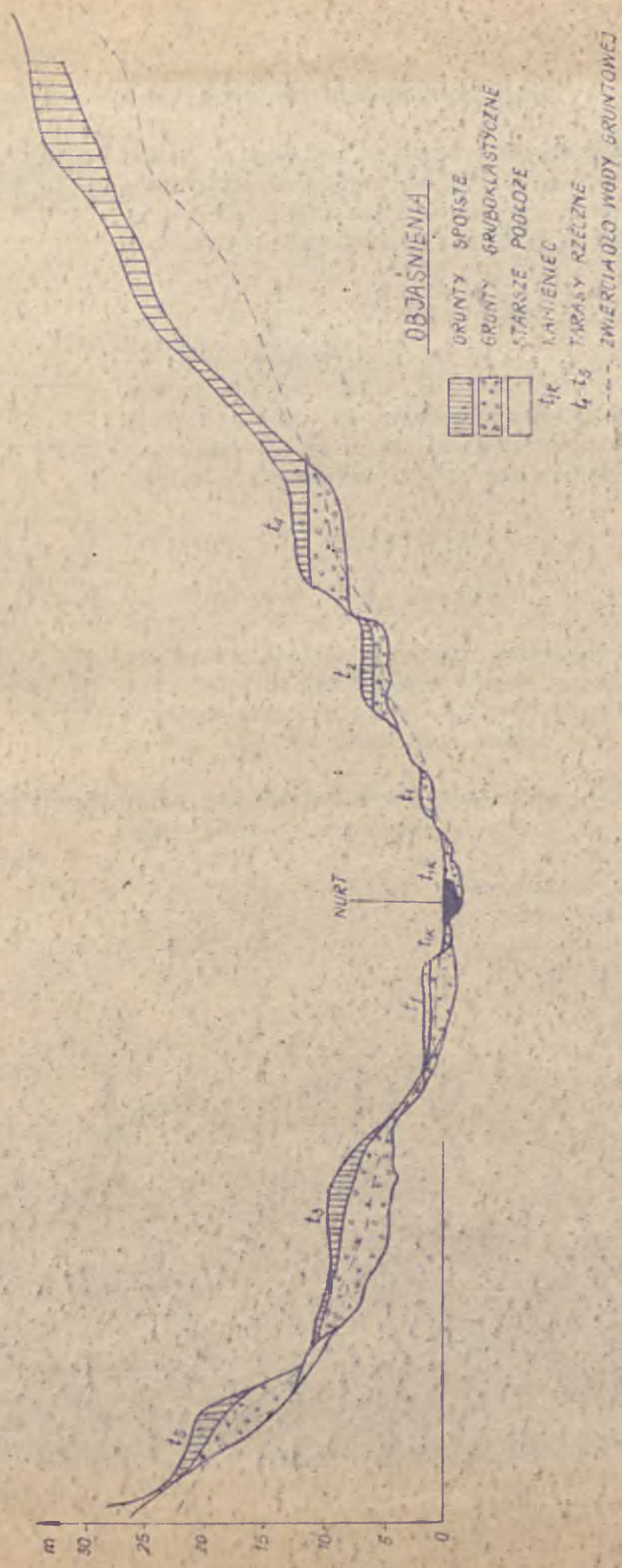


Rys. 3.1. GŁÓWNE JEDNOSTKI TEKTONICZNE POLSKICH KARPAT



0 10 20 30 km

1:150000



Rys. 3.2 SCHEMATYCZNY PRZEKRÓJ FRAGMENTU DOLINY DUNAJCA [19]



1

ZASOBY WYSTĘPUJĄCE W ZWARTYCH ZŁOŻACH W ILOŚCIACH WYSTARCZAJĄCYCH DO WYBUDOWANIA KORPUSU ZAPORY W WARUNKACH BUDOWY ZAPÓR ZIEMNYCH W KASKADZIE DUNAJCA /O MIĄŻSZOŚCI OD 1.0 m DO OKOŁO 10 m/

2

ZASOBY WYSTĘPUJĄCE W ZŁOŻACH ROZPROSZONYCH /W ODLEGŁOŚCIACH WZAJEMNYCH MNIEJSZYCH OD OKOŁO 1 km/ W KAŻDYM ZŁOŻU ILOŚCI NIEWYSTARCZAJĄCE. W ZESPOLE KILKU ZŁOŻ - WYSTARCZAJĄCE. MIĄŻSZOŚCI BARDZO ZMIENNE OD 0.5 m DO 5.0 m ŚREDNIO.

GRUNTY SPOISTE

1

ZASOBY WYSTĘPUJĄCE W ZWARTYCH ZŁOŻACH W ILOŚCIACH WYSTARCZAJĄCYCH DO WYBUDOWANIA JĄDRA ZAPORY W WARUNKACH BUDOWY ZAPÓR ZIEMNYCH W KASKADZIE DUNAJCA. MIĄŻSZOŚCI ZMIENNE /OD 1.0 m DO 10 m ŚREDNIO/.

1a

MIĄŻSZOŚCI ZŁOŻ OD 1 m DO 3 m

1b

MIĄŻSZOŚCI ZŁOŻ OD 3 m DO 10 m

2

ZASOBY WYSTĘPUJĄCE W ZŁOŻACH ROZPROSZONYCH /W ODLEGŁOŚCIACH WZAJEMNYCH OD OKOŁO 1 km/ W KAŻDYM ZŁOŻU ILOŚCI NIEWYSTARCZAJĄCE. W ZESPOLE KILKU ZŁOŻ - WYSTARCZAJĄCE. MIĄŻSZOŚCI BARDZO ZMIENNE OD OKOŁO 0.5 m DO OKOŁO 5.0 m ŚREDNIO.

(Vertical lines pattern)

ZŁOŻA GRUNTÓW SPOISTYCH I GRUBOKLASTYCZNYCH ROZPOZNAWANE PRZEZ KATEDRĘ GEOTECHNIKI

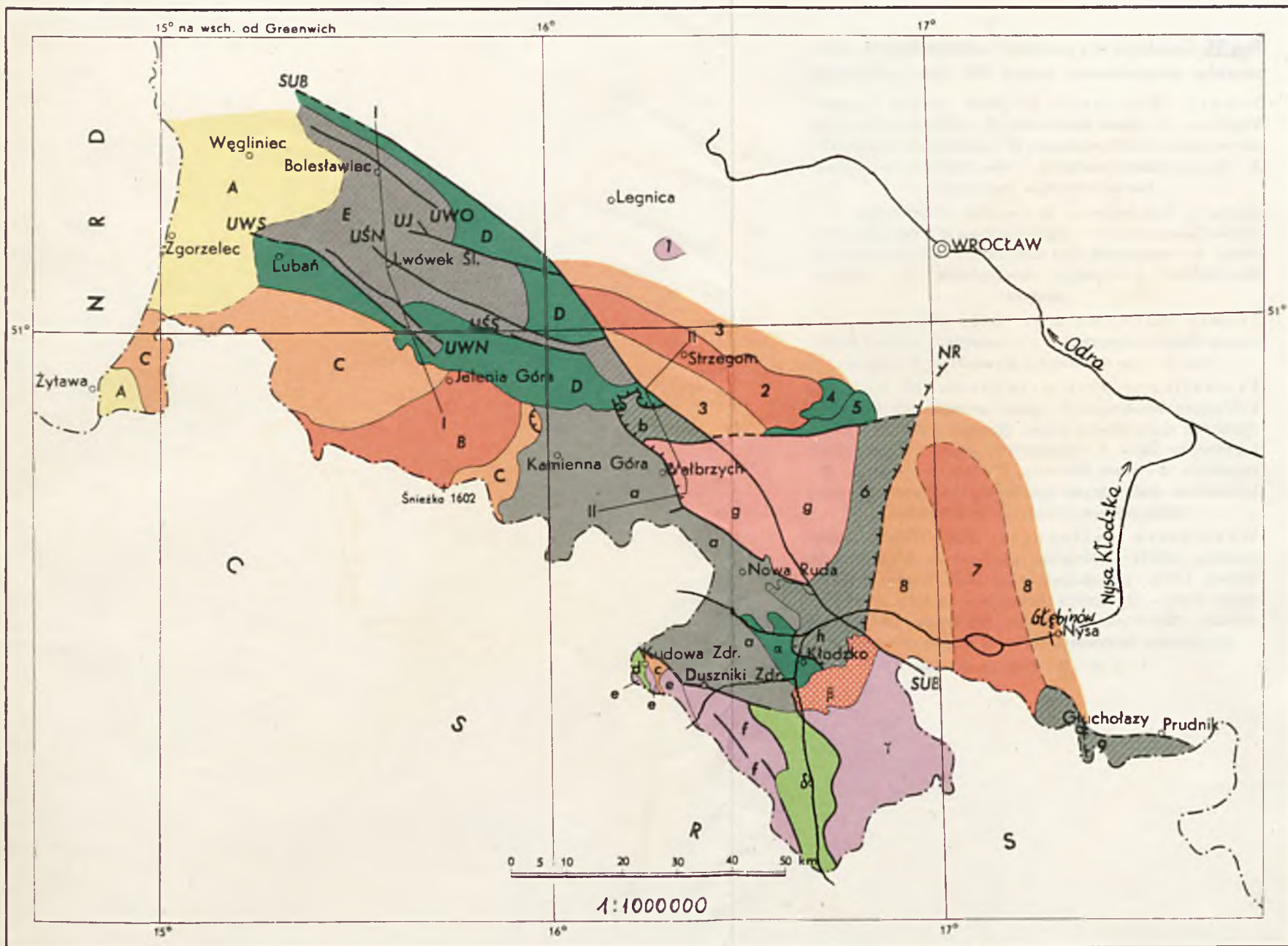
- 51 - MIEJSCA POBRANIA I NR PRÓBY
- - PRÓBY POBRANE DO BADAŃ W APARATACH WIELKOWYMIAROWYCH

Rys. 3.3 SCHEMATYCZNE ROZMIESZCZENIE ZŁOŻ GRUNTÓW GRUBOKLASTYCZNYCH I SPOISTYCH W DORZECZU DUNAJCA [19] ORAZ LOKALIZACJA MIEJSC POBRANIA PRÓB GRUNTÓW GRUBOKLASTYCZNYCH SKALA 1:200000



Rys. 3.4 LOKALIZACJA MIEJSC POBRANIA PRÓB DO BADAŃ W APARATACH
WIELKOWYMIAROWYCH W DOLINIE BIAŁEJ WISEŁKI
SKALA 1:2000

- WCz-I MIEJSCA POBRANIA PRÓB DO BADAŃ W APARATAH WIELKOWYMIAROWYCH
- Z-1 MIEJSCA POBRANIA PRÓB DO BADAŃ SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO I LITOLÓGICZNEGO
- GRANICA ZŁOŻA OBJĘTEGO DOKUMENTACJĄ GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKĄ WYKONANĄ PRZÉZ HYDROGEO - KRAKÓW
- ⋯ GRANICA ZŁOŻA UDOKUMENTOWANEGO PRZÉZ KATEDRĘ GEOTECHNIKI
- · - ZASIĘG PROJEKTOWANEGO ZBIORNIKA



Rys. 3.5. Geologiczny podział Sudetów (wg H. Teisseyre'a, uzupełniony przez W. Grocholskiego)

Sudety Zachodnie: **A** – Strefa obniżen Żytawa – Węgliniec, **B** – granit karkonoski, **C** – metamorficzne skały okrywy granitu karkonoskiego, **D** – kaledonidy kaczawskie, **E** – niecka północnosudecka i rowy tektoniczne w obrębie kaledonidów kaczawskich

Sudety Środkowe: **a** – niecka śródsudecka, **b** – niecka Świebodzic, **c** – granit Kudowy, **d** – zapadisko Kudowy, **e** – metamorfik Gór Orlickich, **f** – metamorfik Gór Bystrzyckich, **g** – gnejsy sowiogórskie, **h** – struktura bardzka

Sudety Wschodnie: **α** – metamorfik kłodzki, **β** – masyw kłodzko-złotostocki, **γ** – metamorfik Łądko i Śnieżnika, **δ** – rów tektoniczny górnej Nysy Kłodzkiej

Kryształiczny blok przedsudecki: **1** – gnejsy z Wądroża Wielkiego, **2** – granit strzegomski, **3** – metamorficzne skały okrywy granitu strzegomskiego, **4** – gabra i amfibolity Ślęzy, **5** – serpentynity Ślęzy i Wzgórz Kielczyńskich, **6** – sfrefa Niemczy, **7** – granit strzeliński, **8** – krystaliczne skały okrywy granitu strzelińskiego, **9** – skały metamorficzne i kulm wschodniosudecki

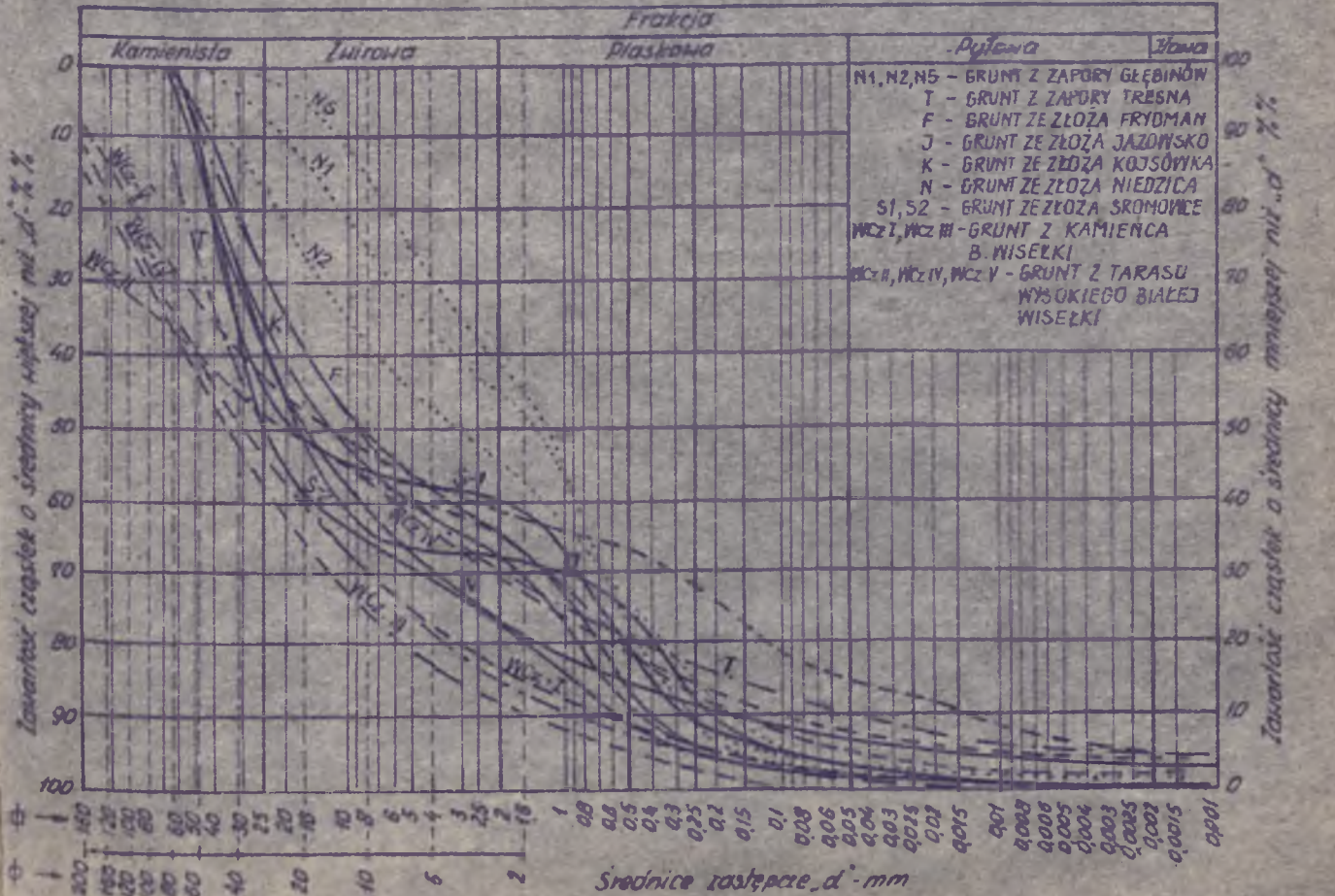
Ważniejsze dyslokacje: **SUB** – sudecki uskok brzeżny, **UWN** – północny uskok rowu tektonicznego Wlenia, **UWS** – południowy uskok rowu Wlenia, **UWO** – uskok Warta – Osiecznica (bolesławiecki), **UJ** – uskok Jerzmanicki, **USN** – uskok północny Świerzawy, **USS** – uskok południowy Świerzawy, **NR** – nasunięcie ramzowskie

I – I, II – II – linie przekrojów

Badanie uziarnienia gruntu

Nr tematu _____ Nr badania _____ Nr otworu _____
 Miejsce budowy _____ Głębokość _____ m
 Próbkę pobrano z _____

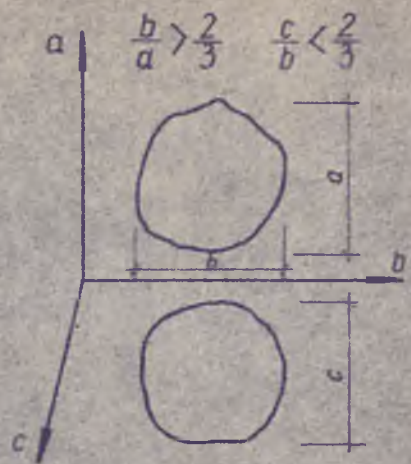
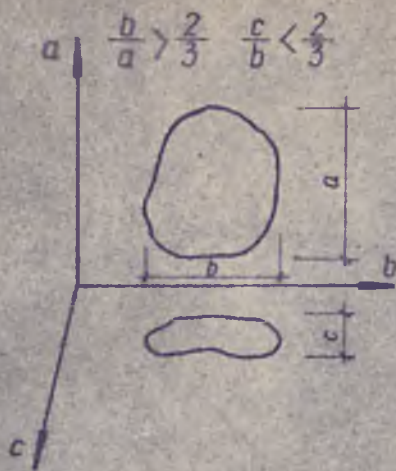
Badanie makroskopowe								Wyniki badań laboratoryjnych					
Rodzaj gruntu _____				Zawartość CaCO ₃ _____ %				Rodzaj gruntu wg badań laboratoryjnych _____					
Domieszki _____				Wilgotność _____				Skład uziarnienia					
Barwa gruntu _____				Stan gruntu _____				φ ziarn	>2 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	<0,002 mm	
Ilość walczkowania _____								% zawart					
Pomiary areometryczne								% zawartość ziarn o φ < 2 mm					
Rozpoczęcie pomiarów dn _____ godz _____				Areometr Nr _____				Ciężar właściwy		Wilgotność		Straty wagowe	
Dodany stabilizator _____								γ = _____ g/cm ³		W = _____ %		S = _____ %	
Czas odczytu	Temp. równow.	Skierony wlewnik areometru	R ₁₀₅	R ₁₅	R ₂₀	R ₂₅	R ₃₀	Średnica zastępcza cząsteczek	Ilość cząstek < φ d mm				
T	t°C	R ₂	R ₁	R ₂	R	d mm	x %						
								Badanie wykonane _____ w dn _____					
								Badanie sprawdzili _____ w dn _____					
Charakterystyka roztworu								Analiza siłowa					
								Wymiary orzek mm	Ciężar g	Zawartość %	Suma %	Reształość z sita o φ _____ mm	
												I waga _____ g	
												St. waga _____ g	
												Tara _____ g	
												Przeważ _____ g	
												Kształt ziarn _____	
												Domieszki _____	
												Σ _____	
$x = \frac{R}{100} \cdot 100 = R$													



Rys. 4.1. WYKRESY UZIARNIENIA BADANYCH PRÓBK GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH

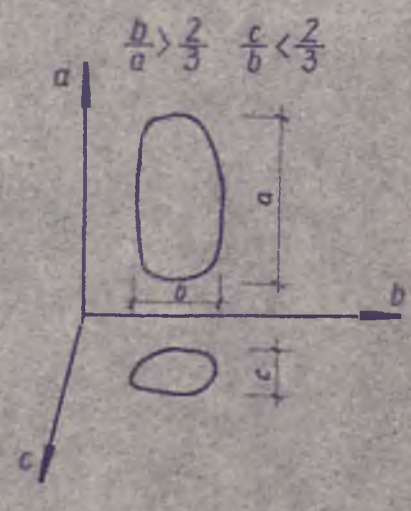
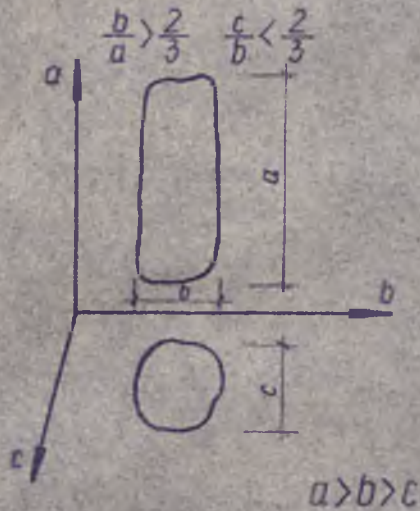
I - DYSKOIDALNE

II - SFEROIDALNE

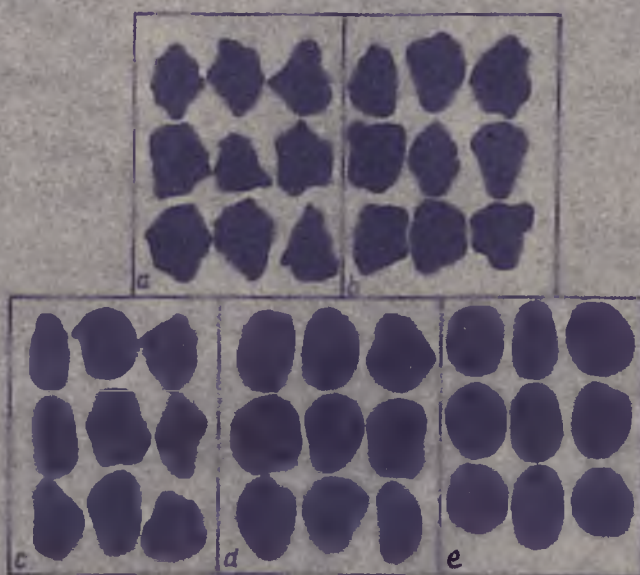


IV - WRZECIONOWATE

III - ELIPSOIDALNE

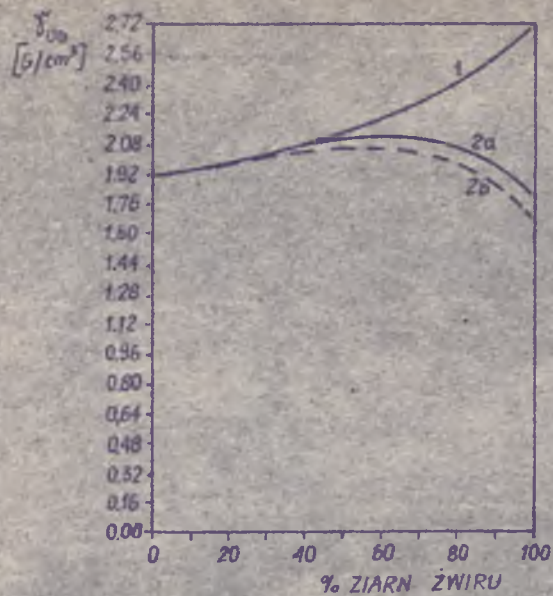


Rys. 4.2. SCHEMAT DO KLASYFIKACJI ZINGGA



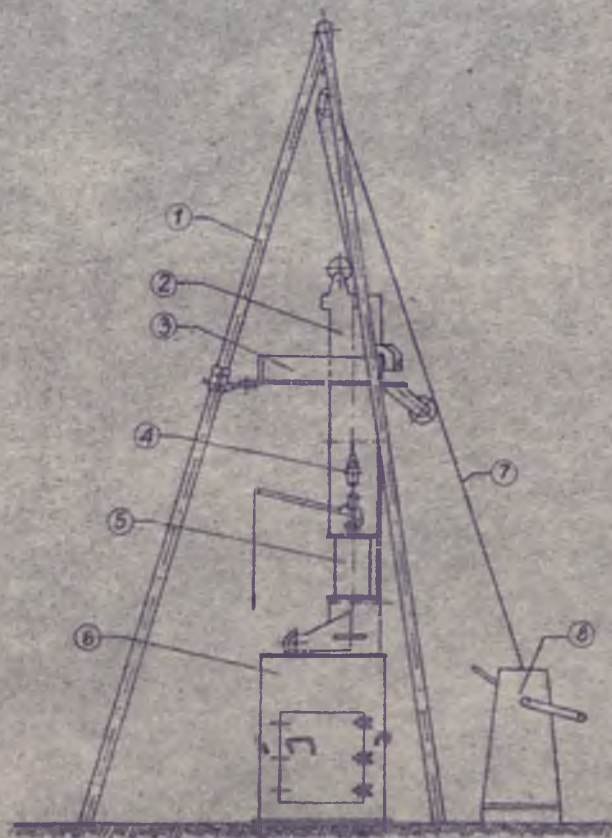
Rys. 4.3. SKALA OBTOCZENIA WEDLUG RUCHINA [10]

a - OSTROKRAWĘDZISTE, b - KANCIASTE, c - SŁABO OBTOCZONE,
d - OBTOCZONE, e - DOBRZE OBTOCZONE



Rys.5.1. ZALEŻNOŚĆ MAKSYMALNEGO CIĘŻARU OBJĘTOŚCIOWEGO SZKIELETU GRUNTOWEGO OD ZAWARTOŚCI ZIARN ŻWIUR W ZAGĘSZCZONYM GRUNCIE [1]

- 1- TEORETYCZNE MAKSYMALNE ZAGĘSZCZENIE
 2- MAKSYMALNE ZAGĘSZCZENIE 2a - MATERIAŁ OSTROKRAWĘDZIASTY
 2b - MATERIAŁ OBTOCZONY



Rys.5.2. SCHEMAT APARATU WIELKOWYMIAROWEGO DO BADANIA ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW

- 1- TRÓJNÓG; 2- PROWADNICA; 3- PIERSCIEN DO ZAWIESZANIA PROWADNICY;
 4- HAK DO ZAWIESZANIA UBIJAKA; 5- UBIJAK; 6- CYLINDER Z ORZWICZKAMI;
 7- LINA; 8- WINDA KOZŁOWA

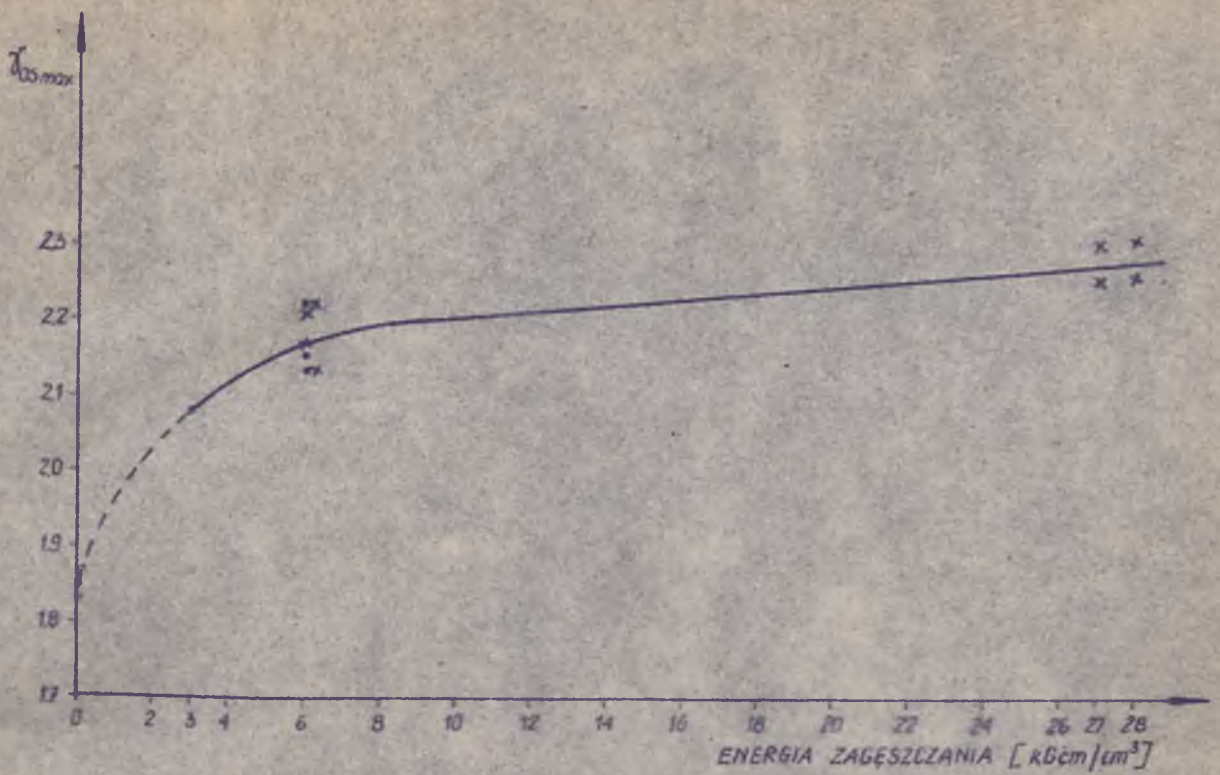


Rys. 5.3. APARAT WIELKOWYMIAROWY DO BADANIA ZAGĘSZCZALNOŚCI
GRUNTÓW GRUBOKLASTYCZNYCH.

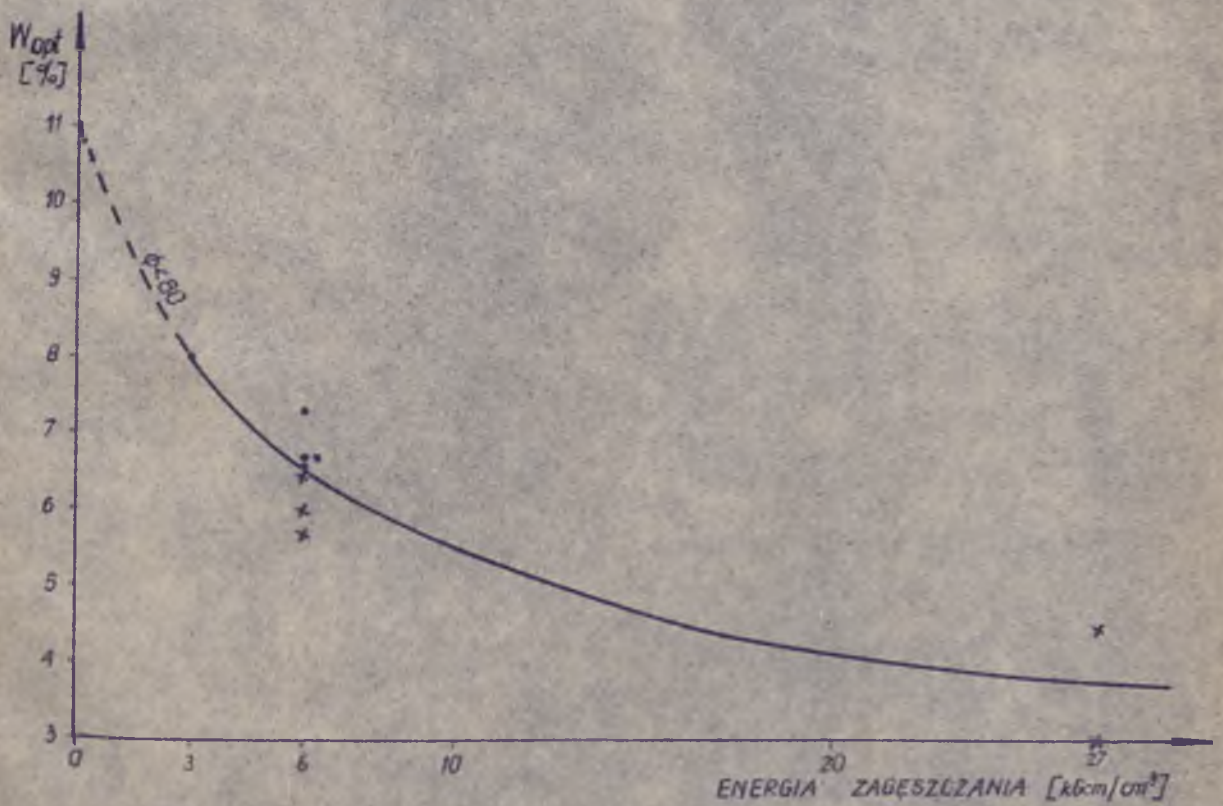


Rys. 5.4. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW W WIELKOWYMIAROWYM APARACIE

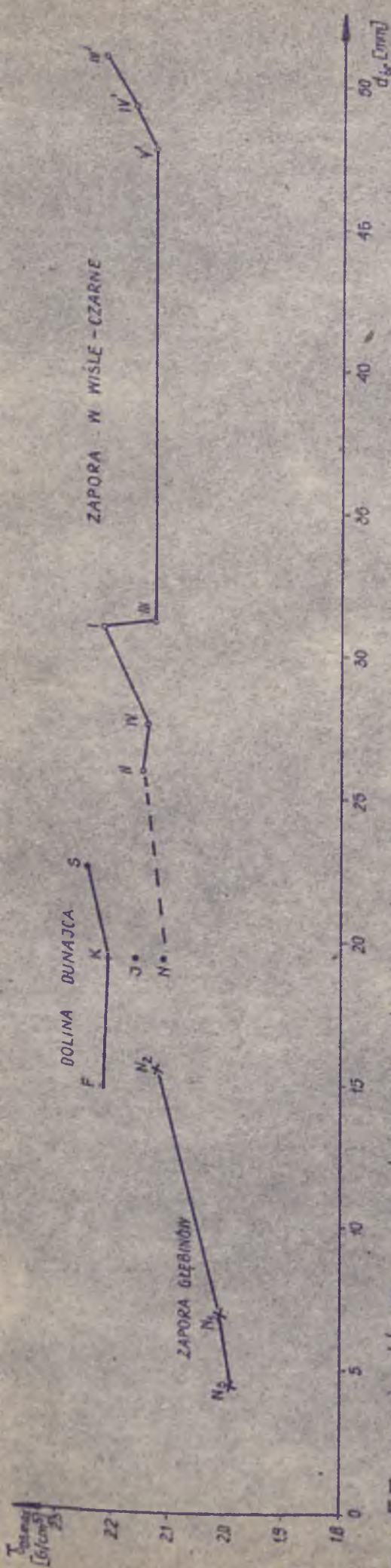
1. GRUNT ZE ZŁOŻA SROMOWCE WYZNE;	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm
2. GRUNT ZE ZŁOŻA FRYDMAN	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm
3. GRUNT ZE ZŁOŻA JAZCOWSKO	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm
4. GRUNT ZE ZŁOŻA KOJSÓWKA	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm
5. GRUNT ZE ZŁOŻA NIEDZICA	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm
6. GRUNT Z GŁĘBINOWA N-2	UZIARNIENIE	NATURALNE
7. GRUNT Z GŁĘBINOWA N-1	UZIARNIENIE	NATURALNE
8. GRUNT Z GŁĘBINOWA N-5	UZIARNIENIE	NATURALNE
9. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-I	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm Z ZASTĄPIENIEM $\phi > 80$; $\phi 60-80$ mm
10. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-III	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm Z ZASTĄPIENIEM $\phi > 80$; $\phi 60-80$ mm
11. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-III	UZIARNIENIE	NATURALNE
12. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-II	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm Z ZASTĄPIENIEM $\phi > 80$; $\phi 60-80$ mm
13. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-IV	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm Z ZASTĄPIENIEM $\phi > 80$; $\phi 60-80$ mm
14. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-IV	UZIARNIENIE	NATURALNE
15. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-V	UZIARNIENIE	NATURALNE
16. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-V	UZIARNIENIE	NATURALNE
17. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-III	UZIARNIENIE	NATURALNE
18. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-III	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm Z ZASTĄPIENIEM $\phi > 80$; $\phi 60-80$ mm
19. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-III	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm Z ZASTĄPIENIEM $\phi > 80$; $\phi 60-80$ mm
20. GRUNT Z WISŁY-CZARNE W.Cz-II	UZIARNIENIE	$\phi < 80$ mm Z ZASTĄPIENIEM $\phi > 80$; $\phi 60-80$ mm
1-15.	ZAGĘSZCZANIE	WG ENERGII NORMALNEJ
16-17.	ZAGĘSZCZANIE	WG ENERGII ZMODYFIKOWANEJ
18.	ZAGĘSZCZANIE	WG $1/2$ ENERGII NORMALNEJ
19-20.	GRUNT	LUZEM NASYPANY



Rys. 5.5. ZALEŻNOŚĆ $\delta_{os,max}$ GRUNTÓW GRUBOKLASTYCZNYCH OD ENERGII ZAGĘSZCZANIA
 • - $\phi < 80$ mm, x - NATURALNE UZIARNIENIE

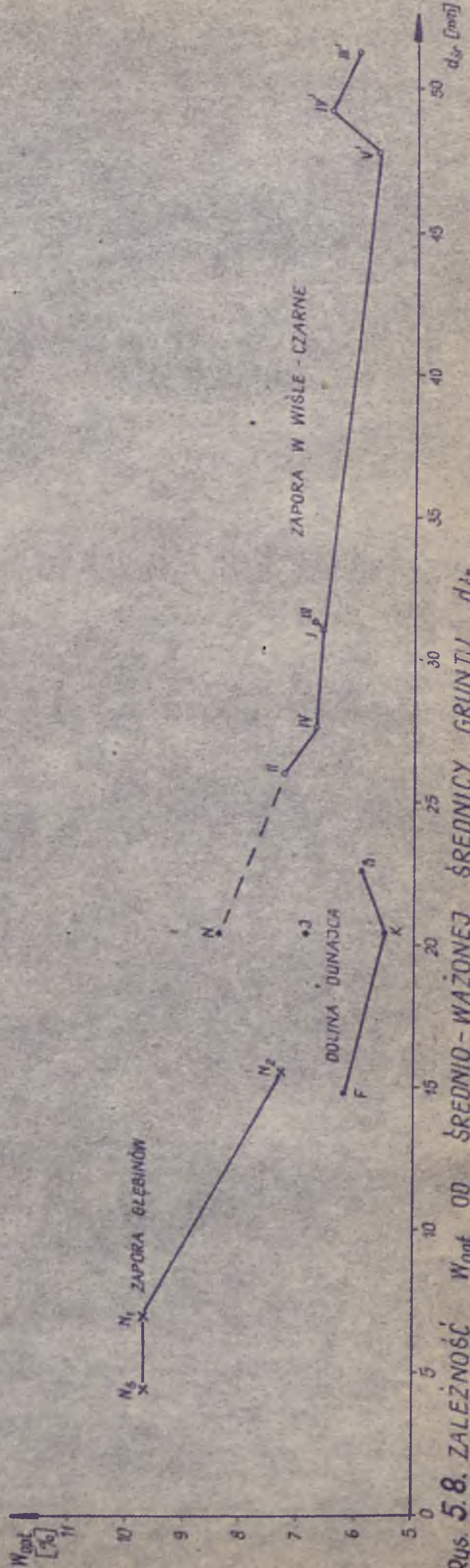


Rys. 5.6. ZALEŻNOŚĆ W_{opt} GRUNTÓW GRUBOKLASTYCZNYCH OD ENERGII ZAGĘSZCZANIA



Rys. 5.7. ZALEŻNOŚĆ $d_{os max}$ OD ŚREDNIO-WAŻONEJ ŚREDNICY GRUNTU d_{sr}

F - ZŁOŻE FRYDMAN, K - ZŁOŻE KOŚCÓWKA, S - SROMOWCE WYŻNE, N - NIEDZICA, N₁, N₂, N₃ - NR ZŁOŻ W GLEBINOWIE, I-IV i III'-V' - PRÓBY Z WISŁY CZARNE

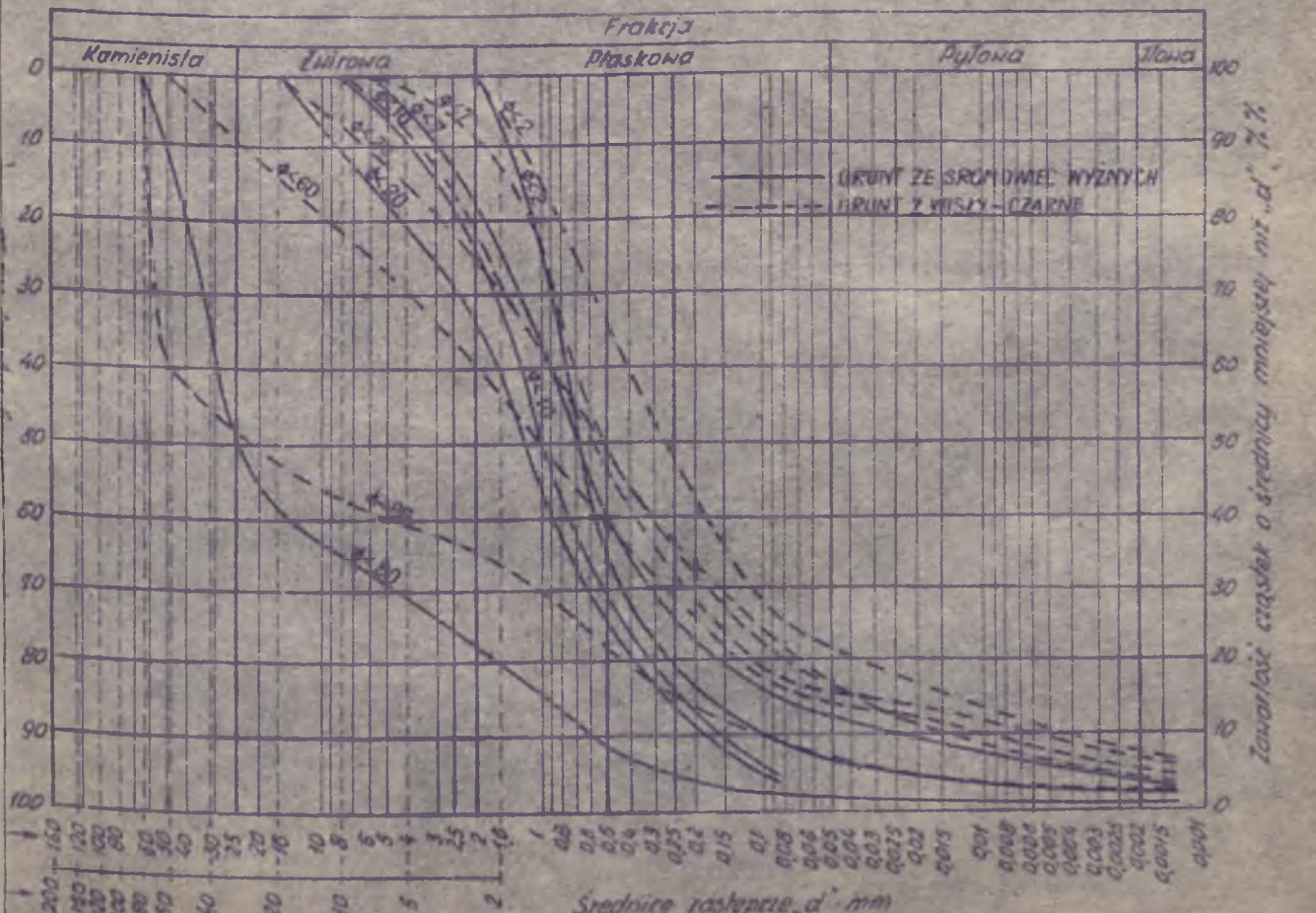


Rys. 5.8. ZALEŻNOŚĆ W_{opt} OD ŚREDNIO-WAŻONEJ ŚREDNICY GRUNTU d_{sr}

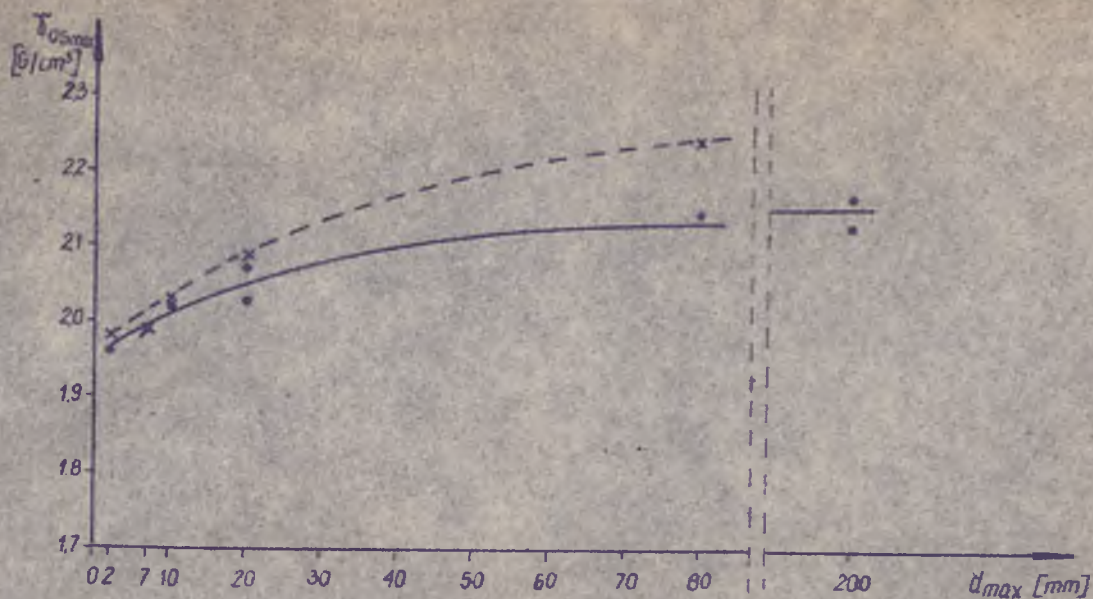
Badanie uziarnienia gruntu

Nr tematu Nr badania Nr otworu
 Miejsce budowy Głębokość m
 Próbka pobrana z

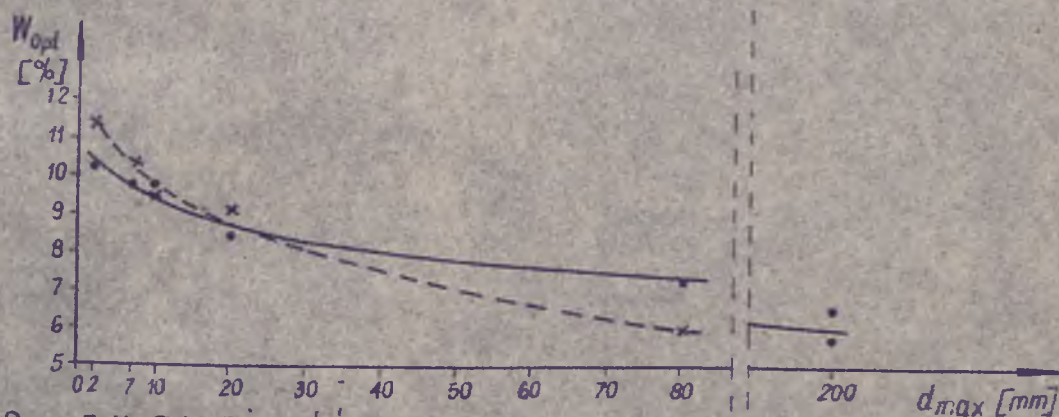
Badanie makroskopowe								Wyniki badań laboratoryjnych						
Rodzaj gruntu		Zawartość CaCO ₃ %						Rodzaj gruntu wg badań laboratoryjnych						
Dmieszki		Wilgotność						Skład uziarnienia						
Barwa gruntu		Stan gruntu						φ ziarn	>2 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	<0,002 mm		
Ilość wateczkowan								%% zawart.						
Pomiary areometryczne								%% zawartość ziarn o φ < 2 mm						
Rozpoczęcie pomiarów dn				godz.				Ciężar właściwy		Wilgotność		Straty wagowe		
Areometr Nr				Cylinder Nr.				γ		H		%		
Dodany stabilizator								Badanie wykonane						
Eros								Badanie sprawdział						
Temp								Analiza sitowa						
Stronny kamień areometru								Wymiar oczek mm	Ciężar g	Zawartość %	Suma %	Procentaż z sita		
R ₀								a φ						
R ₁								Zwaga						
R ₂								Sł.waga						
R								Tara						
Średnice iastepcze cząsteczek								Przesiew						
Ilość cząstek o φ > d mm								Kształt ziarn						
T								Dmieszki						
t°C								Σ						
Charakterystyka rozłworu														
X = $\frac{R}{1-R} \cdot 100$														



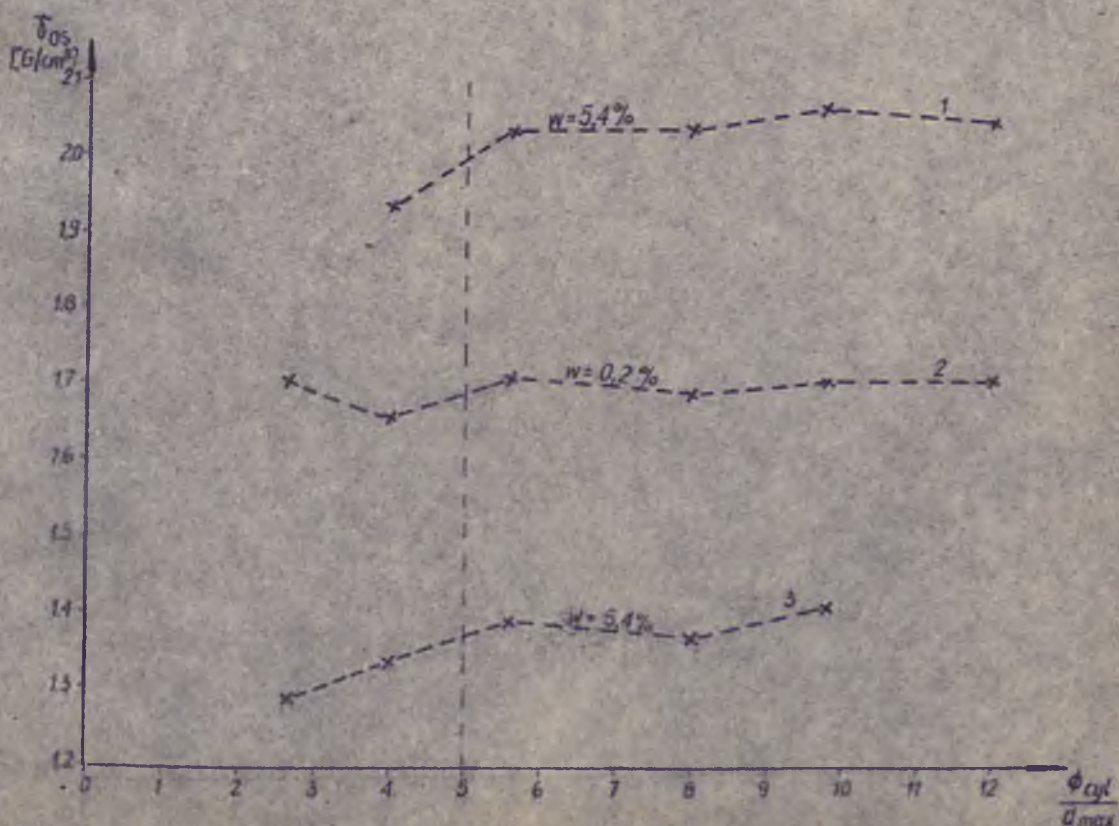
js. 5.9. Wykresy uziarnienia gruntów używanych do zagęszczenia



