

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA**  
**WYDZIAŁ INŻYNIERII ŁĄDOWEJ**  
**INSTYTUT DRÓG I MOSTÓW**

**Dr inż. Stanisław PISAŁCZYK**

**ZAGĘSZCZALNOŚĆ GRUNTÓW  
GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH**

**WARSZAWA 1977**



**Spis rzeczy — Содержание — Contents**

Stanisław J. Pisarczyk — Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych.

Уплотняемость крупнозернистых и крупноовломочных грунтов

Compactibility of Coarse-Grained and Stony Soils

Compactage du sol à grains et pierreux

Verdichbarkeit von grobkörnigen und steinigen Böden



624.138 (075.8)

**P O L I T E C H N I K A   W A R S Z A W S K A**

---

**WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ — INSTYTUT DRÓG I MOSTÓW**

dr inż. STANISŁAW J. PISARCZYK

**ZAGĘSZCZALNOŚĆ GRUNTÓW  
GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH**

**WARSZAWA 1977**

Opracowanie techniczne

mgr inż. W. Cieślak



Издательство Института Дорог и Мостов Варшавского Политехнического Института  
00-611 Варшава, ул. Фильтрова 1.

**INSTITUTE OF ROADS AND HIGHWAYS - WARSAW TECH. UNIV. PUBLICATIONS**

Wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Warszawskiej  
Nakład 150+50. Arkuszy drukarskich 12,5. Papier offsetowy kl. V 70 g.  
Oddano do druku 6. I. 1978 roku. Zamówienie numer 12. F - 3.

108-1-78-D



## SPIS TREŚCI

	strona
Wykaz ważniejszych pojęć i oznaczeń .....	10
Zestawienie ważniejszych jednostek .....	13
WSTĘP .....	15
ANALIZA DOTYCHCZASOWYCH METOD BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW I CZYNNIKÓW WPŁYWAJĄCYCH NA ICH ZAGĘSZCZENIE...	17
2.1. Wstęp .....	17
2.2. Analiza dotychczasowych metod laboratoryjnych badań zagęszczalności gruntów .....	18
2.2.1. Metody ubijania .....	18
2.2.2. Metody statyczne /ugniatanie/ .....	23
2.2.3. metody wibracyjne zagęszczalności gruntów	24
2.2.4. Czynniki wpływające na zagęszczalność gruntów niespoistych przez wibrację .....	28
2.2.4.1. Skład granulometryczny i wskaź- nik różnoziarnistości gruntu .....	29
2.2.4.2. Kształt i stopień obtoczenia ziarn	31
2.2.4.3. Wilgotność gruntu .....	32
2.2.4.4. Amplituda drgań .....	34
2.2.4.5. Częstotliwość i częstość drgań ...	36
2.2.4.6. Przyspieszenie drgań .....	38
2.2.4.7. Obciążenie statyczne .....	42
2.2.4.8. Czas wibracji .....	44
2.2.4.9. Energia zagęszczania .....	44
2.2.4.10. Siła wzbudzająca .....	45
2.3. Analiza podstawowych metod badań zagęszczalności grun- tów .....	46

	strona
KIERUNKI I METODYKA BADAŃ WŁASNYCH .....	52
BADANIA LABORATORYJNE ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBO- ZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH .....	55
4.1. Zakres i metody badań .....	55
4.2. Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamenistych metodą ubijania .....	56
4.2.1. Charakterystyka gruntów używanych w bada- niach .....	57
4.2.2. Cel i wyniki badań .....	59
4.2.3. Analiza otrzymanych wyników .....	61
4.2.3.1. Ocena wpływu energii zagęszczania na zagęszczalność gruntów grubo- ziarnistych i kamenistych .....	61
4.2.3.2. Ocena wpływu składu granulometrycz- nego i litologicznego na zagęsz- czalność gruntów gruboziarnistych i kamenistych .....	61
4.2.3.3. Ocena wpływu zawartości grubej frakcji na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamenistych ..	70
4.2.4. Porównanie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wiel- kowymiarowym z wynikami badań zagęszczal- ności frakcji $d \leq 7$ mm w aparacie normo- wym .....	73
4.2.5. Porównanie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamenistych w aparacie wielkowymiarowym z obliczeniami według wzorów teoretycznych .....	74
4.2.6. Wnioski z badań .....	78
4.3. Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamenistych metodą wibracyjną .....	80
4.3.1. Badania wstępne na stole wibracyjnym .....	81
4.3.1.1. Analiza i wnioski ze wstępnych wy- ników badań wibracyjnych .....	84