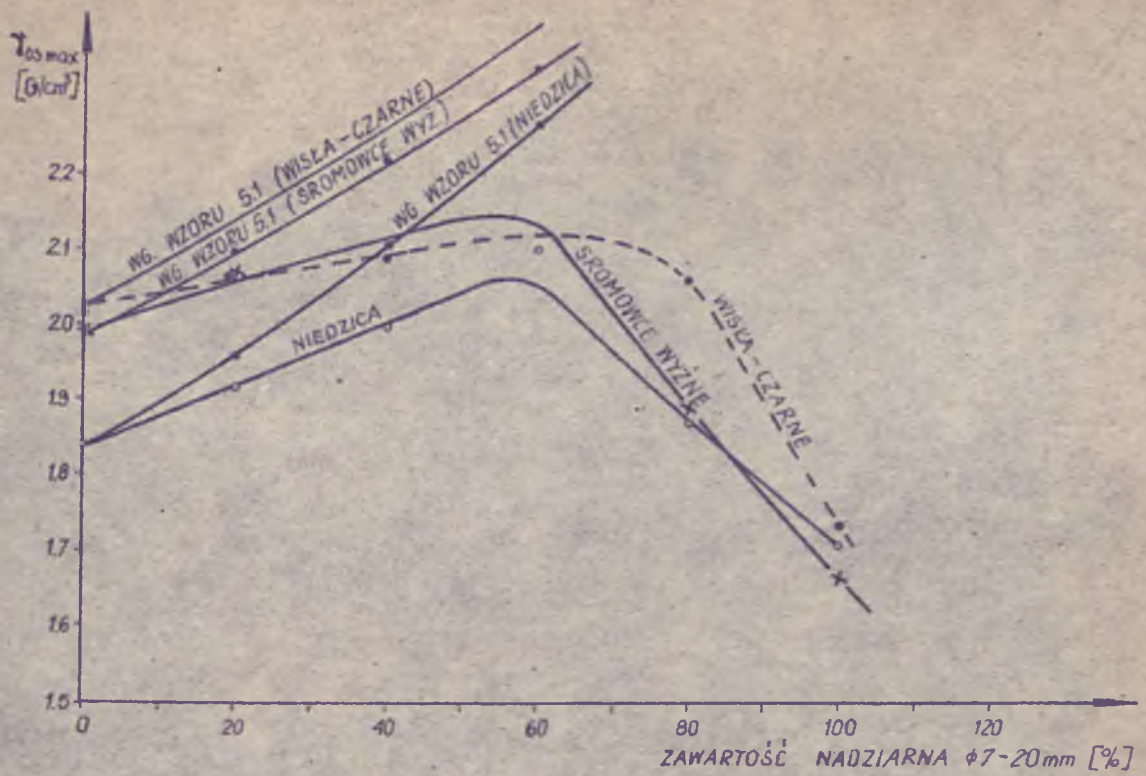
Rys. 5.10. ZALEŻNOŚĆ γ_{osmax} OD d_{max}
 • - WISŁA CZARNE, x - SROMDWCY WYŻNE



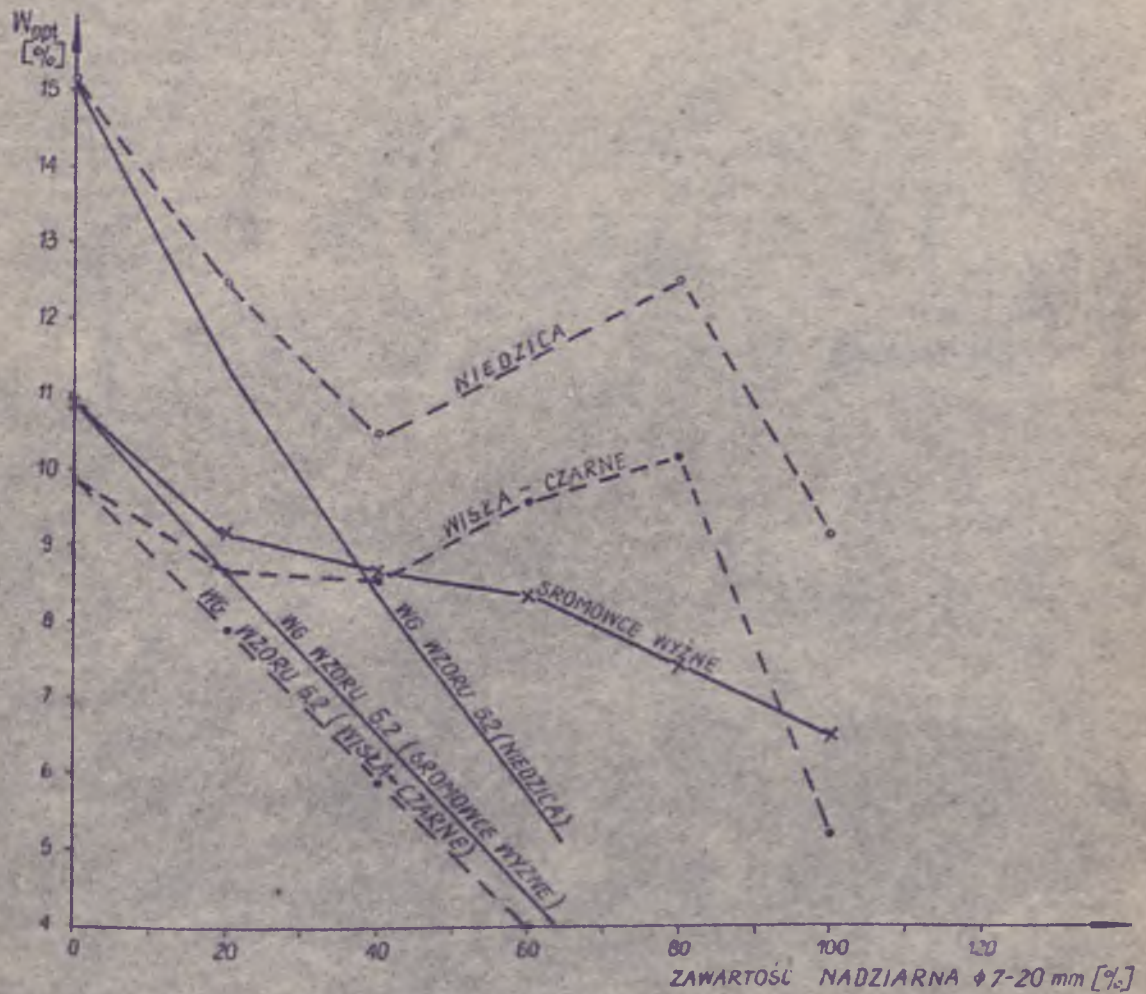
Rys. 5.11. ZALEŻNOŚĆ W_{opt} OD d_{max}
 • - WISŁA CZARNE, x - SROMDWCY WYŻNE



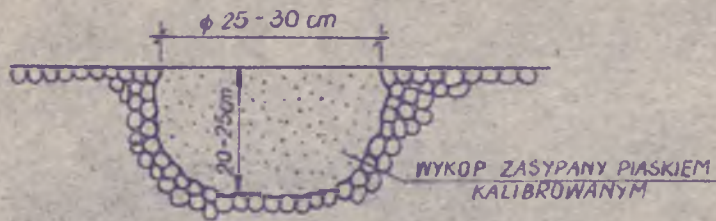
Rys. 5.12. ZALEŻNOŚĆ CIĘŻARU OBJĘTOŚCIOWEGO γ_{os} OD STOSUNKU ŚREDNICY CYLINDRA ($\phi_{cył}$) DO ŚREDNICY MAKSYMALNYCH ZIARN (d_{max})
 BRUNT SROMDWCY WYŻNE, $\phi < 20$ mm 1. BRUNT ZABĘSZCZANY, 2 BRUNT LUZEM NASYPANY
 3 BRUNT LUZEM NASYPANY



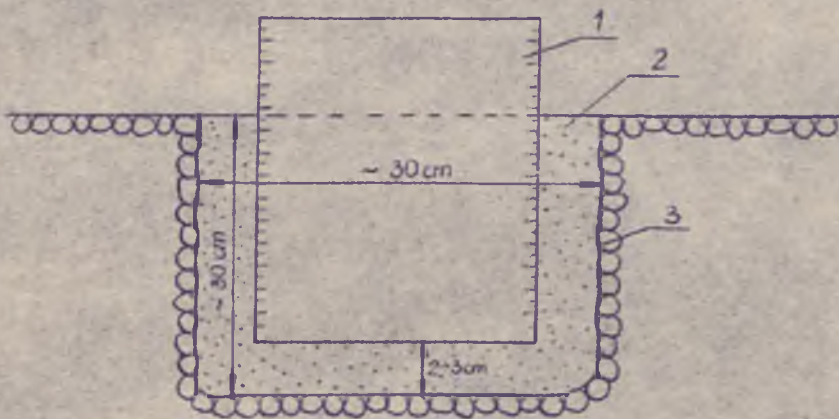
Rys. 5.13. ZALEŻNOŚĆ τ_{05max} OD ZAWARTOŚCI NADZIARNA $\phi 7-20 mm$
 • GRUNT ZE ZŁOŻA W WIŚLE CZARNE, ° GRUNT ZE ZŁOŻA NIEDZICA,
 x GRUNT ZE ZŁOŻA SROMOWCE WYŻNA



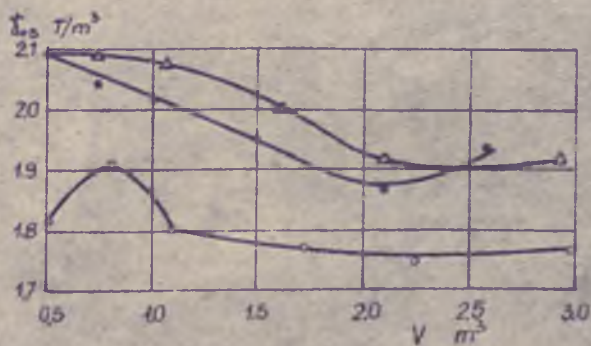
Rys. 5.14. ZALEŻNOŚĆ W_{opt} OD ZAWARTOŚCI NADZIARNA $\phi 7-20 mm$



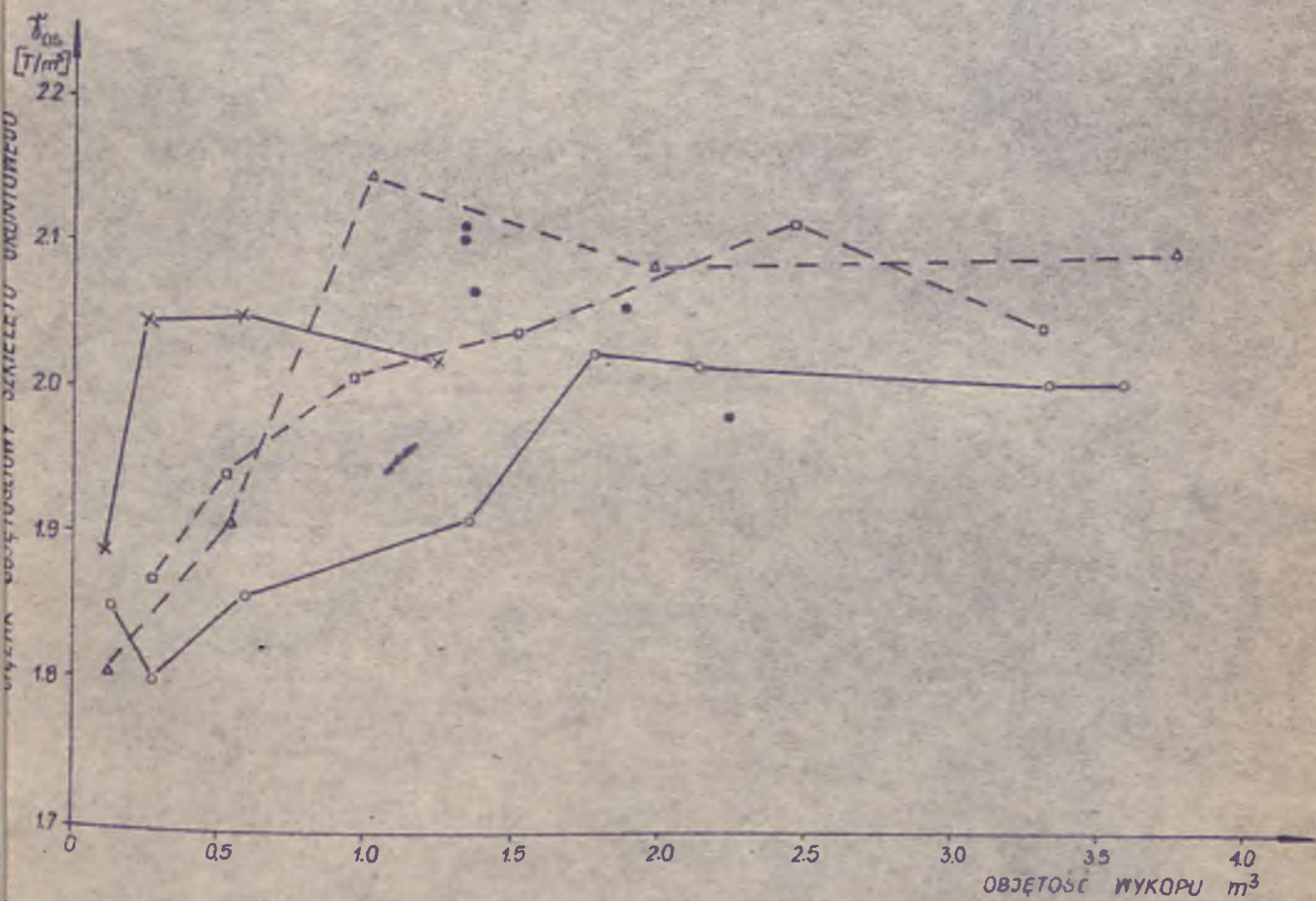
Rys. 6.1. POMIAR OBJĘTOŚCI DOŁKA PRZY POMOCY PIASKU KALIBROWANEGO [85]



Rys. 6.2. POMIAR OBJĘTOŚCI DOŁKA PRZY POMOCY SKRZYNI I PIASKU KALIBROWANEGO [23]
1. SKRZYNIA; 2. PIASEK KALIBROWANY; 3. DOŁEK

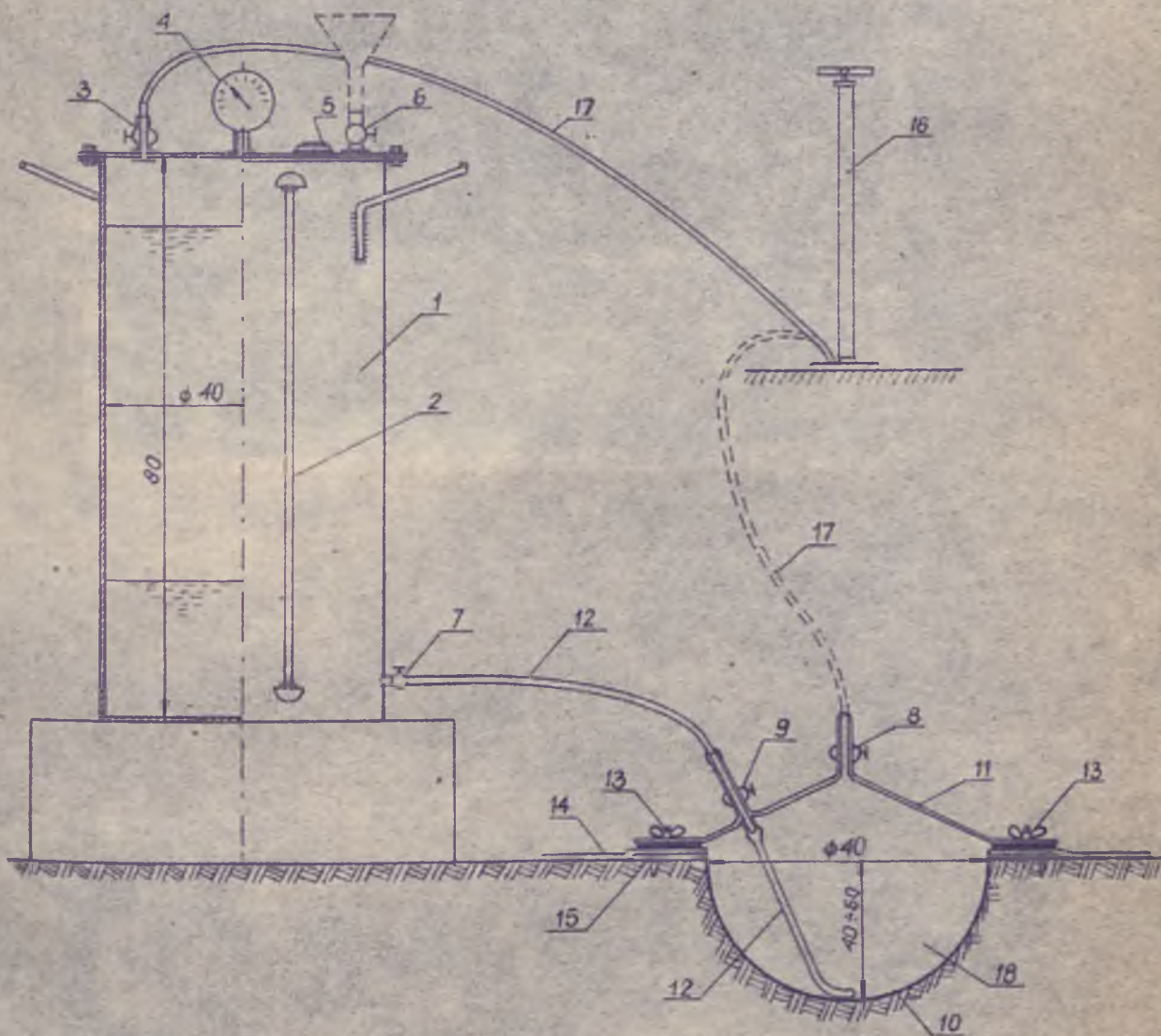


Rys. 6.3. ZALEŻNOŚĆ γ_{os} GRUNTU GRUBOOKRUCHOWEGO OD OBJĘTOŚCI PRÓBY W ZAPORZE [68]



Rys. 6.4 ZALEŻNOŚĆ τ_{05} GRUNTU GRUBOKLASTYCZNEGO Z TRESNEJ OD OBJĘTOŚCI WYKOPU

● - PRÓBY POJEDYNCZE . POZOSTAŁE OZNACZENIA DOTYCZĄ PRÓB SERYJNYCH

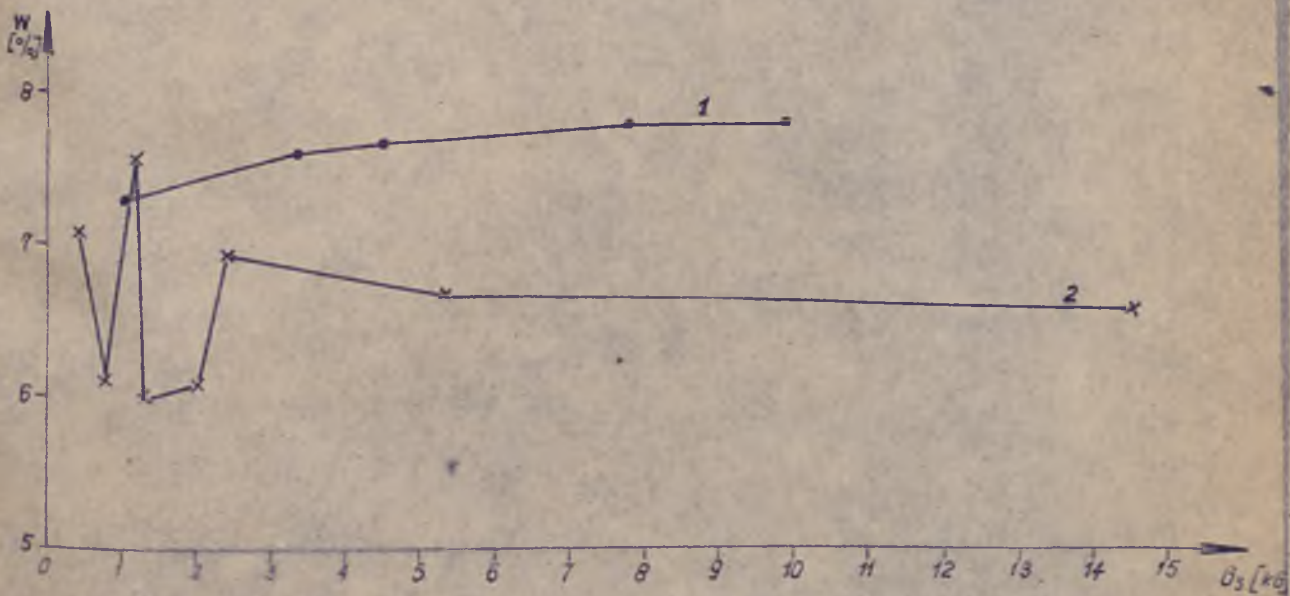


Rys. 6.5. APARAT PRZEPONOWY

1. ZBIORNIK $\phi 40$ cm
2. RURKA WODOWSKAZOWA
3. ZAWÓR
4. MANOMETR
5. LIBELA PUDEŁKOWA
6. ZAWÓR
7. ZAWÓR
8. ZAWÓR
9. ZAWÓR
10. PRZEPONA GUMOWA
11. POKRYWA STOŻKOWA Z ALUMINIUM
12. PRZEWÓD GUMOWY
13. ŚRUBY KREPUJĄCE PIERŚCIEN Z POKRYWĄ
14. PIERŚCIEN-PODEŚT
15. PIERŚCIEN SZABLON
16. POMPKA POWIETRZNA
17. PRZEWÓD GUMOWY
18. KOMORA POMIAROWA

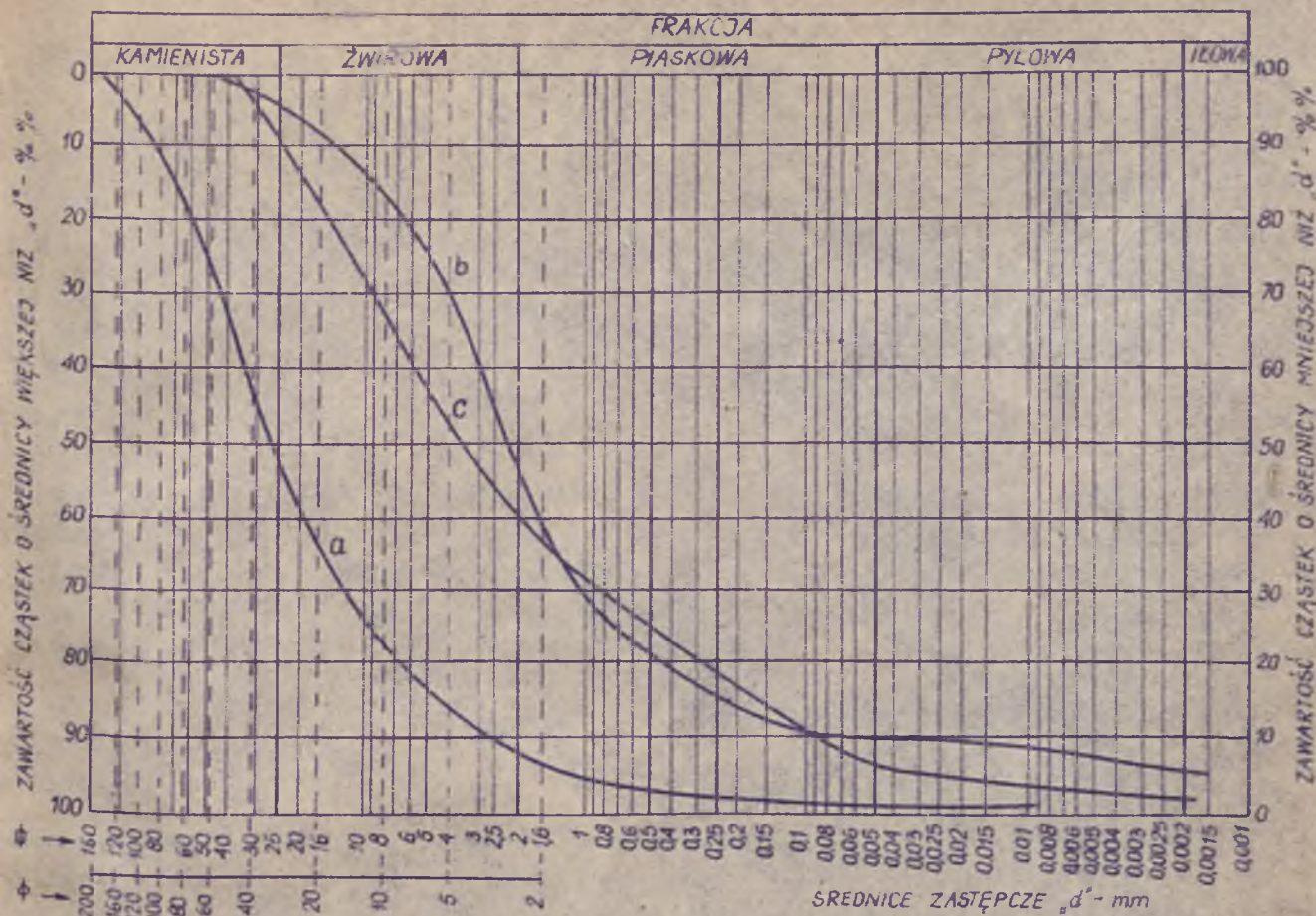


Rys. 6.6. POMIAR OBJĘTOŚCI DOŁKA PRZY POMOCY FOLII I WODY
-DOŁEK WYPEŁNIONY WODĄ



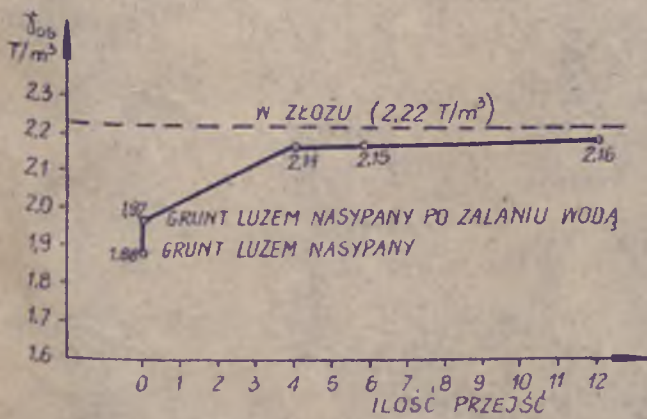
Rys. 6.7. ZALEŻNOŚĆ WILGOTNOŚCI OD ILOŚCI GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO
($\phi < 80$ mm)

● 1- GRUNT Z WISŁY-CZARNE; × 2- GRUNT ZE SRDOMWIEC WYZNYCH.

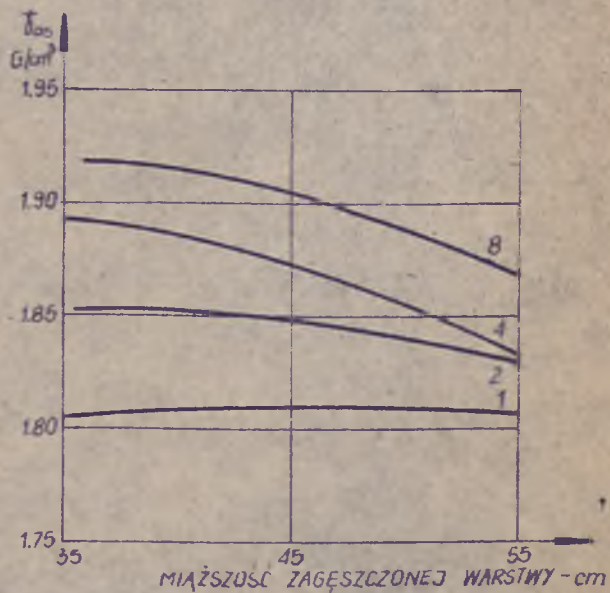


Rys. 7.1. WYKRESY UZIARNIENIA GRUNTU

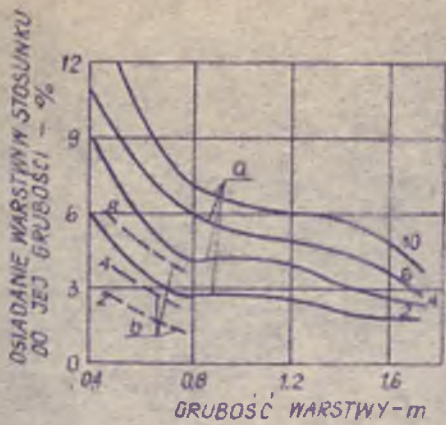
- a. WYKRES UZIARNIENIA GRUNTU W BADANIACH RÓZDZIESTWIENSKIEGO [73]
- b. WYKRES UZIARNIENIA GRUNTU W BADANIACH R.R.L. [75]
- c. WYKRES UZIARNIENIA GRUNTU W BADANIACH S.G.G.W. [46]



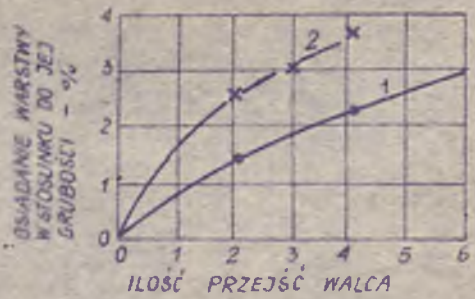
Rys. 7.2. ZALEŻNOŚĆ ZAGĘSZCZENIA OD ILOŚCI PRZEJŚĆ SPYCHARKI [73] (GRUBOŚĆ WARSTWY 25 cm)



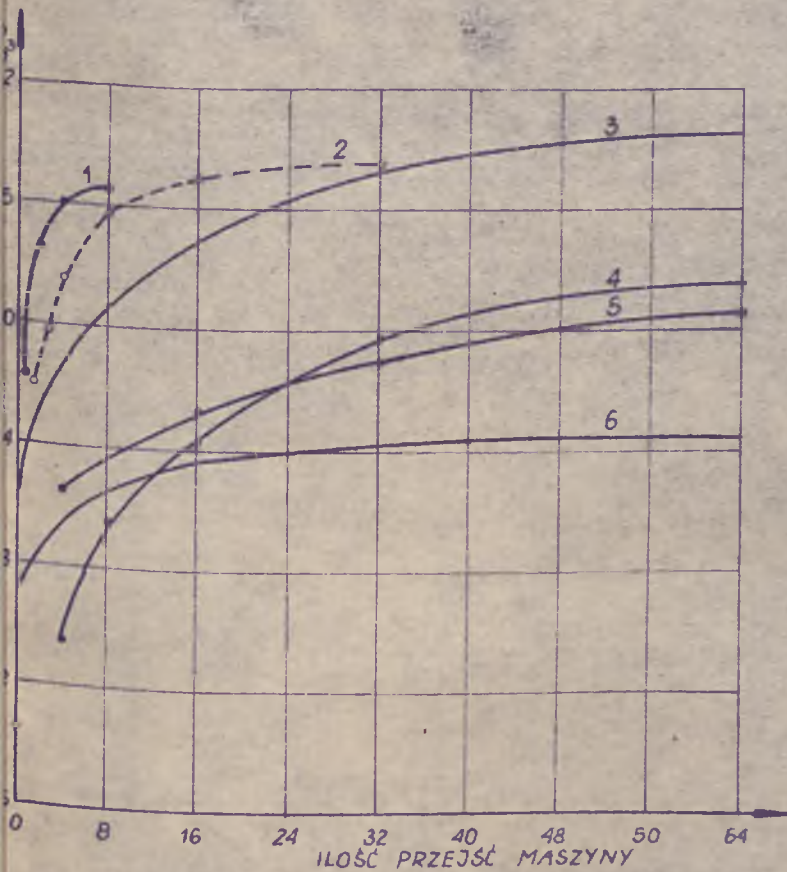
Rys. 7.3. ZALEŻNOŚĆ CIĘŻARU OBJĘTOŚCIOWEGO SZKIELETU GRUNTOWEGO OD MIĄŻSZOŚCI ZAGĘSZCZANEJ WARSTWY. MASZYNA ZAGĘSZCZAJĄCA - UBIJAK ES-200 [46]
8, 4, 2, 1 - ILOŚĆ PRZEJŚĆ UBIJAKA
 $\gamma_{os, max} = 2.09 \text{ G/cm}^3$ $w_{opt} = 9.2 \%$



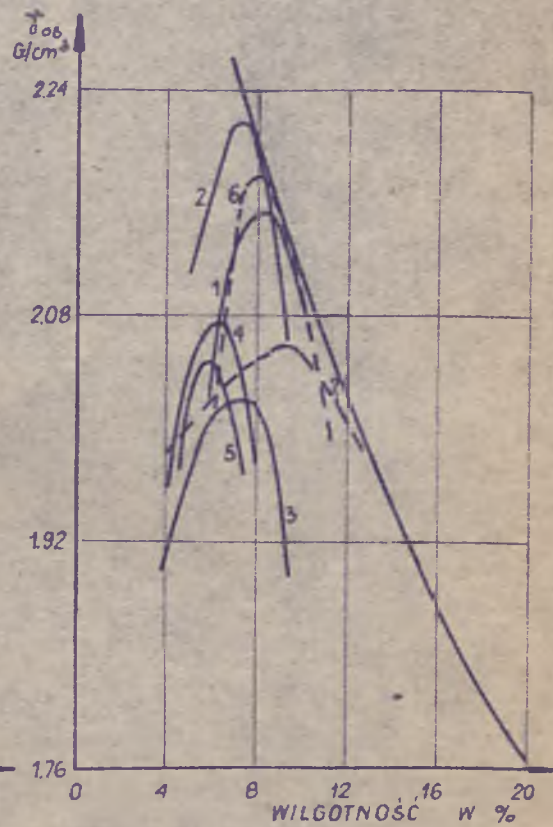
Rys. 7.4. ZALEŻNOŚĆ OSIADANIA KAMIENNEGO NARZUTU OD ILOŚCI PRZEJŚĆ WIBRACYJNYCH WALCÓW PRZY RÓŻNEJ GRUBOŚCI WARSTWY [10] (CYFRAMI OZNACZONO ILOŚĆ PRZEJŚĆ WALCA)
 a - WALEC BROS VP-20D (9,1T)
 b - WALEC FERGUSON 65 (4,5T)



Rys. 7.5. OSIADANIE NASYPU W ZALEŻNOŚCI OD ILOŚCI PRZEJŚĆ WALCÓW WIBRACYJNYCH O CIĘŻARZE 9,1 I 13,6 T [10]
 1 - WALEC FERGUSON (9,1T)
 2 - WIBRO-PLUS CT-60 (13,6T)
 GRUBOŚĆ ZAGĘSZCZANEJ WARSTWY 90cm



7.6. ZALEŻNOŚĆ ZAGĘSZCZENIA OD ILOŚCI PRZEJŚĆ MASZINY PRZY WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ [75]
 GRUBOŚĆ WARSTWY ORUNTU LUZEM NASYPANEGO 23,5cm
 1. UBIJAK DISŁOWSKI 0,5T
 2. WALEC GŁADKI STATYCZNY 8T
 3. WALEC GŁADKI STATYCZNY 2,75T
 4. WALEC OKOŁKOWANY 5T
 5. WALEC OKOŁKOWANY 4,5T
 6. WALEC OGUMIONY WIELOKOŁOWY 12T (9 KÓŁ, CIŚNIENIE 2,5 at)

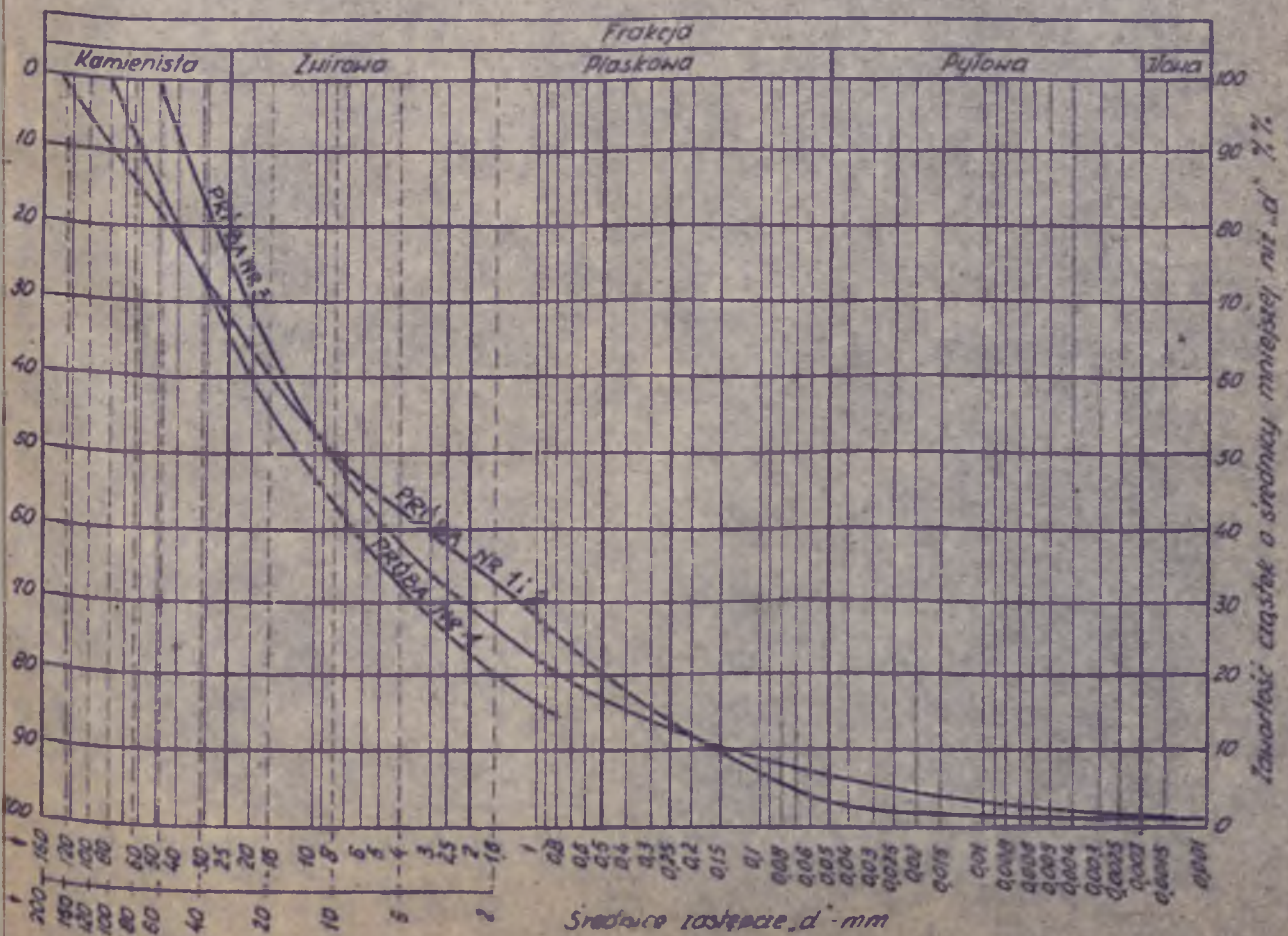


Rys. 7.7. ZALEŻNOŚĆ γ_{os} OD WILGOTNOŚCI UZYSKANA PRZY ZAGĘSZCZANIU 23,5cm WARSTWY GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO RÓŻNYMI MASZYNAMI [75]
 1. 64 PRZEJŚCIA WALCA 2,75 T
 2. 32 PRZEJŚCIA WALCA 8 T
 3. 64 PRZEJŚCIA WALCA 12T (WIELOKOŁ.)
 4. 64 PRZEJŚCIA WALCA 5T (OKOŁKOW.)
 5. 64 PRZEJŚCIA WALCA 4,5T (OKOŁKOW.)
 6. 5 PRZEJŚĆ UBIJAKA 0,5T
 7. BADANIA STANDARTOWE WG METODY PROCTORA

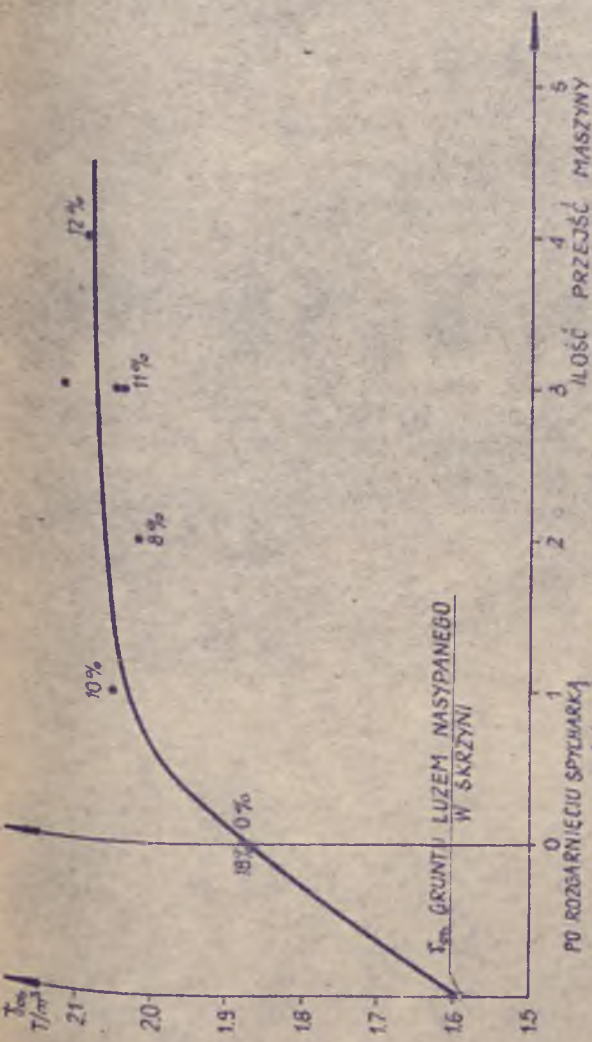
Badanie uziarnienia gruntu

Nr tematu Nr badania Nr otworu
 Miejsce budowy Głębokość m
 Próbkę pobrano z

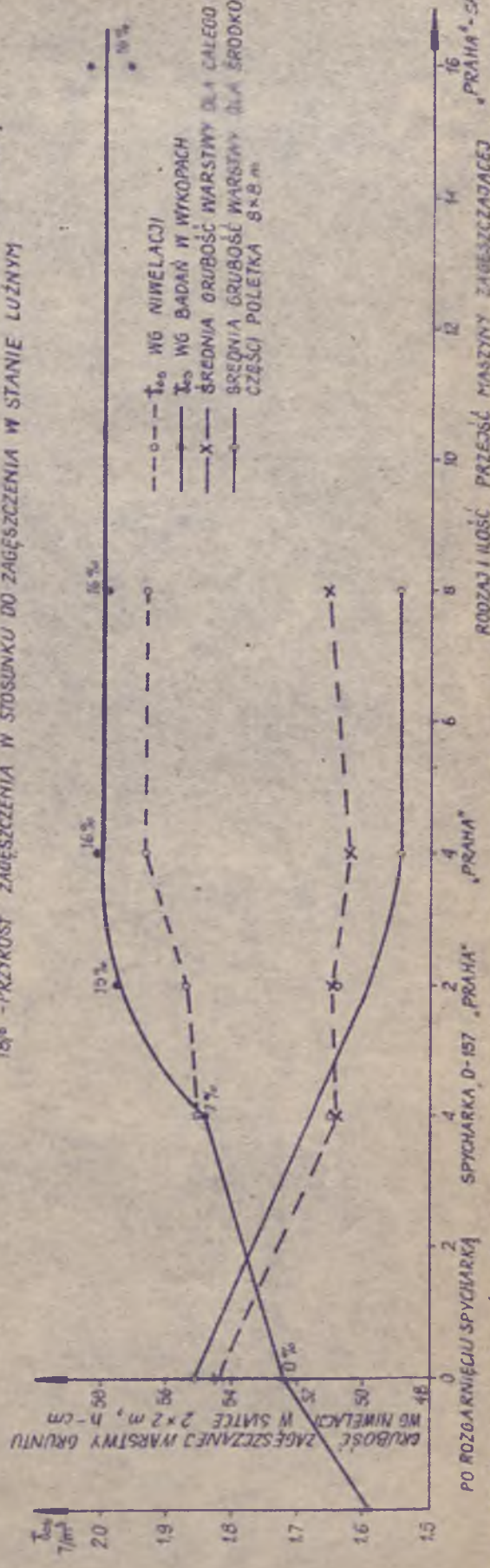
Badanie makroskopowe								Wyniki badań laboratoryjnych						
Rodzaj gruntu				Zawartość CaCO ₃ %				Rodzaj gruntu wg badań laboratoryjnych						
Domieszki				Wilgotność				Skład uziarnienia						
Barwa gruntu				Stan gruntu				φ ziarn	>2 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	<0,002 mm		
Jłosc wałeczkołan								% zawart						
Pomiary areometryczne								% zawartość ziarn o φ < 2 mm						
Rozpoczęcie pomiarów dn				godz.				Ciężar właściwy		Wilgotność		Straty wagowe		
Areometr Nr				Cylinder Nr				δ = g/cm ³		W = %		S = %		
Dodany stabilizator								Badanie wykonane dn						
czas podziyu	temp. zamiesziny	skrócony wskaźnik areometru	R ₁ %	R ₂ %	R ₃ %	R ₄ %	Srednice zastępcze cząsteczek	Jłosc cząstek o φ > d mm		Badanie sprawdź dn				
T	t°C	R ₅	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	d mm	x	%					
Charakterystyka roztworu								Analiza sitowa						
x = R 100 R								Wymiar oczek mm	Ciężar g	Zawartość %	Suma %	Pozostałość z sifa o φ mm		
												I waga g		
												st. waga g		
												Tara g		
												Przesiew g		
												Kształt ziarn		
												Domieszki		
								Σ =						



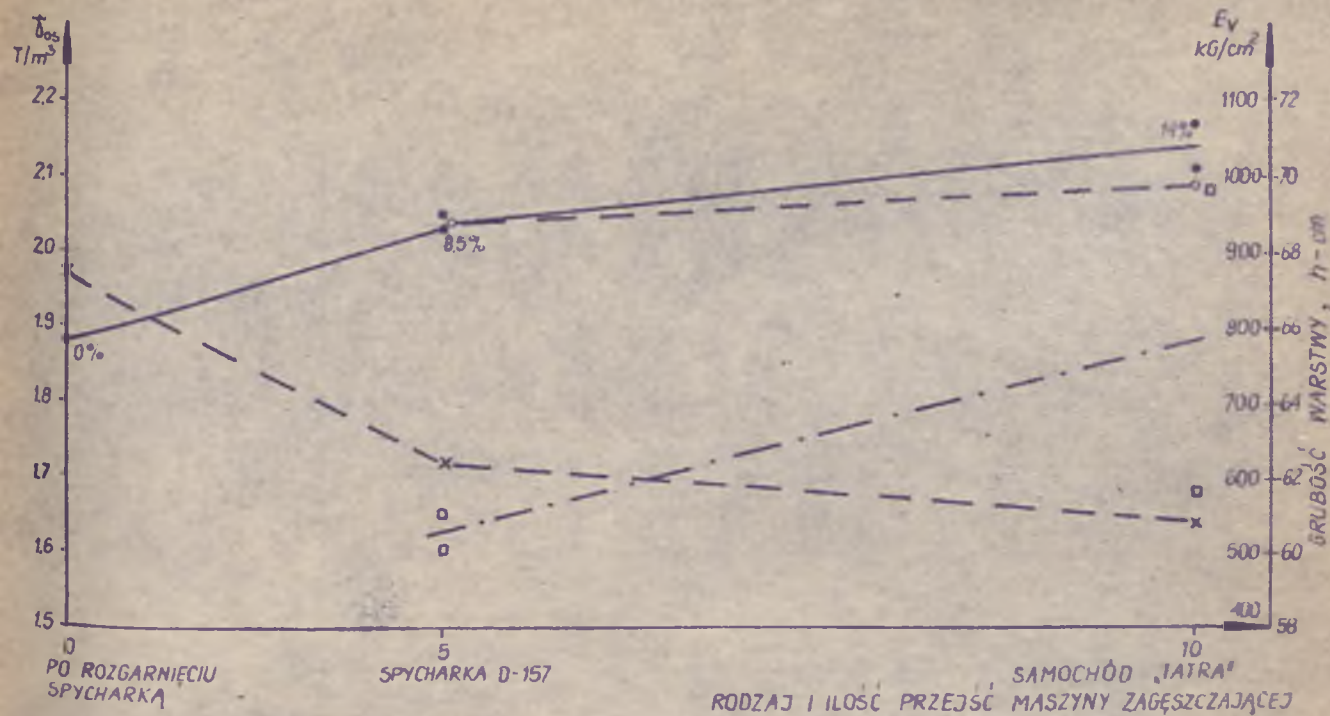
s. 7.8. WYKRESY UZIARNIENIA GRUNTU UŻYWANEGO DO PRÓBNYCH ZAGĘSZCZEŃ W TRESNEJ



Rys. 7.9. ZALEŻNOŚĆ δ_{05} GRUNTU GRUBOKLASTYCZNEGO Z ZAPORY W TRESNEJ OD ILOŚCI PRZEJŚĆ ZAGĘSZCZARKI WIBRACYJNEJ BCM-2
 0-12% - PRZYRÓST ZAGĘSZCZENIA W STOSUNKU DO ZAGĘSZCZENIA PO ROZBARNIĘCIU SPYCHARKĄ
 18% - PRZYRÓST ZAGĘSZCZENIA W STOSUNKU DO ZAGĘSZCZENIA W STANIE LUŻNYM

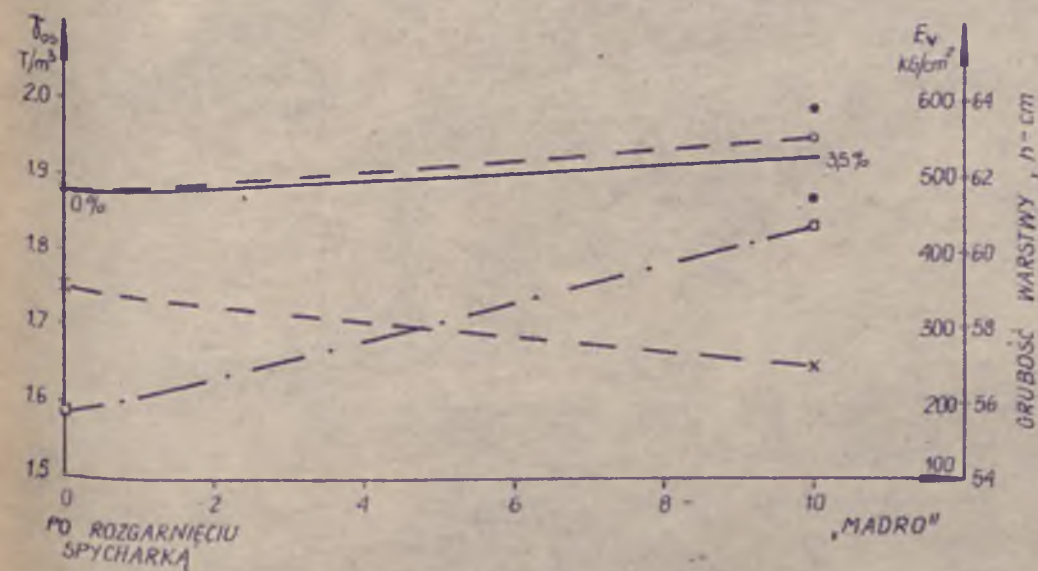


Rys. 7.10. ZALEŻNOŚĆ δ_{05} I GRUBOŚCI WARSTWY GRUNTU GRUBOKLASTYCZNEGO Z ZAPORY W TRESNEJ OD ILOŚCI PRZEJŚĆ MASZINY
 SPYCHARKA D-157 „PRAHA”
 RODZAJ I ILOŚĆ PRZEJŚĆ MASZINY ZAGĘSZCZAJĄCEJ „PRAHA” - SAMOCHOD

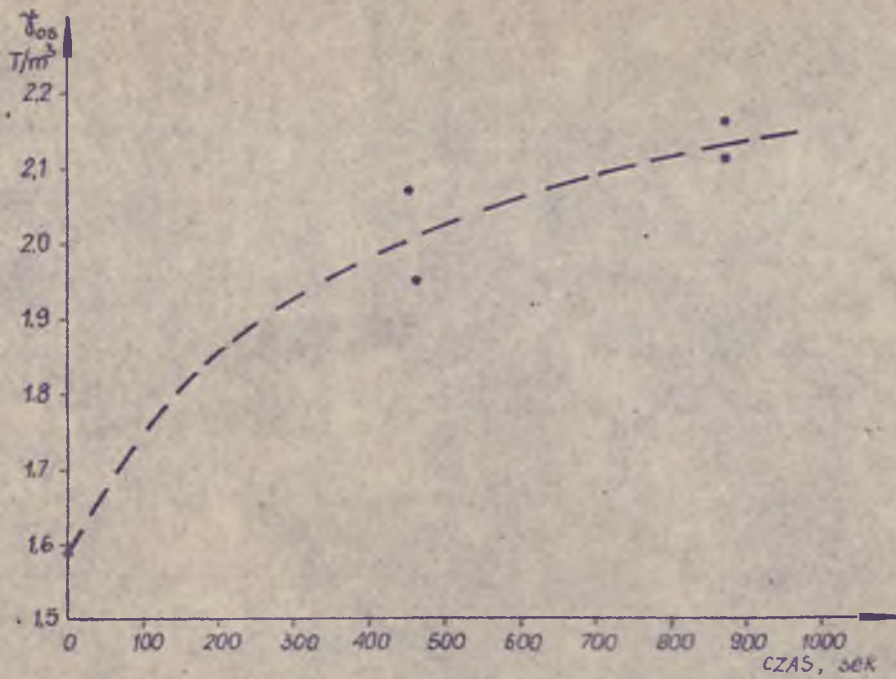


Rys. 7.11. ZALEŻNOŚĆ γ_{os} , E_v I GRUBOŚCI WARSTWY GRUNTU GRUBOKLASTYCZNEGO Z ZAPORY W TRĘSNEJ OD ILOŚCI PRZEJŚĆ MASZINY

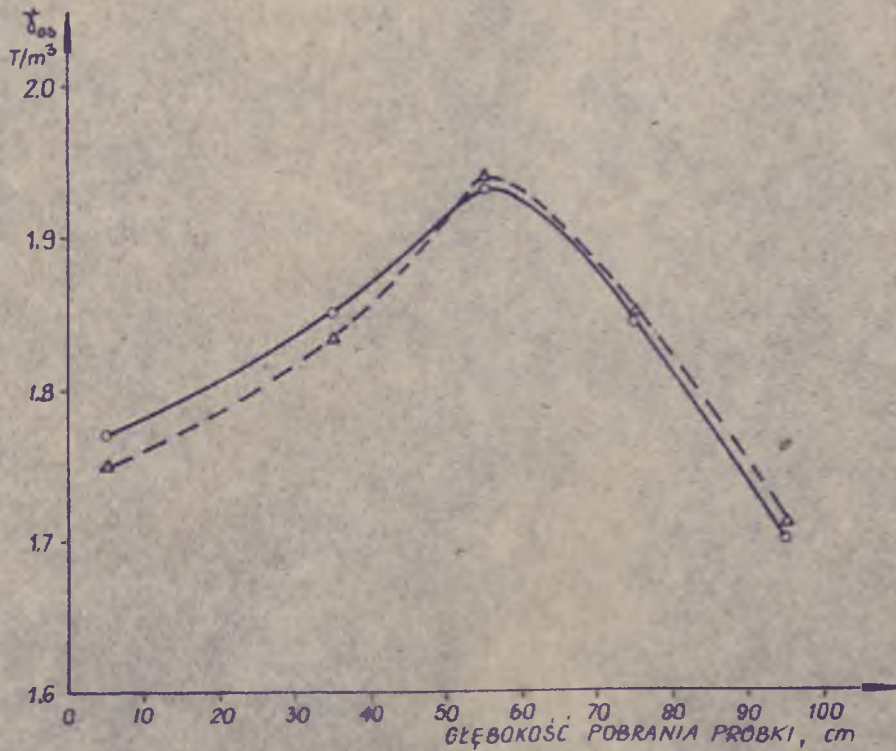
- γ_{os} WG BADAŃ W WYKOPACH
- -○- - γ_{os} WG NIWELACJI
- · - □ - MODUŁY ODKSZTAŁCENIA W ZAKRESIE OBCIĄŻEŃ 2-5 kg/cm²
- · - x - ŚREDNIA GRUBOŚĆ WARSTWY



Rys. 7.12. ZALEŻNOŚĆ γ_{os} , E_v I GRUBOŚCI WARSTWY GRUNTU GRUBOKLASTYCZNEGO ZAPORY W TRĘSNEJ OD ILOŚCI PRZEJŚĆ MASZINY (OZNACZENIA JAK NA RYS. 7.11.)

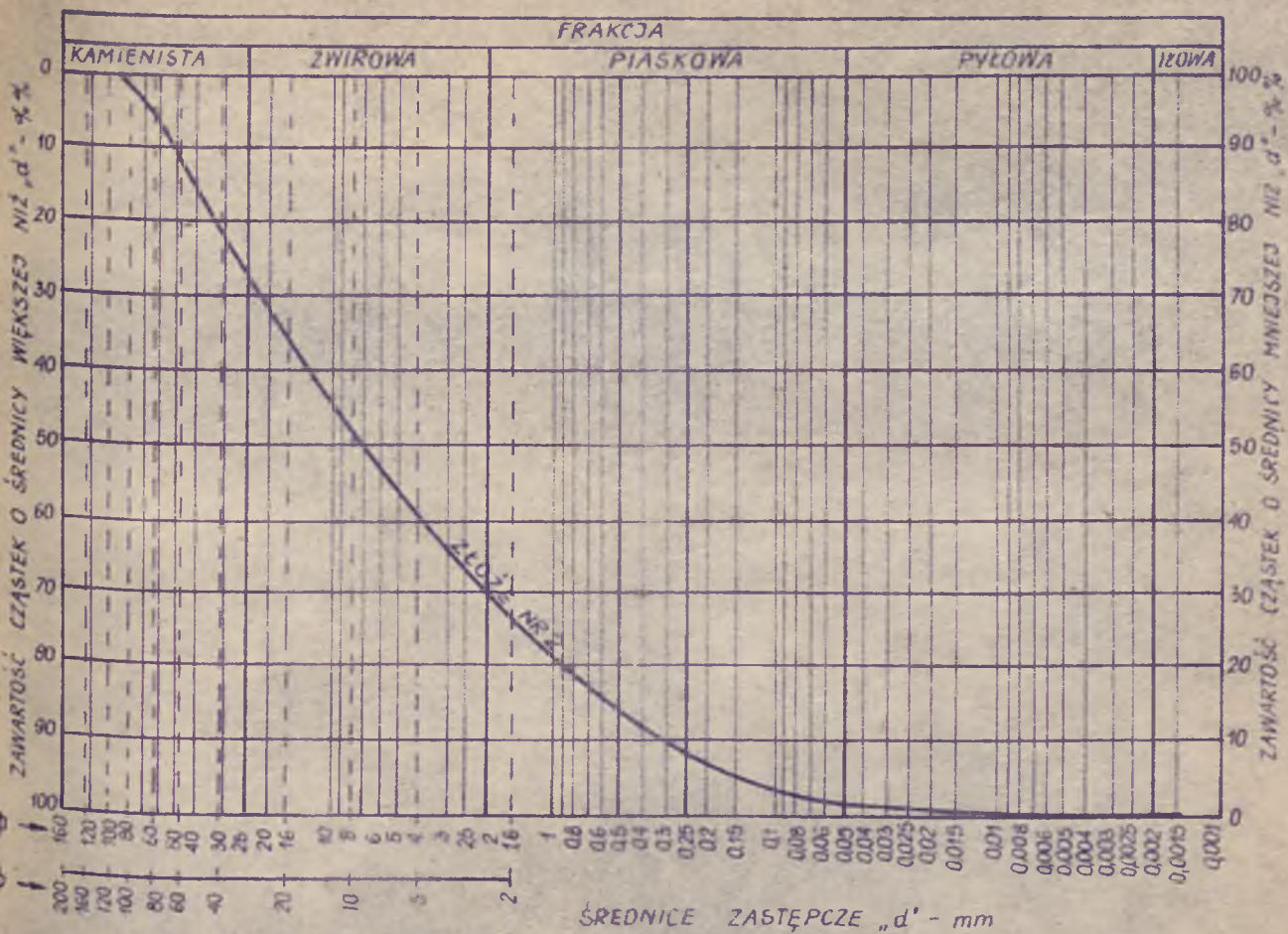


Rys. 7.13. ZALEŻNOŚĆ γ_{os} OD CZASU ZAGĘSZCZANIA
UBIJAKIEM ES-200

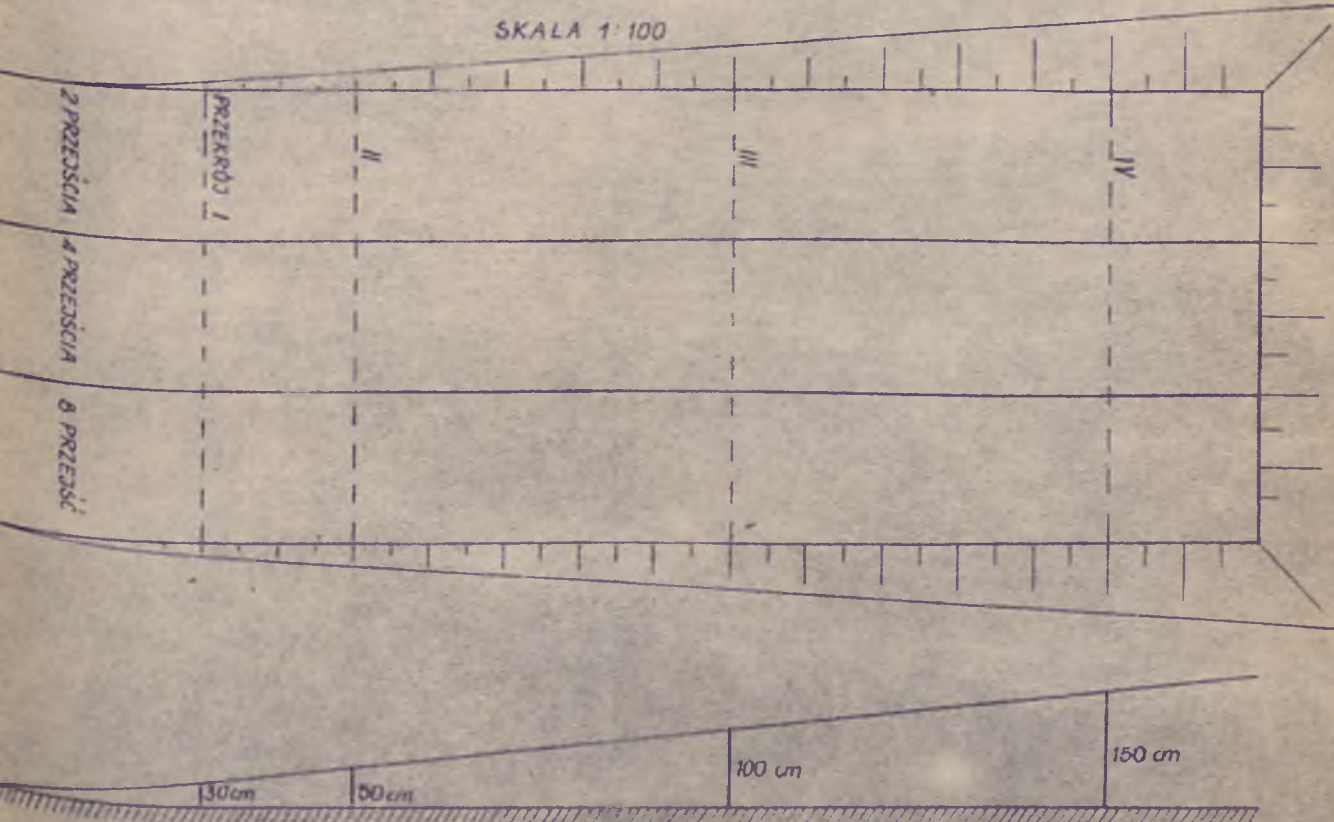


Rys. 7.14. ZALEŻNOŚĆ γ_{os} OD GŁĘBOKOŚCI POBRANIA
PRÓBK Z WARSTWY ŻWIRU O GRUBOŚCI 110 cm
SPÓSÓB ZAGĘSZCZANIA: 1 x ES-200
3 x BCM-2

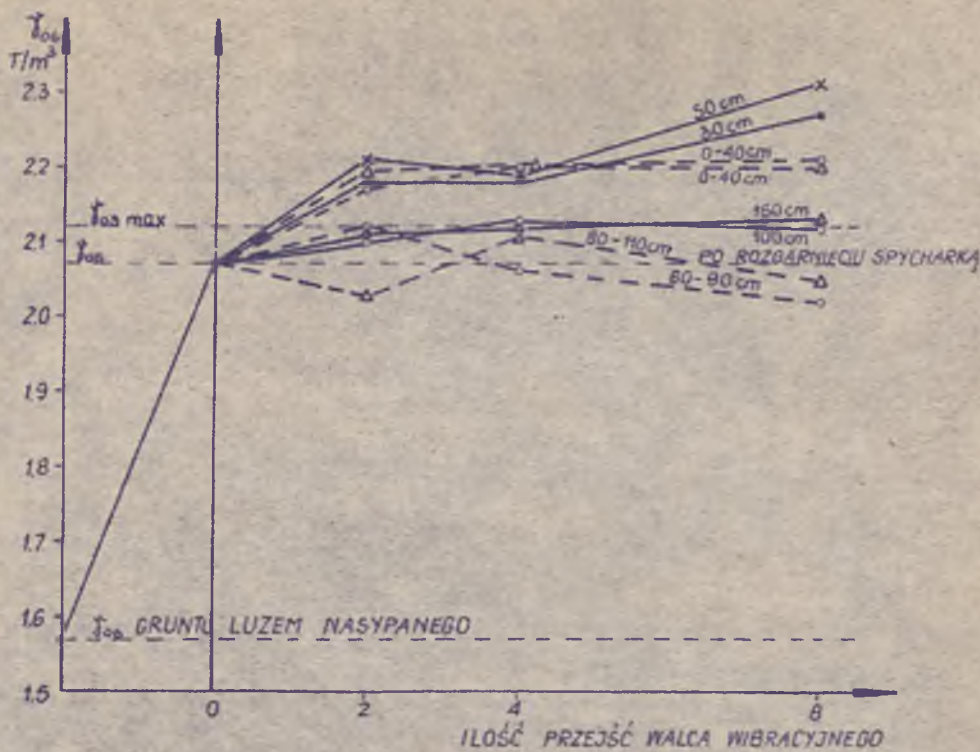
—□— DLA CYLINDRA ϕ 10 cm
- - Δ - - DLA CYLINDRA ϕ 15 cm



Rys. 7.15. WYKRES UZIARNIENIA GRUNTU Z POLETKA NA ZAPORZE W GŁĘBINOWIE



Rys. 7.16. PLAN I PRZEKRÓJ POLETKA DOŚWIADCZALNEGO WYKONANEGO NA KORPUSIE ZAPORY W GŁĘBINOWIE



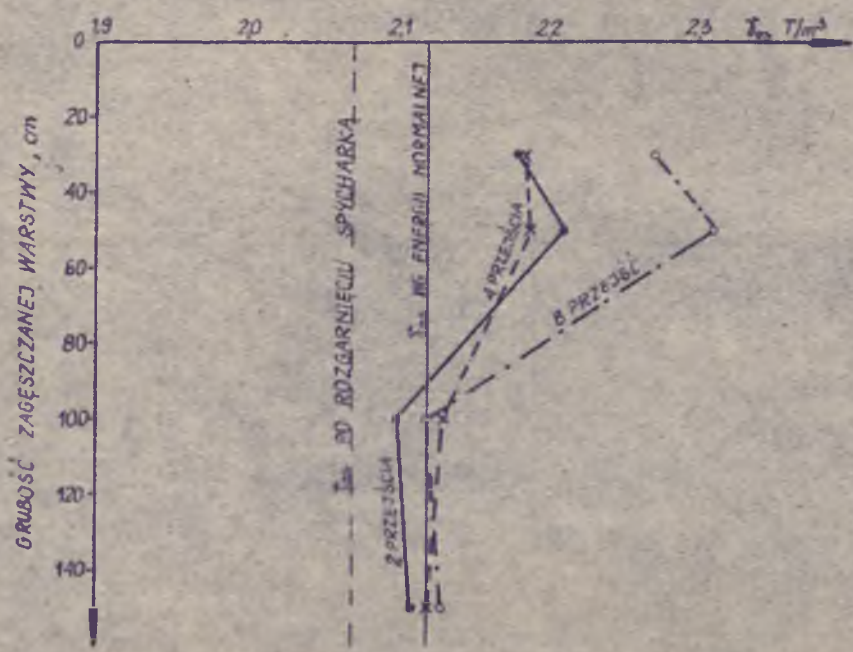
Rys. 7.17. ZALEŻNOŚĆ T_{os} OD ILOŚCI PRZEJŚĆ WALCA WIBRACYJNEGO TYPU SWAW-25 I GRUBOŚCI WARSTWY (GRUNT ZE ZŁOŻA NR 2).

WARTOŚCI ŚREDNIE T_{os} DLA PODANYCH GRUBOŚCI WARSTW:

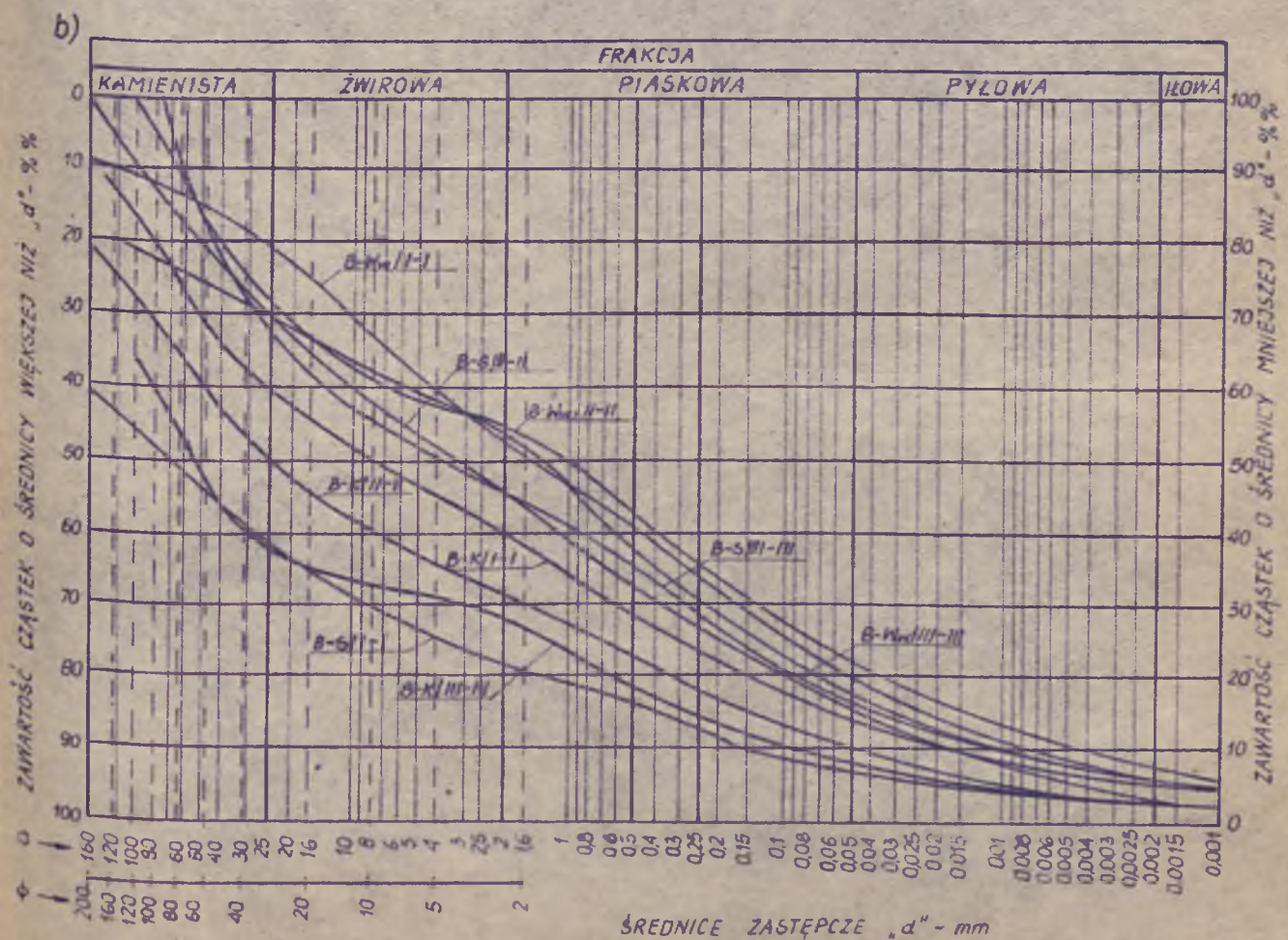
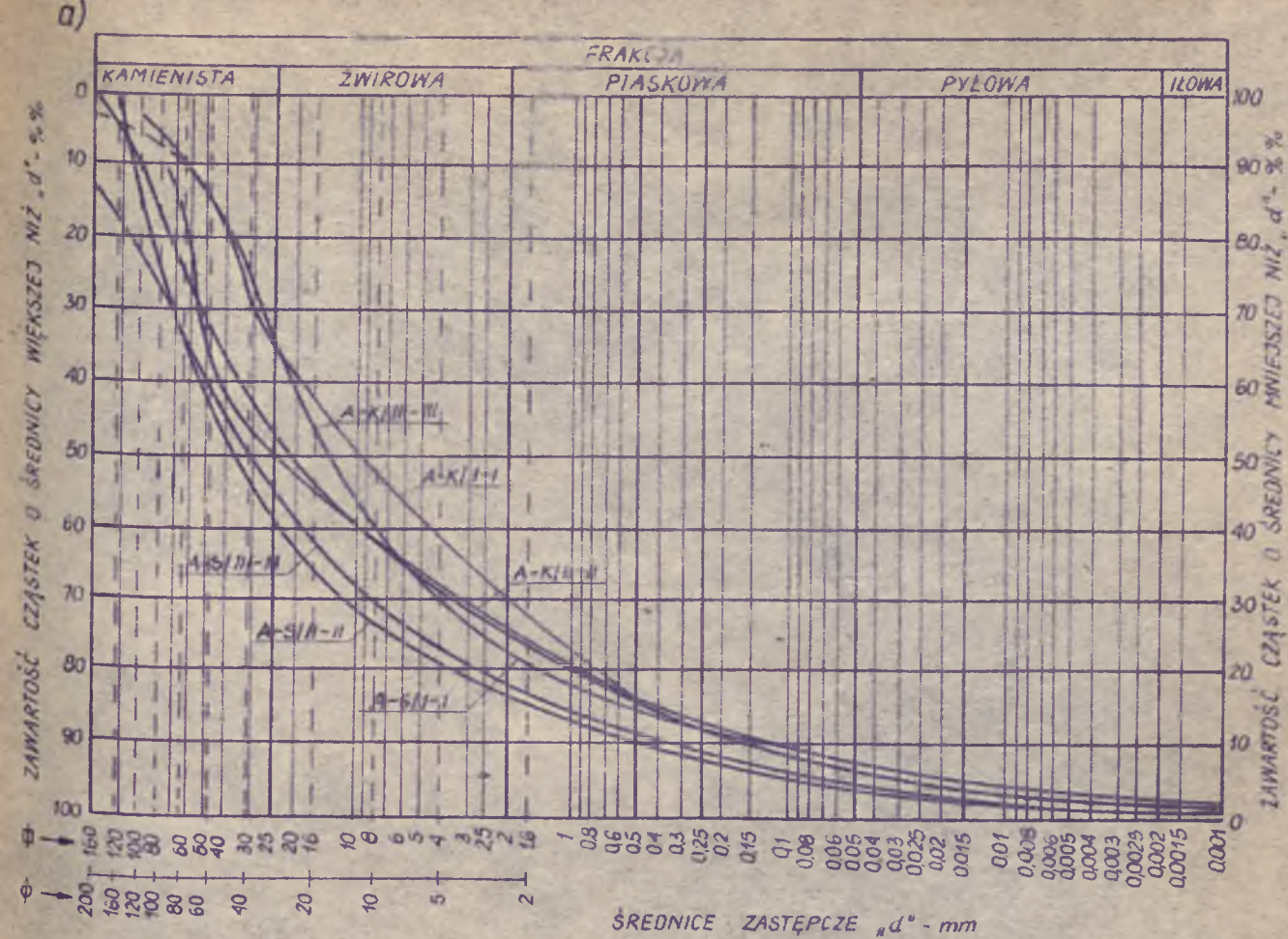
- 30 cm
- x— 50 cm
- △— 100 cm
- △— 150 cm

WARTOŚCI ŚREDNIE T_{os} NA POSZCZEGÓLNYCH GŁĘBOKOŚCIACH DANEJ WARSTWY

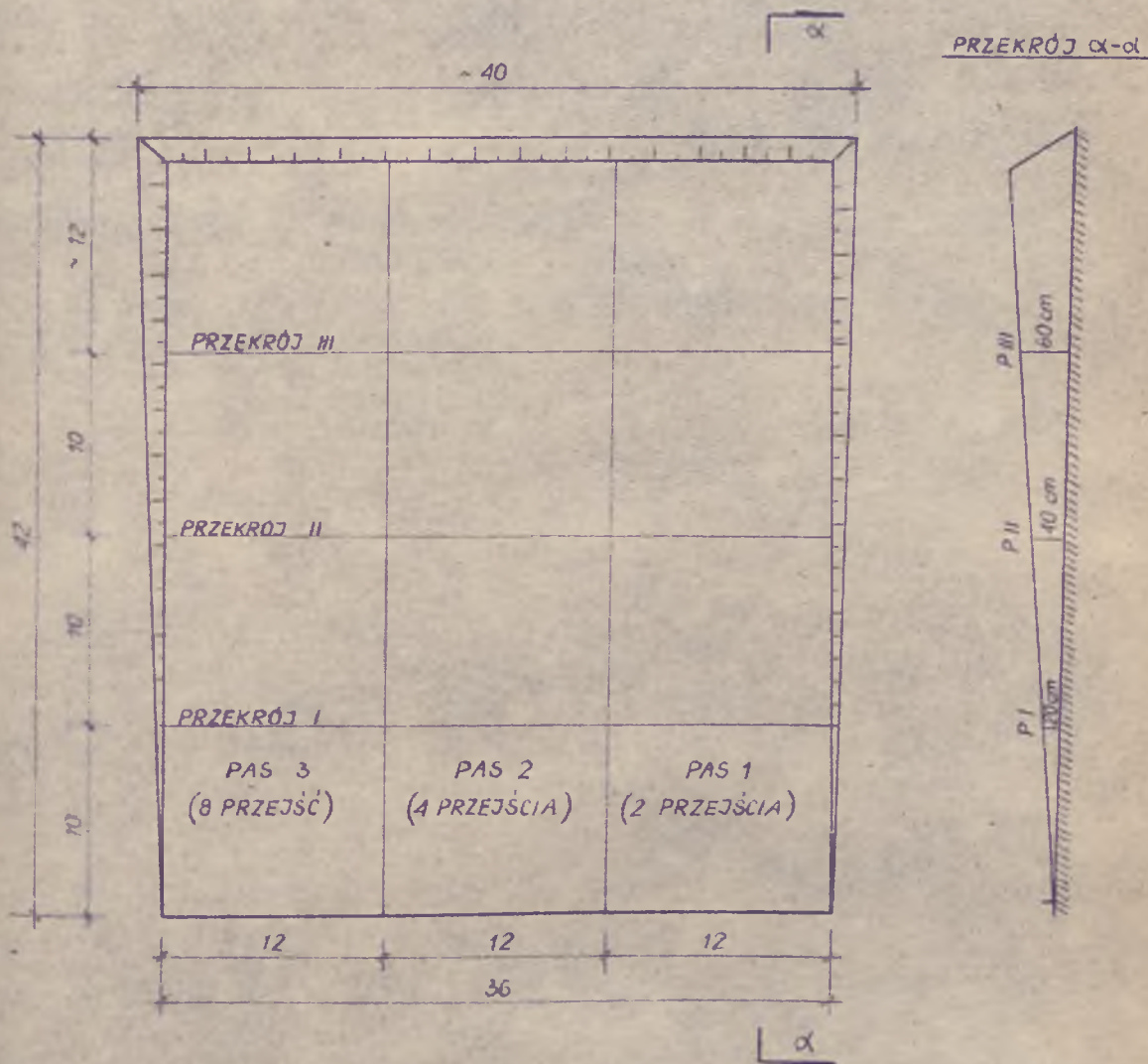
- -
- △-



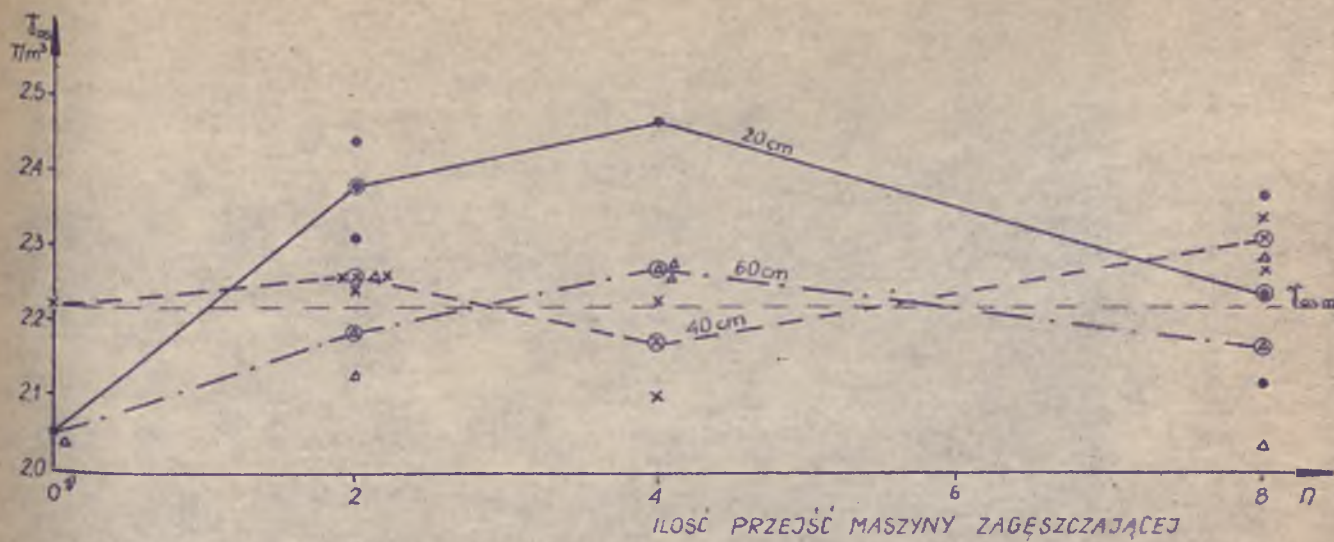
Rys. 7.18. ZALEŻNOŚĆ T_{os} OD GRUBOŚCI WARSTWY I ILOŚCI PRZEJŚĆ



Rys. 7.19. WYKRESY UZIARNIENIA GRUNTU Z POLETEK DOSWIADCZALNYCH
 a) GRUNT Z KAMIENIA B WIEŚKI (GRUNT A)
 b) GRUNT Z TARASU WYSOKIEGO B. WIEŚKI (GRUNT B)
 K ZAGĘSZCZANIE SAMOCHODEM KRAZ 1-1 - NUMER PRZEKROJU
 S ZAGĘSZCZANIE ŚPICHARKĄ W_w - ZAGĘSZCZANIE WALCEM WIBRACYJNYM

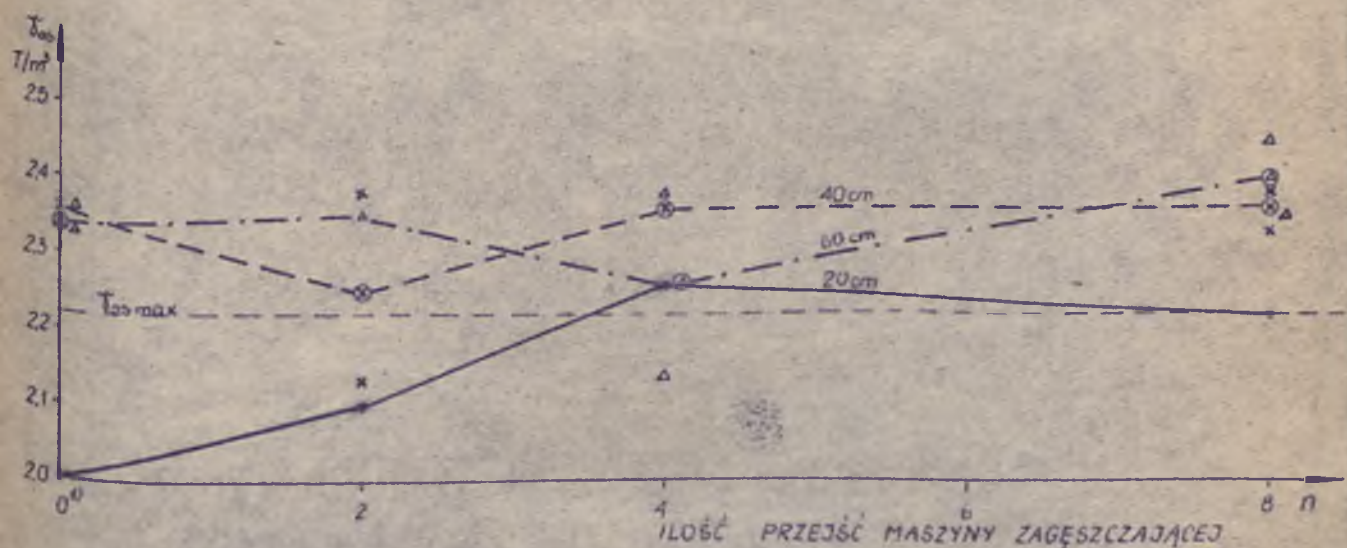


Rys. 7.20. WYMIARY I PRZEKRÓJ POLETEK DOŚWIADCZALNYCH W WISLE - CZARNE



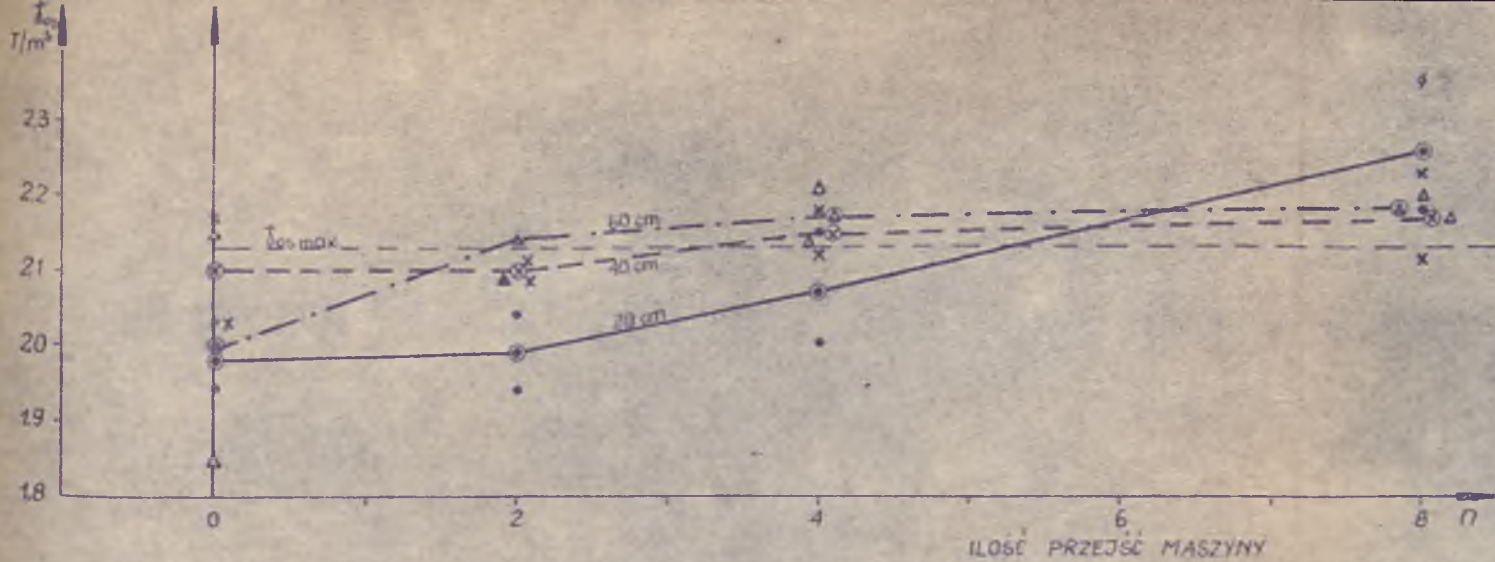
Rys. 7.21. WYNIKI BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU „A” PRZY POMOCY SAMOCHODU „KRAZ”

- 0⁰ - ILOŚĆ PRZEJŚĆ ; 0 - STAN PO ROZGARNIĘCIU PRYZM SPYCHARKĄ
- ⊗ ⊙ ŚREDNIE WARTOŚCI T_{0s}
 - GRUBOŚĆ WARSTWY 20 cm
 - - - x - - - GRUBOŚĆ WARSTWY 40 cm
 - - - Δ - - - GRUBOŚĆ WARSTWY 60 cm

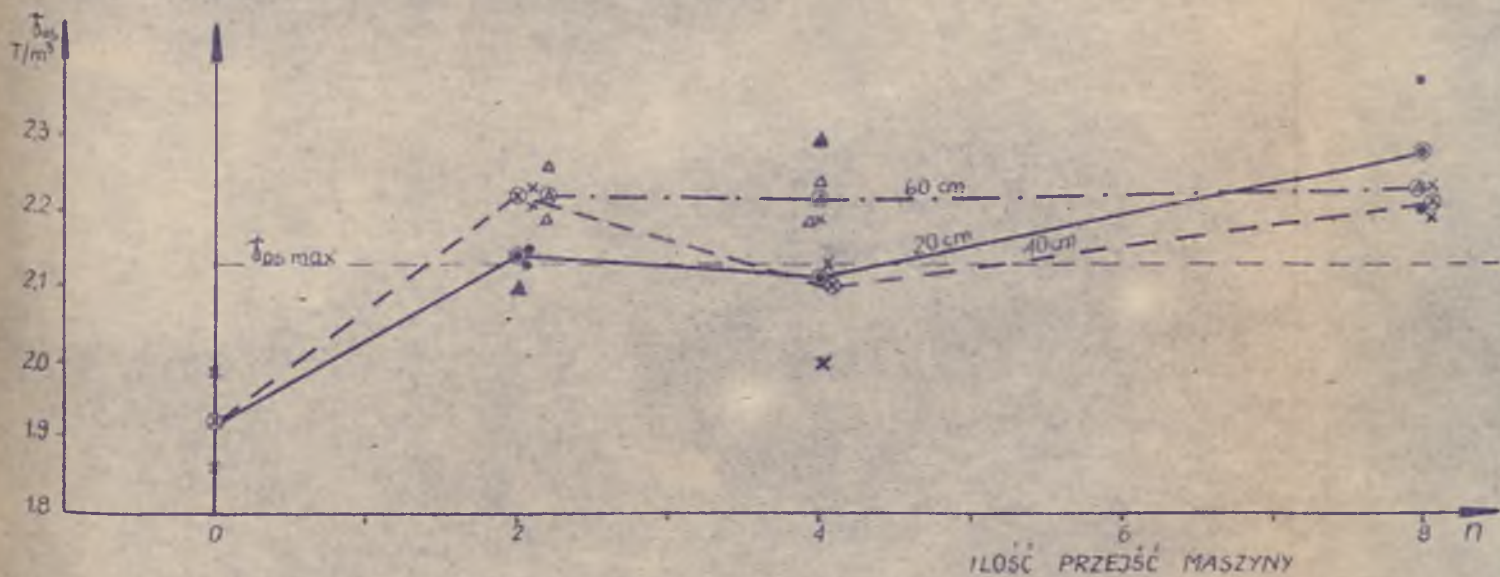


Rys. 7.22. WYNIKI BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU „A” PRZY POMOCY SPYCHARKI

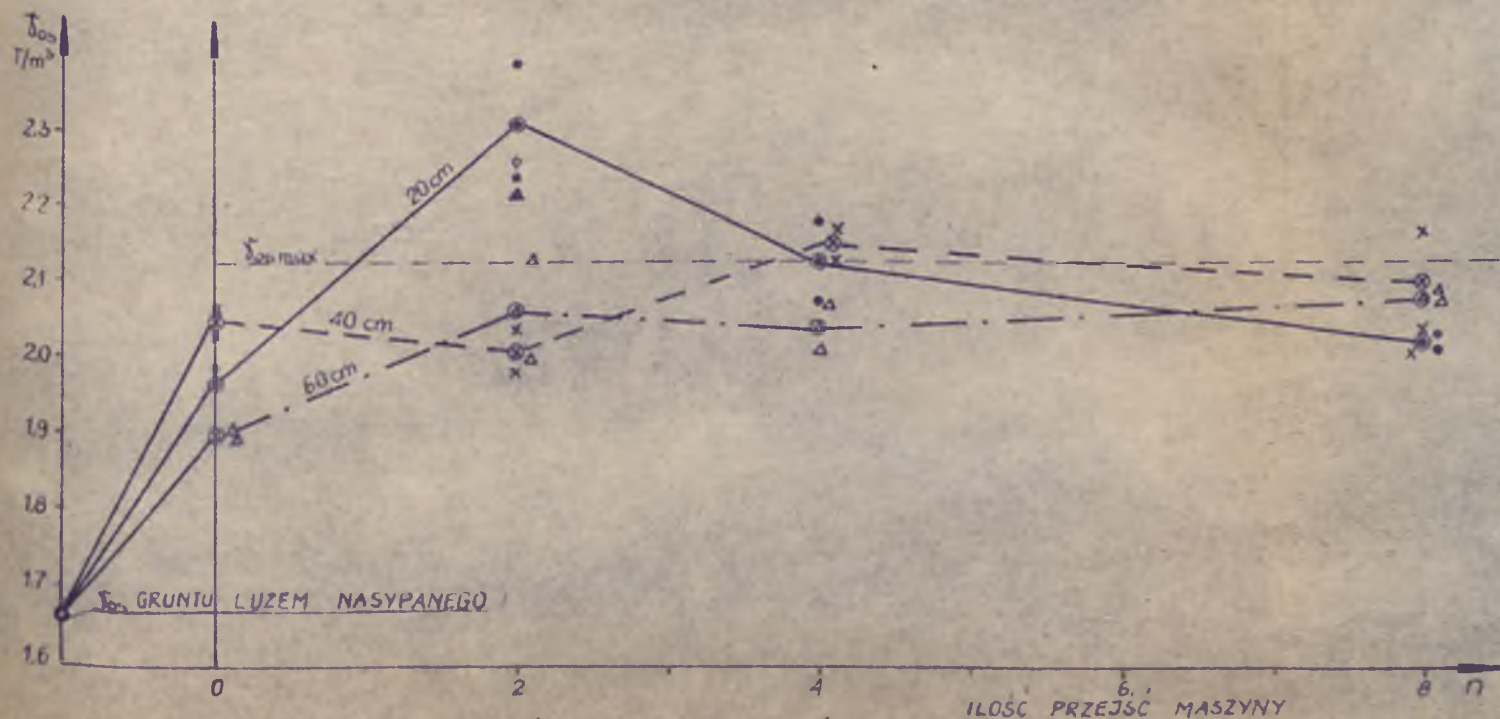
- 0⁰ - ILOŚĆ PRZEJŚĆ ; 0 - STAN PO ROZGARNIĘCIU PRYZM SPYCHARKĄ
- ⊗ ⊙ ŚREDNIE WARTOŚCI T_{0s}
 - GRUBOŚĆ WARSTWY 20 cm
 - - - x - - - GRUBOŚĆ WARSTWY 40 cm
 - - - Δ - - - GRUBOŚĆ WARSTWY 60 cm



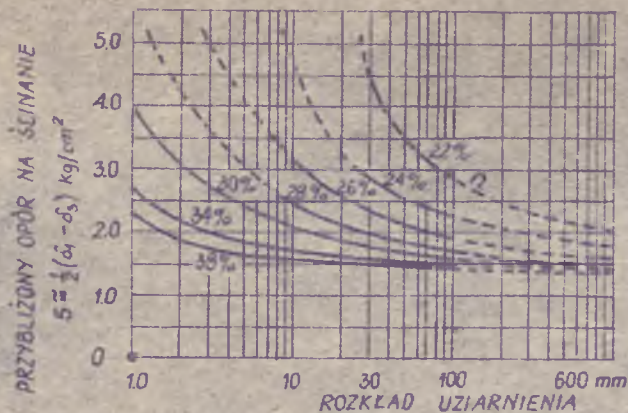
Rys. 7.23. WYNIKI BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU „B” PRZY POMOCY WALCA WIBRACYJNEGO
 ϕ , Δ - POMIAR OBJĘTOŚCI DOŁKA CALÓWKĄ



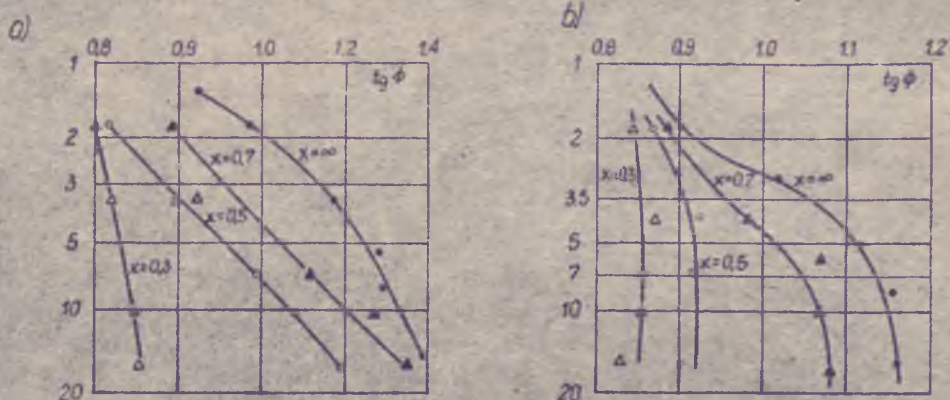
Rys. 7.24. WYNIKI BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU „B” PRZY POMOCY OBCIĄŻONEGO SAMOCHODU „KRAZ”



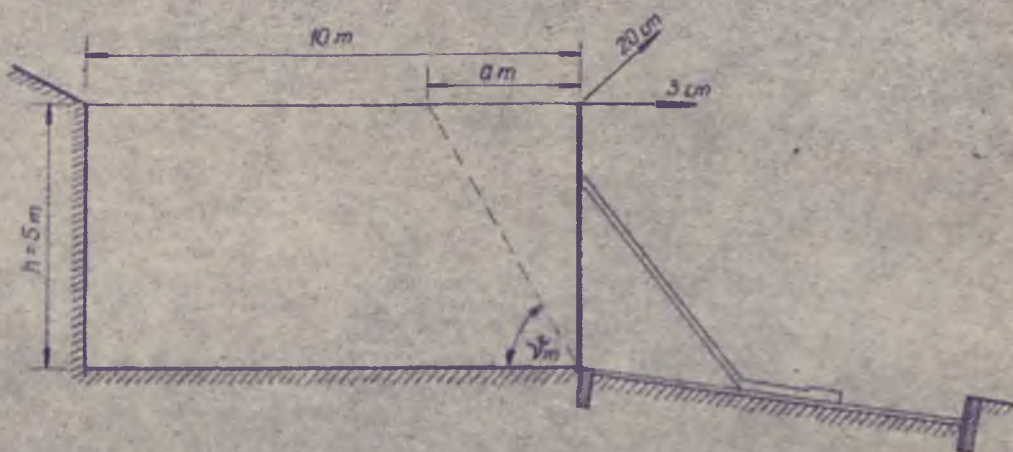
Rys. 7.25. WYNIKI BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU „B” PRZY POMOCY SPYCHARKI



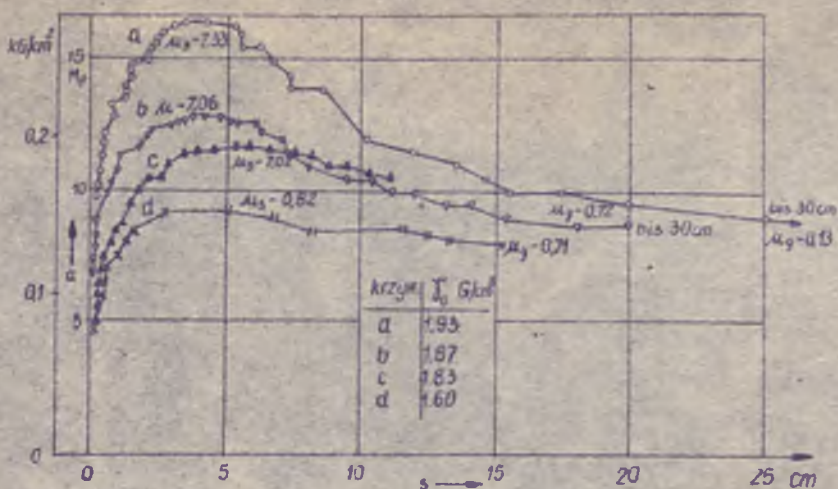
Rys. 8.1. ZALEŻNOŚĆ OPORU NA ŚCINANIE GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO OD UZIARNIENIA I POROWATOŚCI [99]



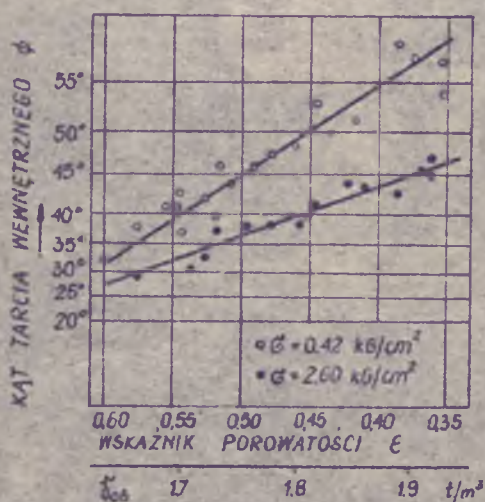
Rys. 8.2. WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE TŁUCZNIĄ (a) I ŻWIRU (b) WG BADAŃ HENNESSA [53]