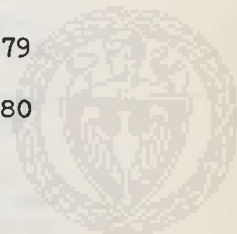


4.3.2. Badania na stole wibracyjnym mające na celu ustalenie jaki wpływ na zagęszczalność mają parametry wibracji i obciążenie próbki gruntu .....	90
4.3.2.1. Opis aparatury .....	90
4.3.2.2. Metodyka przeprowadzonych badań .....	92
4.3.2.3. Analiza i wnioski z wyników badań wibracyjnych .....	92
4.3.3. Badania wilgotności optymalnej na stole wibracyjnym .....	99
4.3.3.1. Cel badań .....	99
4.3.3.2. Metodyka badań .....	99
4.3.3.3. Analiza wyników i wnioski z badań .....	100
4.3.4. Badania zagęszczalności za pomocą wibratora powierzchniowego .....	105
4.3.4.1. Cel badań i opis wykonanych badań .....	105
4.3.4.2. Analiza wyników i wnioski z badań .....	106
4.4. Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych metodą obciążeń statycznych .....	109
4.4.1. Cel i metodyka badań .....	109
4.4.2. Wyniki badań i wnioski .....	109
4.5. Porównanie wyników badań zagęszczalności gruntu gruboziarnistego różnymi metodami w warunkach laboratoryjnych i wnioski ogólne .....	115
OCENA WYNIKÓW BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH ZA POMOCĄ MASZYN .....	119
5.1. Wstęp .....	119
5.2. Próbne badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych .....	120
5.2.1. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Tresnej .....	120

	strona
5.2.2. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Wiśle-Czarnem .....	123
5.2.3. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Głębinowie .....	125
5.2.4. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Dobczycach .....	127
5.3. Analiza i wnioski z uzyskanych wyników polowych badań gruntu .....	129
ANALIZA METOD KONTROLI ZAGĘSZCZENIA GRUNTÓW GRUBO-ZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH .....	130
6.1. Metody określania ciężaru objętościowego gruntu na podstawie pobierania próbek .....	131
6.1.1. Metoda pobierania gruntu do cylindrów miarowych .....	131
6.1.2. Metoda piasku kalibrowanego .....	132
6.1.3. Metoda z zastosowaniem aparatu membranowego /przeponowego/ .....	135
6.1.4. Metoda z zastosowaniem folii i wody ....	137
6.1.5. Metoda wykopów miarowych .....	139
6.1.6. Metody z zastosowaniem zawieszin, olejów i gipsu .....	141
6.2. Metody określania wilgotności gruntu na próbkach .....	141
6.2.1. Metoda suszenia .....	141
6.2.2. Metoda piknometru wodnego .....	142
6.2.3. Metoda karbidowa .....	144
6.2.4. Metoda laboratoryjno-obliczeniowa .....	144
6.3. Metody określania wilgotności w warunkach "in situ" .....	148
6.3.1. Metody radioizotopowe .....	148
6.3.2. Inne metody określania wilgotności .....	151
6.4. Metody nieniszczące określania zagęszczenia gruntów w warunkach "in situ" .....	152
6.4.1. Próbné obciążenie gruntu /statyczne/ ...	152