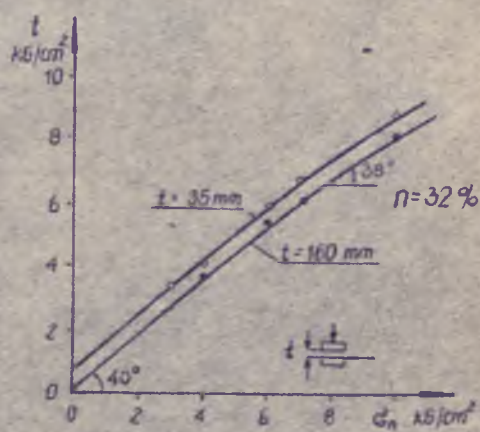
Rys. 8.3. ŚCIANKA PIONOWA DO OKREŚLANIA KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO [5]



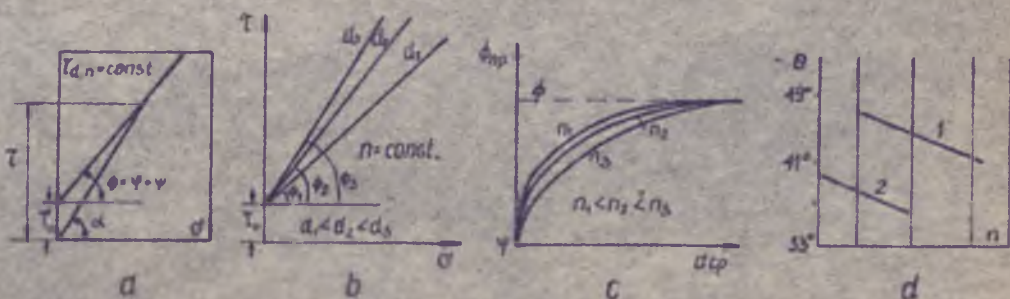
Rys. 8.4. ZALEŻNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA $\mu_s = \text{tg } \phi$ OD ZAGĘSZCZENIA I PRZESUNIĘCIA [84]



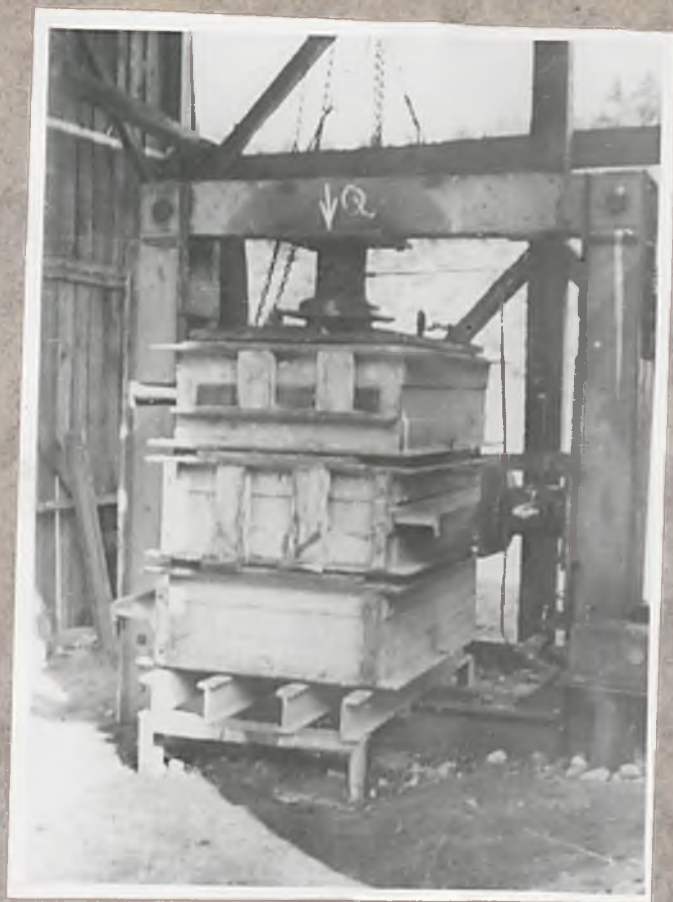
Rys. 8.5. ZALEŻNOŚĆ KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO OD OBCIĄŻENIA I ZAGĘSZCZENIA [79]



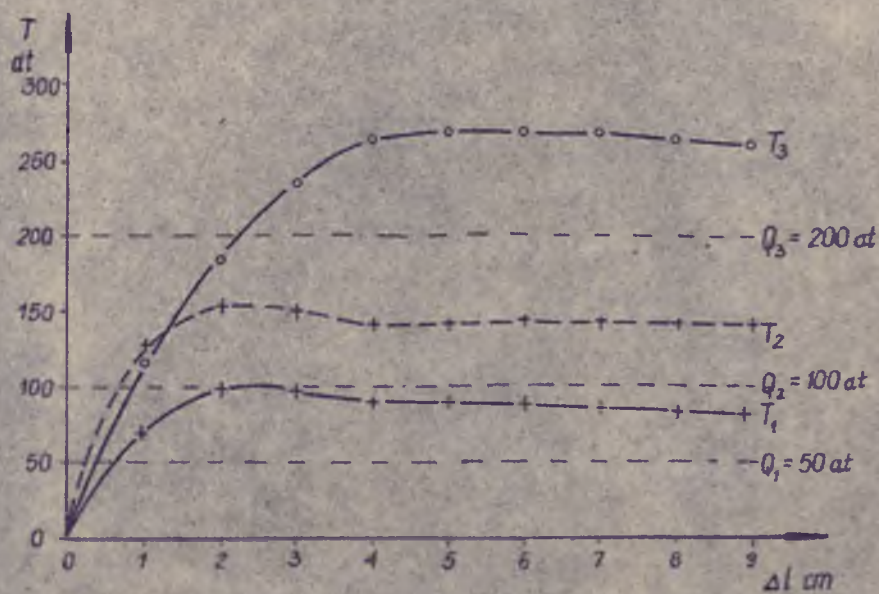
Rys. 8.6. WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE NURIĘKSKICH OTOCZAKÓW ($D_{max} = 200$ mm) [53]



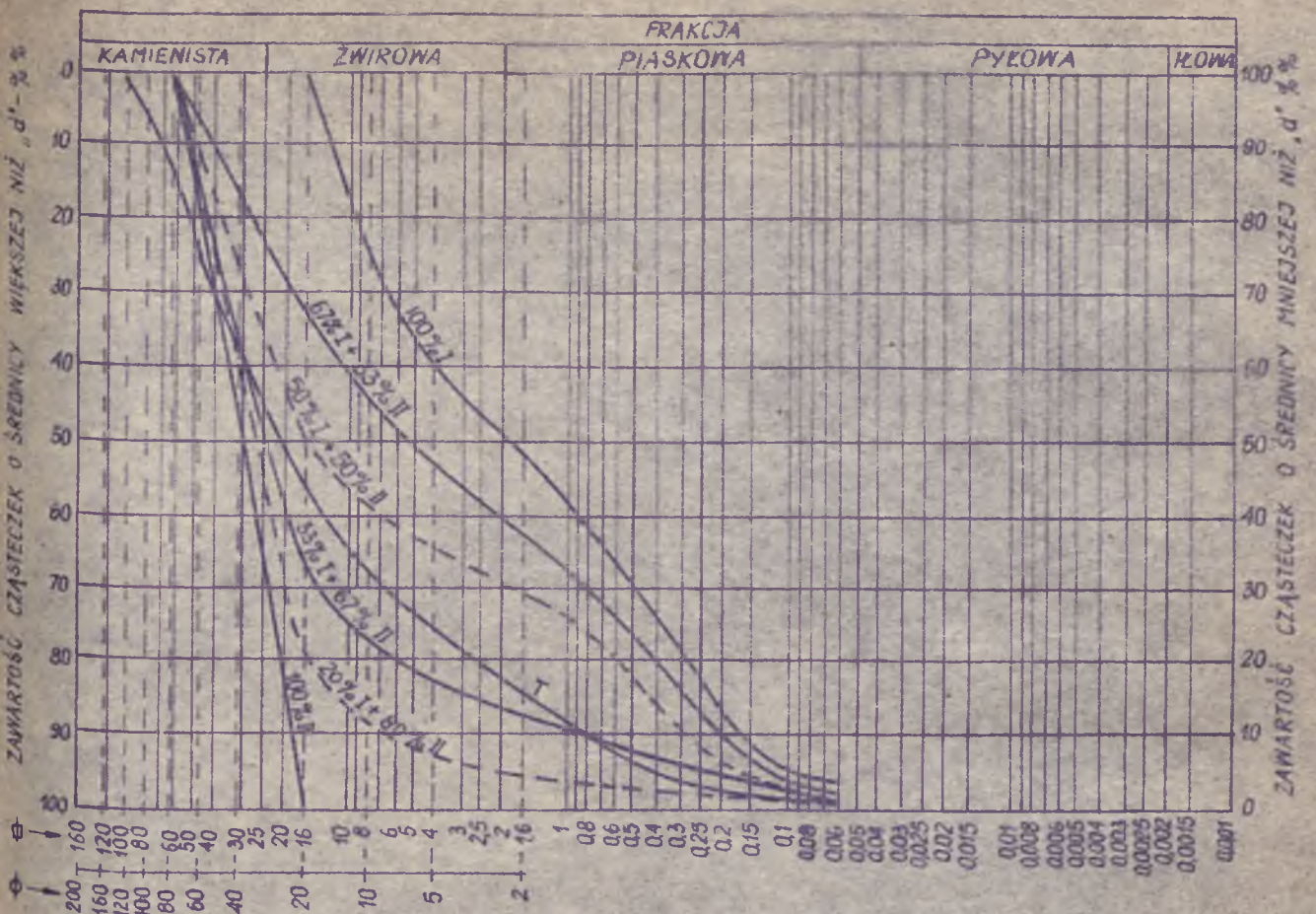
Rys. 8.7. WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE GRUBOKLASTYCZNYCH MATERIAŁÓW [54]
1. - TŁUCZEŃ ; 2. - ŻWIR



Rys. 8.8. WIELKOWYMIAROWY APARAT SKRZYNKOWY
(BEZ RAMEK)

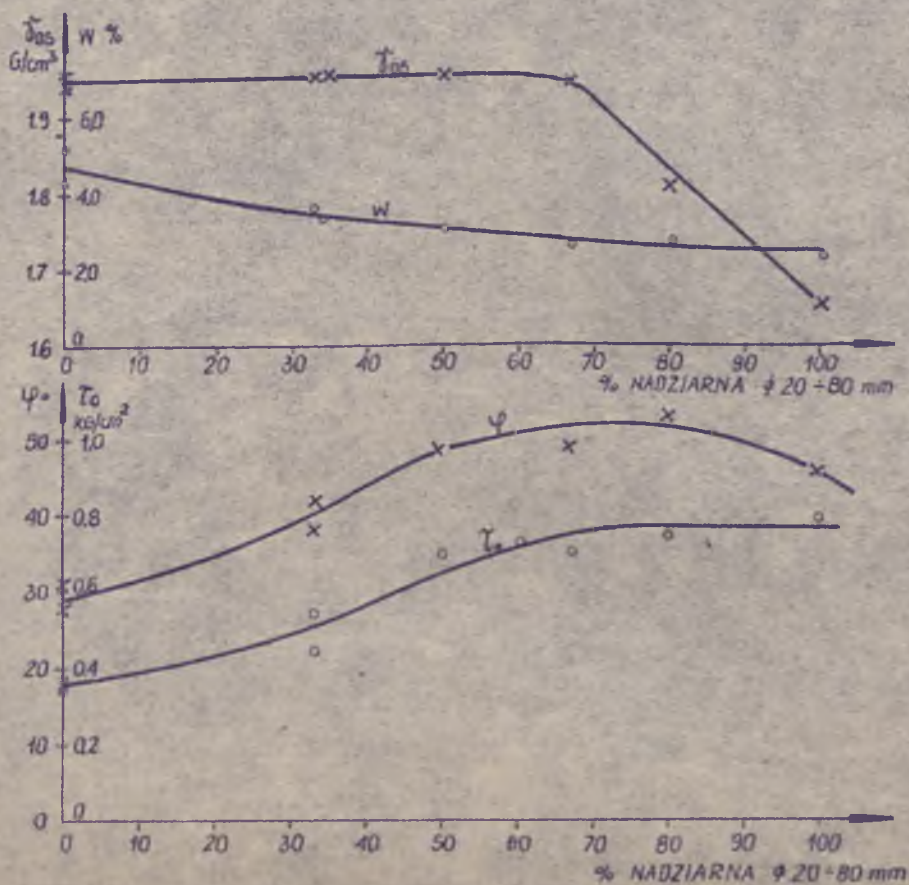


Rys. 8.9. ZALEŻNOŚCI SIŁY ŚCINAJĄCEJ T I OBCIĄŻENIA Q
OD PRZESUNIĘĆ POZIOMYCH

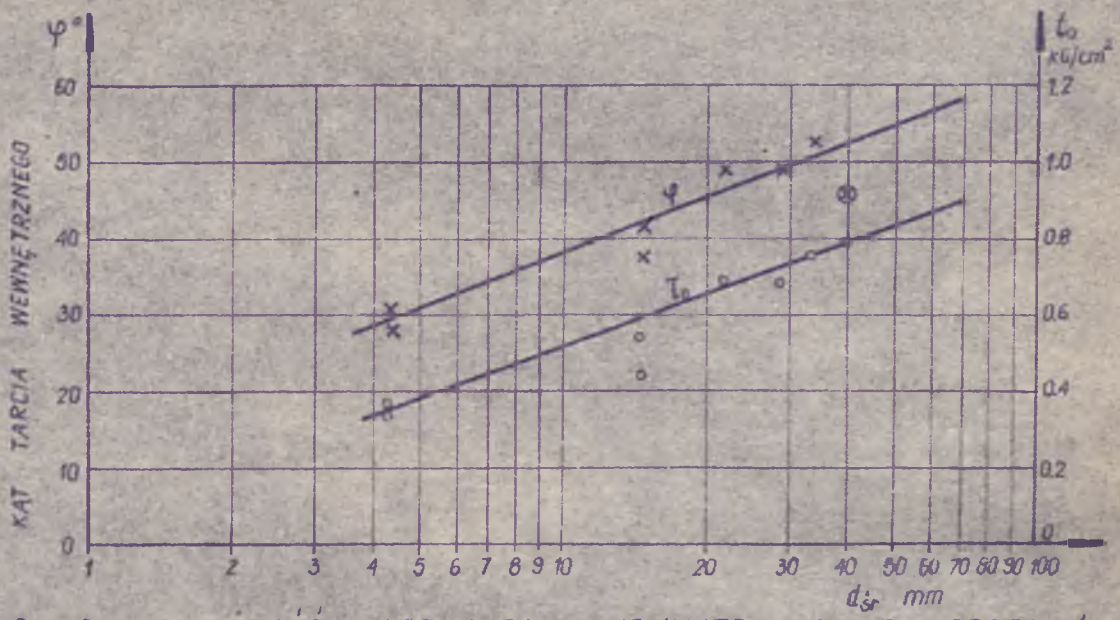


Rys. 8.10. WYKRES UZIARNIENIA MIESZANEK Z TRESNEJ

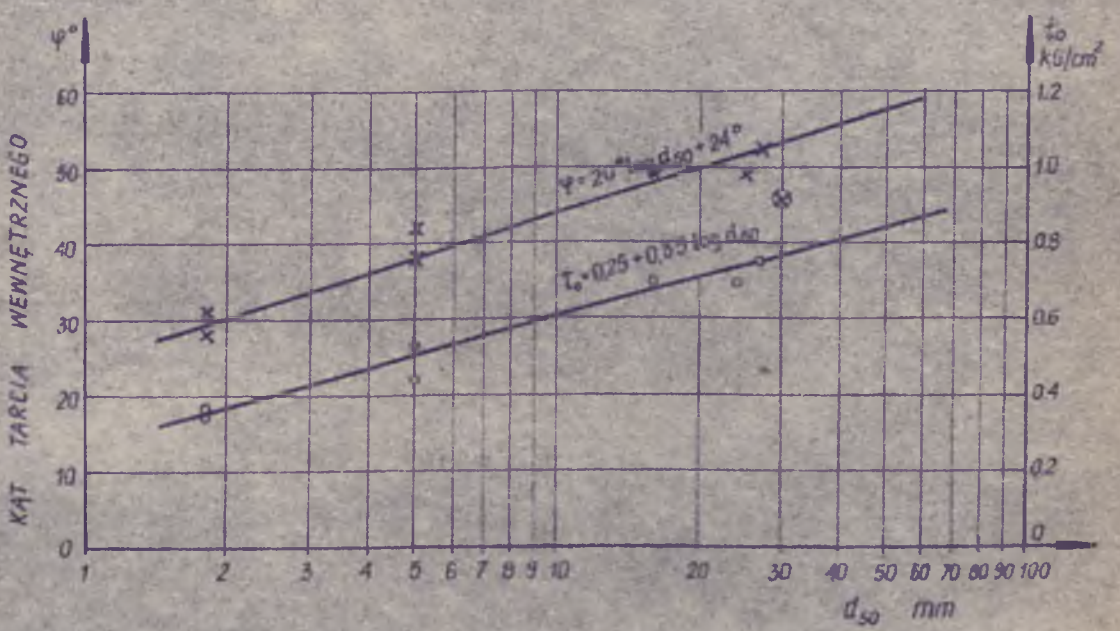
T - KRZYWA UZIARNIENIA GRUNTU UŻYWANEGO DO BUDOWY KORPUSU ZAPORY
(USREDNIENIE Z 50 PRÓBEK)



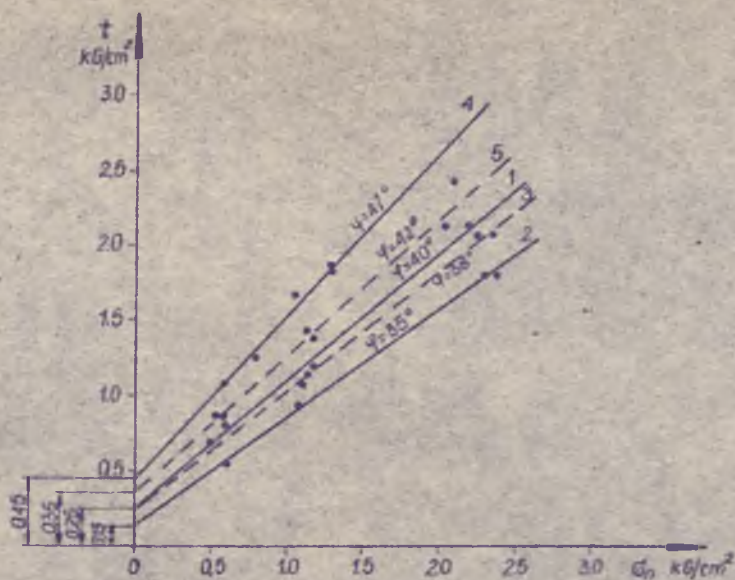
Rys. 8.11. ZALEŻNOŚĆ KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO ψ I OPORU POCZĄTKOWEGO τ_0 OD PROCENTOWEJ ZAWARTOŚCI NADZIARNA W PRÓBCE



Rys. 8.12. ZALEŻNOŚĆ KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO φ I OPORU t_0 OD ŚREDNIEJ ŚREDNICY GRUNTU OKREŚLONEJ WG WZORU 4. f.
 ⊗ 100% ZIARN ϕ 20-80 mm



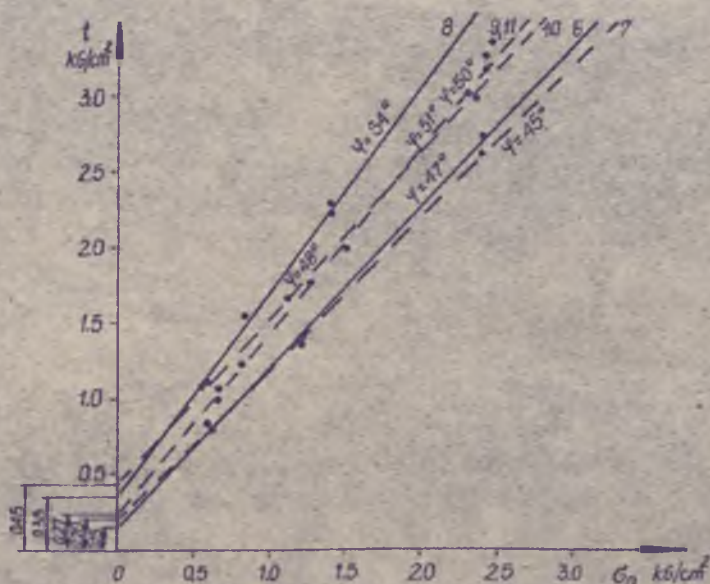
Rys. 8.13. ZALEŻNOŚĆ KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO φ I OPORU t_0 OD ŚREDNICY d_{50}
 ⊗ 100% ZIARN ϕ 20-80 mm



Rys. 8.14. PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH PRÓBEK GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO ZE ZŁOŻA SROMOWCE WYŻNE (1965) BADANYCH BEZ PRZYGOTOWANEJ I Z PRZYGOTOWANĄ POWIERZCHNIĄ ŚCINANIA

1, 2 - $\gamma_{00} = 1,68 \text{ T/m}^3$, $w = 3,1 \%$ 3 - $\gamma_{00} = 1,68 \text{ T/m}^3$, $w = 4,2 \%$	} GRUNT LUZEM SYPANY	4 - $\gamma_{00} = 1,90 \text{ T/m}^3$, $w = 3,1 \%$ 5 - $\gamma_{00} = 1,94 \text{ T/m}^3$, $w = 4,5 \%$	} GRUNT ZAGĘSZCZANY
---	----------------------	--	---------------------

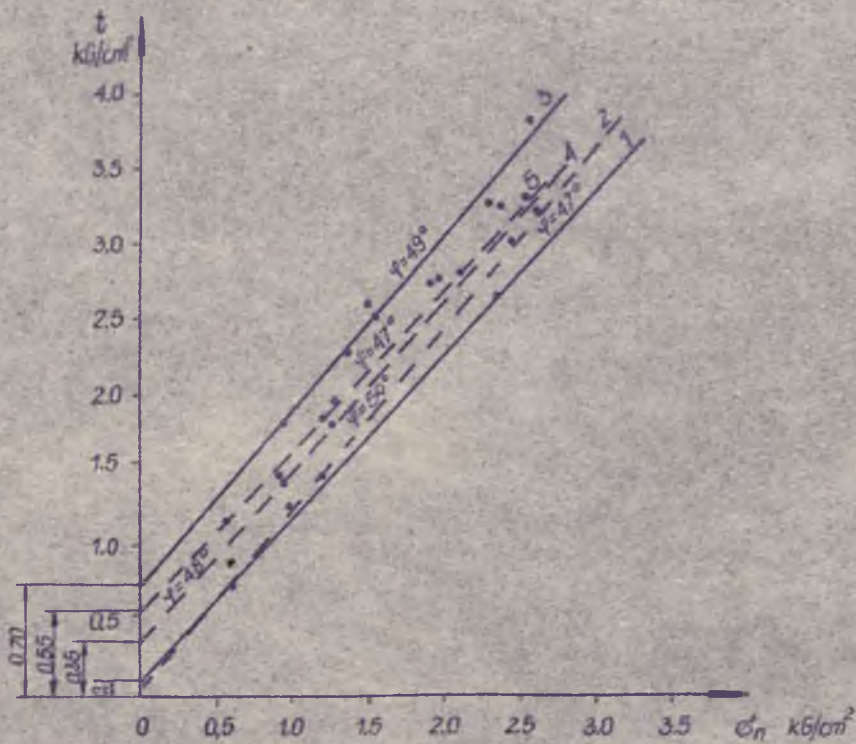
— BEZ PRZYGOTOWANEJ POWIERZCHNI POŚLIZGU; - - - Z PRZYGOTOWANĄ POWIERZCHNIĄ POŚLIZGU



Rys. 8.15. PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH PRÓBEK GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO ZE ZŁOŻA SROMOWCE WYŻNE (1966R) BADANYCH BEZ PRZYGOTOWANEJ I Z PRZYGOTOWANĄ POWIERZCHNIĄ POŚLIZGU

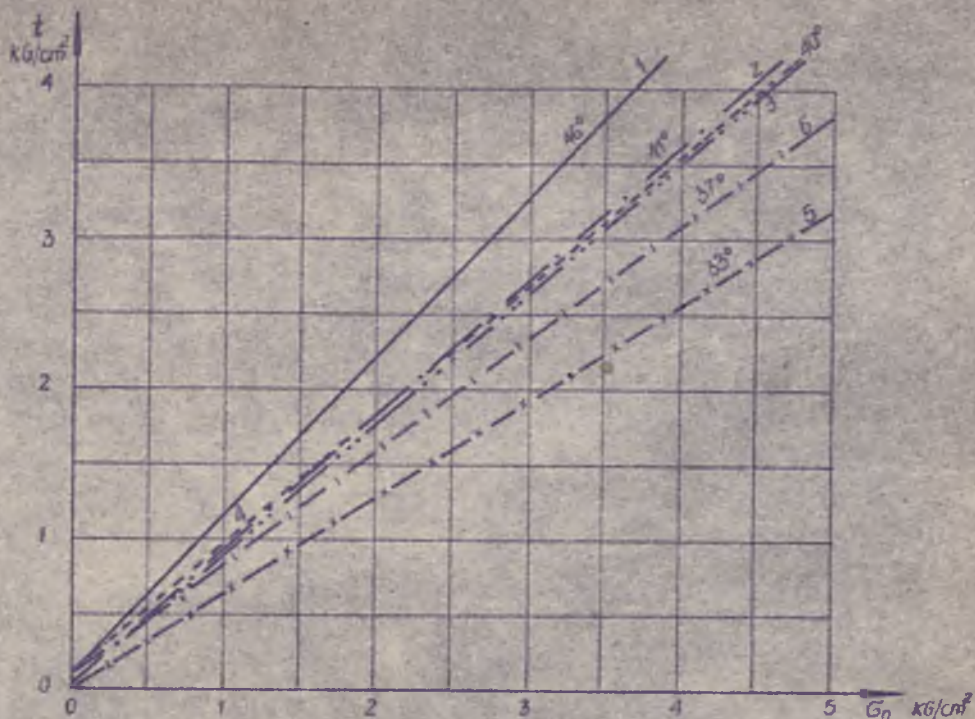
6 - $\gamma_{00} = 1,81 \text{ T/m}^3$, $w = 3,2 \%$ 7 - $\gamma_{00} = 1,81 \text{ T/m}^3$, $w = 3,2 \%$	} GRUNT LUZEM NASYPANY	8 - $\gamma_{00} = 2,03 \text{ T/m}^3$, $w = 1,6 \%$ 9 - $\gamma_{00} = 2,03 \text{ T/m}^3$, $w = 1,6 \%$ 10 - $\gamma_{00} = 2,23 \text{ T/m}^3$, $w = 6,7 \%$ 11 - $\gamma_{00} = 2,03 \text{ T/m}^3$, $w = 7,3 \%$	} GRUNT ZAGĘSZCZANY
--	------------------------	--	---------------------

— BEZ PRZYGOTOWANEJ POWIERZCHNI POŚLIZGU; - - - Z PRZYGOTOWANĄ POWIERZCHNIĄ POŚLIZGU



Rys. 8.16. PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAN OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH PRÓBEK GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO ZE ZŁOŻA FRYDMAN BADANYCH BEZ PRZYGOTOWANEJ I Z PRZYGOTOWANĄ POWIERZCHNIĄ POŚLIZGU

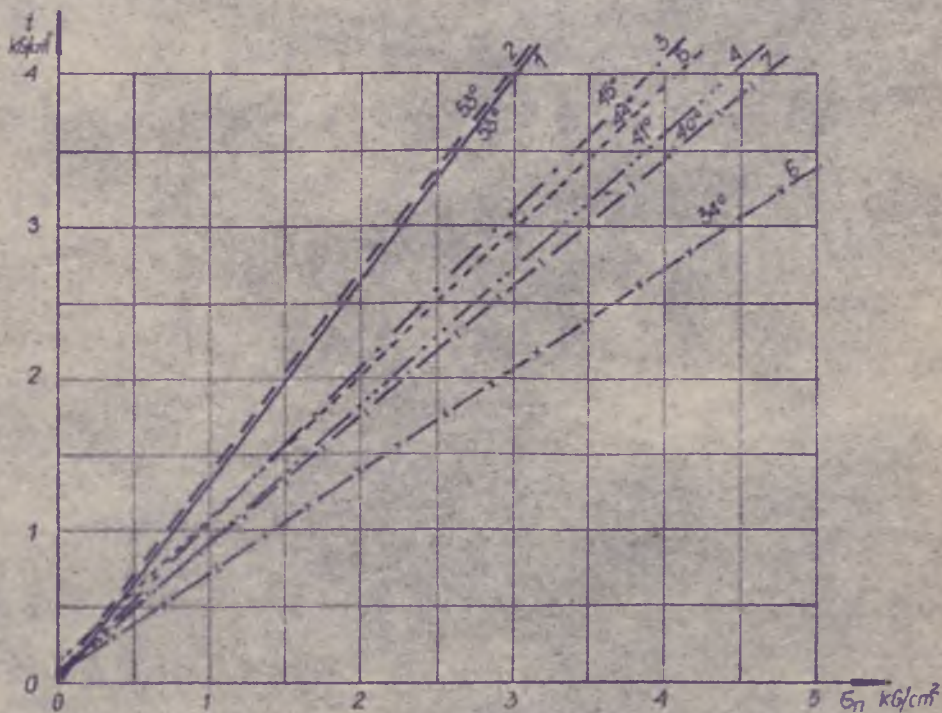
- | | |
|--|------------------------|
| 1 - $\tau_{05} = 1,83 \text{ T/m}^2$, $w = 1,9\%$ | } GRUNT LUZEM NASYPANY |
| 2 - $\tau_{05} = 1,83 \text{ T/m}^2$, $w = 2,2\%$ | |
| 3 - $\tau_{05} = 2,03 \text{ T/m}^2$, $w = 1,9\%$ | } GRUNT ZAGĘSZCZANY |
| 4 - $\tau_{05} = 2,03 \text{ T/m}^2$, $w = 1,9\%$ | |
| 5 - $\tau_{05} = 2,19 \text{ T/m}^2$, $w = 6,5\%$ | |
- BEZ PRZYGOTOWANEJ POWIERZCHNI POŚLIZGU
 - - - Z PRZYGOTOWANĄ POWIERZCHNIĄ POŚLIZGU



Rys. 8.17. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH (WARTOŚCI ŚREDNIE) ŻWIR OBTOCZONY O UZIARNIENIU 1-4 mm
BADANIA W APARACIE SKRZYNKOWYM:

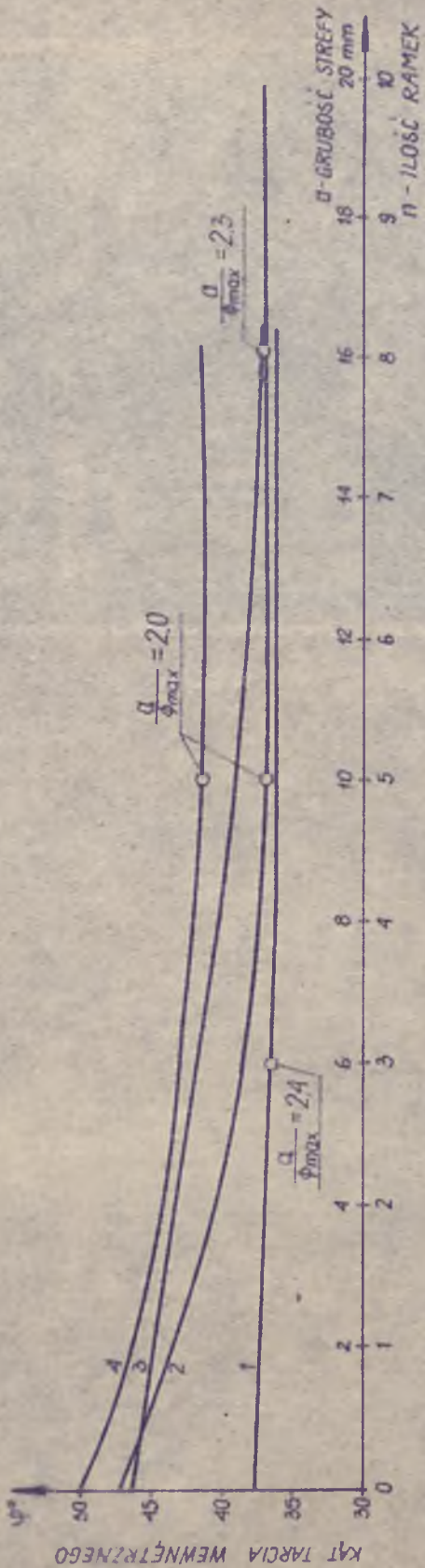
- | | | |
|---|---|------------------|
| 1. APARAT BEZ ZMIAN | } | ŻWIR LUŻNY |
| 2. Z 5 RAMKAMI | | |
| 3. Z 5 RAMKAMI ORAZ WKŁADKAMI Z MIKROGUMY | } | ŻWIR ZAGĘSZCZONY |
| 4. Z 5 RAMKAMI | | |

BADANIA W APARACIE TRÓJSIOWYM:
5. ŻWIR LUŻNY 6. ŻWIR ZAGĘSZCZONY



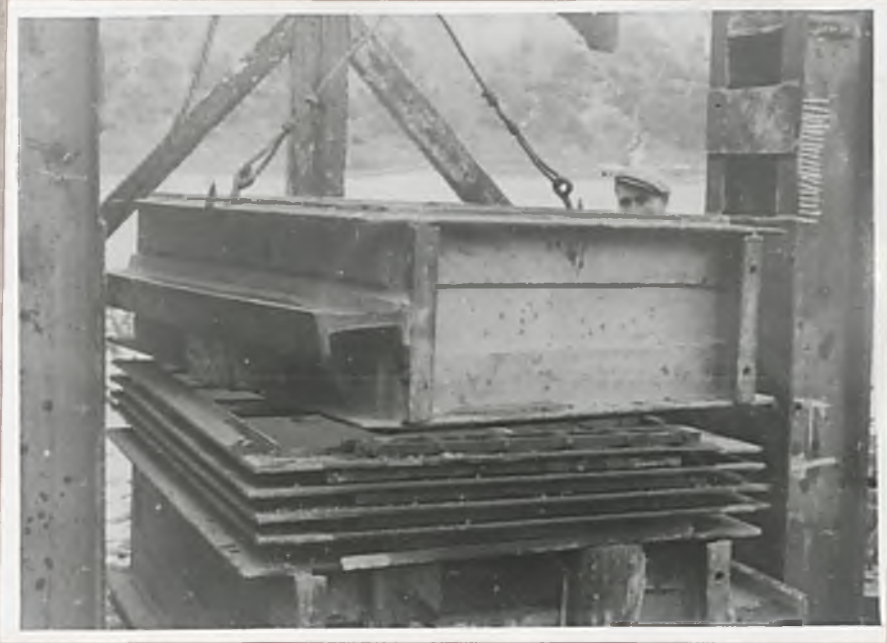
Rys. 8.18. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH (WARTOŚCI ŚREDNIE)
GRUNT: ŻWIR OSTROKRAWĘDZISTY O UZIARNIENIU 1-4 mm
BADANIA W APARACIE SKRZYNKOWYM:

- | | | |
|--|---|------------------|
| 1. APARAT BEZ ZMIAN | } | ŻWIR LUŻNY |
| 2. Z WKŁADKAMI Z MIKROGUMY MIĘDZY GRUNTEM A FILTRAMI | | |
| 3. Z 5 RAMKAMI | } | ŻWIR ZAGĘSZCZONY |
| 4. Z 5 RAMKAMI ORAZ Z WKŁADKAMI Z MIKROGUMY | | |
| 5. Z 5 RAMKAMI | | |
| 6. Z 5 RAMKAMI | | |
- BADANIA W APARACIE TRÓJSIOWYM:
7. ŻWIR LUŻNY 7. ŻWIR ZAGĘSZCZONY

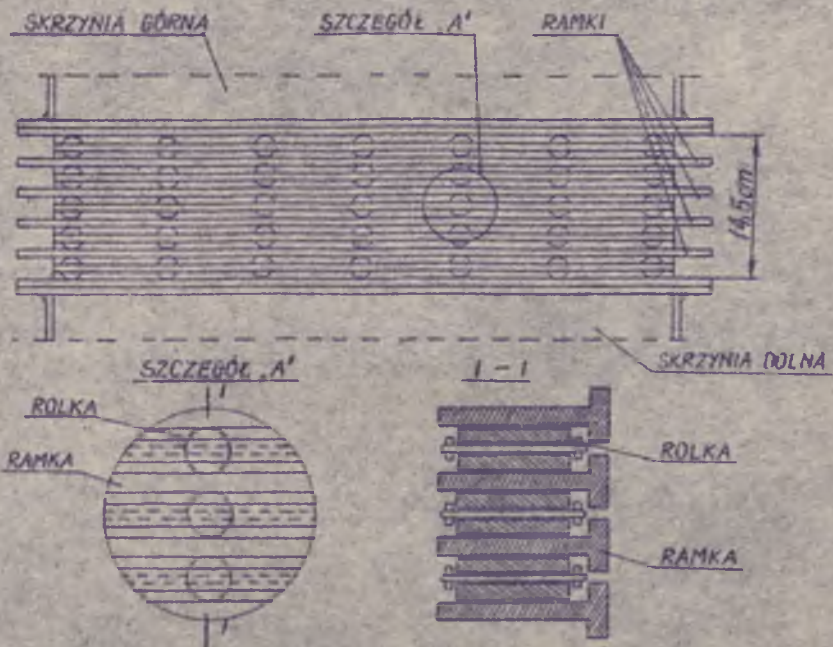


Rys. 8.19. ZALEŻNOŚĆ KĄTA TARCIA WENWĘTRZNEGO OD ILOŚCI RAMEK W STREFIE ŚCINANIA

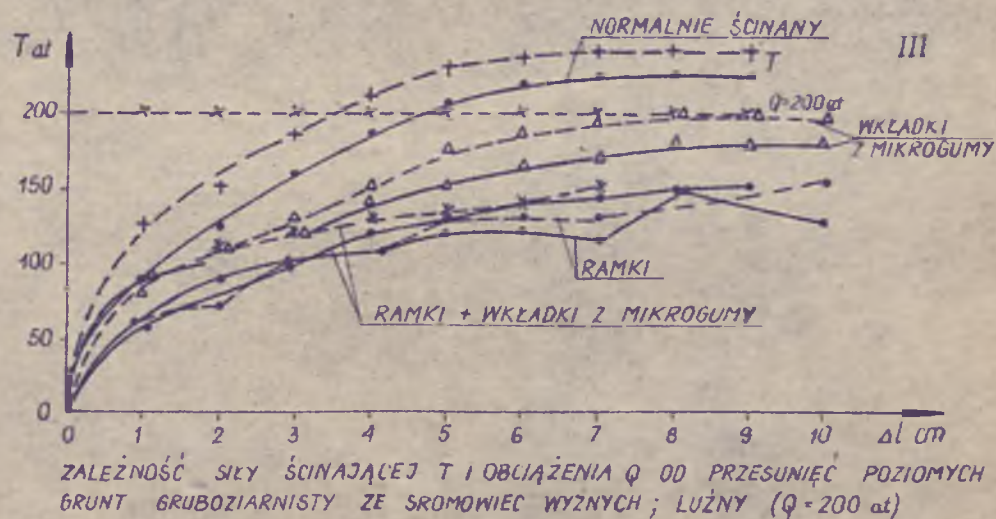
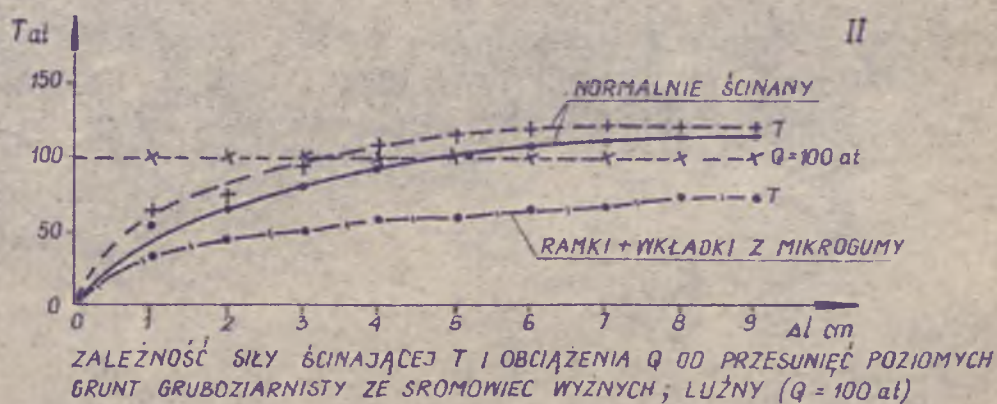
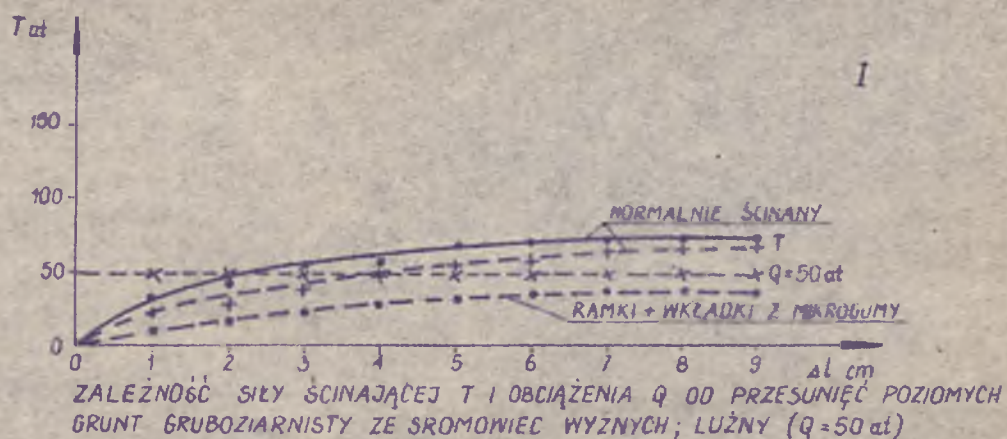
- 1- UZIARNIENIE : ϕ 1,25 - 2,5 mm , $\delta_{os} = 1,39 \text{ g/cm}^3$ GRUNT LUZEM NASYPANY
 - 2- UZIARNIENIE : ϕ 2,5 - 5,0 mm , $\delta_{os} = 1,57 \text{ g/cm}^3$ GRUNT LUZEM NASYPANY
 - 3- UZIARNIENIE : ϕ 5 - 7 mm , $\delta_{os} = 1,36 \text{ g/cm}^3$ GRUNT LUZEM NASYPANY
 - 4- UZIARNIENIE : ϕ 2,5 - 5,0 mm , $\delta_{os} = 1,70 \text{ g/cm}^3$ GRUNT ZAGĘSZCZANY
- USTABILIZOWANIE SIĘ KĄTA φ (ODCHYLENIE STANDARDOWE $6 = 0,5 - 2\sigma$)



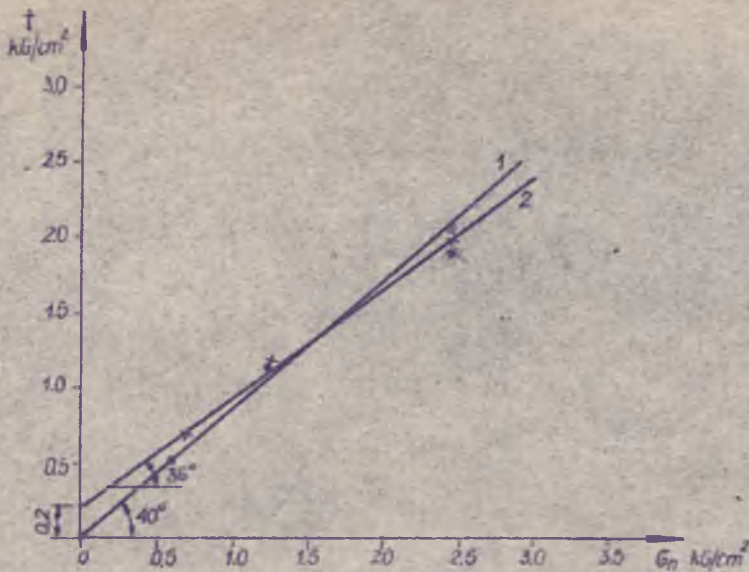
Rys. 8.20. WIELKOWYMIAROWY APARAT SKRZYNKOWY Z RAMKAMI



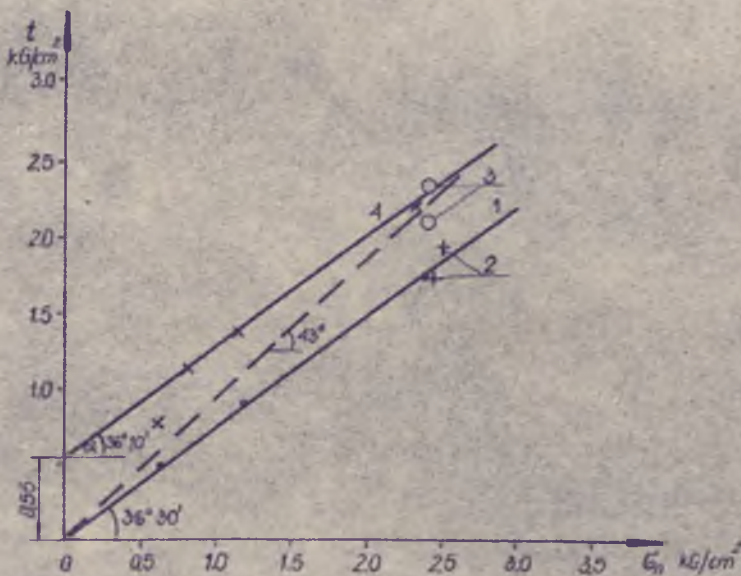
Rys. 8.21. SCHEMAT URZĄDZENIA RAMKOWO-ROLKOWEGO W WIELKOWYMIAROWYM APARacie SKRZYŃKOWYM



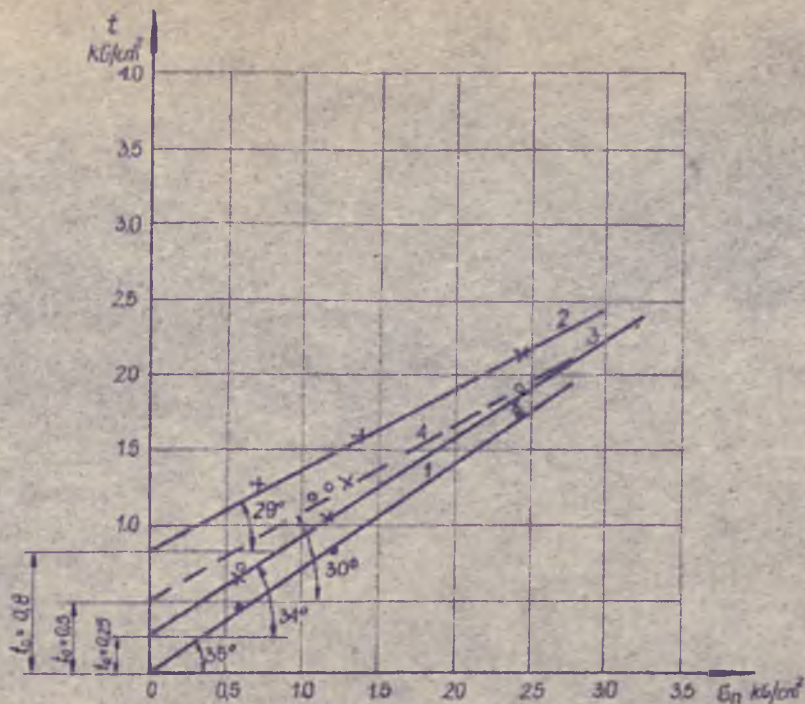
Rys. 8.22 WYNIKI BADAŃ OPORU ŚCINANIA GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO W STANIE LUŻNYM PRZY ZASTOSOWANIU RAMEK I WKŁADEK Z MIKROGUMY



Rys. 8.23. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH DLA GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO ZE ŻŁOŻA FRYDMAN
 ŚCINANIE Z ZASTOSOWANIEM 4 RAMEK I WKŁADEK Z MIKROGUMY
 1 - GRUNT LUZEM SYPANY ($\gamma_{00} = 1,8 \text{ T/m}^3$; $w = 2,9\%$)
 2 - GRUNT ZAGĘSZCZANY ($\gamma_{00} = 2,0 \text{ T/m}^3$; $w = 2,9\%$)

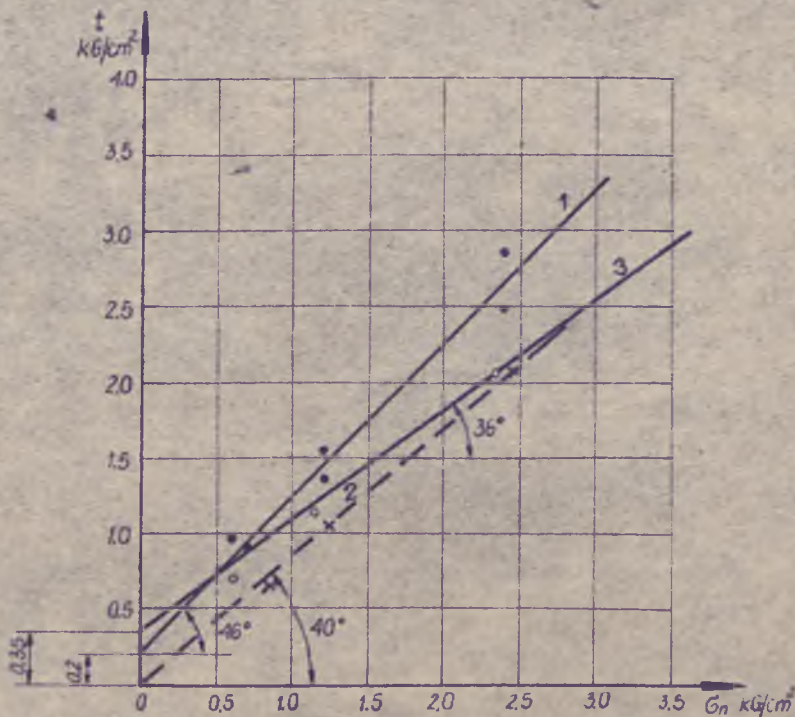


Rys. 8.24. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH DLA GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO ZE ŻŁOŻA SROMOWCE WYŻNE
 1 - GRUNT LUZEM SYPANY ($\gamma_{00} = 1,81 \text{ T/m}^3$; $w = 1,9\%$) ŚCINANY Z ZASTOSOWANIEM 4 RAMEK I WKŁADEK Z MIKROGUMY
 2 - GRUNT LUZEM SYPANY ŚCINANY Z ZASTOSOWANIEM 4 RAMEK BEZ WKŁADEK Z MIKROGUMY
 3 - GRUNT LUZEM SYPANY ŚCINANY Z ZASTOSOWANIEM WKŁADEK Z MIKROGUMY
 4 - GRUNT ZAGĘSZCZANY ($\gamma_{00} = 2,04 \text{ T/m}^3$; $w = 1,7\%$) ŚCINANY Z ZASTOSOWANIEM 4 RAMEK I WKŁADEK Z MIKROGUMY



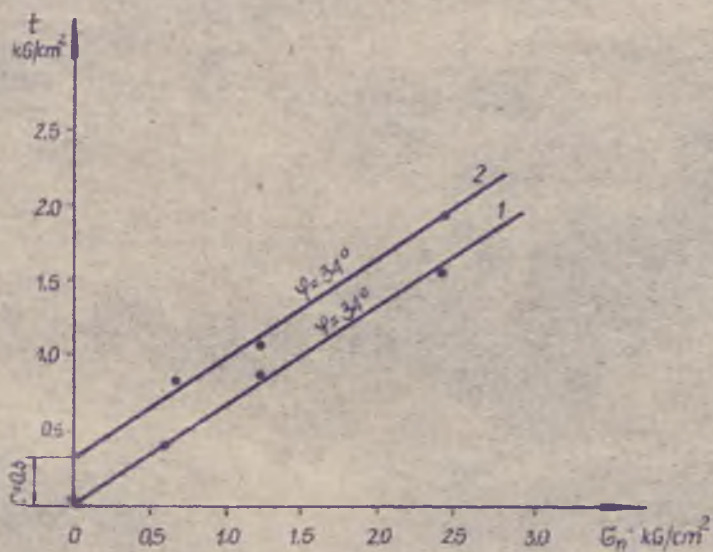
Rys. 8.25. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH DLA GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO ZE ZŁOŻA JAZOWSKO ŚCINANIE Z ZASTOSOWANIEM RAMEK

- 1- GRUNT LUZEM SYPANY ($\gamma_{os} = 1,76 \text{ T/m}^3$; $w = 3,9\%$)
- 2- GRUNT ZAGĘSZCZONY ($\gamma_{os} = 2,07 \text{ T/m}^3$; $w = 3,9\%$)
- 3- GRUNT ZAGĘSZCZONY ($\gamma_{os} = 2,10 \text{ T/m}^3$; $w = 2,9\%$)
- 4- GRUNT ZAGĘSZCZONY ($\gamma_{os} = 2,17 \text{ T/m}^3$; $w = 6,5\%$)

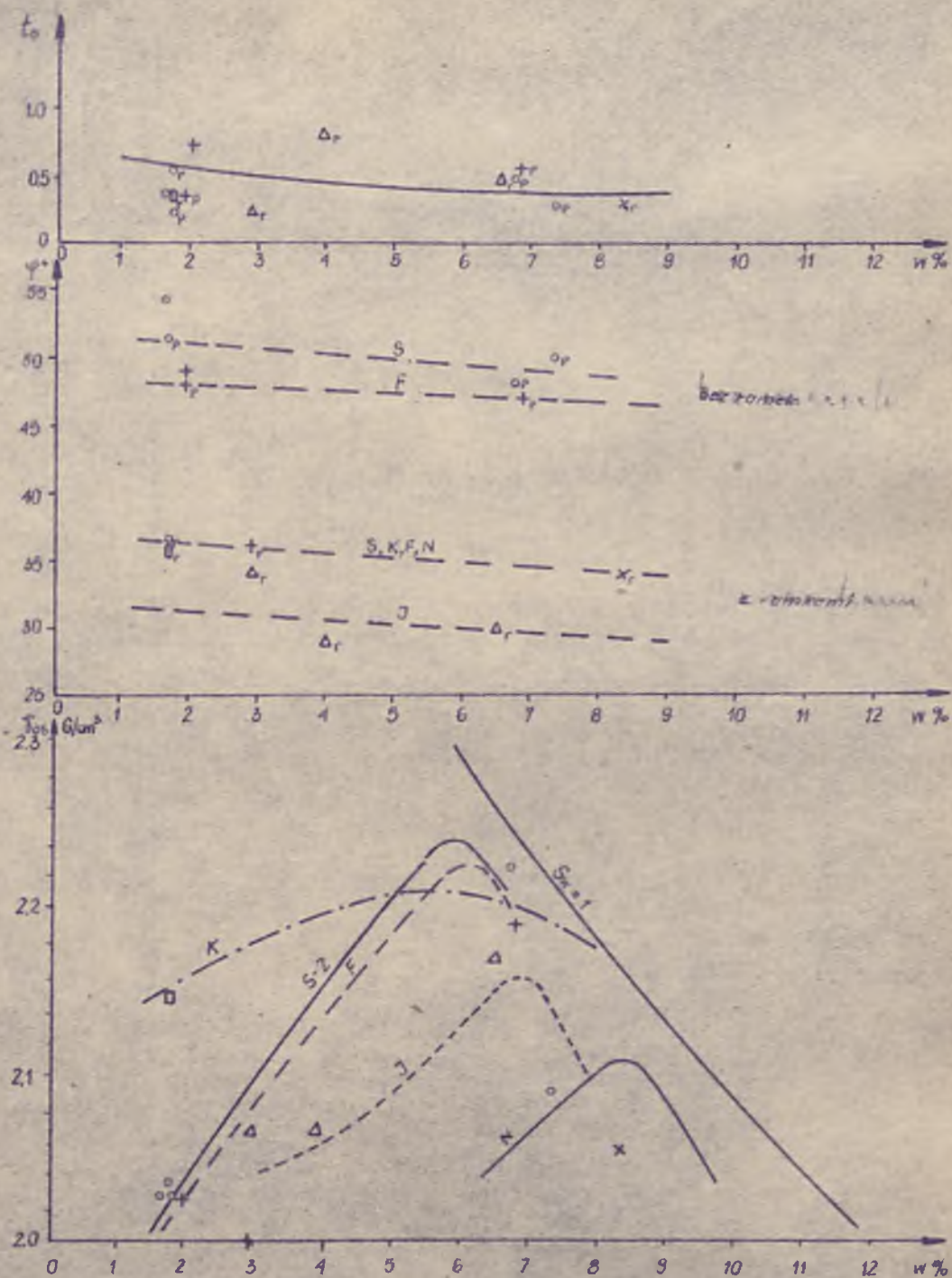


Rys. 8.26. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH DLA GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO ZE ZŁOŻA KÓJSÓWKA

- 1- GRUNT LUZEM SYPANY ($\gamma_{os} = 1,73 \text{ T/m}^3$; $w = 4,5\%$) ŚCINANIE BEZ WPROWADZENIA ZMIAN W APARACIE
- 2- GRUNT LUZEM SYPANY ($\gamma_{os} = 1,83 \text{ T/m}^3$; $w = 1,7\%$) ŚCINANIE Z ZASTOSOWANIEM RAMEK
- 3- GRUNT ZAGĘSZCZONY ($\gamma_{os} = 2,15 \text{ T/m}^3$; $w = 1,7\%$) ŚCINANIE Z ZASTOSOWANIEM RAMEK



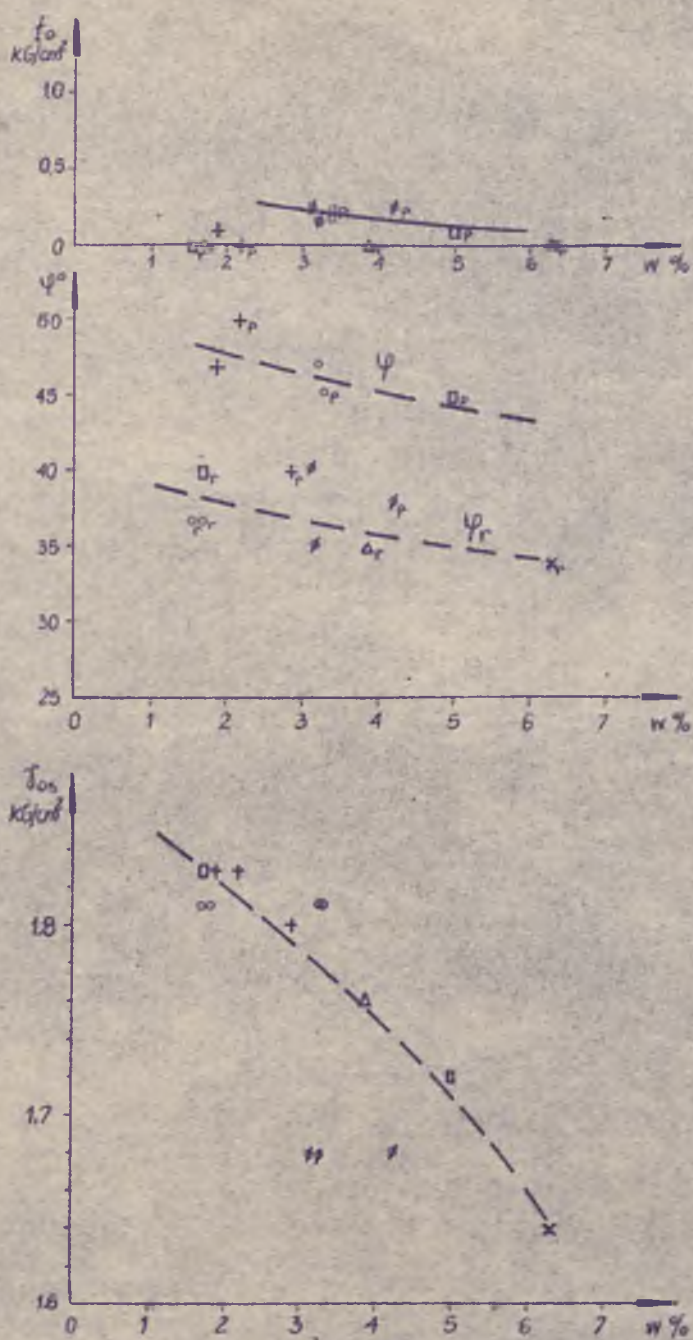
Rys. 8.27. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH DLA GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO ZE ZŁOŻA NIEDZICA
 1- GRUNT LUZEM SYPANY ($\gamma_{os} = 1.64 \text{ T/m}^3$; $w = 6.3\%$)
 2- GRUNT ZAGĘSZCZANY ($\gamma_{os} = 2.05 \text{ T/m}^3$; $w = 8.3\%$)



Rys. 8.28. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE UZYSKANYCH W WIELKOWYMIAROWYM APARACIE SKRZYNKOWYM W ZALEŻNOŚCI OD t_{0s} I WILGOTNOŚCI UZYSKANYCH Z BADAŃ W WIELKOWYMIAROWYM APARACIE PROCTORA

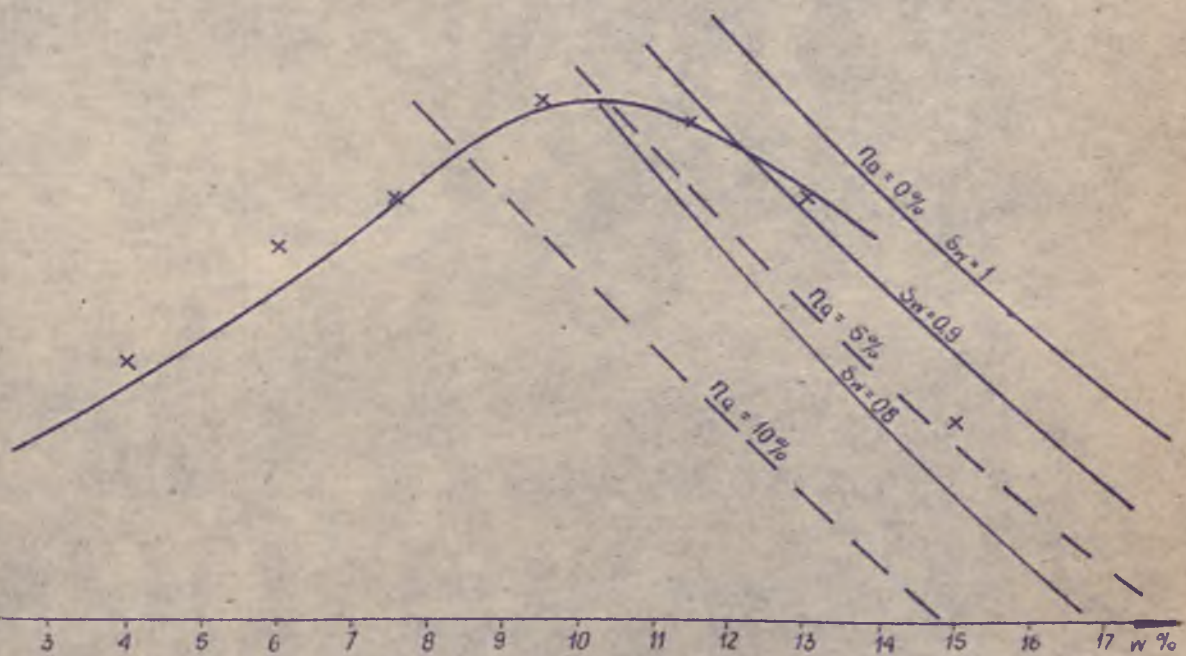
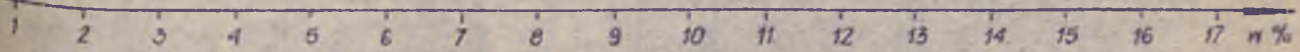
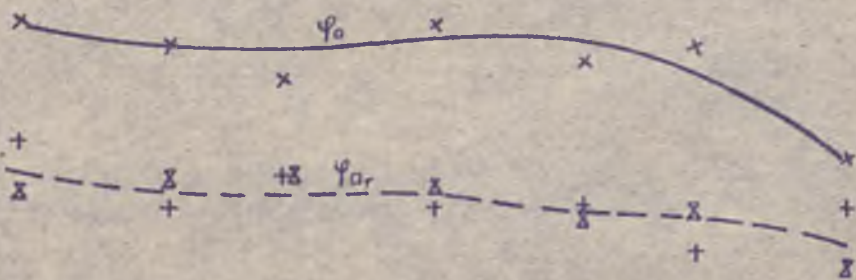
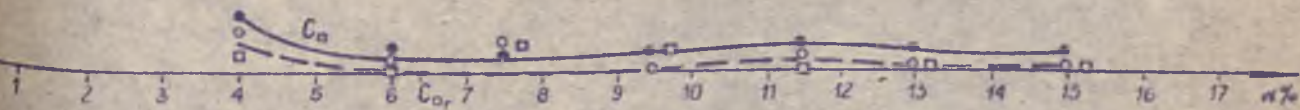
- F + ZŁOŻE FRYDMAN
- K □ ZŁOŻE KOJSÓWKA
- J △ ZŁOŻE JAZOWSKO
- N × ZŁOŻE NIEDZICA
- S-2 ○ ZŁOŻE ŚROMOWCE WYŻNE (1966r)

- , + - ŚCINANIE BEZ PRZYGOTOWANEJ POWIERZCHNI
- _r, △_r - ŚCINANIE Z PRZYGOTOWANĄ POWIERZCHNIĄ
- _r, △_r, X_r - ŚCINANIE Z ZASTOSOWANIEM RAMEK



Rys 8.29. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE UZYSKANYCH W WIELKOWYMIAROWYM APARacie SKRZYNKOWYM W ZALEŻNOŚCI OD $\tau_{0.5}$ I WILGOTNOŚCI GRUNT LUZEM NASYPANY

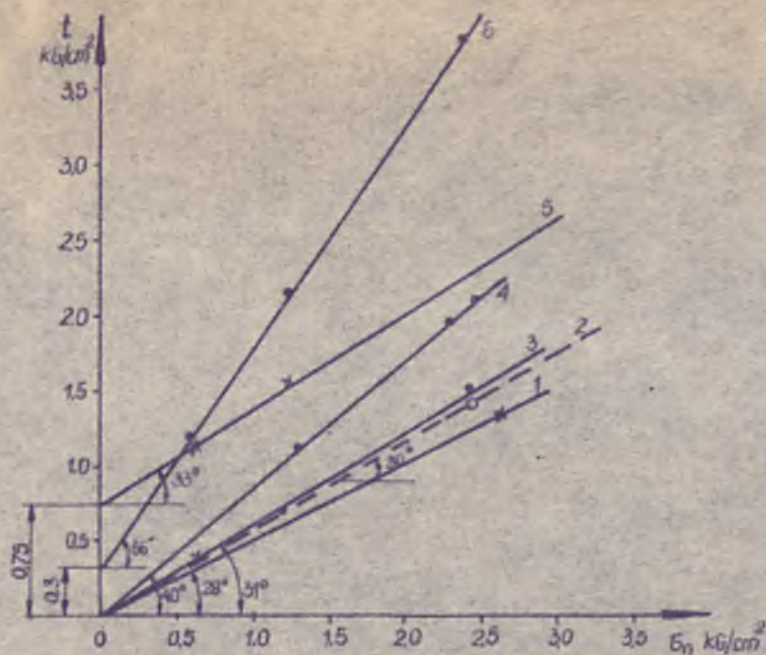
- ,+ ŚCINANIE BEZ PRZYGOTOWANEJ POWIERZCHNI
- _p,+_p ŚCINANIE Z PRZYGOTOWANĄ POWIERZCHNIĄ
- _r,+_r ŚCINANIE Z ZASTOSOWANIEM RAMEK
- + ZŁOŻE FRYDMAN
- ZŁOŻE KOJSÓWKA
- △ ZŁOŻE JAZOWSKO
- × ZŁOŻE NIEDZICA
- ZŁOŻE SROMOWCE WYŻNE (PRÓBKA Z 1965)



rys. 8.30. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE UZYSKANYCH W APARACIE SKRZYNKOWYM W ZALEŻNOŚCI OD $\bar{t}_{0.2}$ I WILGOTNOŚCI UZYSKANYCH Z BADAŃ PROCTORA
GRUNT: SROMOWCE WYŻNE $\phi < 7 \text{ mm}$

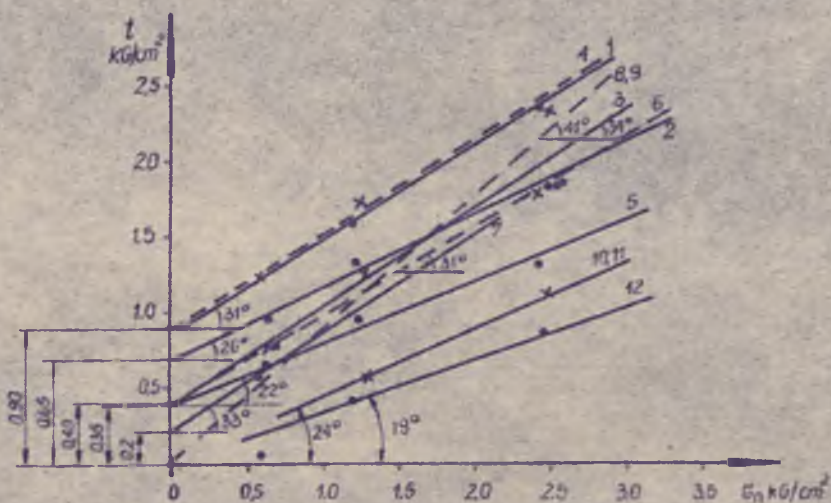
- X KĄT TARCIA WEWNĘTRZNEGO UZYSKANY WG BADAŃ TRADYCYJNYCH
- SPÓJNOŚĆ UZYSKANA WG BADAŃ TRADYCYJNYCH
- + KĄT TARCIA WEWNĘTRZNEGO UZYSKANY WG BADAŃ Z RAMKAMI
- o SPÓJNOŚĆ UZYSKANA WG BADAŃ Z RAMKAMI
- ⊗ KĄT TARCIA WEWNĘTRZNEGO UZYSKANY WG BADAŃ Z RAMKAMI I ŚRUTEM MIĘDZY RAMKAMI
- SPÓJNOŚĆ UZYSKANA WG BADAŃ Z RAMKAMI I ŚRUTEM MIĘDZY RAMKAMI

(ϕ_0)
(C_0)
(ϕ_{0r})
(C_{0r})
(ϕ_{dr})
(C_{dr})



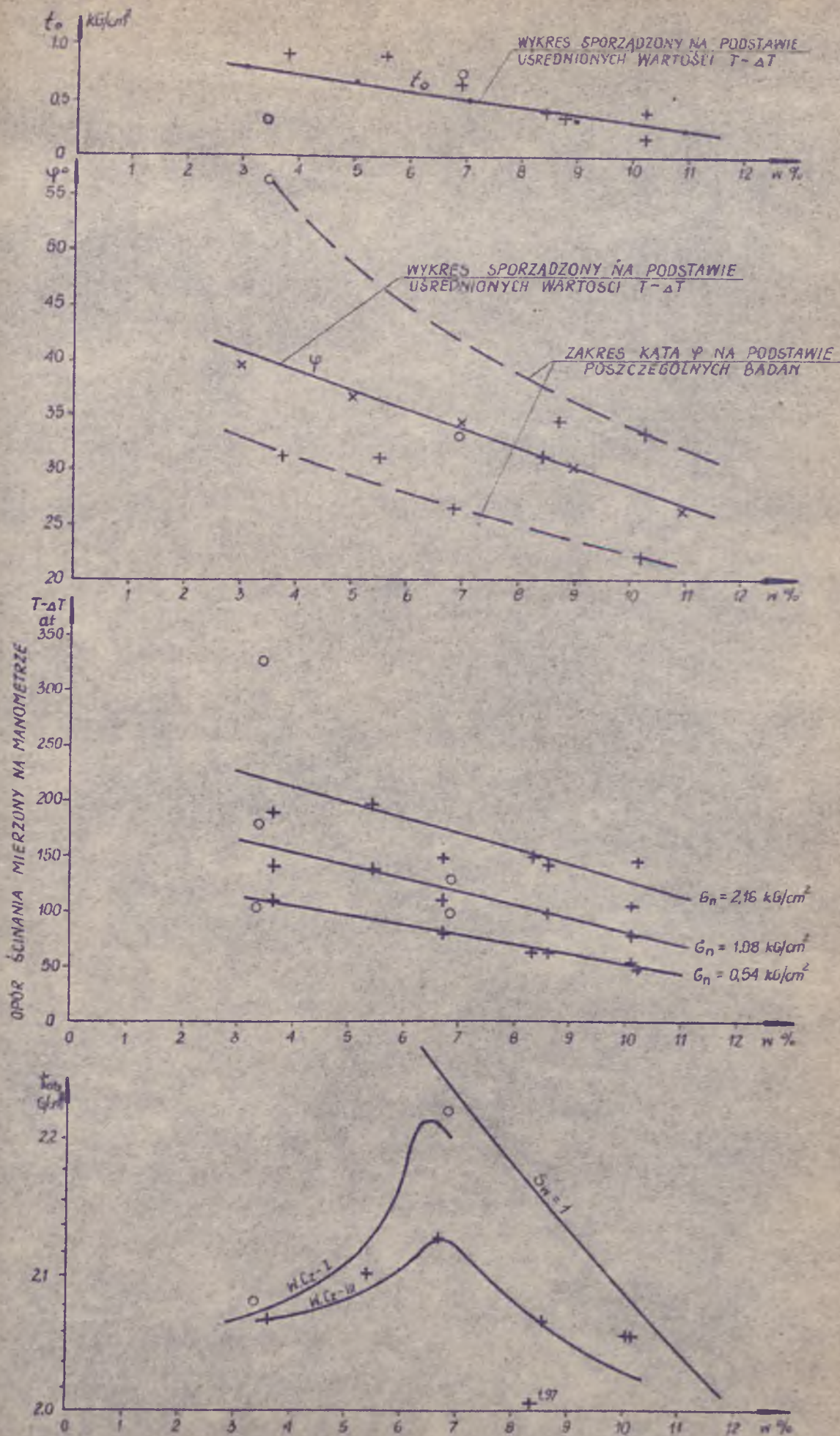
Rys. 8.31. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH DLA GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO Z KAMIENCA B. WISEŁKI PRÓBA W.Cz - I.

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1. GRUNT LUZEM NASYPANY | ($\gamma_{os} = 1,82 \text{ T/m}^3$, $w = 6,9\%$) |
| 2. GRUNT LUZEM NASYPANY PO KONTROLI | ($\gamma_{os} = 1,82 \text{ T/m}^3$, $w = 8,1\%$) |
| 3. GRUNT LUZEM NASYPANY | ($\gamma_{os} = 1,82 \text{ T/m}^3$, $w = 8,1\%$) |
| 4. GRUNT LUZEM NASYPANY | ($\gamma_{os} = 1,68 \text{ T/m}^3$, $w = 3,4\%$) |
| 5. GRUNT ZAGĘSZCZONY | ($\gamma_{os} = 2,21 \text{ T/m}^3$, $w = 6,9\%$) |
| 6. GRUNT ZAGĘSZCZONY | ($\gamma_{os} = 2,08 \text{ T/m}^3$, $w = 3,4\%$) |



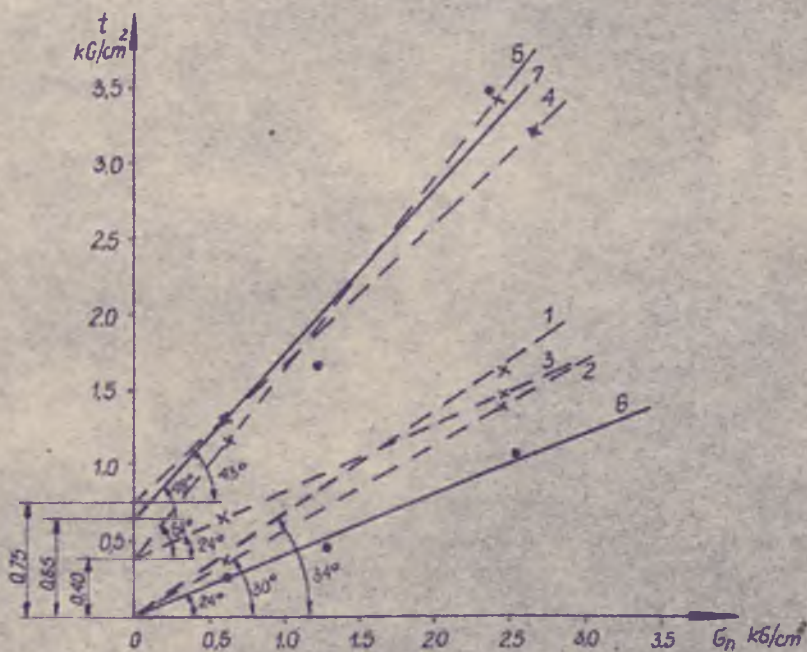
Rys. 8.32. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH DLA GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO Z KAMIENCA B. WISEŁKI PRÓBA W.Cz. - III

- | | |
|--|----------------------|
| 1. $\gamma_{os} = 2,10 \text{ T/m}^3$; $w = 5,5\%$ | GRUNT ZAGĘSZCZONY |
| 2. $\gamma_{os} = 2,13 \text{ T/m}^3$; $w = 6,8\%$ | |
| 3. $\gamma_{os} = 2,07 \text{ T/m}^3$; $w = 8,7\%$ | |
| 4. $\gamma_{os} = 2,07 \text{ T/m}^3$; $w = 3,7\%$ | |
| 5. $\gamma_{os} = 2,06 \text{ T/m}^3$; $w = 10,2\%$ | |
| 6. $\gamma_{os} = 1,97 \text{ T/m}^3$; $w = 8,4\%$ | |
| 7. $\gamma_{os} = 2,06 \text{ T/m}^3$; $w = 10,3\%$ | GRUNT LUZEM NASYPANY |
| 8. $\gamma_{os} = 1,83 \text{ T/m}^3$; $w = 4,8\%$ | |
| 9. $\gamma_{os} = 1,85 \text{ T/m}^3$; $w = 5,8\%$ | |
| 10. $\gamma_{os} = 1,83 \text{ T/m}^3$; $w = 6,7\%$ | |
| 11. $\gamma_{os} = 1,82 \text{ T/m}^3$; $w = 8,5\%$ | |
| 12. $\gamma_{os} = 1,86 \text{ T/m}^3$; $w = 9,9\%$ | |



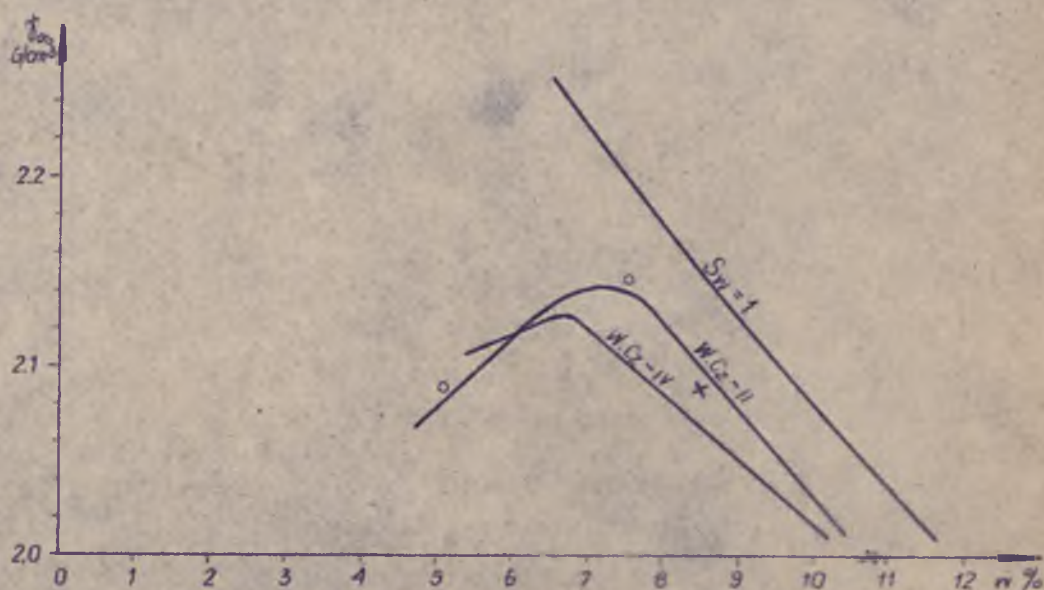
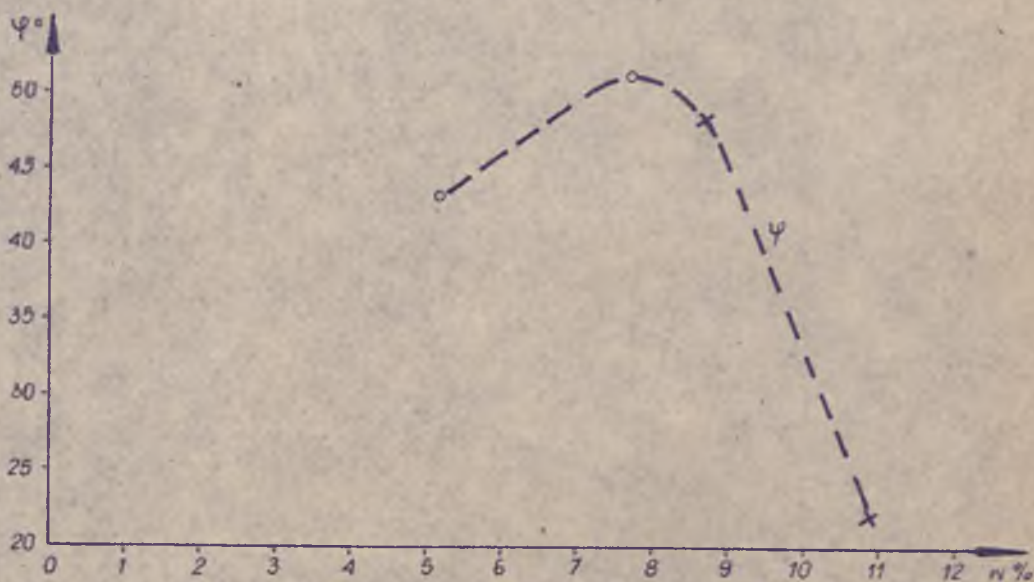
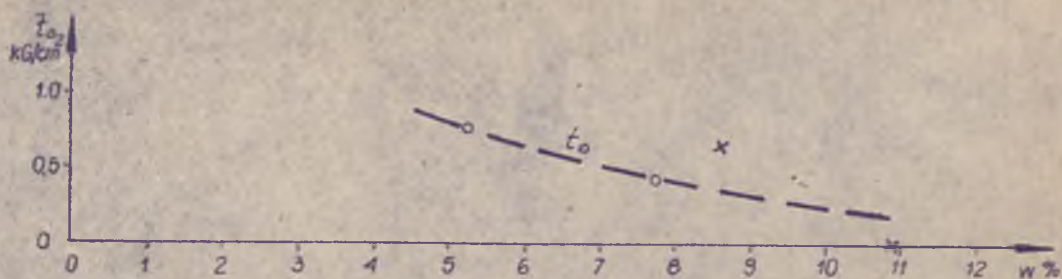
Rys. 8.33. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA ORAZ ψ I t_0 OD WILGOTNOŚCI I ZAGĘSZCZENIA WG PROCTOROWSKIEJ KRZYWEJ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNT Z KAMIEŃCA B. WISEŁKI

o PRÓBA WCz-1 , + PRÓBA WCz-MI



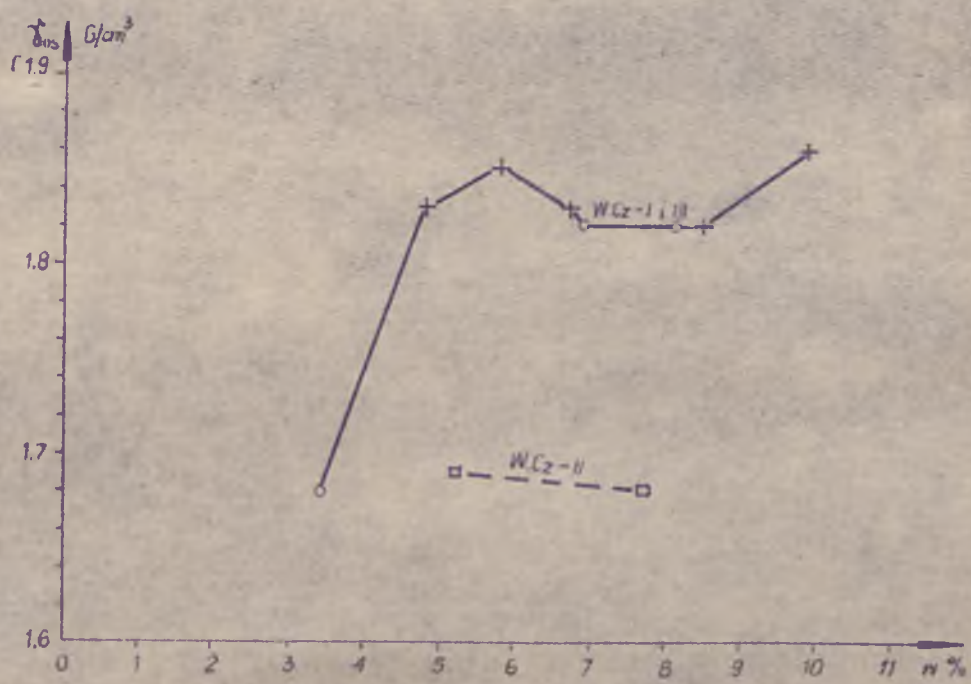
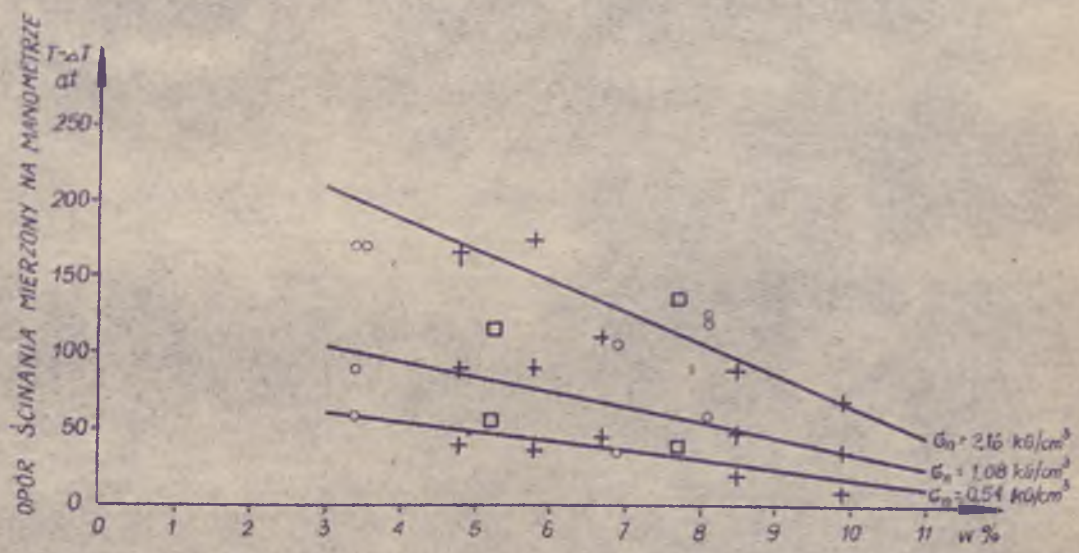
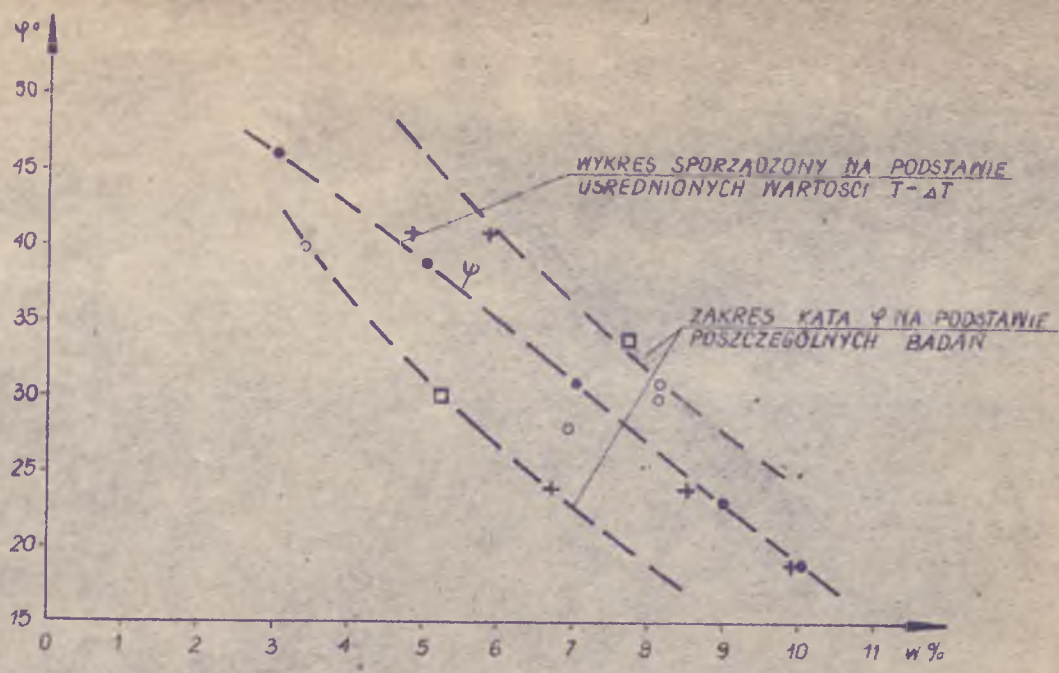
Rys. 834. ZALEŻNOŚĆ OPORU ŚCINANIA OD NAPRĘŻEŃ NORMALNYCH
DLA GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO Z TARASU WYSOKIEGO
B. WISŁĘKI

1.	$\delta_{os} = 1.69 \text{ T/m}^3$	$w = 7.7 \%$	} W.Cz-II GRUNT LUZEM NASYPANY
2.	$\delta_{os} = 1.69 \text{ T/m}^3$	$w = 5.2 \%$	
3.	$\delta_{os} = 1.72 \text{ T/m}^3$	$w = 11.9 \%$	} W.Cz-II GRUNT ZAGĘSZCZANY
4.	$\delta_{os} = 2.09 \text{ T/m}^3$	$w = 5.2 \%$	
5.	$\delta_{os} = 2.15 \text{ T/m}^3$	$w = 7.7 \%$	} W.Cz-IV GRUNT ZAGĘSZCZANY
6.	$\delta_{os} = 2.00 \text{ T/m}^3$	$w = 10.9 \%$	
7.	$\delta_{os} = 2.09 \text{ T/m}^3$	$w = 8.6 \%$	
3 i 6 - GRUNT NASYCONY WODĄ			



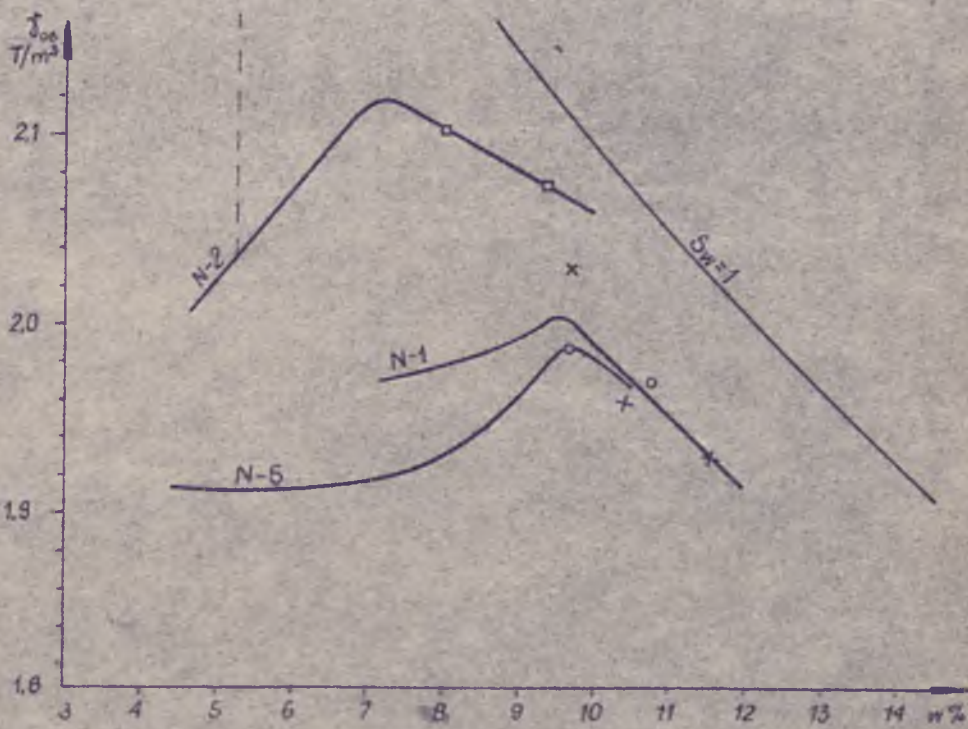
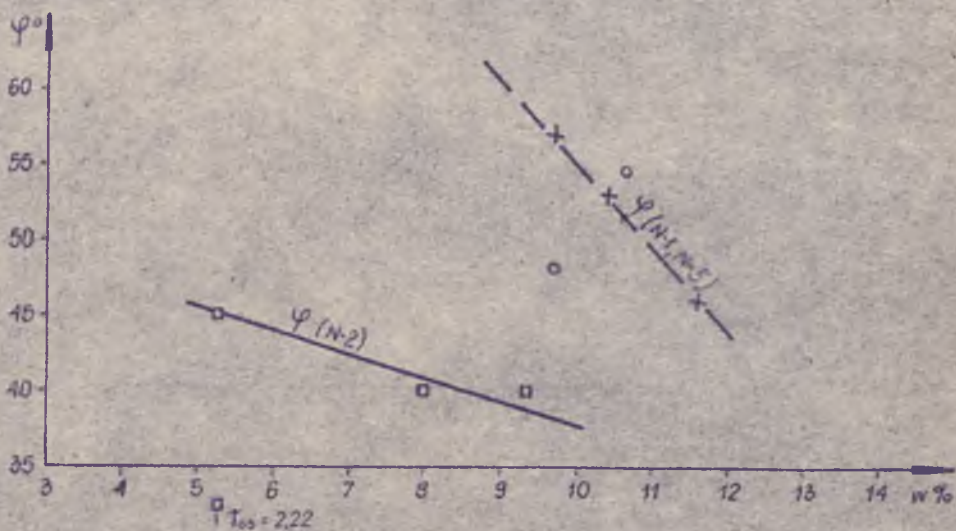
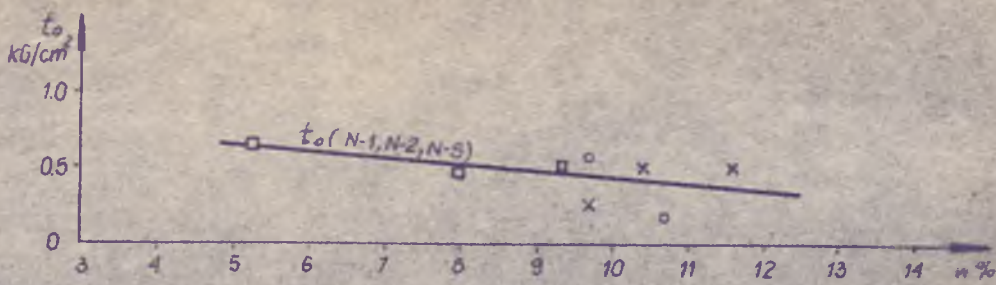
Rys. 8.35. ZALEŻNOŚĆ ψ I t_0 OD WILGOTNOŚCI I ZAGĘSZCZENIA WG PROCTOROWSKIEJ KRZYWEJ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNT Z TARASU WYSOKIEGO B. WISŁYKI

○ - WCz-II, × - WCz-IV

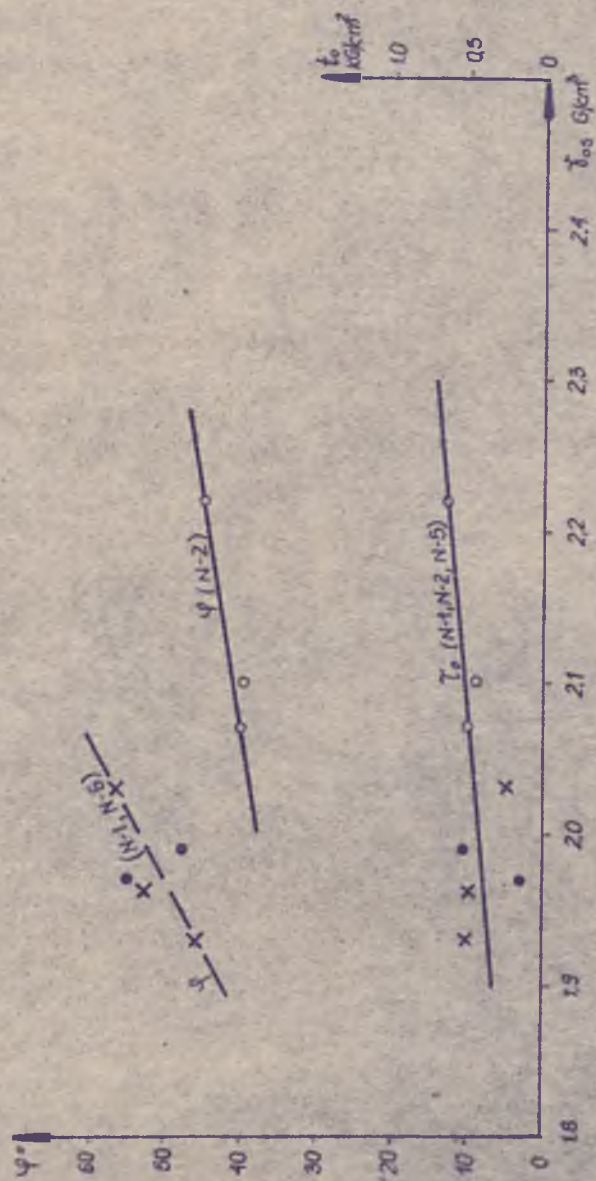


Rys. 8.36. ZALEŻNOŚĆ OPÓRU ŚCINANIA ORAZ ψ OD WILGOTNOŚCI I δ_{os} GRUNT LUZEM NASYPANY

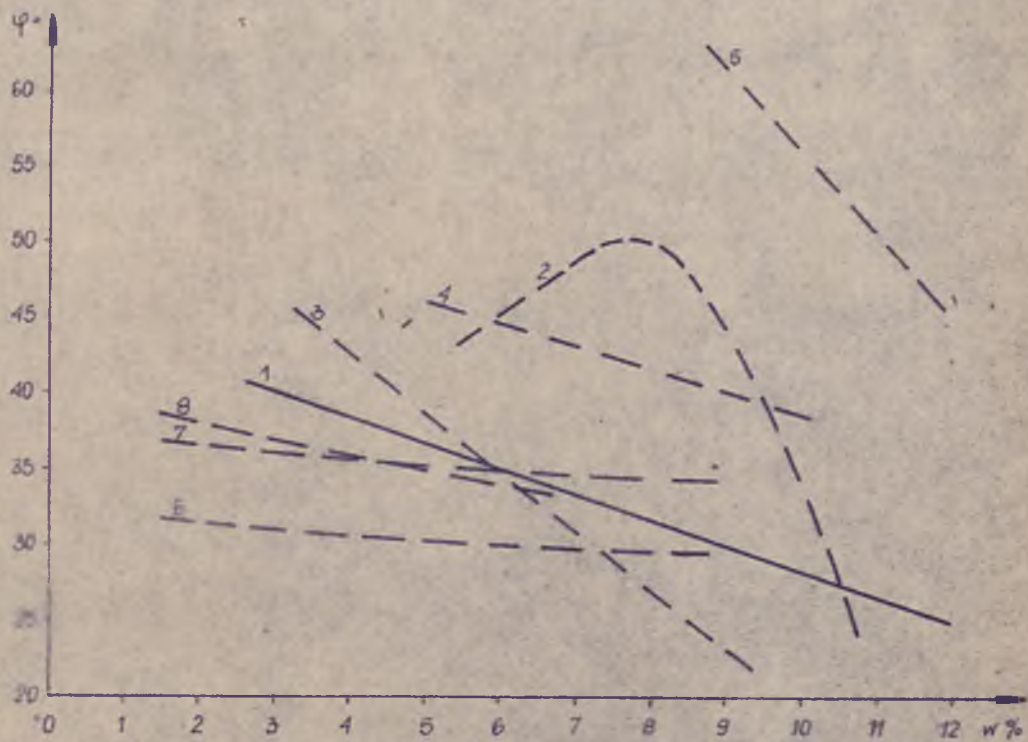
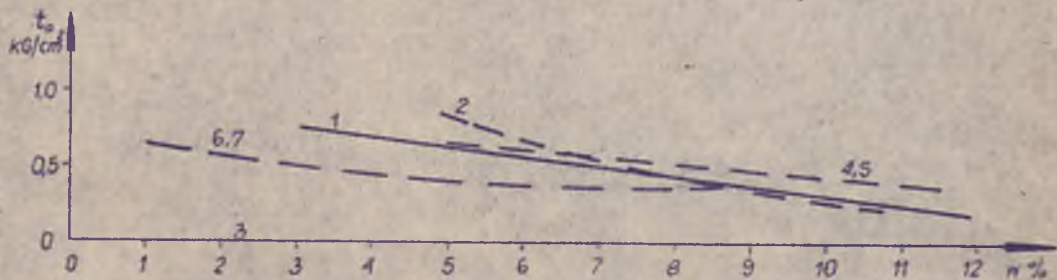
○ - W.Cz-I ; + - W.Cz-III ; □ - W.Cz-II



Rys. 8.37. ZALEŻNOŚĆ φ I t_0 OD WILGOTNOŚCI I ZAGĘSZCZENIA W G PROCTOROWSKIEJ KRZYWEJ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNT Z ZAPORY W GŁĘBINOWIE
 x - N-1; □ - N-2; ○ - N-5;