	strona
6.4.2. Metoda dynamicznych obciążeń .....	157
6.4.3. Metody radioizotopowe .....	160
6.4.4. Metoda niwelacji .....	163
6.4.5. Inne metody kontroli zagęszczenia .....	166
UOGÓLNIENIE WYNIKÓW BADAŃ .....	166
PROPONOWANE METODY KONTROLI ZAGĘSZCZENIA I WILGOTNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH W NASYPACH ORAZ METODY OCENY WYNIKÓW BADAŃ KONTROLNYCH .....	173
8.1. Proponowane metody kontroli zagęszczenia i wil- gotności gruntów gruboziarnistych i kamienistych	173
8.2. Proponowane metody oceny wyników badań kontrol- nych jakości zagęszczenia nasypów .....	175
ZAŁĄCZNIKI .....	179
BIBLIOGRAFIA .....	180







POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
INSTYTUT DRÓG I MOSTÓW

ZAGĘSZCZALNOŚĆ GRUNTÓW  
GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH

Celem pracy jest opracowanie metodyki badań zagęszczalności i kontroli jakości zagęszczenia gruntów gruboziarnistych i kamienistych w nasypach.

Na początku pracy przeprowadzono analizę dotychczasowych metod badań zagęszczalności gruntów i czynników wpływających na ich zagęszczenie, a następnie określono kierunki badań własnych. Do realizacji postawionego zadania konieczne było skonstruowanie prototypowych aparatów wielkowskalmiarowych do badań laboratoryjnych i terenowych omawianych gruntów oraz opracowanie metodyki badań i przeprowadzenie szeregu badań.

W dalszej części pracy przedstawiono metodykę badań własnych i uzyskane wyniki z badań wymienionych gruntów metodą ubijania, wibracji i obciążeń statycznych w warunkach laboratoryjnych i terenowych oraz badań kontrolnych jakości zagęszczenia nasypów.

Praca kończy się uogólnieniem wyników przeprowadzonych badań oraz zaproponowaną przez autora metodyką badań zagęszczalności tych gruntów i metodyką badań kontrolnych jakości zagęszczenia wnoszonych nasypów.

dr inż. Stanisław J. PISARCZYK

## Wykaz ważniejszych pojęć i oznaczeń

$$I_D = \frac{\sigma_d \max}{\sigma_d} \frac{\sigma_d - \sigma_d \min}{\sigma_d \max - \sigma_d \min} - \text{stopień zagęszczenia}$$

$$I_S = \frac{\sigma_d}{\sigma_{ds}} - \text{wskaźnik zagęszczenia}$$

- $\sigma_d$  - ciężar objętościowy szkieletu gruntowego
- $\sigma_d \max$  - maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego
- $\sigma_d \min$  - minimalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego
- $\sigma_{ds}$  - maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego przy wilgotności optymalnej
- $\sigma_s$  - ciężar właściwy szkieletu gruntowego
- $w_{opt}$  - wilgotność optymalna
- $w$  - wilgotność
- $\phi$  - kąt tarcia wewnętrzznego
- $c$  - spójność
- $M_0$  - edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej
- $E_0$  - moduł pierwotnego odkształcenia gruntu
- $E$  - moduł wtórnego odkształcenia gruntu
- $E_s$  - moduł podatności gruntu
- $U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$  - wskaźnik różnoziarnistości
- $d_{60}$  - średnica zastępcza ziarn/cząstek/, których wraz z mniejszymi w gruncie jest 60% /masowo/
- $d_{10}$  - średnica zastępcza ziarn /cząstek/, których wraz z mniejszymi w gruncie jest 10% /masowo/
- $d$  - średnica zastępcza ziarn i cząstek gruntowych
- $D$  - średnica aparatów