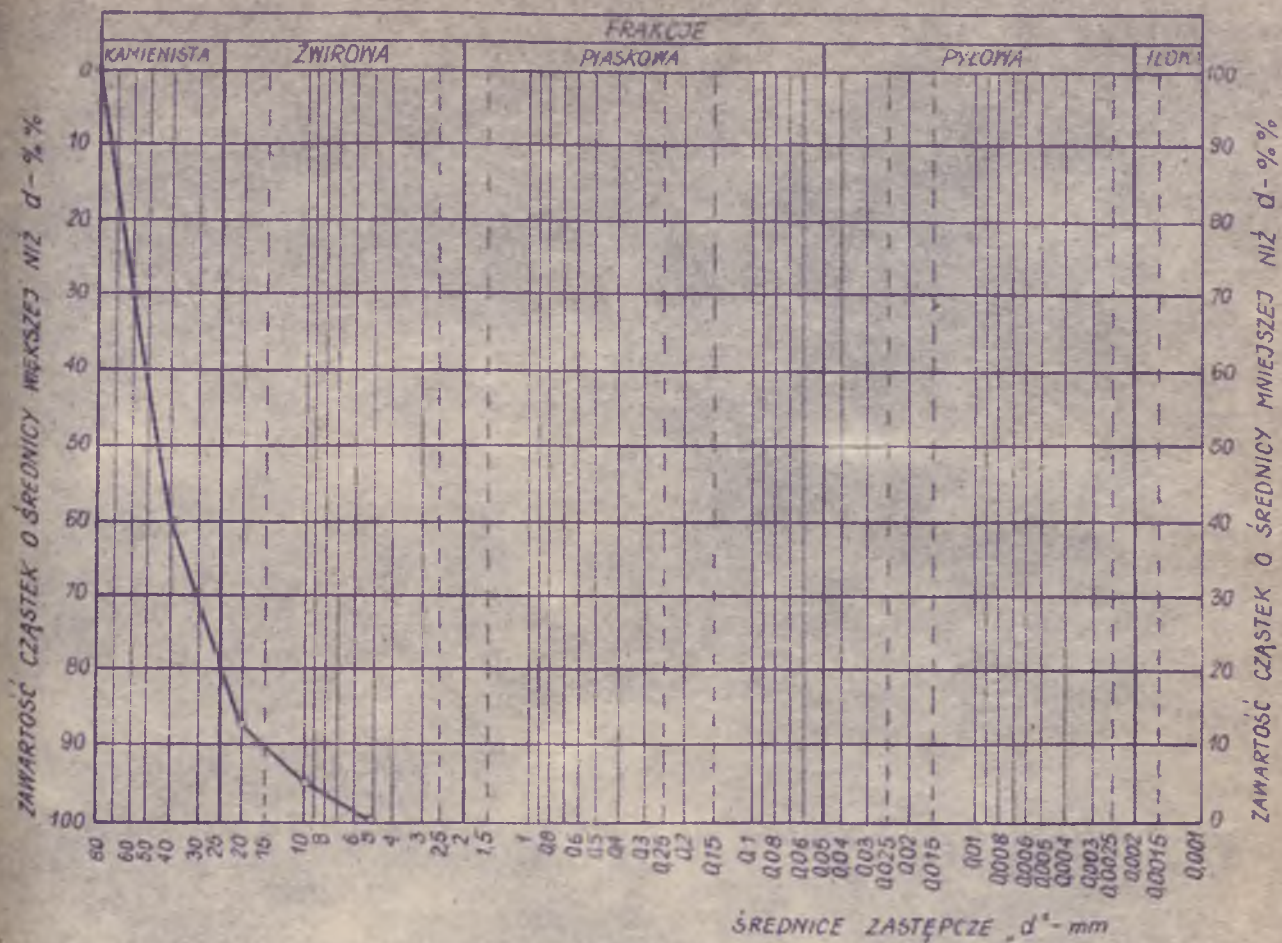


Rys. 8.38. ZALEŻNOŚĆ φ I τ_0 OD σ_{os} . GRUNT Z ZAPORY W GŁĘBINOWYJE

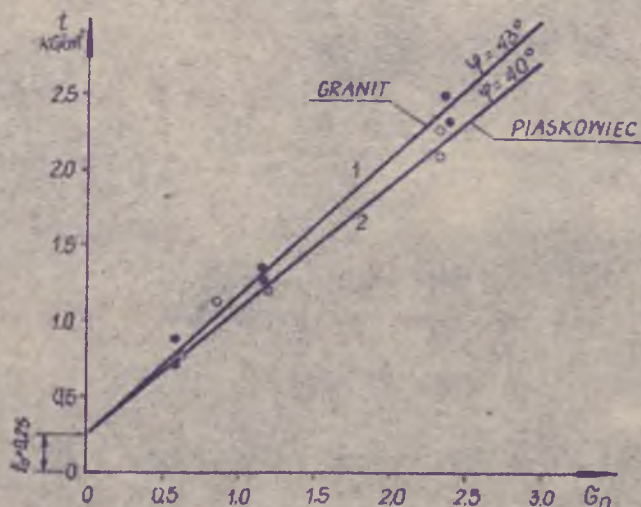


Rys. 8.39. PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ KĄTA TARCIA WEWNĘTRZNEGO φ ORAZ t_0 RÓŻNYCH GRUNTÓW GRUBOKLASTYCZNYCH

- | | |
|--|------------------------|
| 1. WISŁA KAMIENIEC | } GRUNT ZAGĘSZCZONY |
| 2. WISŁA TARAS WYSOKI | |
| 3. WISŁA KAMIENIEC | - GRUNT LUZEM NASYPANY |
| 4. GŁĘBINÓW (N-2) | - GRUNT ZAGĘSZCZONY |
| 5. GŁĘBINÓW (N-1, N-5) | - GRUNT ZAGĘSZCZONY |
| 6. JAZOWSKO | } GRUNT ZAGĘSZCZONY |
| 7. SRÓMOWCE WYZNE, KOJSÓWKA, FRYDMAN, NIEDZICA | |
| 8. JAZOWSKO, SRÓMOWCE WYZNE, KOJSÓWKA, FRYDMAN | |
| 9. NIEDZICA | |
| | } GRUNT LUZEM NASYPANY |

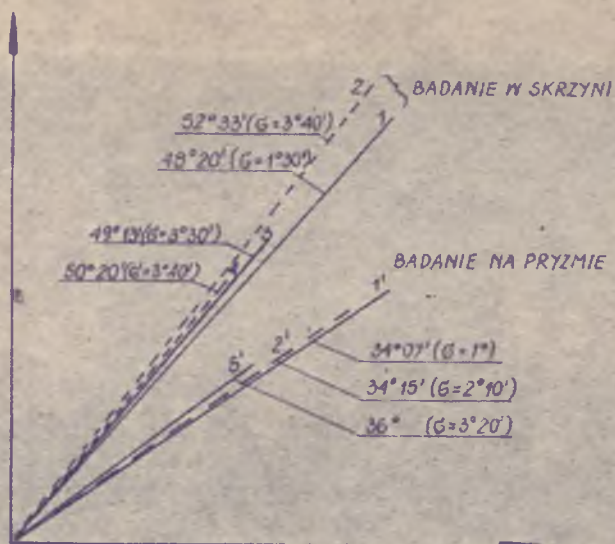


Rys. 8.40. WYKRES UZIARNIENIA OTOCZAKÓW, GRANITU I PIASKOWCA



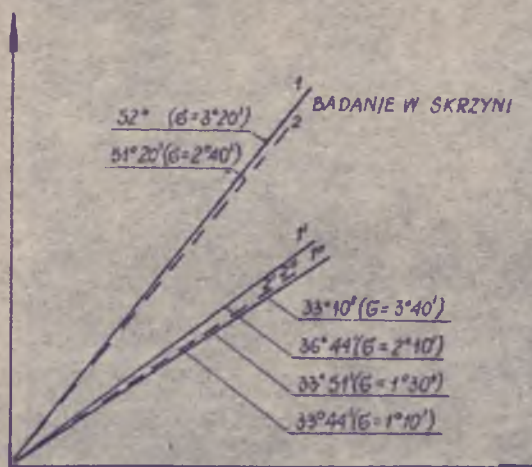
Rys. 8.41. ZALEŻNOŚĆ OPORU NA ŚCINANIE OD NAPRĘŻENI NORMALNYCH ŚCINANIE Z ZASTOSOWANIEM 4 RAMEK W STREFIE ŚCINANIA

GRUNT: 1. ZIARNA GRANITU (OTOCZONE) - $\gamma_{os} = 1.59 \text{ G/cm}^3$
 2. ZIARNA PIASKOWCA (OTOCZONE) - $\gamma_{os} = 1.58 \text{ G/cm}^3$



Rys. 8.42. ZALEŻNOŚĆ KĄTA STOKU NATURALNEGO OD METODY BADAŃ GRUNT Z DOLINY DUNAJCA ($\phi < 80$ mm)

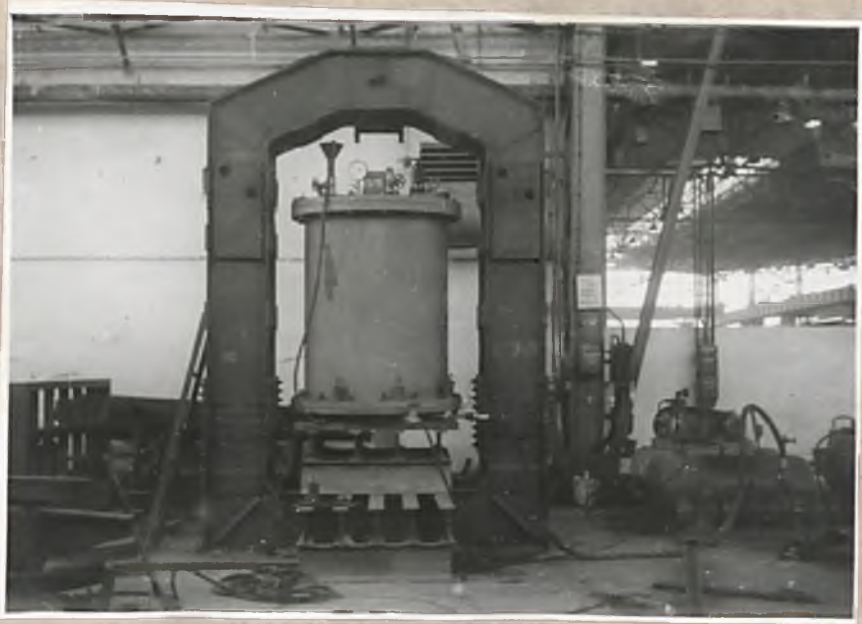
- 1:1' - GRUNT ZE SROMOWIEC WYŻNYCH
- 2:2' - GRUNT Z KOJSÓWKI
- 3 - GRUNT Z FRYDMANA
- 4 - GRUNT Z JAZOWSKA
- 5' - GRUNT Z NIEDZICY
- 6 - ODCHYLENIE STANDARTOWE



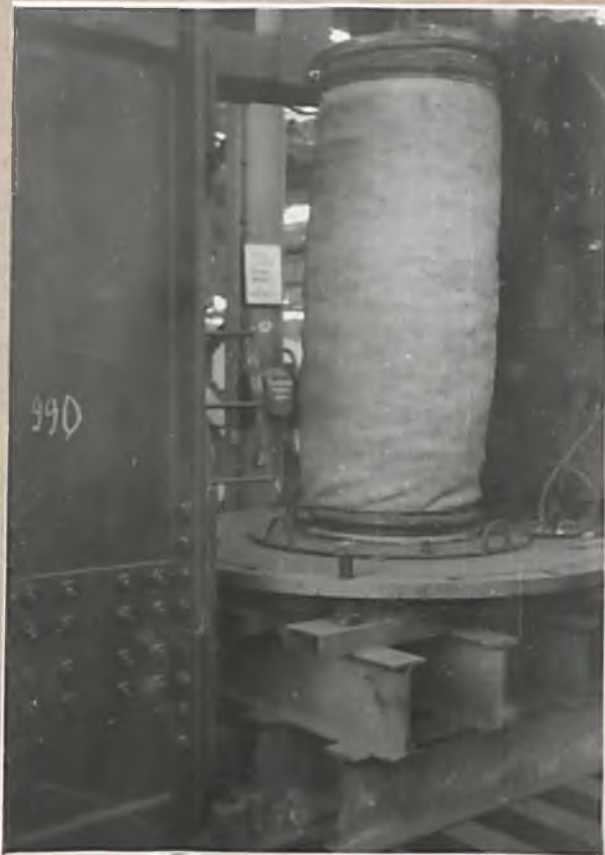
Rys. 8.43. ZALEŻNOŚĆ KĄTA STOKU NATURALNEGO OD METODY BADAŃ GRUNT Z WISŁY-CZARNE

- 1:1' PRÓBA W.Cz. III ($\phi < 80$ mm; $\phi > 80$ mm ZASTĄPIONO $\phi 60+80$ mm)
- 1'' PRÓBA W.Cz. III - NATURALNE UZIARNIENIE
- 2 PRÓBA W.Cz. IV - NATURALNE UZIARNIENIE
- 2' PRÓBA W.Cz. IV - ($\phi < 80$ mm; $\phi > 80$ mm ZASTĄPIONO $\phi 60+80$ mm)
- 2'' PRÓBA W.Cz. IV - NATURALNE UZIARNIENIE
- G ODCHYLENIE STANDARTOWE

a)



b)



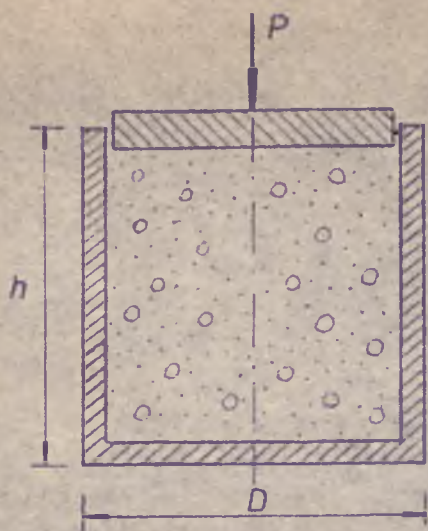
Rys. 8.44. WIELKOWYMIAROWY APARAT TRÓJFASOWY

a) WIDOK OGÓLNY

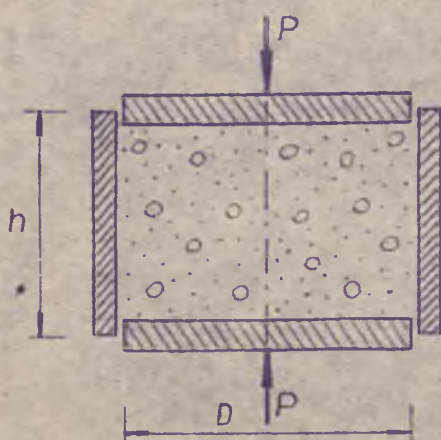
b) WIDOK PRÓBKI

PODSTAWOWE PARAMETRY EDMETRÓW
WG RÓŻNYCH AUTORÓW

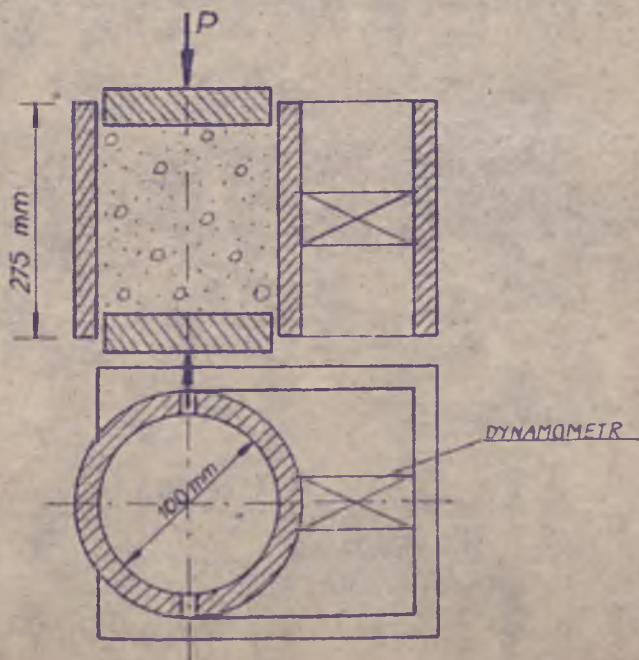
h cm	D cm	MAKSYMALNA ŚREDNICA ZIARNA - cm	MAKSYMALNE OBCIĄŻENIE kg/cm ²	AUTOR
25-200	50-200	10-40	12,5-100	ZUREK
45-45	11,3-50	0,5-6,5	11-4	SCHULZE
45	40	10	30	SCHLUTIG
45	90	12	60	WICZIPO- ROWICZ
2	6,5		8	PJV-56/B 04195



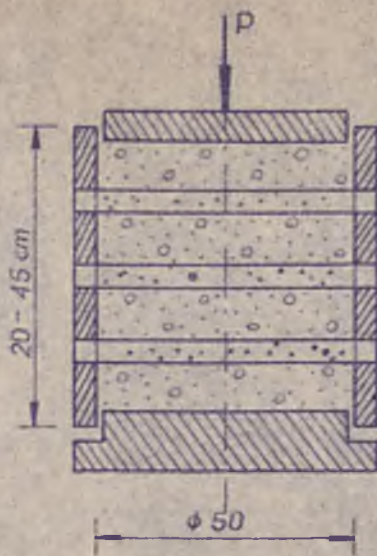
Rys. 9.1. EDMETR ZE STAŁYM DNEM



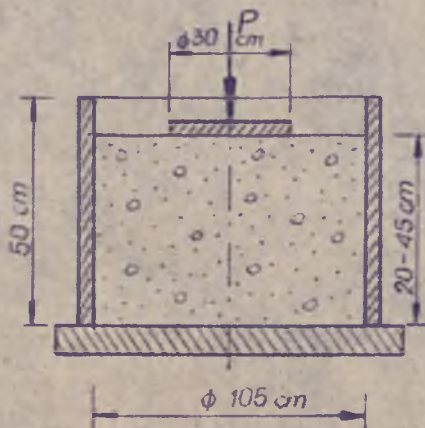
Rys. 9.2. EDMETR Z RUCHOMYM DNEM [100]



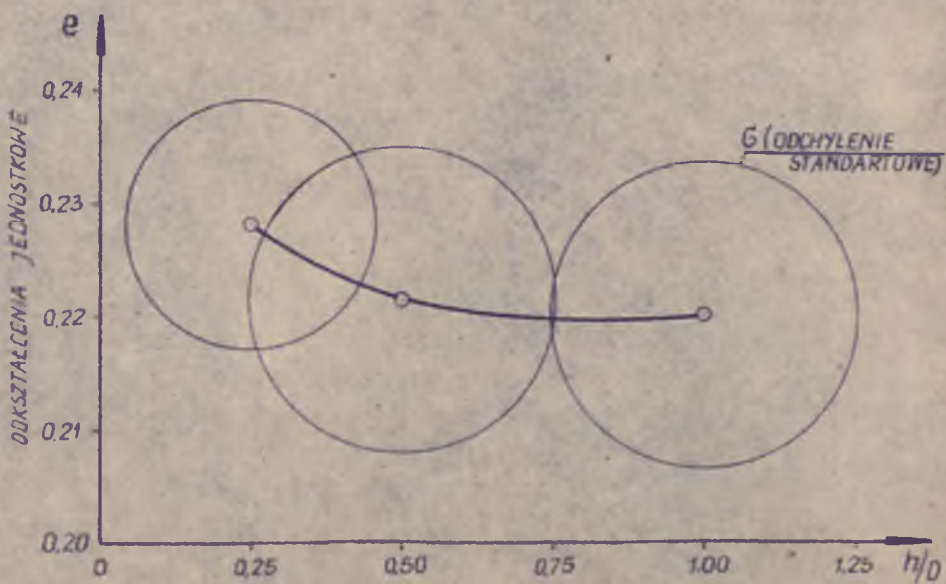
Rys. 9.3. EDMETR DWUDZIELNY Z RUCHOMYM DNEM [100]



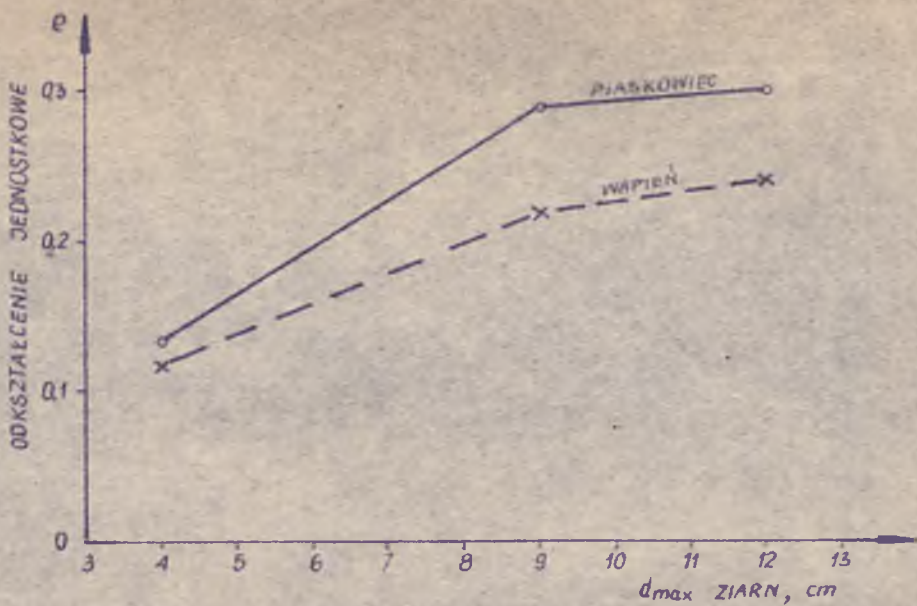
Rys. 9.4. EDMETR PIERŚCIENIOWY [100]



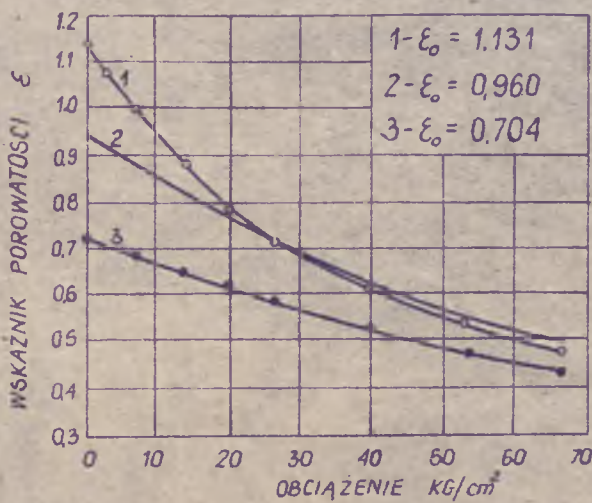
Rys. 9.5. EDMETR DO OKREŚLANIA ŚCISLIWOŚCI PRZEZ WCISKANIE PŁYTY [100]



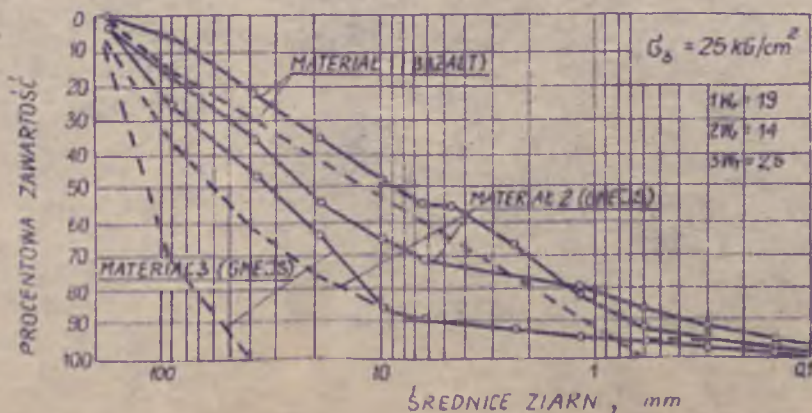
Rys. 9.6. ZALEŻNOŚĆ ODKSZTAŁCENIA PRÓBKII OD $\frac{h}{D}$ CYLINDRA [100]
(CYLINDER $D = 90$ mm, ZIARNA - $10 \div 20$ mm, OBCIĄŻENIE - 50 kG/cm^2)



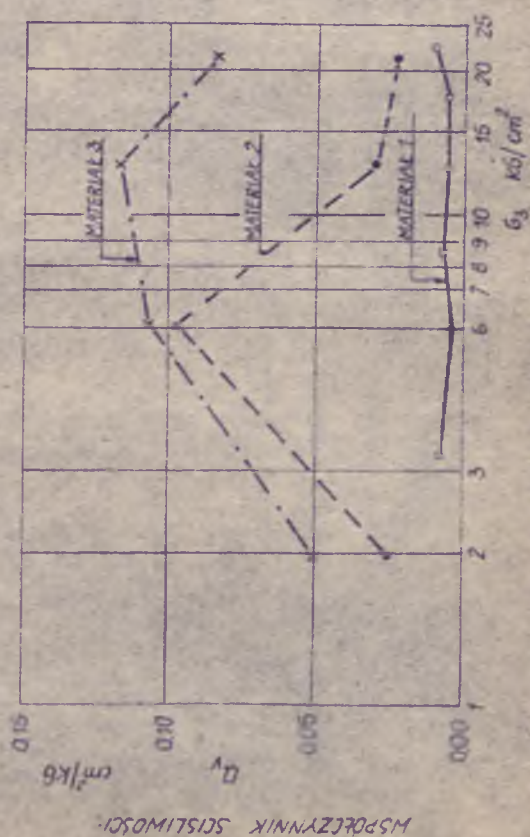
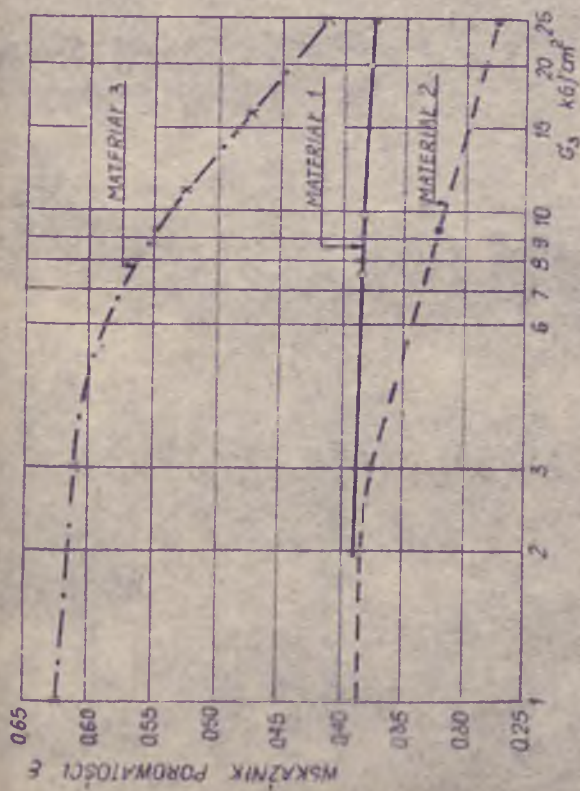
Rys. 9.7. ZALEŻNOŚĆ ODKSZTAŁCEŃ OD WIELKOŚCI ZIARN I RODZAJU SKAŁY [100]
 OBCIĄŻENIE - 60 kg/cm²



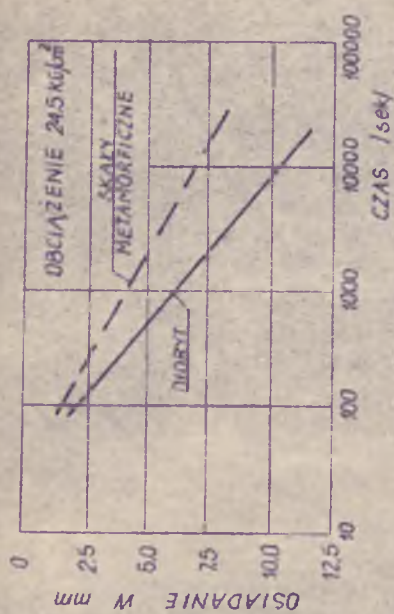
Rys. 9.8. ZALEŻNOŚĆ WSKAŹNIKA POROWATOŚCI OD WSKAŹNIKA POROWATOŚCI POCZĄTKOWEJ I OBCIĄŻENIA [79]
 UZIARNIENIE 20-30 mm



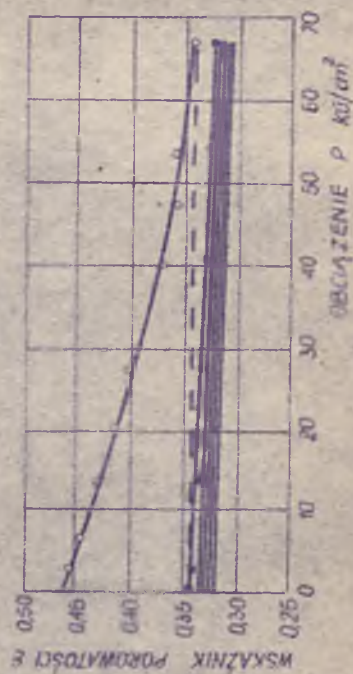
Rys. 9.9. WYKRES UZIARNIEŃ MATERIAŁÓW 1,2,3 PRZED I PO BADANIU W APARACIE TRÓJOSIOWYM [45]



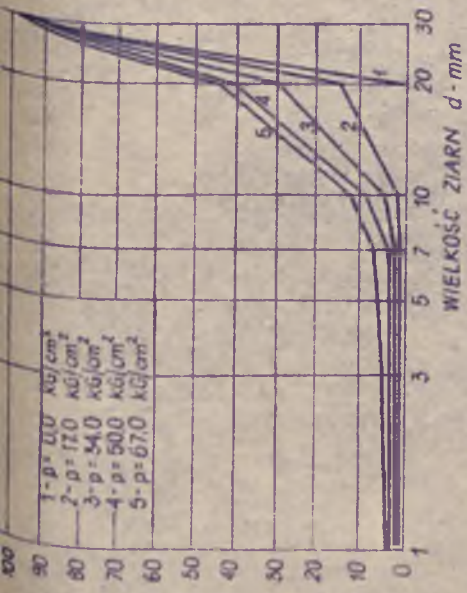
Rys. 9.10. WYNIKI BADAŃ ŚCISLIWOŚCI MATERIAŁÓW 1, 2, 3 WG BADAŃ TRÓJOSIOWYCH [45]



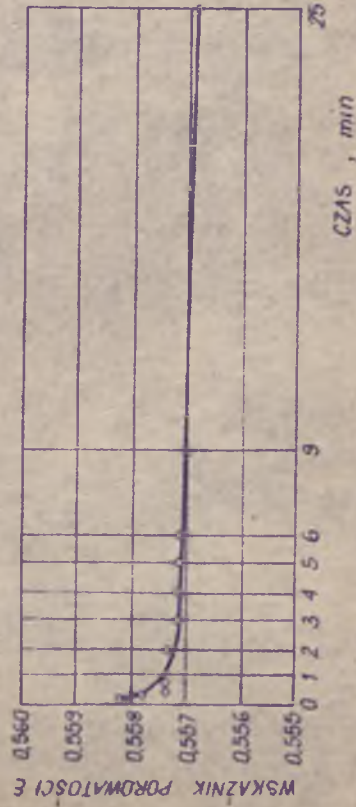
Rys. 9.11. ZALEŻNOŚĆ OSIADANIA TŁUCZNIĄ Z ZAPORY AMBUKLAO-FILIPINY OD SKŁADU PETROGRAFICZNEGO I CZASU [79]



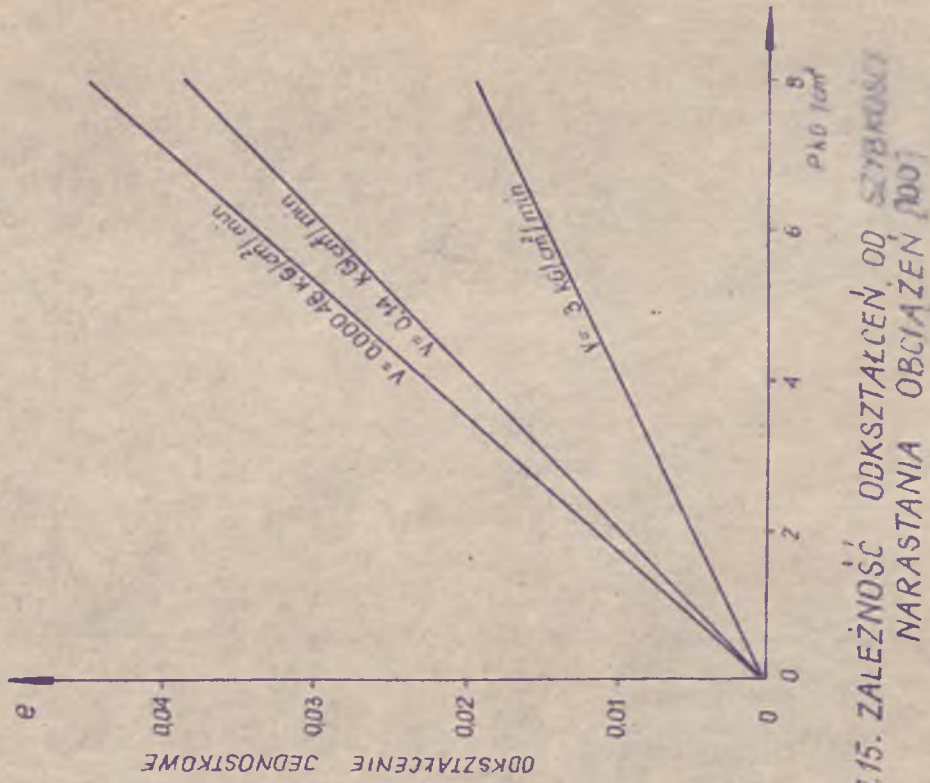
Rys. 9.12. WYKRES ŚCISLIWOŚCI TŁUCZNIĄ PRZY KILKAKROTNYM OBCIĄŻENIU [100]



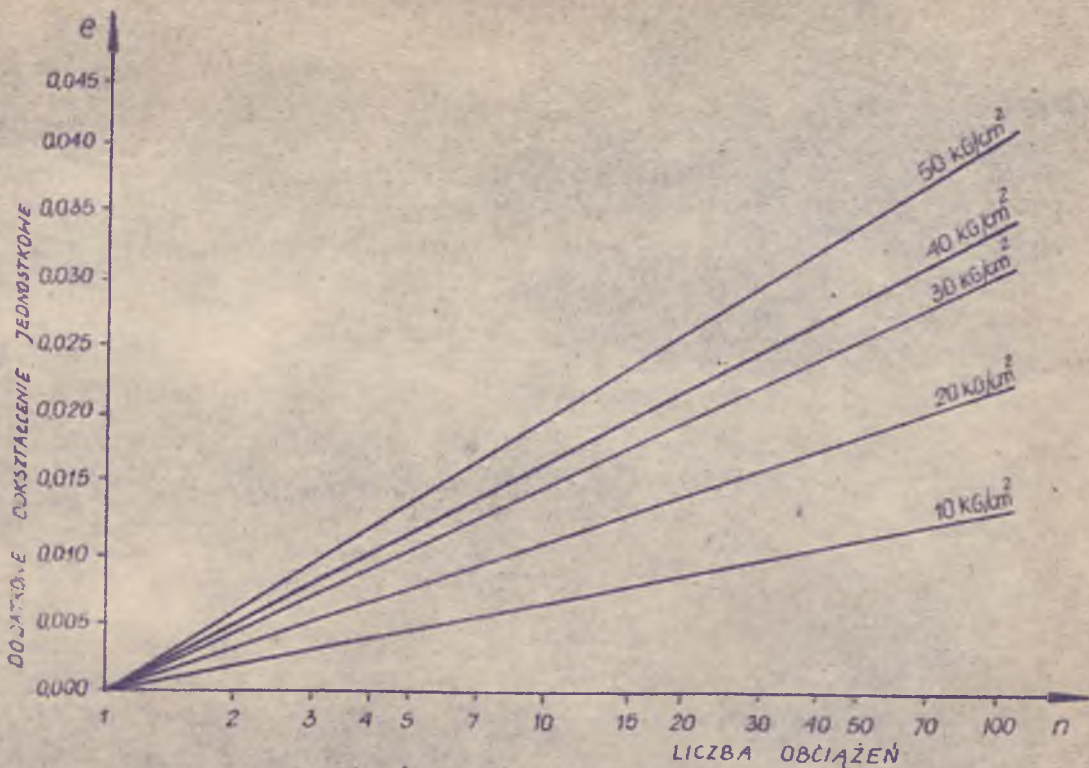
Rys. 9.13 ZALEŻNOŚĆ STOPNIA ROZKRUSZENIA TŁUŻCZNI
OD WIELKOŚCI OBCIĄŻENIA [100]
(PRÓBKA: $\phi 30 \times 8$ cm; POCZĄTKOWY WSKAŹNIK POROWATOŚCI $\epsilon_0 = 0.7$)



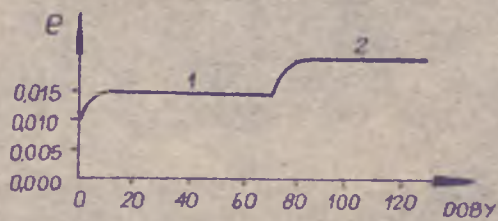
Rys. 9.14. ZALEŻNOŚĆ OSIADAŃ OD CZASU PRZY STAŁYM
OBCIĄŻENIU 6.7 kg/cm². [100]
(PRÓBKA: $\phi 30 \times 8$ cm; ZIARNA 2-3 cm; POCZĄTKOWY WSKAŹNIK
POROWATOŚCI $\epsilon_0 = 0.601$)



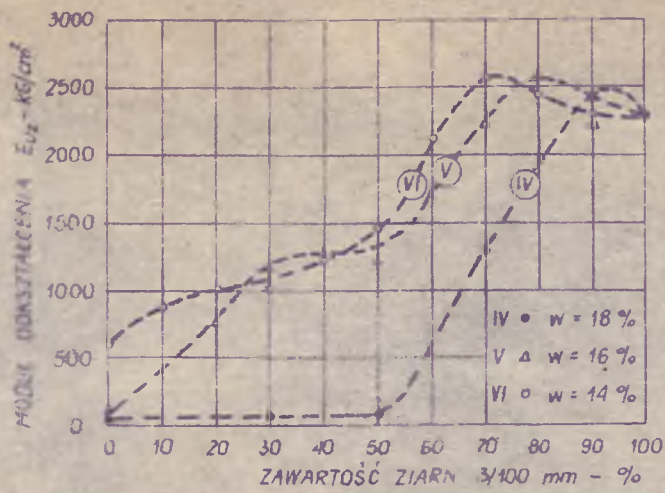
Rys. 9.15. ZALEŻNOŚĆ ODKSZTAŁCENIA OD SZYBKOŚCI
NARASTANIA OBCIĄŻENIA [100]



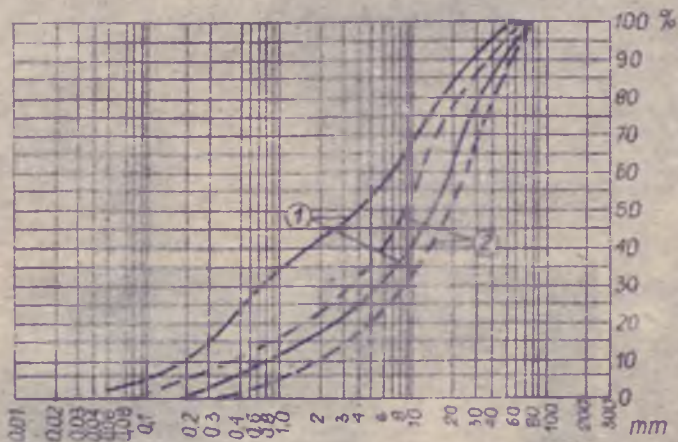
Rys. 9.16. KRZYWE ŚCISLIWOŚCI PRZY WIELOKROTNYM OBCIĄŻENIU [100]



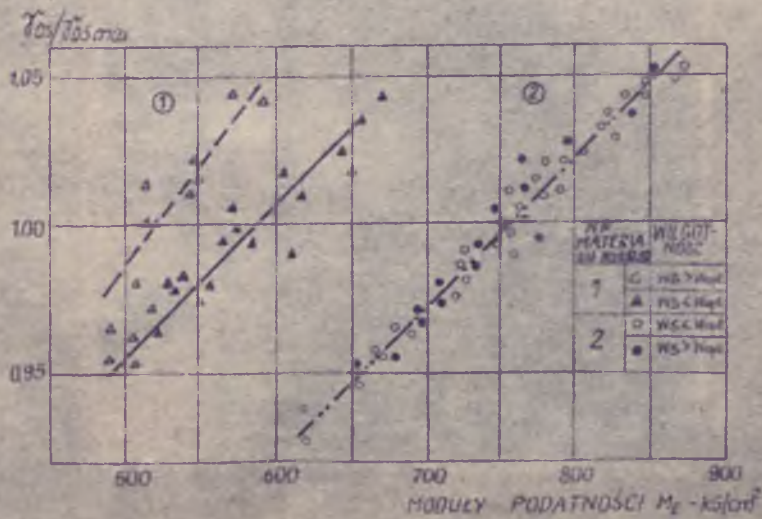
Rys. 9.17. KRZYWA PEŁZANIA PO ZALANIU WODĄ
 ($p=6,7 \text{ at}$; TŁUCZEŃ 20-30 mm) [100]
 1- W STANIE SUCHYM
 2- PO ZALANIU WODĄ



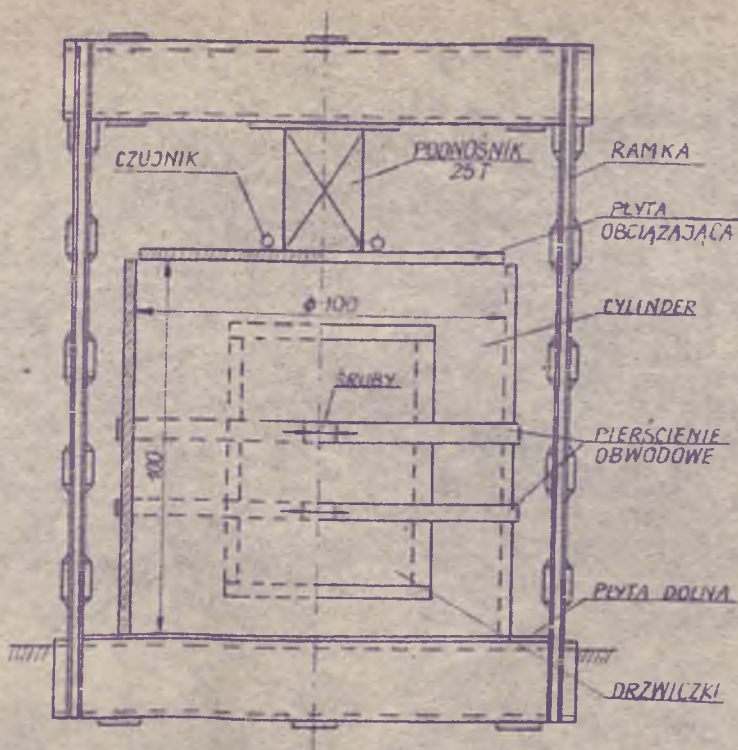
Rys. 9.18. ZALEŻNOŚĆ MODUŁU ODKSZTAŁCENIA OD WILGOTNOŚCI I ZAWARTOŚCI NADZIARNA [9]



Rys. 9.19. UZIARNIENIE GRUNTU W BADANIACH JOKŠIĆA [26]



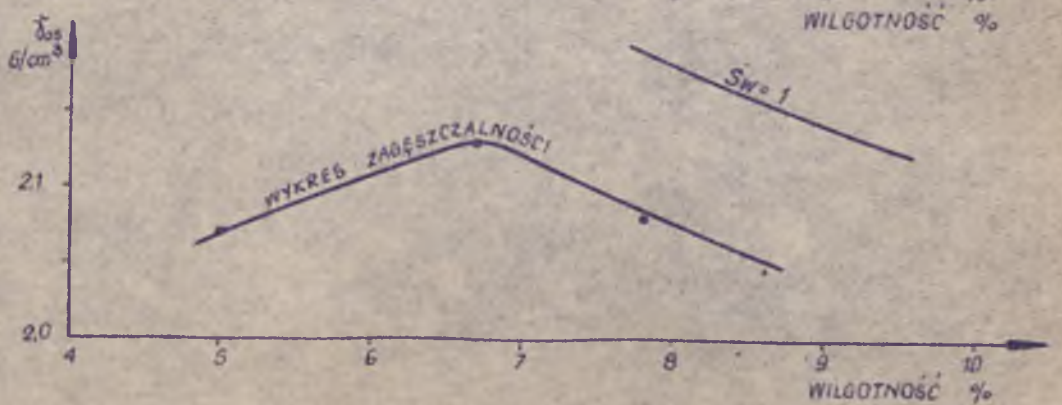
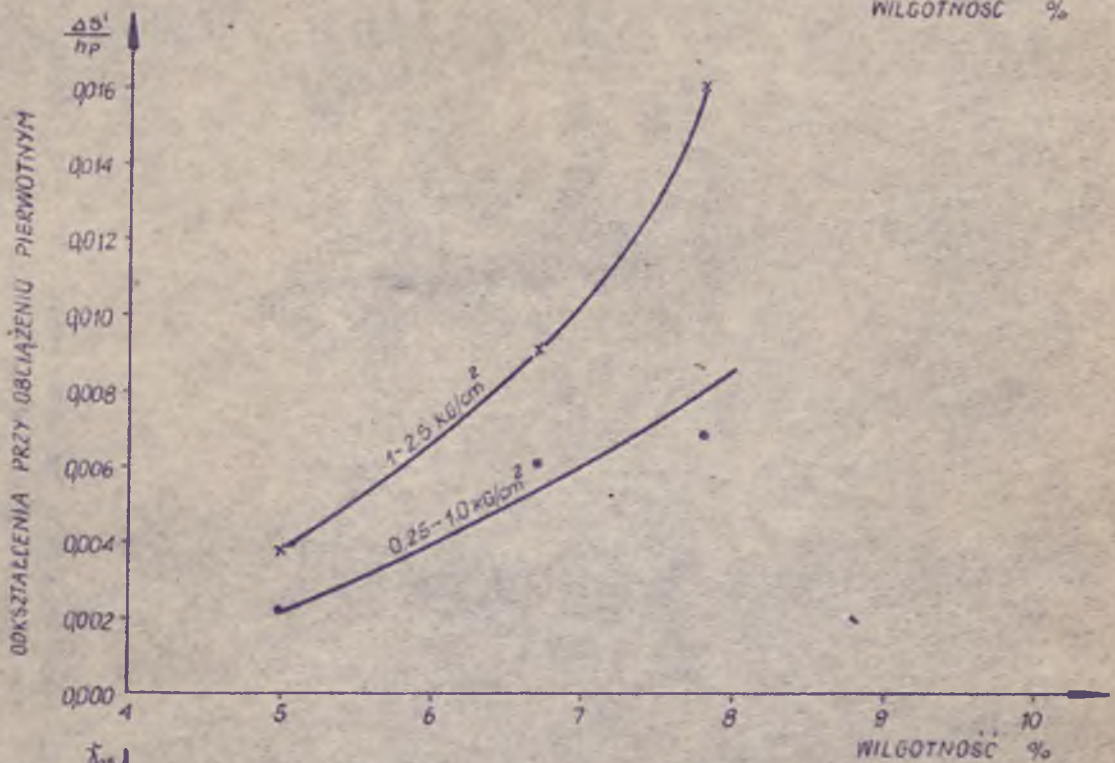
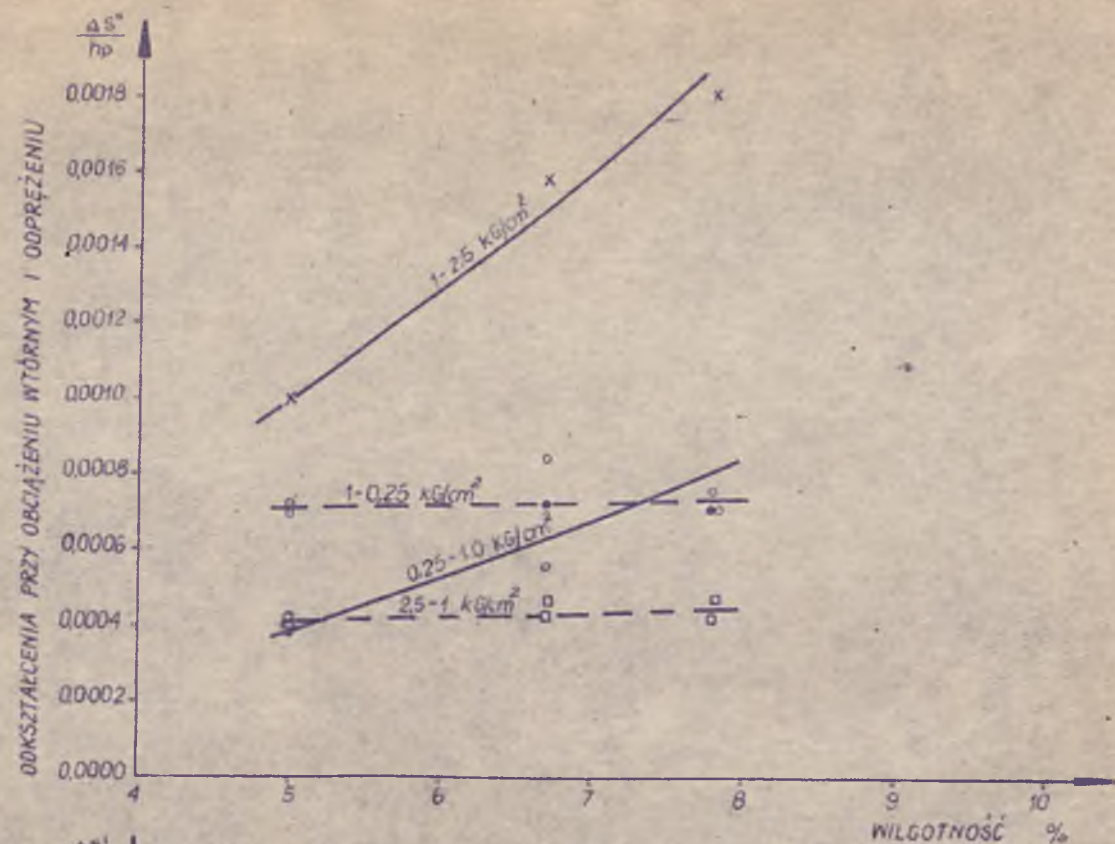
Rys. 9.20. ZALEŻNOŚĆ MODUŁÓW PODATNOŚCI OD WSKAZNIKA ZAGĘSZCZENIA, WILGOTNOŚCI I UZIARNIENIA [26]



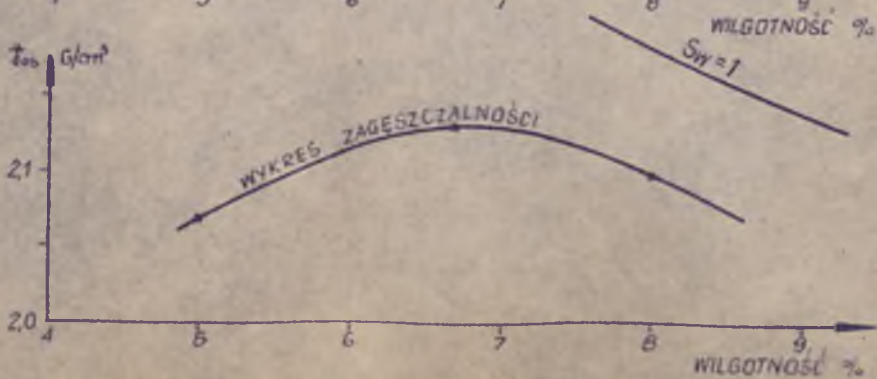
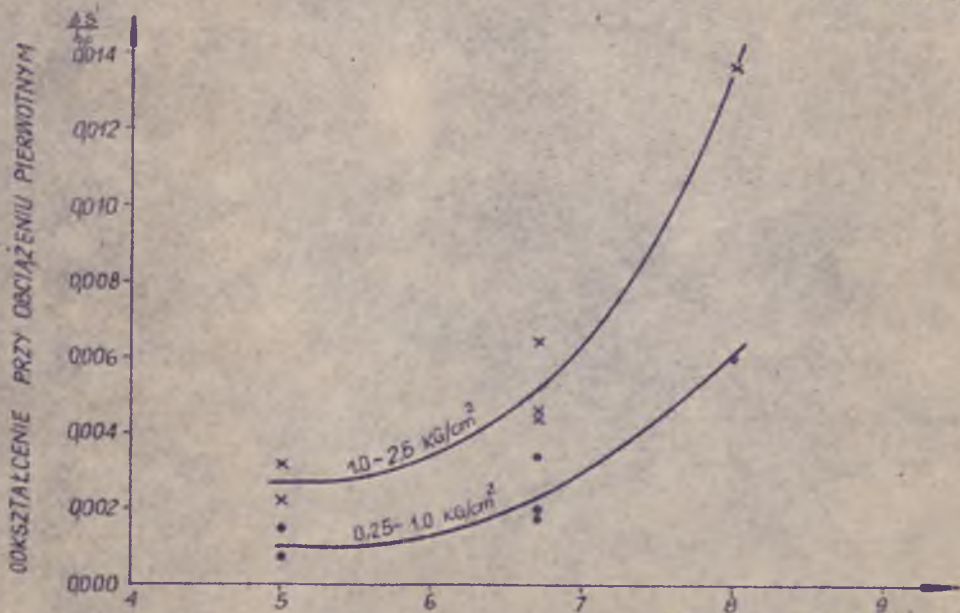
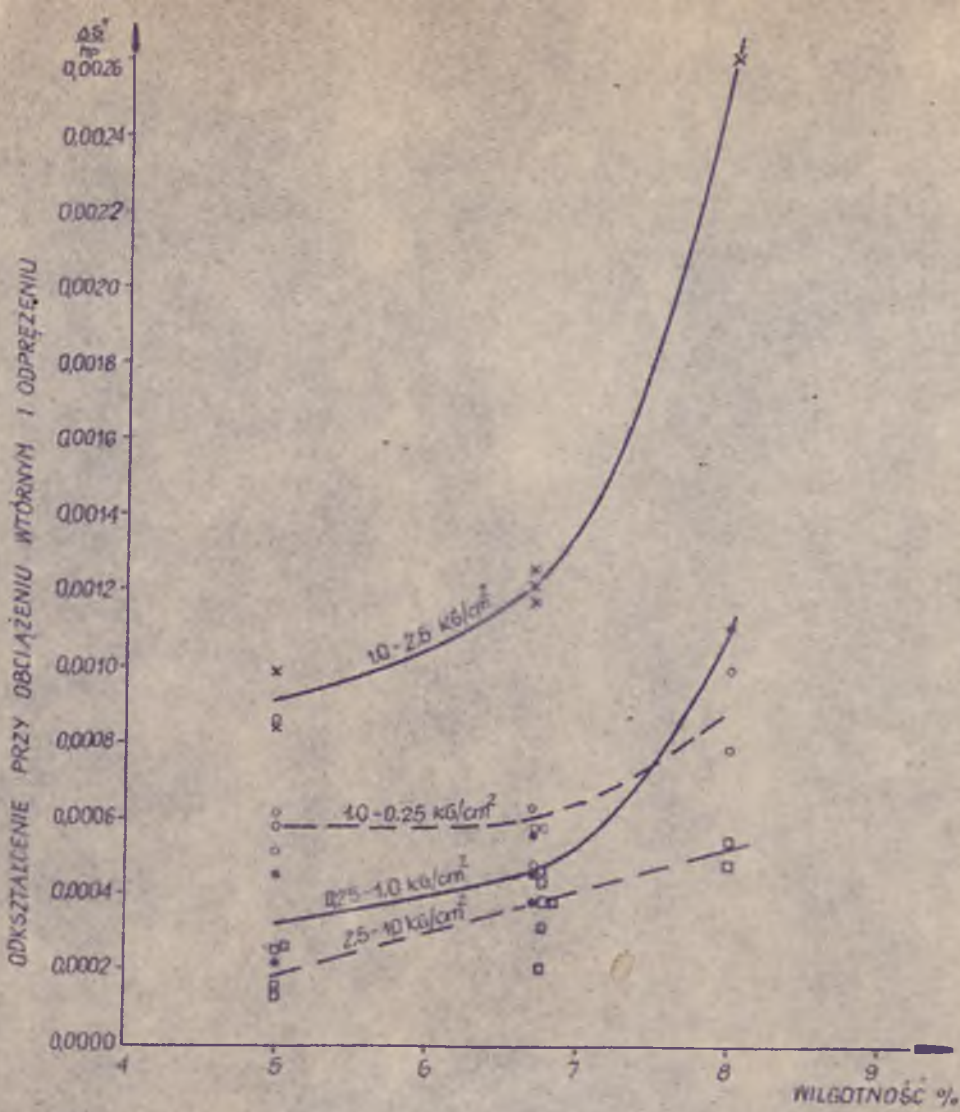
Rys. 9.21. SCHEMAT EDOMETRU WIELKOWYMIAROWEGO
(PELNA PLYTA)



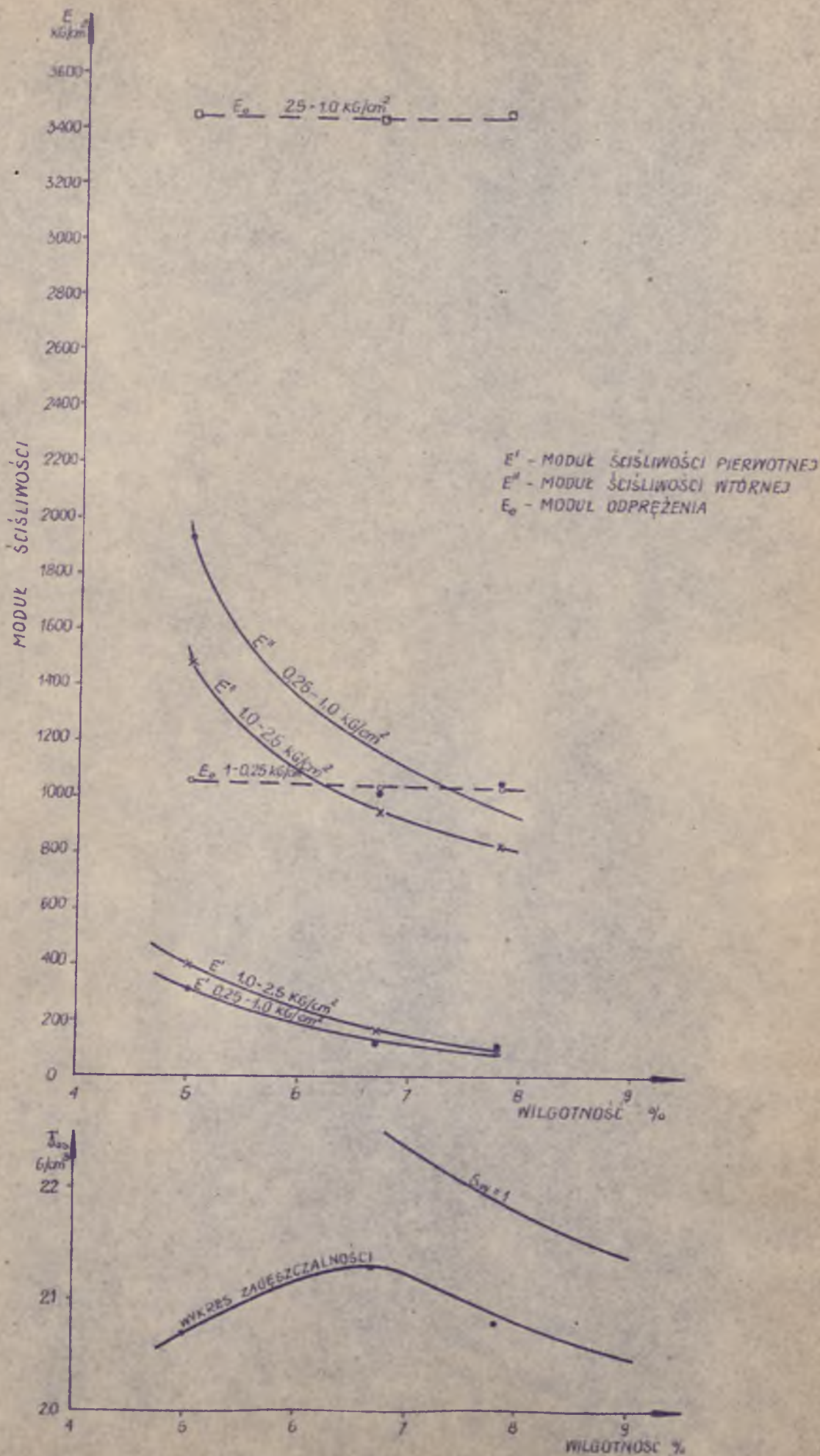
Rys. 9.22. EDOMETR WIELKOWYMIAROWY
(PLYTA $\phi 35$ cm)



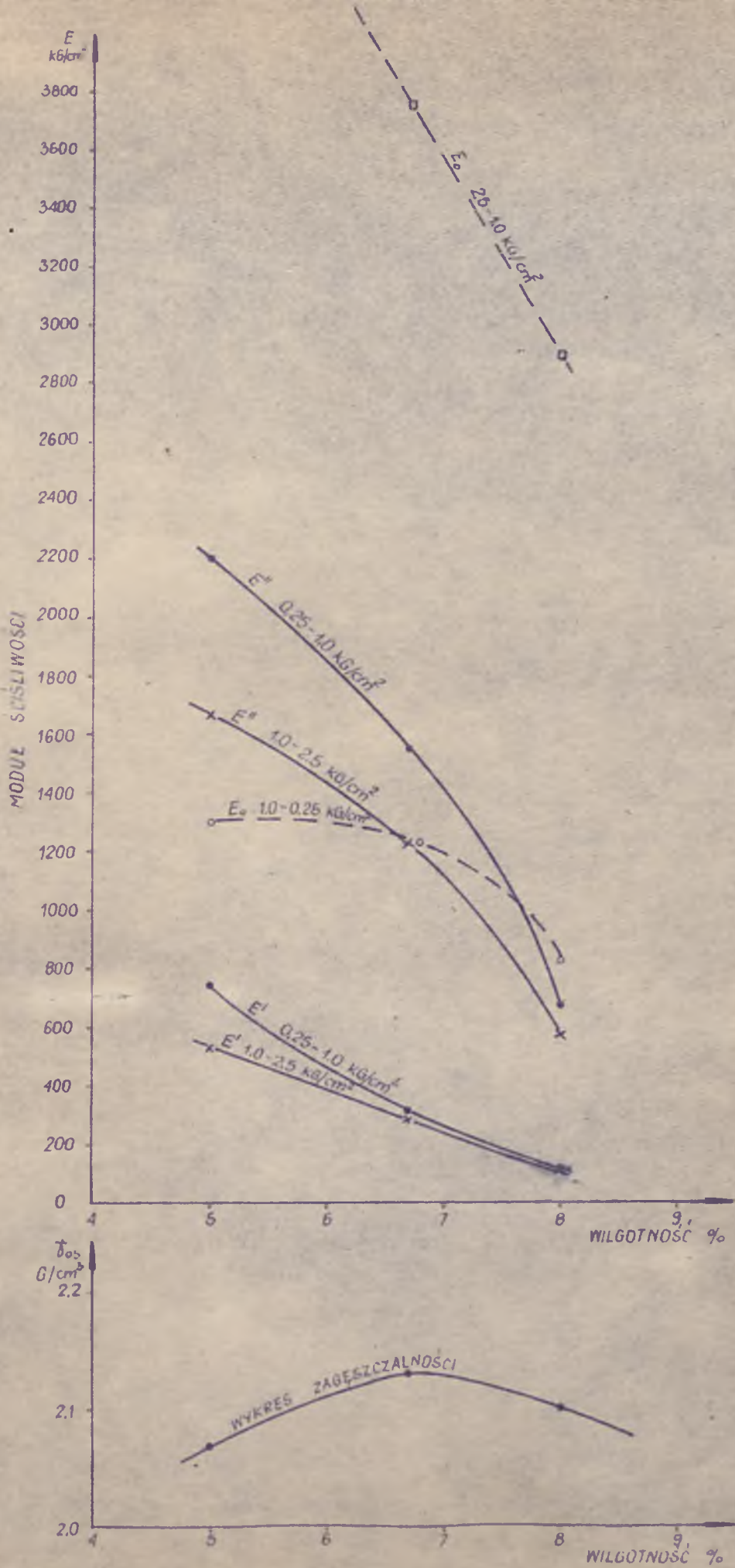
Rys. 9.23. ZALEŻNOŚĆ ODKSZTAŁCEŃ JEDNOSTKOWYCH OD WILGOTNOŚCI I ZAGĘSZCZENIA
GRUNT Z KAMIENCA B. WISELKI (PRÓBA W.Cz-III)



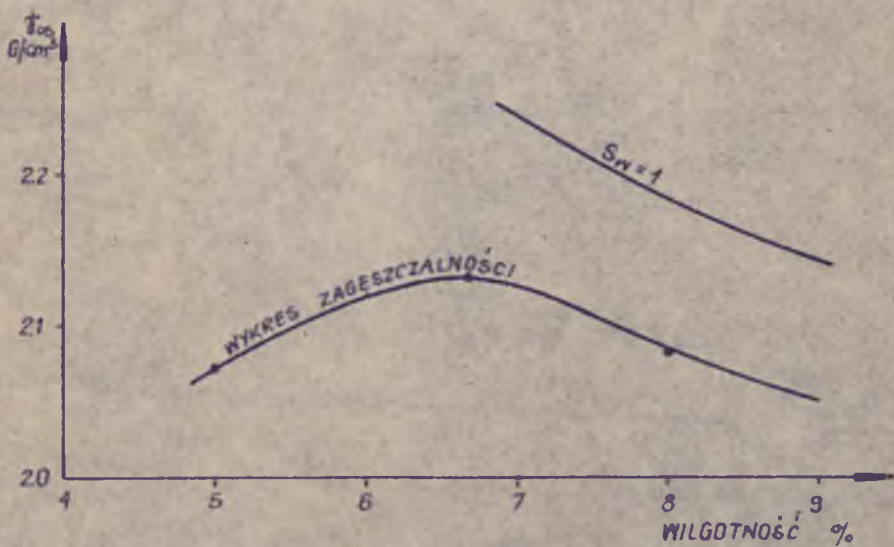
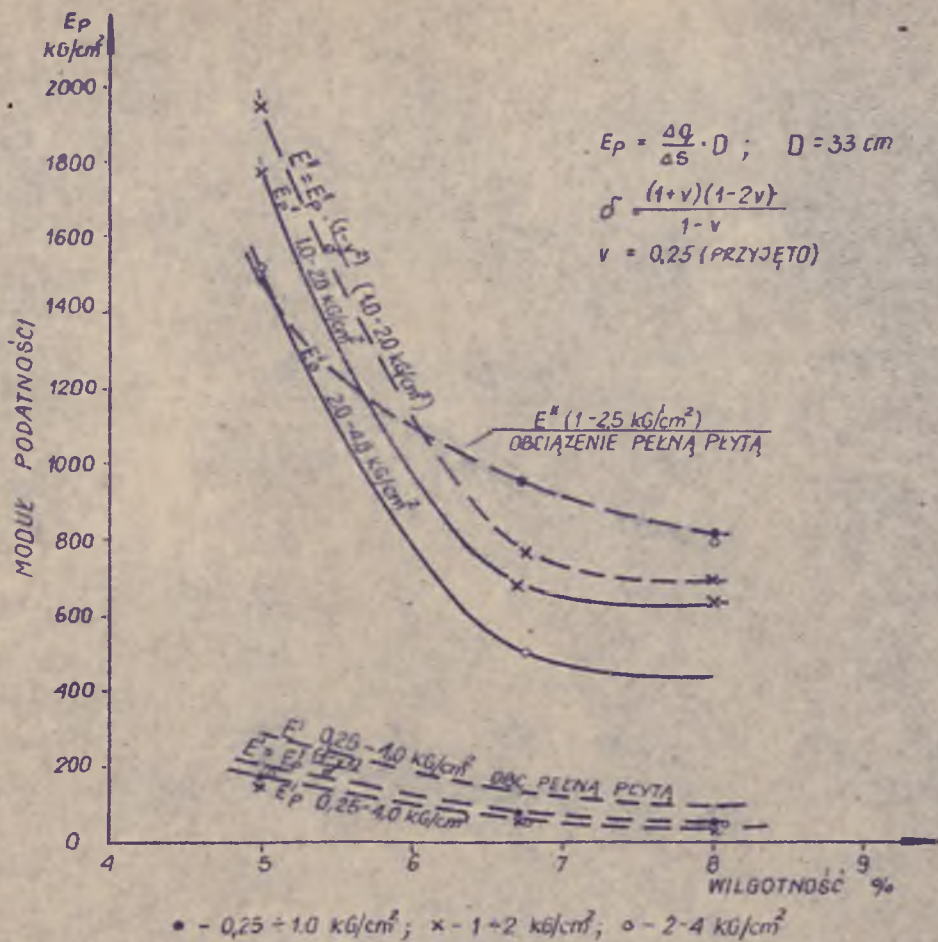
Rys. 9.24. ZALEŻNOŚĆ ODKSZTAŁCEN JEDNOSTKOWYCH OD WILGOTNOŚCI I ZAGĘSZCZENIA GRUNT Z TARASU WYSOKIEGO B. WISEŁKI PRÓBA W CZ-IV



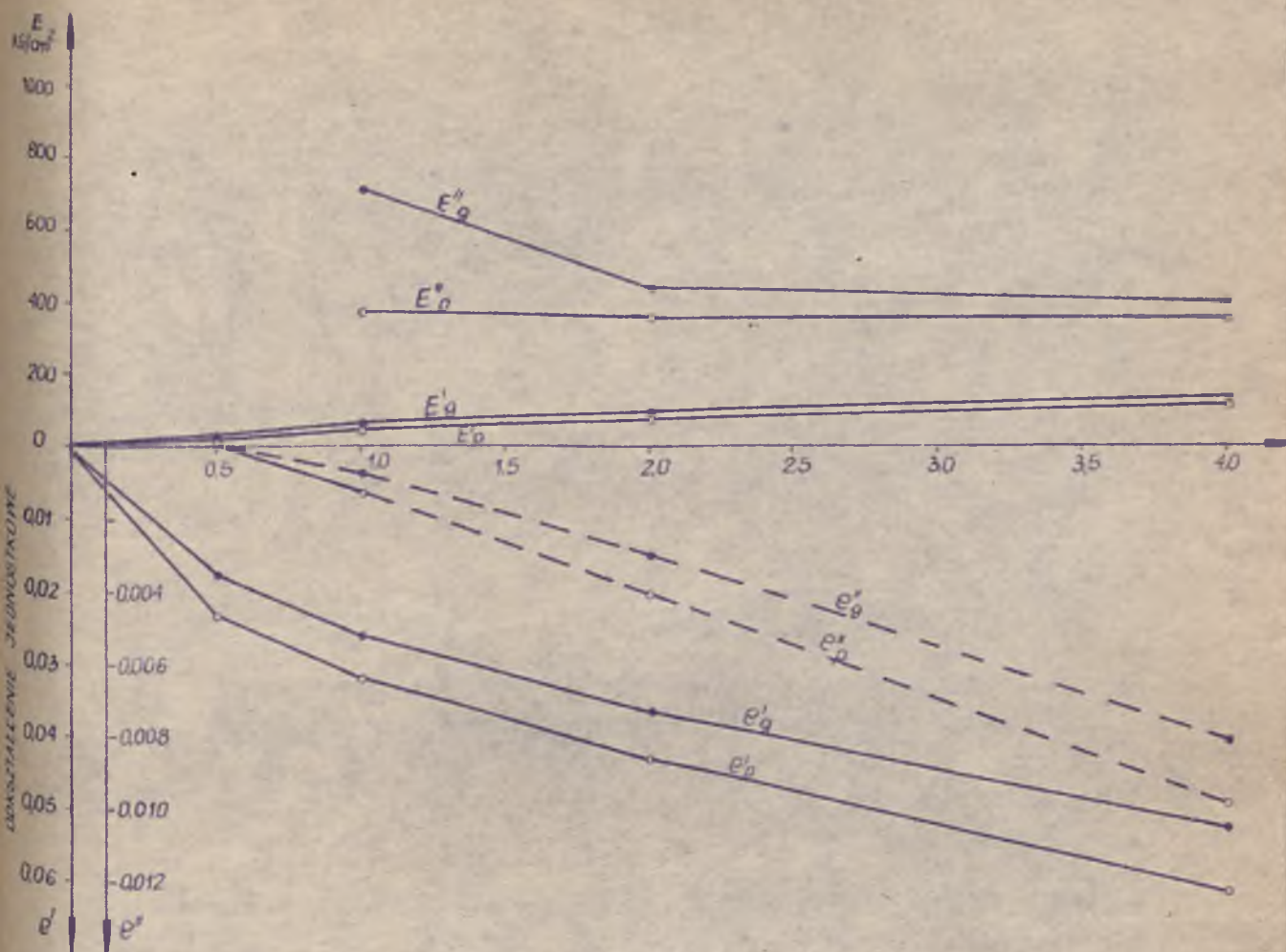
Rys. 925. ZALEŻNOŚĆ MODUŁÓW ŚCISLIWOŚCI OD WILGOTNOŚCI I ZAGĘSZCZENIA GRUNT Z KAMIENIA B. WISEŁKI (PRÓBA W.Cz.-III)



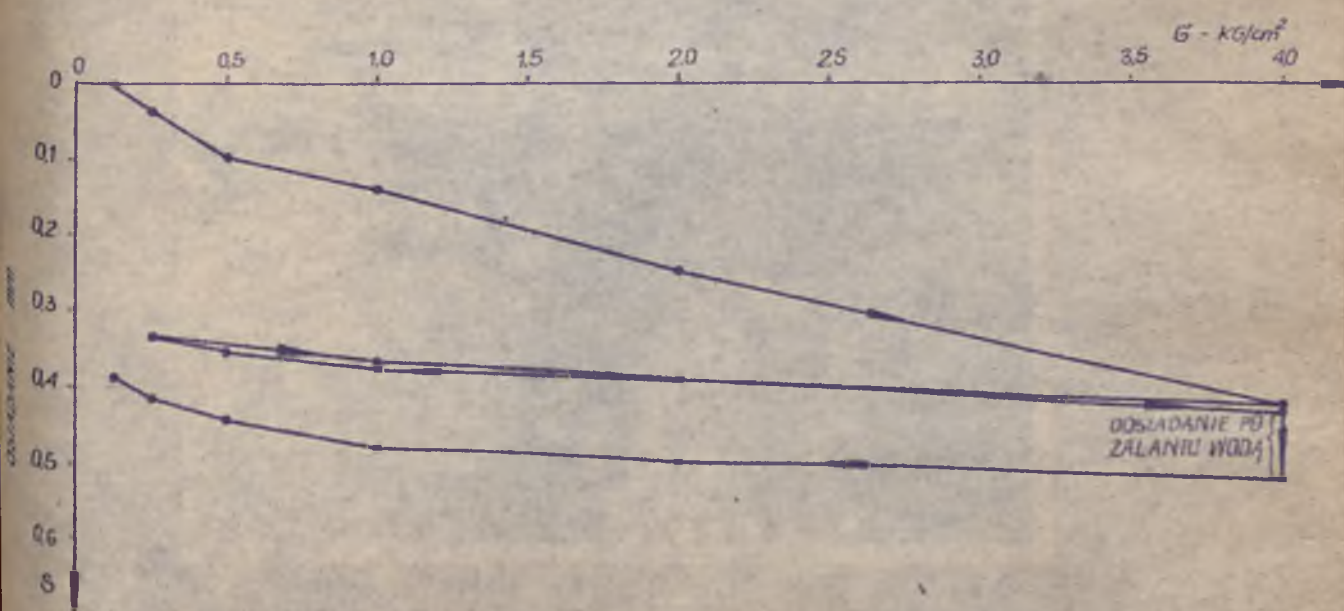
Rys. 9.26. ZALEŻNOŚĆ MODUŁÓW ŚCISLIWOŚCI OD WILGOTNOŚCI I ZAGĘSZCZENIA GRUNT Z TARASU WYSOKIEGO B. WISŁĘKI (PRÓBA Wcz-IV)



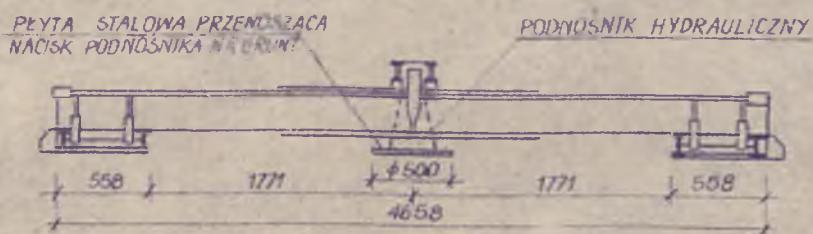
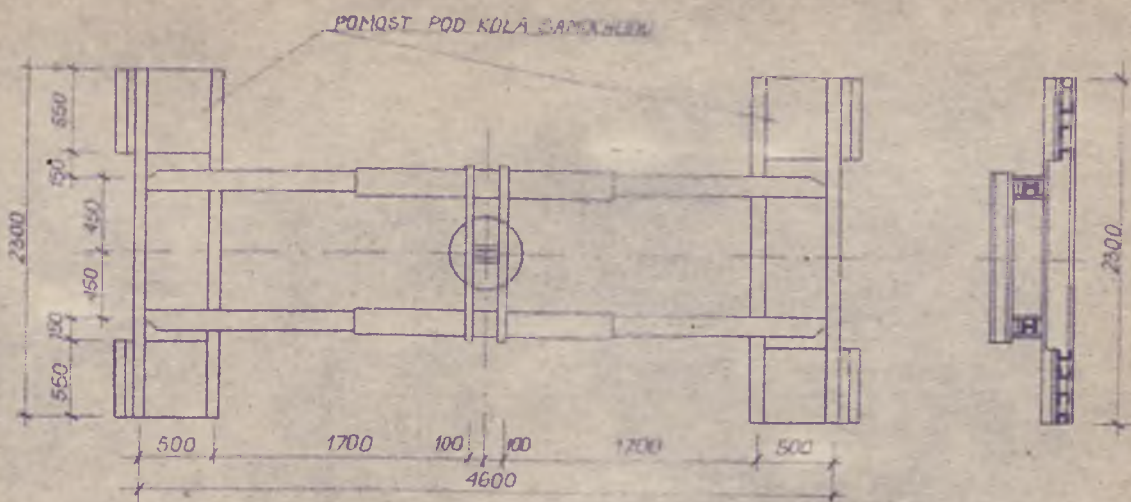
Rys. 927. ZALEŻNOŚĆ MODUŁÓW PODATNOŚCI OD WILGOTNOŚCI I ZAGĘSZCZANIA GRUNT Z KAMIENCA B. WISZKI (PRÓBA W.Cz-III)



Rys. 9.28. WYKRES ZALEŻNOŚCI ODKSZTAŁCEN JEDNOSTKOWYCH I MODUŁÓW ŚCIŚLIWOŚCI OD SKŁADU PETROGRAFICZNEGO I OBCIĄŻENIA
 • - GRANIT - $\delta_{os} = 1,59$ g/cm³ ; o - PIĄSKOWIEC - $\delta_{os} = 1,58$ g/cm³



Rys. 9.29. ZALEŻNOŚĆ OSIADANIA ZWIRU $\phi 2-4$ mm OD OBCIĄŻENIA I ZAWILGOCENIA ($\delta_{os} = 1,86$ g/cm³)



Rys 9.30. RYSUNEK OGÓLNY URZĄDZENIA DO PRÓBNYCH OBCIĄŻEŃ GRUNTU



Rys 9.31. PODNOŚNIK HYDRAULICZNY WRAZ Z PEŁTĄ OBCIĄŻAJĄCĄ
I CZUJNIKAMI POMIAROWYMI

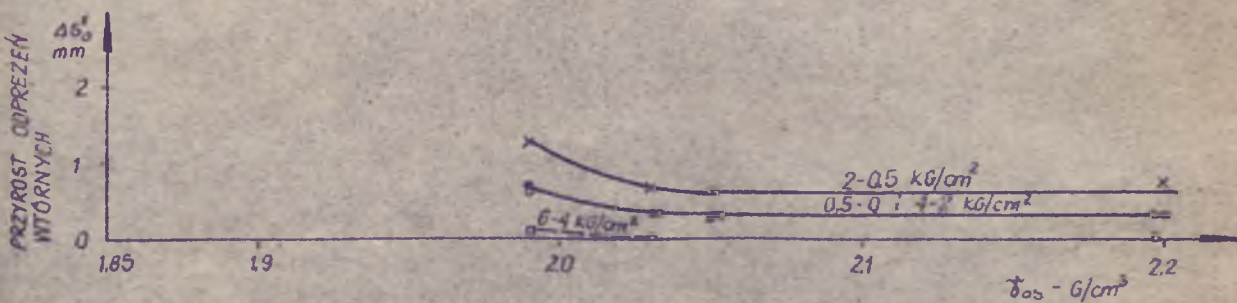
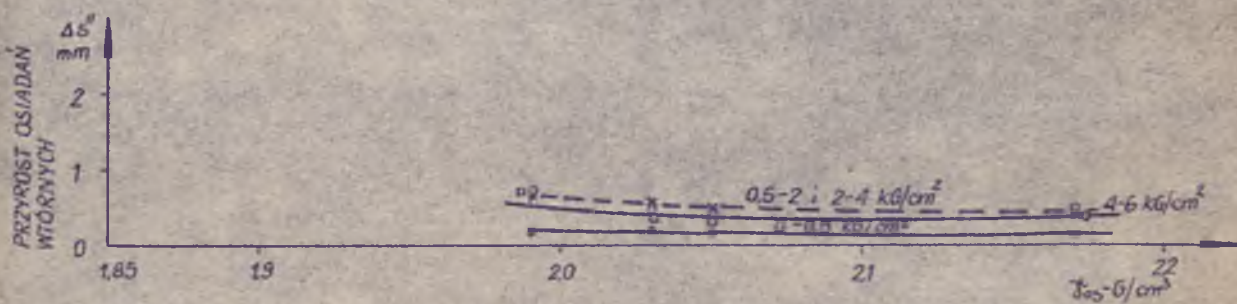
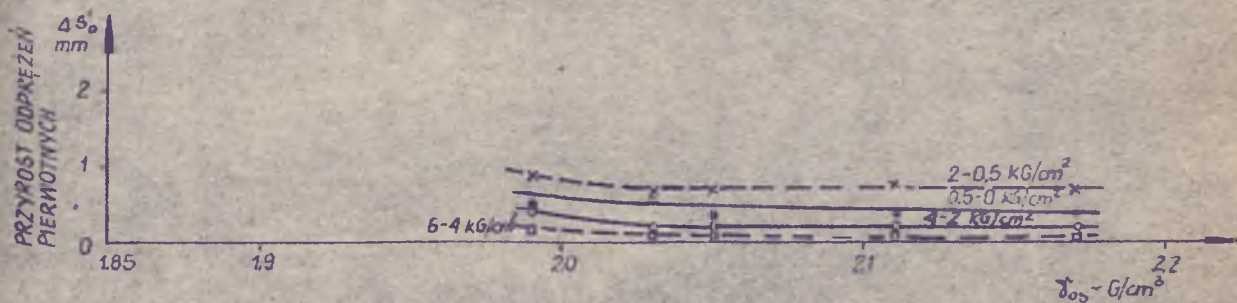
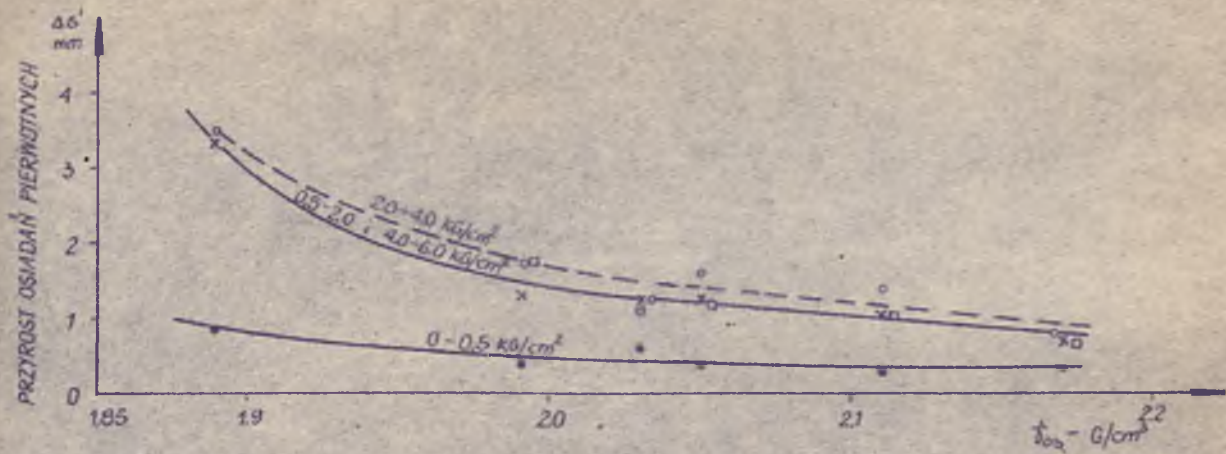
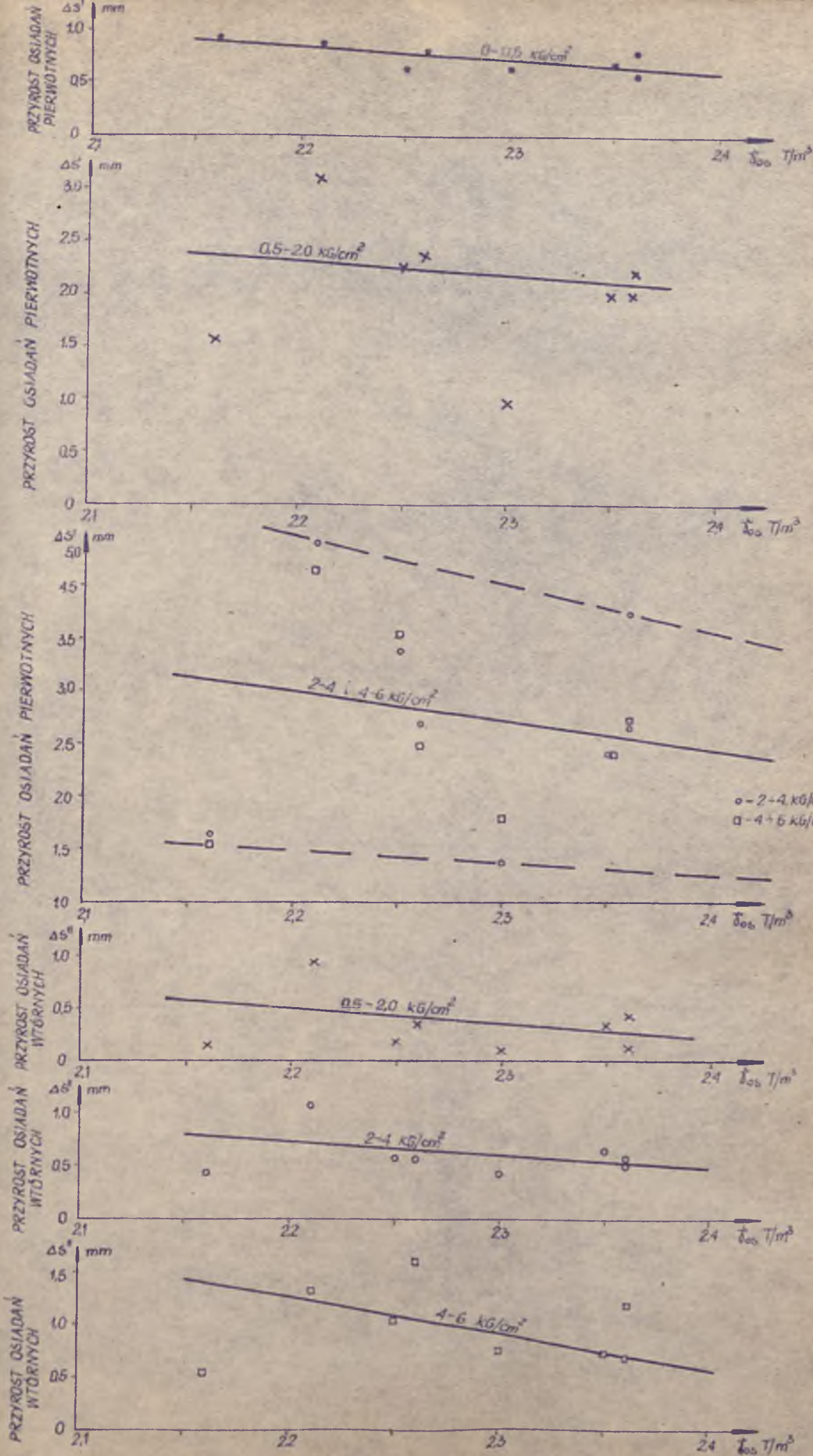
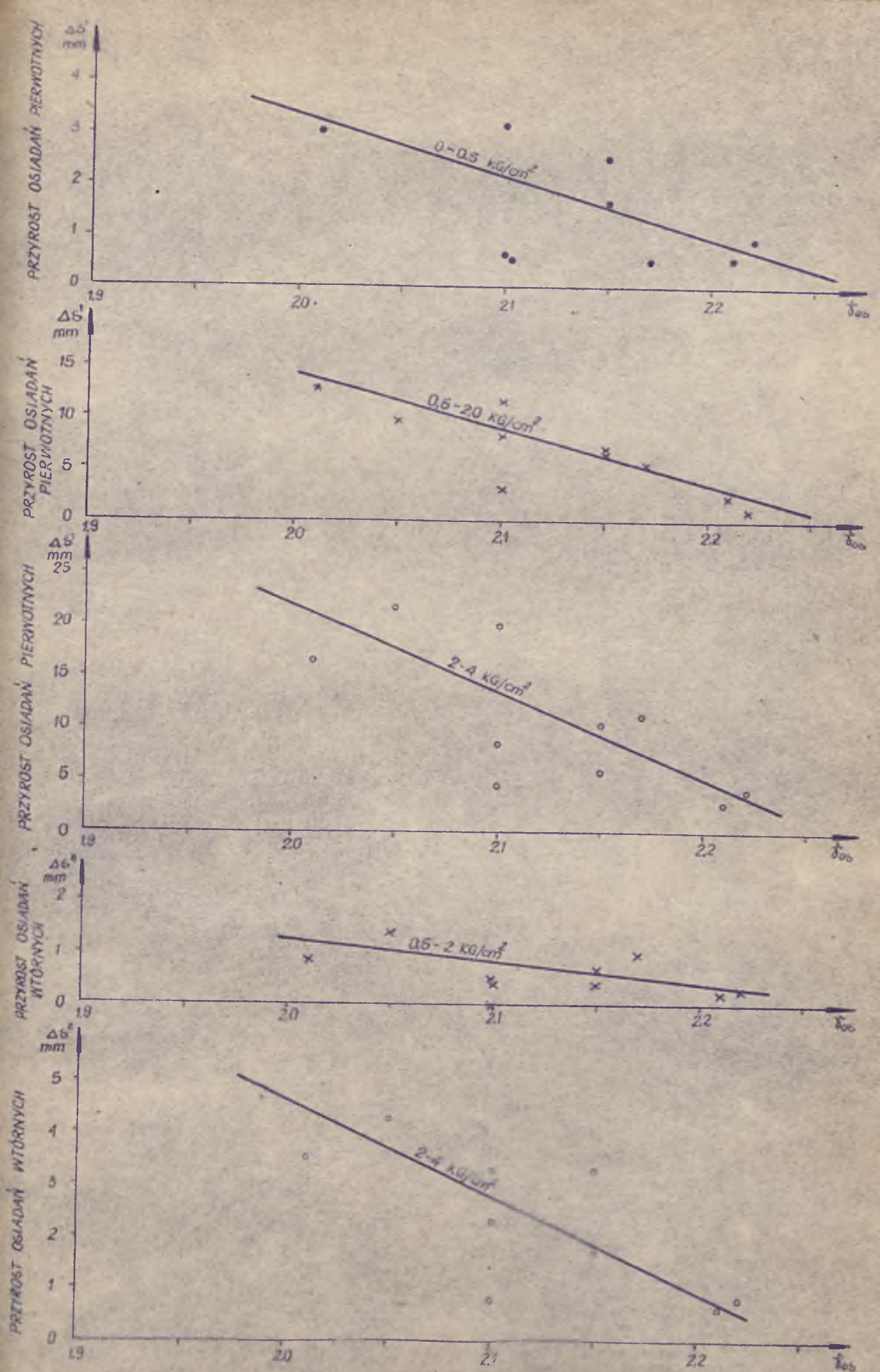


Рис. 9.32. ЗАЛЕЖНОСТЬ ПРИЗРОСТУ ОСИДАНА І ОДПРЕЖЕН ОД δ_{os} І ОБЦІАЖЕНА (ТРЕСНА)

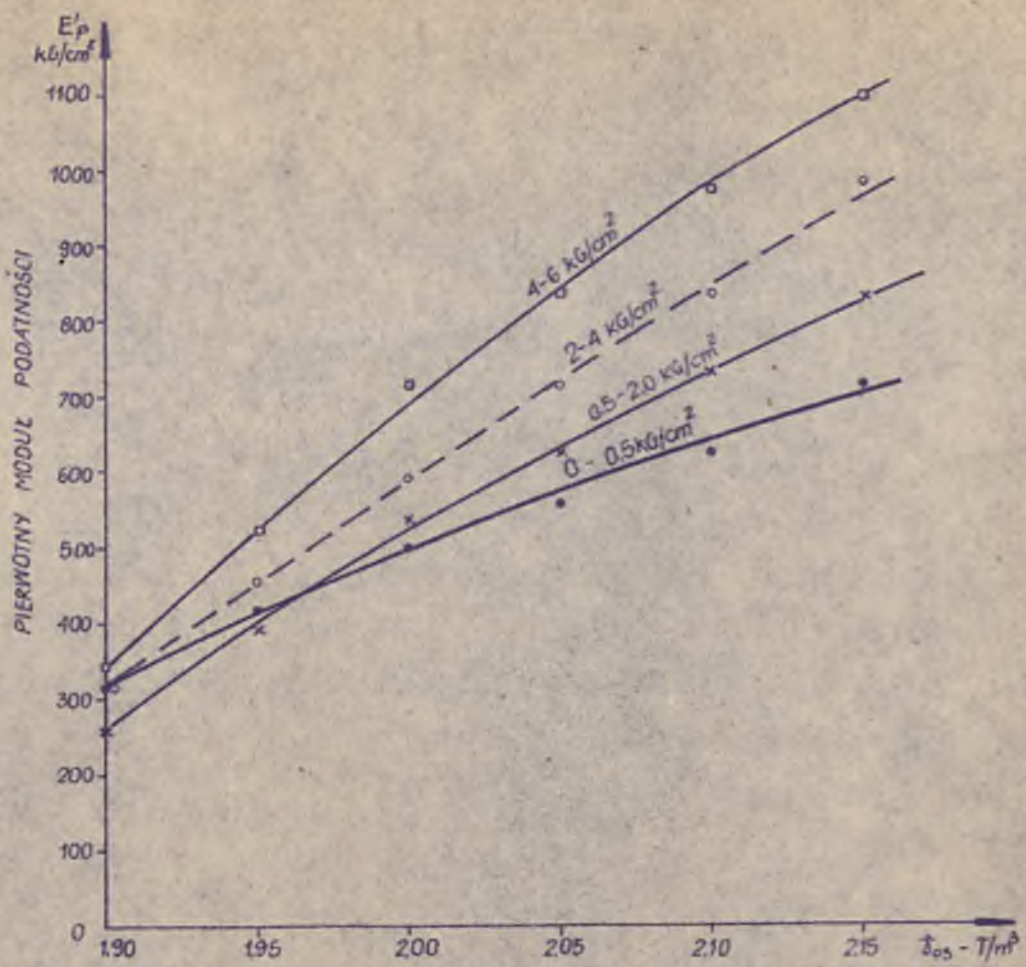
ЗАКРЕС ОБЦІАЖЕН: \bullet - 0+0,5 кг/см², \times - 0,5+2,0 кг/см², \circ - 2,0+4,0 кг/см²; \square - 4,0+6,0 кг/см²



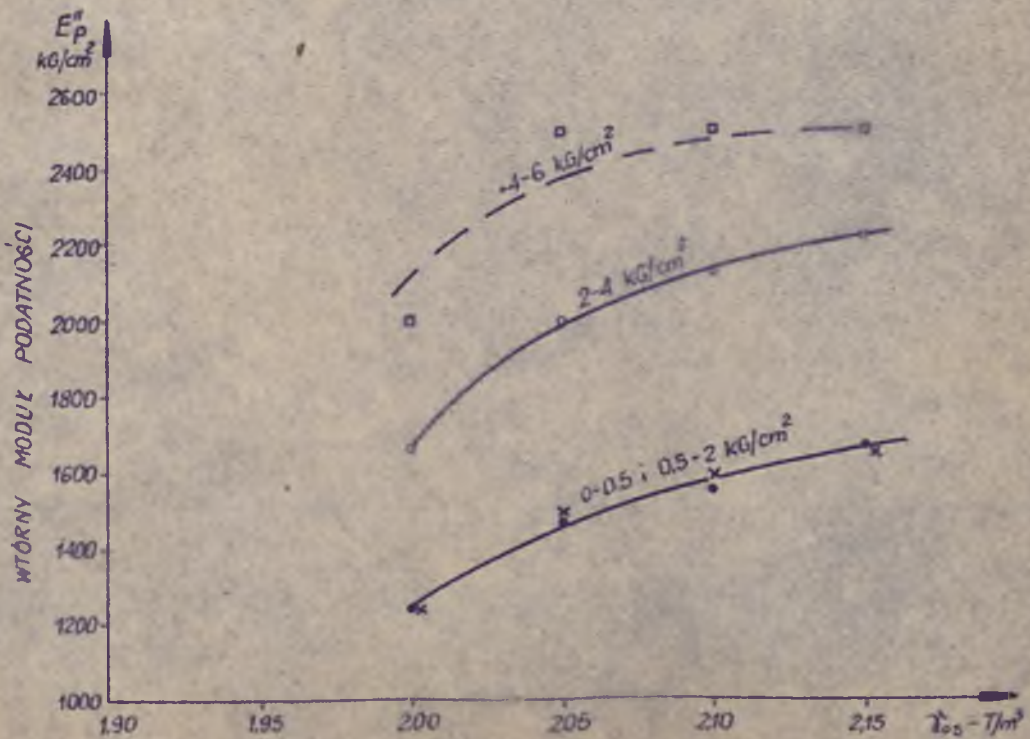
Rys. 9.33. ZALEŻNOŚĆ PRZYROSTU OSIADAŃ OD δ_{00} I OBCIĄŻENIA (WISŁA-CZARNE)
GRUNT Z KAMIENIA BIAŁEJ-WISEŁKI (A)



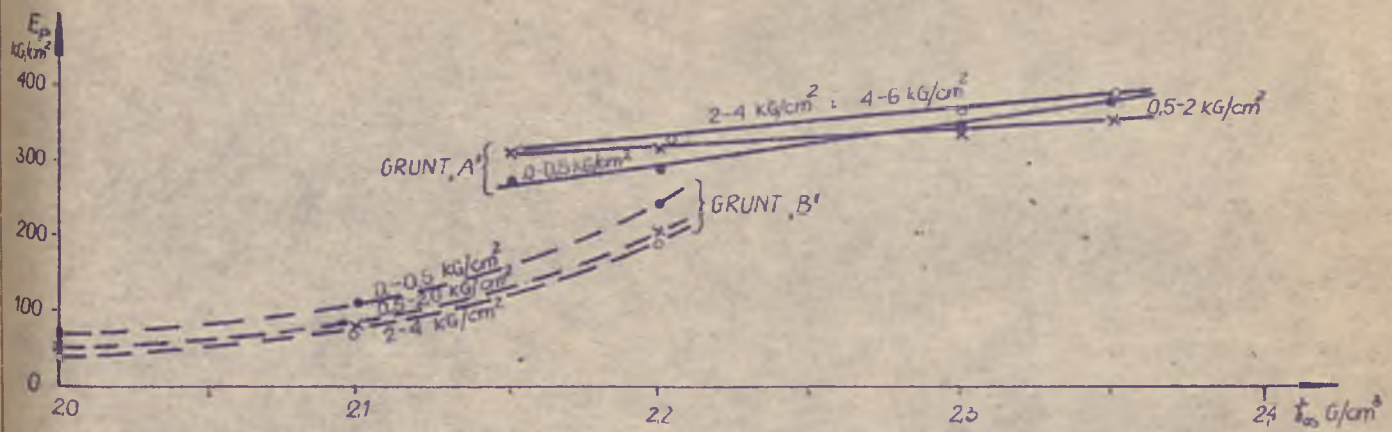
Rys. 9.34. ZALEŻNOŚĆ PRZYROSTU OSIADAŃ OD δ_{00} I OBCIĄŻENIA (WISŁA-CZARNE)
GRUNT Z TARASU WYSOKIEGO BIAŁEJ WISŁKI (B)



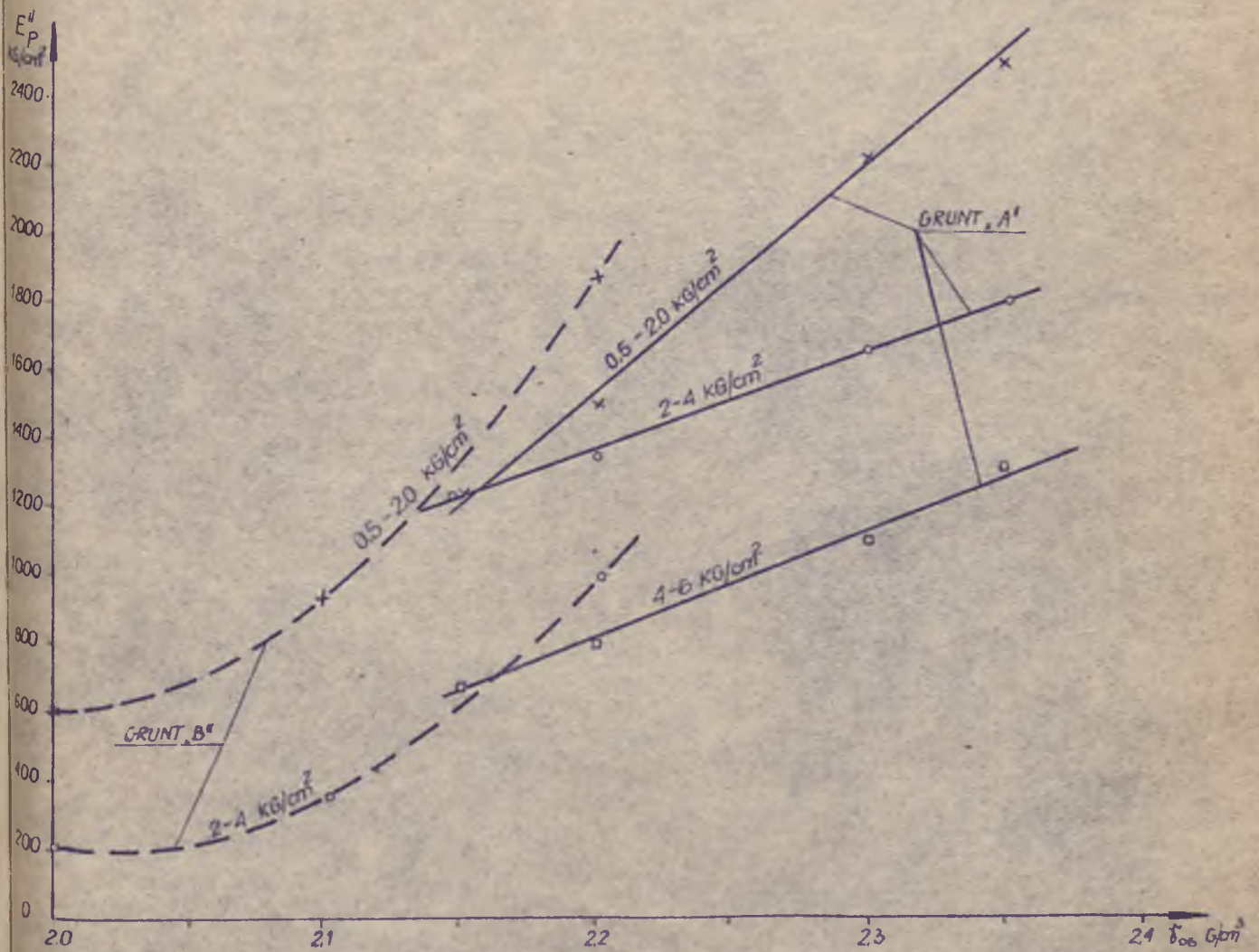
Rys. 9.35 ZALEŻNOŚĆ PIERWOTNYCH MODUŁÓW PODATNOSCI OD σ_{os} I OBCIĄŻENIA (TRESNA)



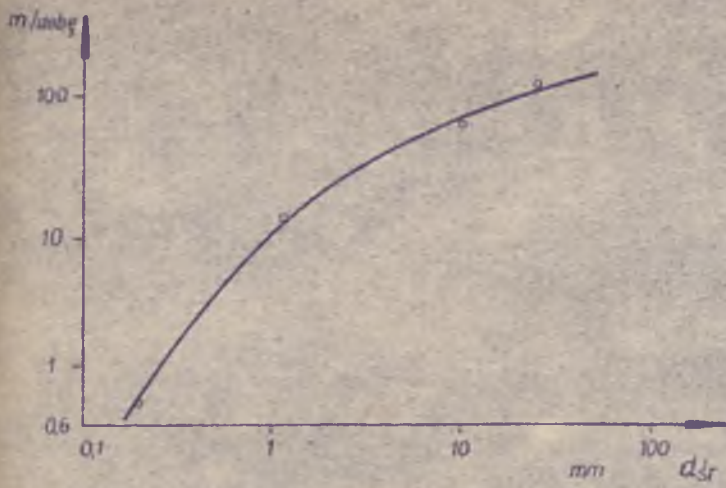
Rys. 9.36. ZALEŻNOŚĆ WTÓRNYCH MODUŁÓW PODATNOSCI OD σ_{os} I OBCIĄŻENIA (TRESNA)



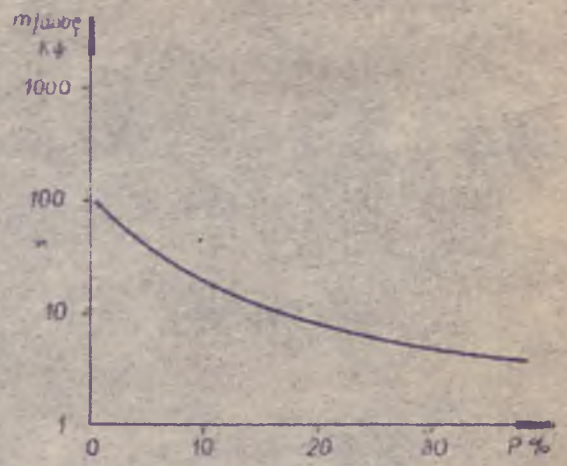
Rys. 9.37. ZALEŻNOŚĆ PIERWOTNYCH MODUŁÓW PODATNOŚCI OD σ_{0s} I OBCIĄŻENIA (WISŁA - CZARNE)



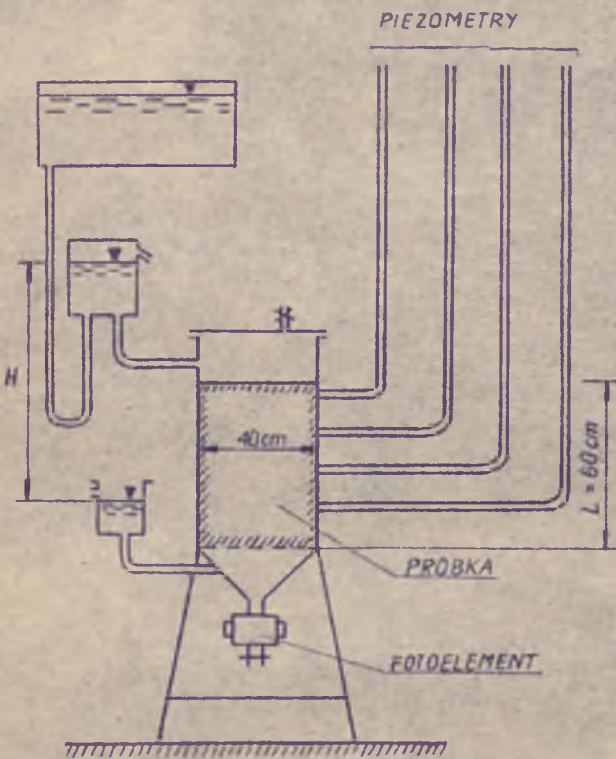
Rys. 9.38. ZALEŻNOŚĆ WTRÓNYCH MODUŁÓW PODATNOŚCI OD σ_{0s} I OBCIĄŻENIA (WISŁA - CZARNE)



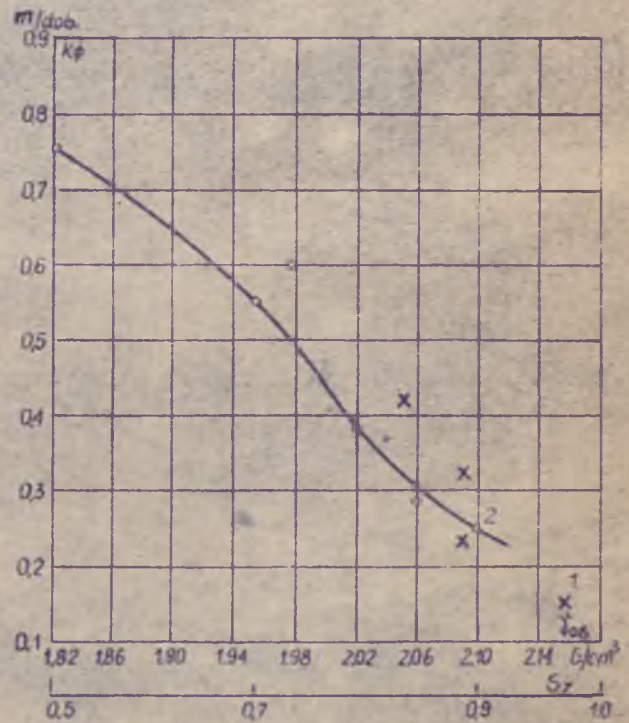
Rys. 10.1. WYKRES ZALEŻNOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI OD ŚREDNIEJ GRUBOŚCI ZIARN GRUNTU [50]



Rys. 10.2. WYKRES ZALEŻNOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI ZWIROWO-OTOCZAKOWEJ GRUNTU OD PROCENTOWEJ ZAWARTOŚCI PIASKU [50]

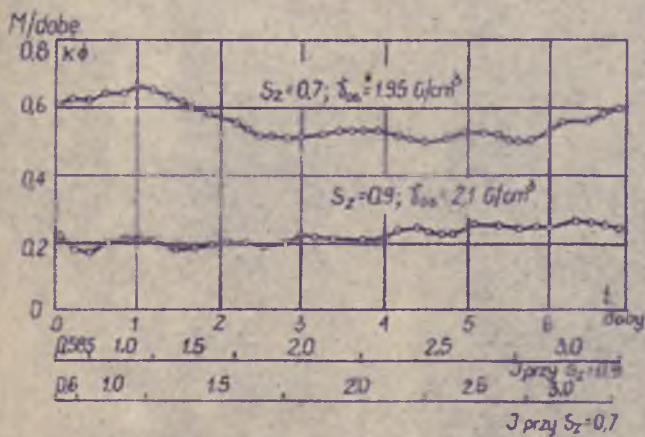


Rys. 10.3. APARAT DO BADAŃ WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI [24]

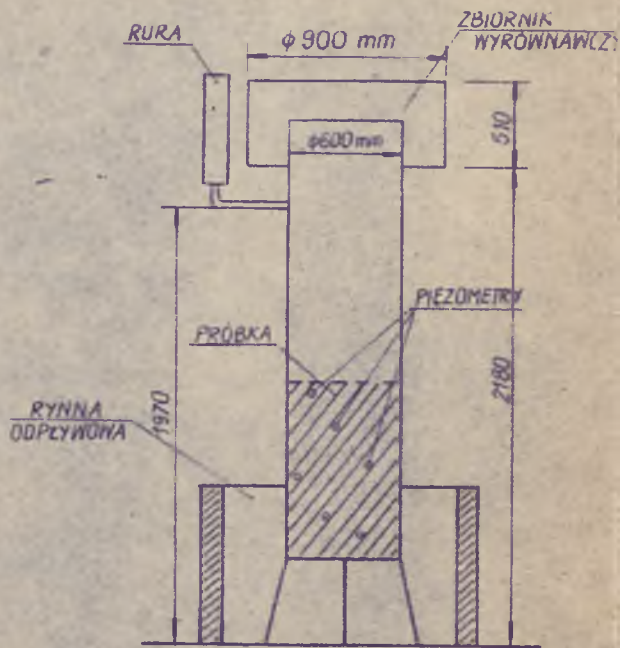


Rys. 10.4. ZALEŻNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI GRUNTU OD ZAGĘSZCZENIA [24]

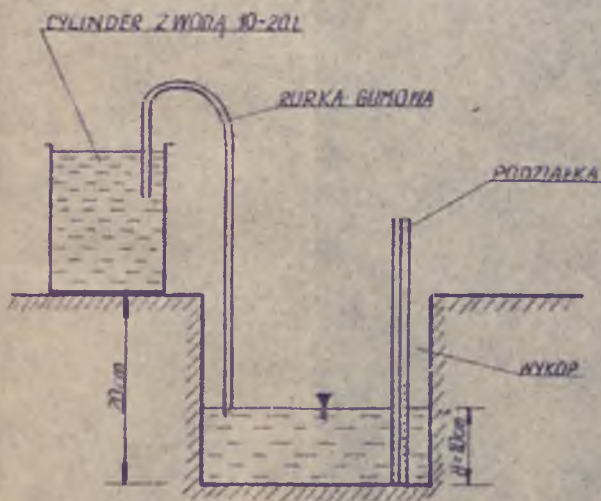
1 - DANE OBLICZENIOWE
2 - DANE EKSPERYMENTALNE



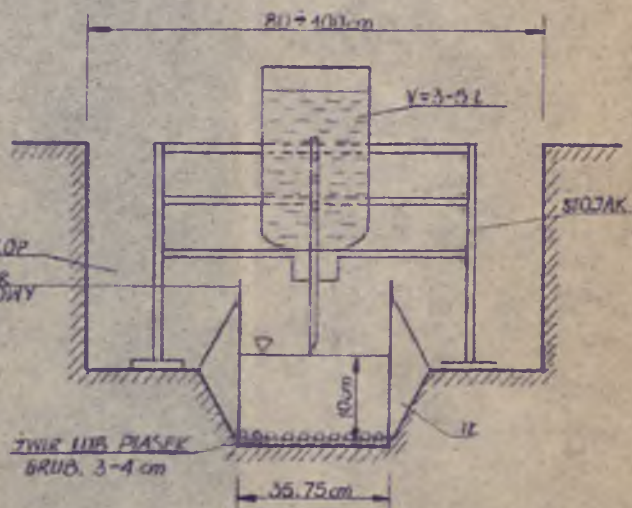
Rys. 10.5. ZMIENNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI W CZASIE PRZY WZRASTANIU SPADKU HYDRAULICZNEGO [24]



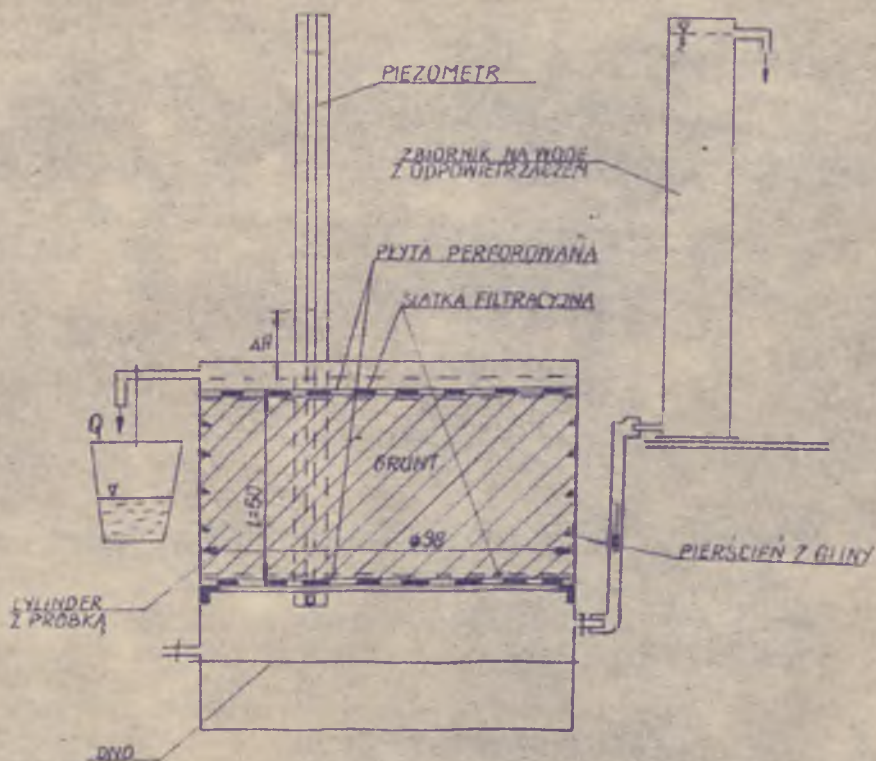
Rys. 10.6. APARAT DO BADAŃ WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH WG SCHAEFFERA



Rys. 10.7. BADAŃIE WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI METODĄ BOŁDIRIEWA [7]



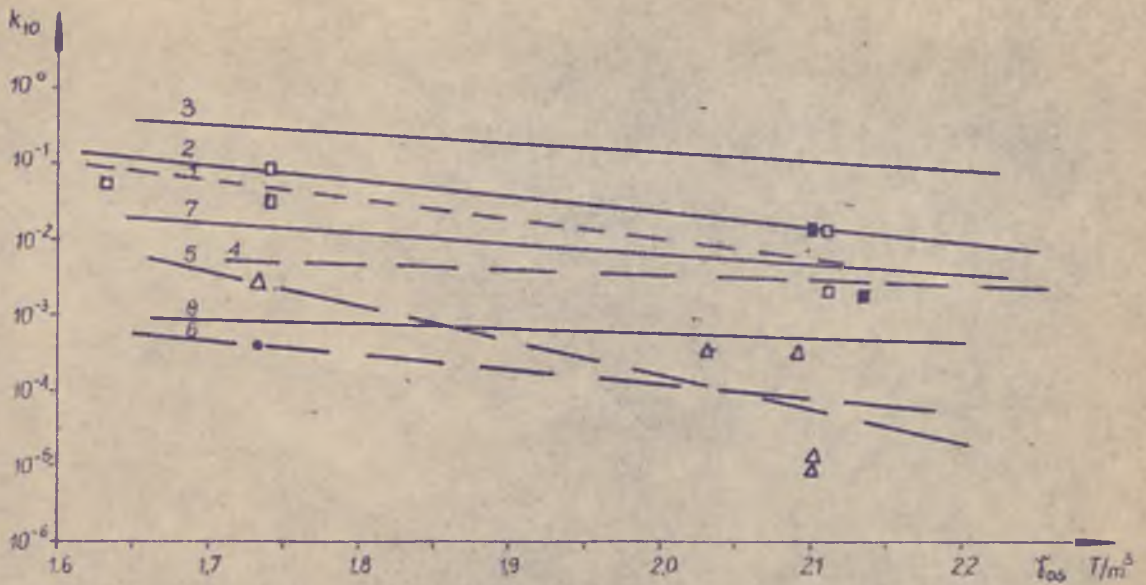
Rys. 10.8. BADAŃIE WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI METODĄ KAMIŃSKIEGO [7]



Rys. 10.9. SCHEMAT WIELKOWYMIAROWEGO APARATU DO BADAN WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOKLASTYCZNYCH

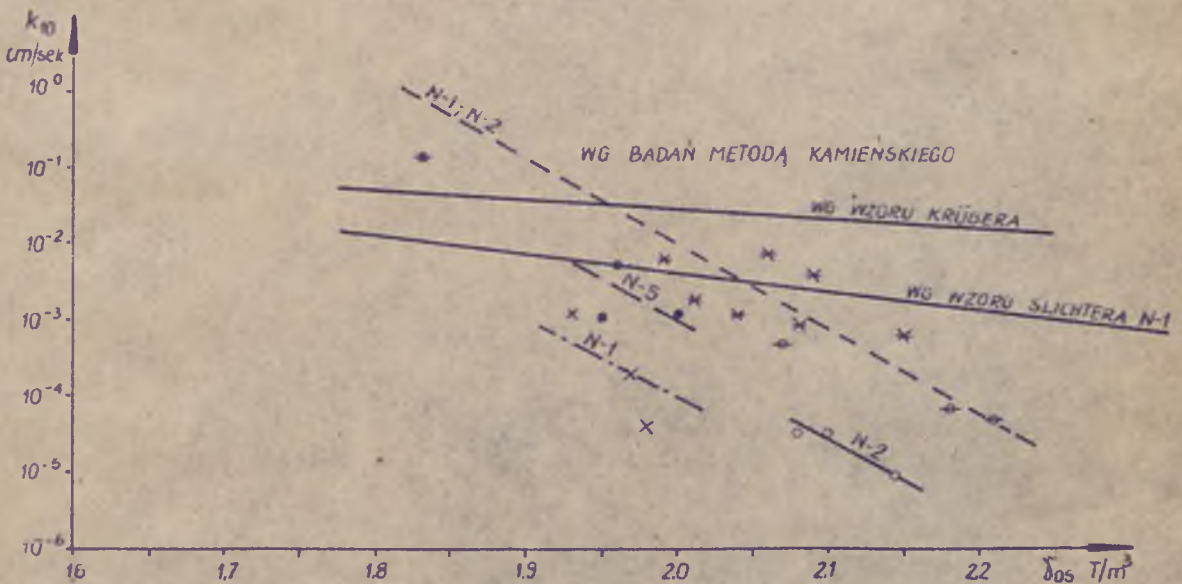


Rys. 10.10. WIELKOWYMIAROWY APARAT DO BADAN WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOKLASTYCZNYCH



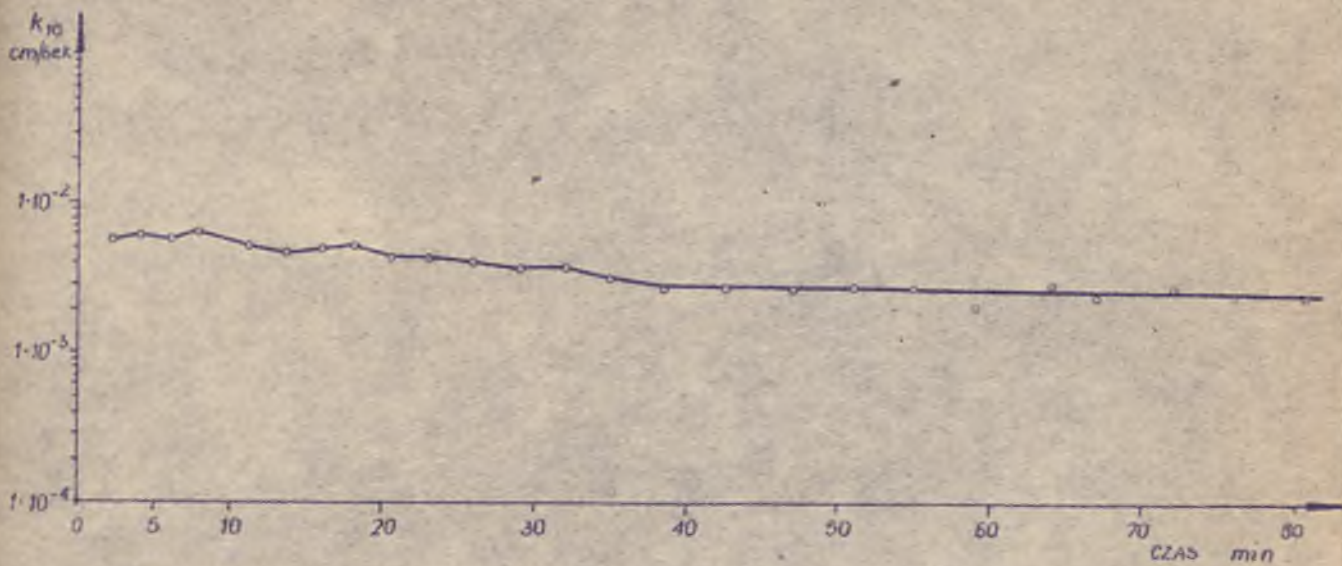
Rys. 10.11. ZALEŻNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI k_{10} OD γ_{os} GRUNT Z KAMIENIA B. WISIEŁKI W WISLE CZARNE

- | | | |
|------------------------------|--------------------------|-------------------|
| □ - PRÓBA W.Cz.-I ; | ■ - PRÓBA W.Cz.-III ; | Δ - PRÓBA W.Cz.-V |
| 1. PRÓBA W.Cz.-I i W.Cz.-III | WG BADAŃ LABORATORYJNYCH | |
| 2. PRÓBA W.Cz.-I i W.Cz.-III | WG WZORU SLICHTERA | |
| 3. PRÓBA W.Cz.-I i W.Cz.-III | WG WZORU KRÜGERA | |
| 4. PRÓBA W.Cz.-I | WG WZORU PAŁUGINA | |
| 5. PRÓBA W.Cz.-V | WG BADAŃ LABORATORYJNYCH | |
| 6. PRÓBA W.Cz.-V | WG WZORU SLICHTERA | |
| 7. PRÓBA W.Cz.-V | WG WZORU KRÜGERA | |
| 8. PRÓBA W.Cz.-V | WG WZORU PAŁUGINA | |

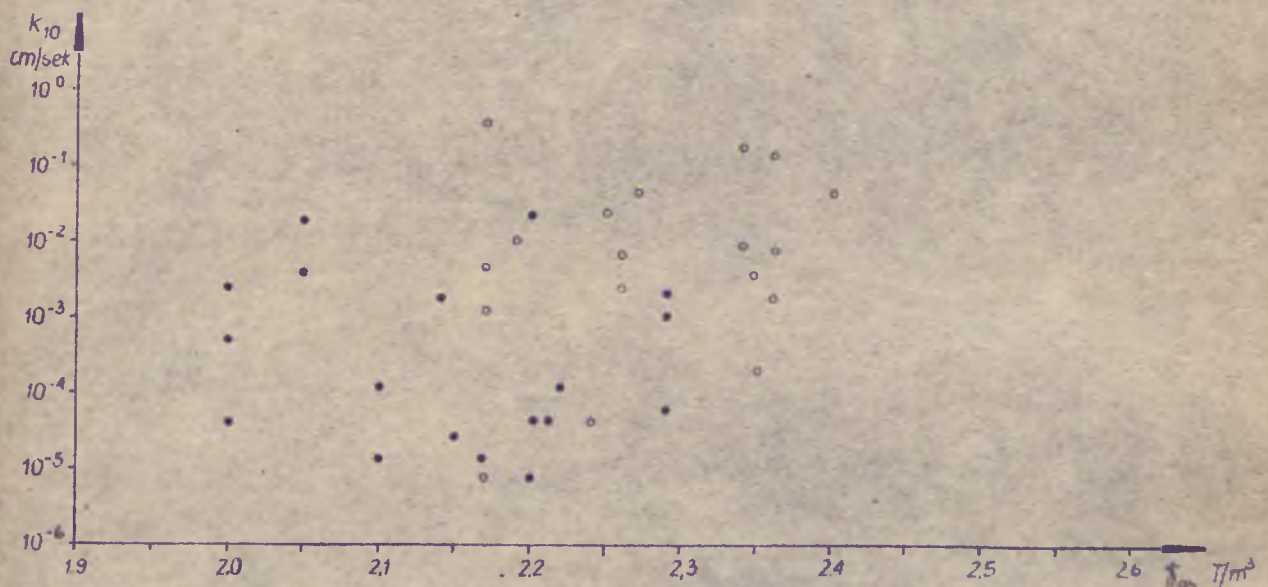


Rys. 10.12. ZALEŻNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI k_{10} OD γ_{os} GRUNT UŻYWANY DO BUDOWY ZAPORY ZIEMNEJ W GŁĘBINOWIE

- | | |
|---|--|
| x N-1 - PRÓBA POBRANA ZE ZŁOŻA NR 1 | } BADANIA WYKONANE W APARACIE WIELKOWYMIAROWYM |
| o N-2 - PRÓBA POBRANA ZE ZŁOŻA NR 2 | |
| • N-5 - PRÓBA POBRANA ZE ZŁOŻA NR 5 | |
| * NASYP WYKONANY Z GRUNTU ZE ZŁOŻA NR 1 | } BADANIA WYKONANE NA NASYPIE METODĄ KAMIŃSKIEGO |
| ◊ NASYP WYKONANY Z GRUNTU ZE ZŁOŻA NR 2 | |
| ◆ NASYP WYKONANY Z GRUNTU ZE ZŁOŻA NR 5 | |

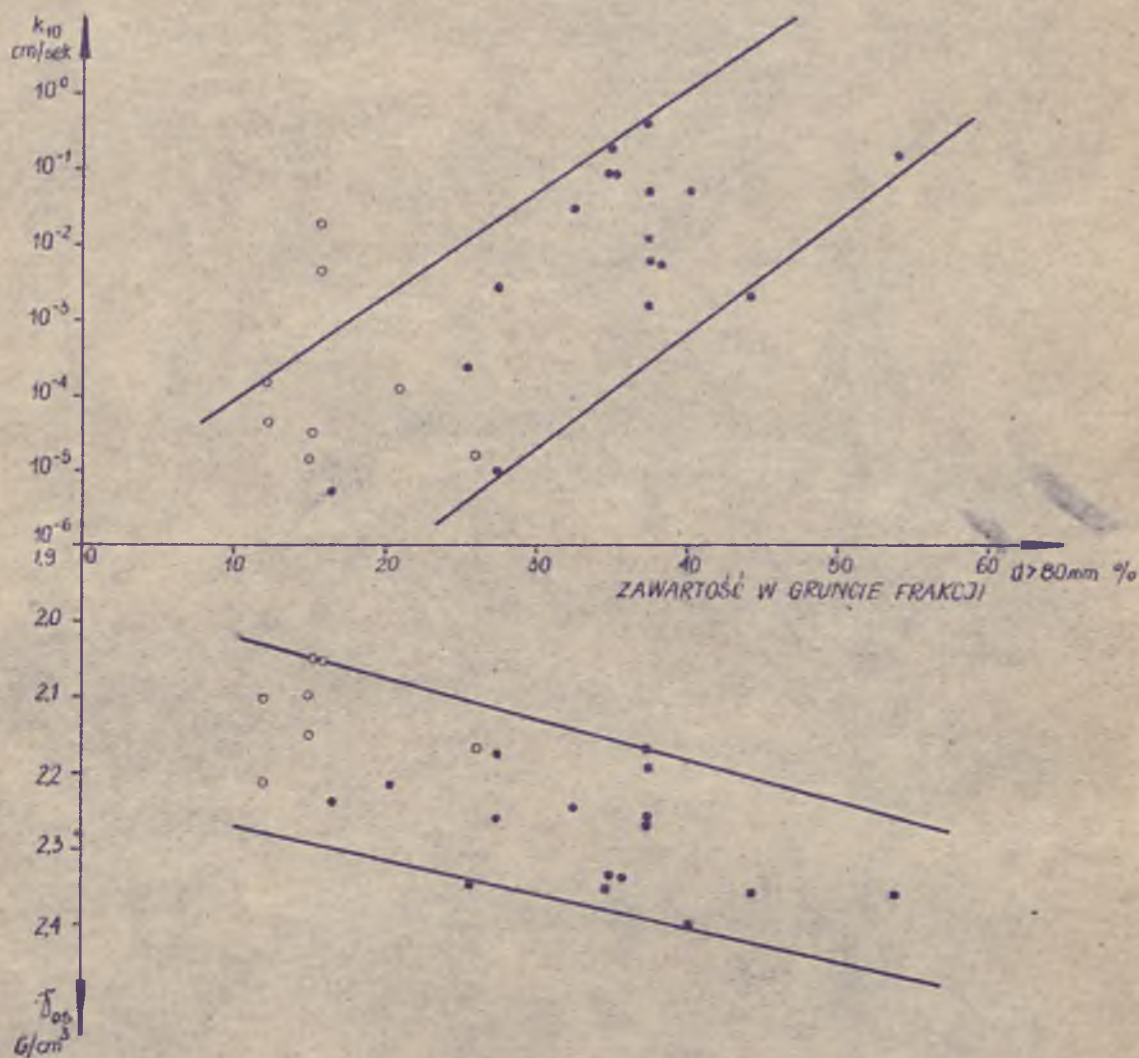


Rys. 10.13. ZMIANA WSPÓŁCZYNNIKA WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI k_{10} W CZASIE WG BADAŃ METODĄ KAMIENSKIEGO GRUNT Z KAMIENCA BIAŁEJ WISŁKI; $\gamma_{os} = 2,26 \text{ G/cm}^3$



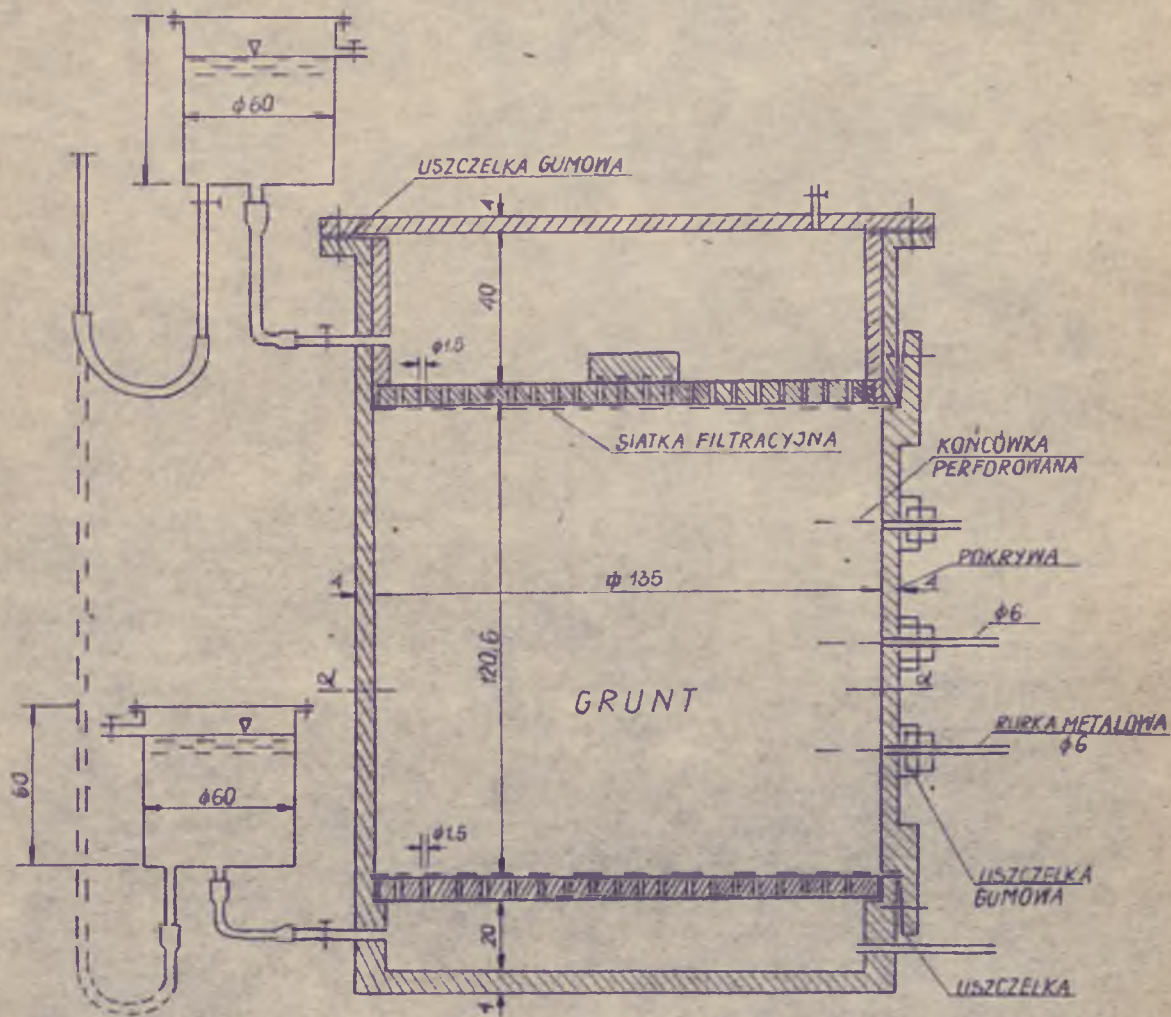
Rys. 10.14. ZALEŻNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI OD γ_{os} WG BADAŃ METODĄ KAMIENSKIEGO GRUNT ZAGĘSZCZANY NA KORPUSIE ZAPORY W WISŁE-CZARNE

- o GRUNT Z KAMIENCA BIAŁEJ WISŁKI (GRUNT A)
- GRUNT Z TARASU WYSOKIEGO BIAŁEJ WISŁKI (GRUNT B)



Rys. 10.15. ZALEŻNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI OD ZAWARTOŚCI FRAKCJI $\phi > 80 \text{ mm}$ I ZAGĘSZCZENIA. BADANIA WYKONANE METODĄ KAMIENSKIEGO NA ZAPORZE W WIŚLE - CZARNE

- - GRUNT Z TARASU WYSOKIEGO B. WIEŁKI
- - GRUNT Z KAMIENIA B. WIEŁKI



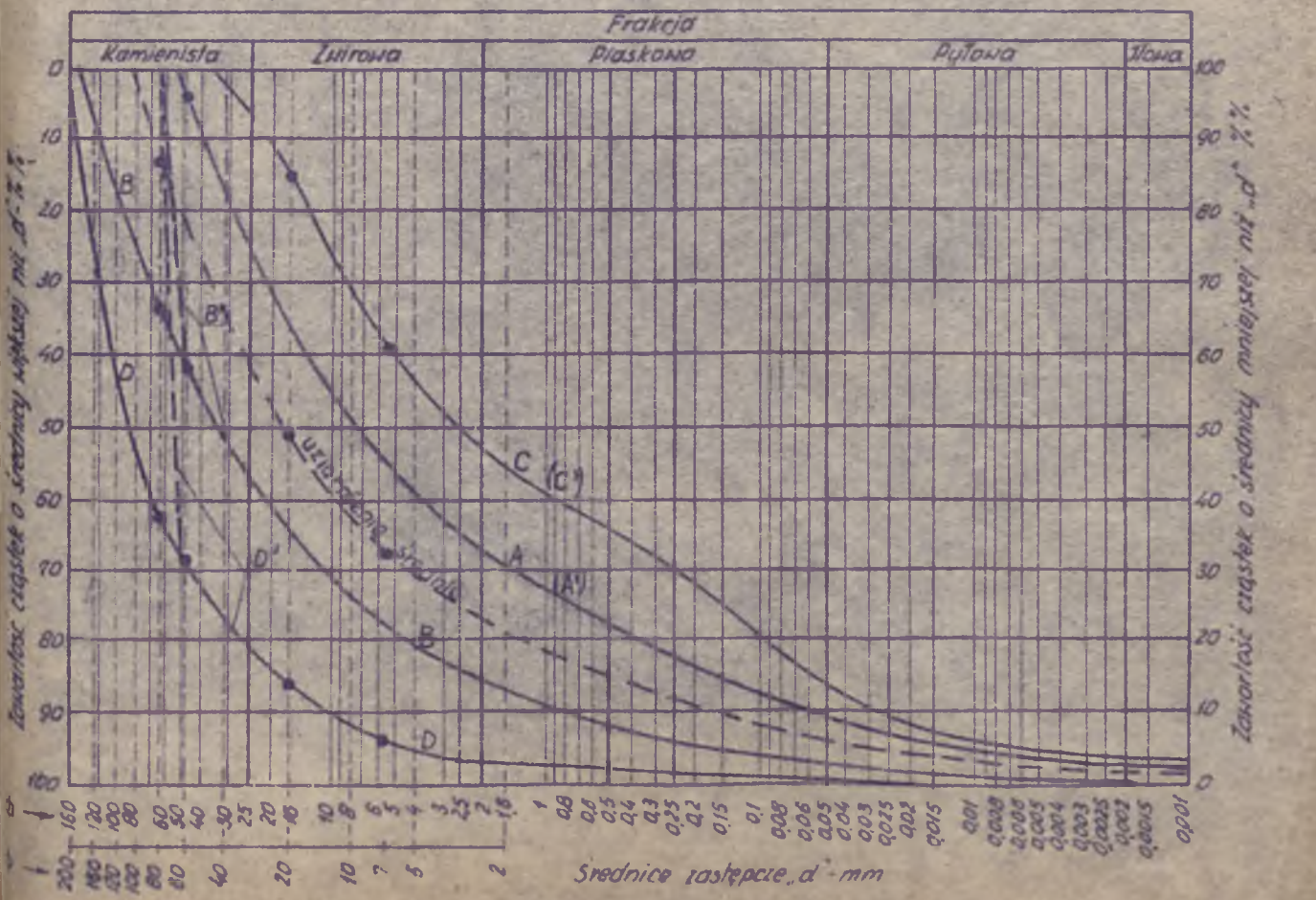
Rys. 10.16. SCHEMAT APARATU DO BADAŃ WODOPRZEPUSZCZALNOŚCI GRUNTÓW PRZY PRZEPŁYWIE WODY W KIERUNKU PROSTOPADŁYM LUB RÓWOLEGŁYM DO UKŁADANYCH WARSTW

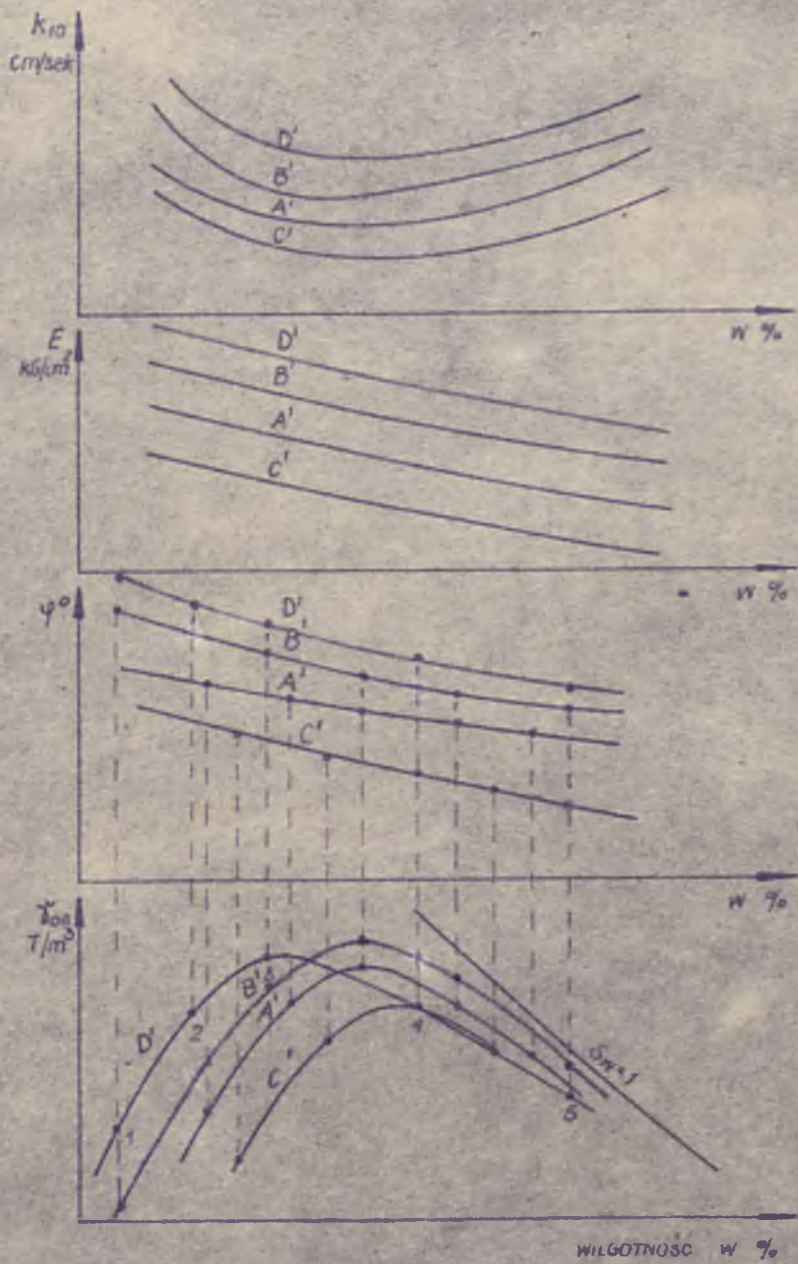
Badanie uziarnienia gruntu

Nr tematu _____ Nr badania _____ Nr otworu _____
 Miejsce _____ Głębokość _____ m
 Probka pobrana z _____

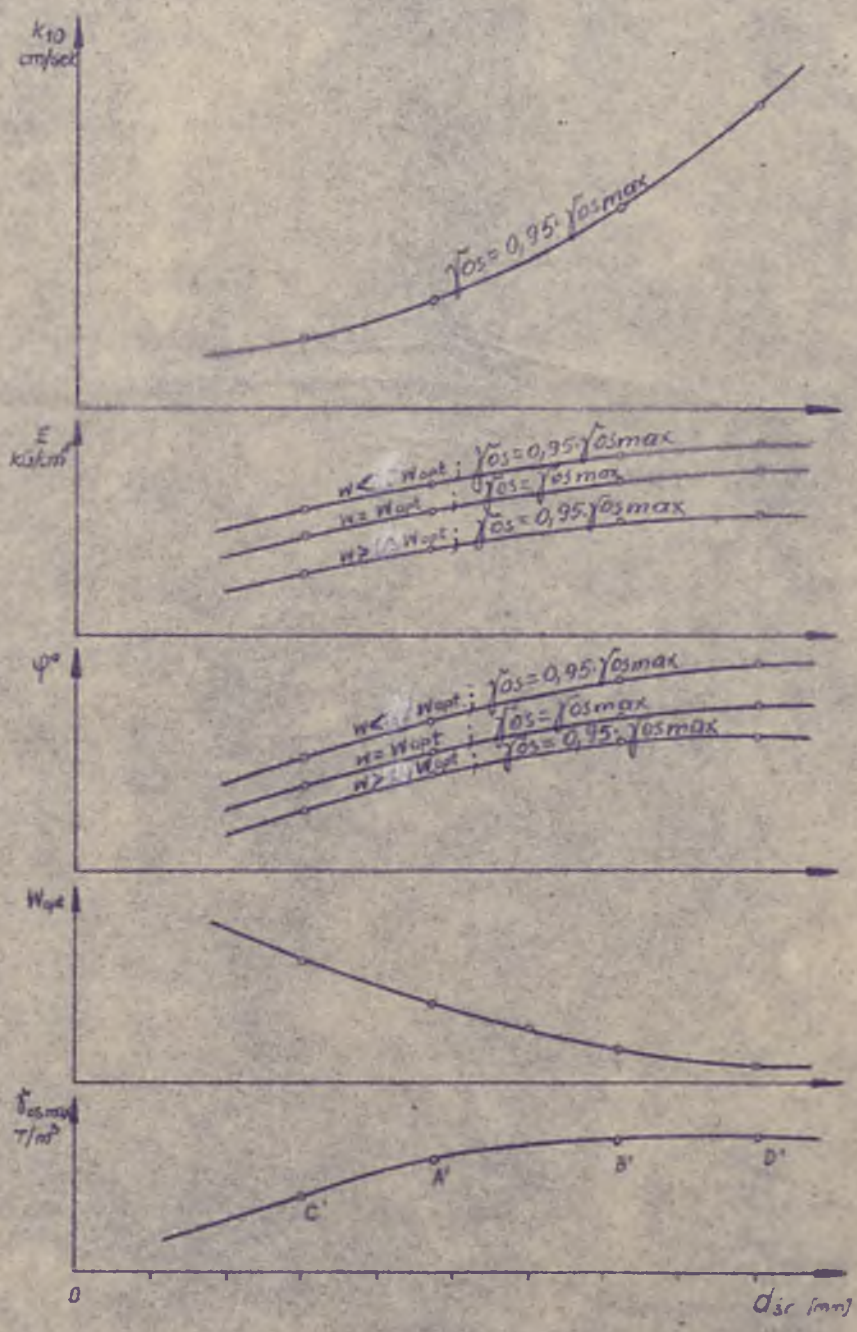
Badanie makroskopowe								Wyniki badań laboratoryjnych						
Rodzaj gruntu _____				Zawartość CaCO ₃ % _____				Rodzaj gruntu wg badań laboratoryjnych _____						
Domieszki _____				Wilgotność _____				Skład uziarnienia						
Barwa gruntu _____				Stan gruntu _____				φ ziarn	>2 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	<0,002 mm		
Jakość wałeczkowań _____								%% zawart.						
Pomiary areometryczne								%% zawartość ziarn o φ < 2 mm						
Rozpoczęcie pomiarów dn _____				godz. _____				Ciężar właściwy		Wilgotność		Straty wagowe		
Areometr Nr _____				cylinder Nr _____				γ = _____ g/cm ³		w = _____ %		_____ %		
Badany stabilizator								Badanie wykonane _____ w dn _____						
Czas oczyszczenia _____								Badanie sprawdzone _____ w dn _____						
Temp. wzniesienia	Temp. wzniesienia	Strócony wałeczek areometru	R ₁ %	R ₂ %	R ₂ m	Srednica zastępcze cząsteczek	Jakość cząstek φ > d mm	Analiza sitowa						
T	t °C	R ₁	R ₁	R ₂	R	d mm	x %	Wymiar oczek mm	Ciężar g	Zawartość %	Suma %	Pozostałość z sita o φ _____ mm		
												I waga _____ g		
												Sł. waga _____ g		
												Tara _____ g		
												Przesiew _____ g		
												Kształt ziarn _____		
												Domieszki _____		
Charakterystyka roztworu								Σ = _____						
x = $\frac{R}{-t} \cdot 100$														

Rys. 11.1 Wykres uziarnienia

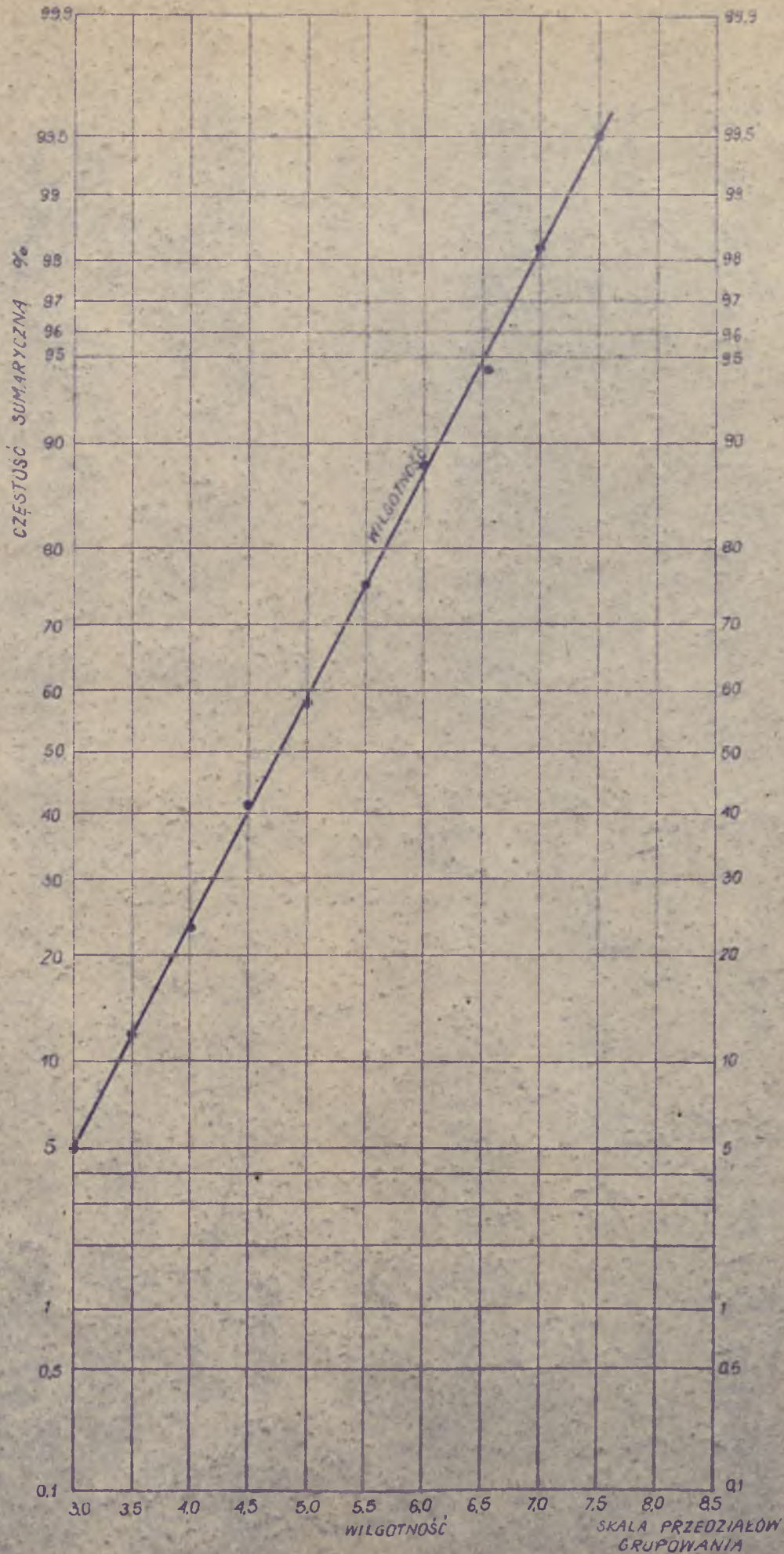




Rys. 11.2. ZESTAWIENIE ZALEŻNOŚCI CECH FIZYKO-MECHANICZNYCH OD WILGOTNOŚCI, ZAGĘSZCZENIA I UZIARNIENIA



Rys. 11.3. ZESTAWIENIE ZALEŻNOŚCI CECH FIZYKO-MECHANICZNYCH OD ŚREDNIEJ WĄŻONEJ ŚREDNICY GRUNTU (d_{sr}).



Rys. 11.4 SIATKA PRAWDOPODOBIENSTWA