- n - porowatość
- $n_{\min}$  - porowatość minimalna
- $e_{\max}$  - wskaźnik porowatości przy najluźniejszym ułożeniu ziarn
- $e_{\min}$  - wskaźnik porowatości przy najgęstszym ułożeniu ziarn
- e - wskaźnik porowatości
- g - przyspieszenie ziemskie
- $\alpha$  - przyspieszenie drgań
- $\eta$  - stosunek przyspieszenia drgań do przyspieszenia ziemskiego
- $\beta$  - współczynnik wibracyjnego zagęszczenia gruntu
- $\nu$  - współczynnik wibrolepkości
- $\omega$  - prędkość kątowna drgań
- n - liczba drgań na minutę
- f - częstość drgań
- T - okres drgań
- A - amplituda drgań
- S - siła wzbudzająca
- $\nu$  - współczynnik Poissona
- $\sigma$  - naprężenie /obciążenie jednostkowe/
- $\Delta q$  - przyrost obciążenia jednostkowego
- $\Delta s$  - przyrost osiadań
- C - współczynnik podatności





### Zestawienie ważniejszych jednostek

CGS		Jednostka SI		Wartość w jednostce SI
Nazwa	Oznaczenie	Nazwa	Oznaczenie	
metr	m	metr	m	-
kilogram	kg	kilogram	kg	-
tona	t	-	-	1 t = 1000 kg
gram	g	-	-	1 g = 0,001 kg
gram na centymetr sześcienny	g/cm <sup>3</sup>	kilogram na metr sześcienny	kg/m <sup>3</sup>	1 g/cm <sup>3</sup> = 1000 kg/m <sup>3</sup>
kilogram - siła	kG	niuton	N	1 kG = 9,80665 N
tona-siła	T	-	-	1T=9806,65N ≈ 0,01 MN
kilogram siła na centymetr kwadratowy	kG/cm <sup>2</sup>	niuton na metr kwadratowy	N/m <sup>2</sup>	1 kG/cm <sup>2</sup> = 98066,5 N/m <sup>2</sup> ≈ 0,1 MN/m <sup>2</sup>
gram-siła na centymetr sześcienny	G/cm <sup>3</sup>	niuton na metr sześcienny	N/m <sup>3</sup>	1 G/cm <sup>3</sup> = 9806,65 N/m <sup>3</sup> ≈ 10 kN/m <sup>3</sup>
tona-siła na metr sześcienny	T/m <sup>3</sup>	-	-	1 T/m <sup>3</sup> = 9806,65 N/m <sup>3</sup> ≈ 10 kN/m <sup>3</sup>
sekunda	sek	sekunda	s	-
stopień katowy	o	radion	rad	1° = 0,0174533 rad





## WSTĘP

Szybki rozwój kraju wymaga m.in. rozbudowy sieci dróg kołowych i żelaznych oraz budowy nowych zbiorników wodnych. Wykonawstwo tych obiektów związane jest z budową nasypów drogowych i kolejowych, zapór ziemnych, obwałowań zbiorników wodnych itp., a więc często z masowymi robotami ziemnymi.

W dążeniu do obniżenia kosztów budowy nasypów wykorzystuje się w maksymalnym stopniu grunty miejscowe, które nawet często są dość trudne do wbudowania. W rejonach górskich i podgórskich są to przeważnie grunty gruboziarniste i kamieniste.

Nowoczesne metody projektowania nasypów gruntowych wymagają możliwie pełnego wykorzystania własności fizyko-mechanicznych gruntów bez względu na ich rodzaj, przy jednoczesnym całkowitym zapewnieniu bezpieczeństwa budowli. Decydującym czynnikiem stabilności nasypu jest zagęszczenie gruntu - wiadomo jest bowiem, że ze wzrostem zagęszczenia polepszają się właściwości fizyko-mechaniczne; zwiększa się ciężar objętościowy szkieletu gruntowego  $\gamma_d$ , kąt tarcia wewnętrzznego  $\phi$ , spójność  $c$ , moduł ściśliwości  $M_0$ , jak również zwiększa się odporność nasypu na działanie wody. Określenie stanu zagęszczenia gruntu w trakcie budowy jest rzeczą niezmiernie ważną dla warunków bezpieczeństwa budowli oraz dla ekonomiki prac, bowiem umożliwia bieżąco korygowanie procesu produkcyjnego. Z tego powodu sprawne sterowanie procesem wbudowywania gruntu w nasyp może być zapewnione tylko przy odpowiednio zorganizowanych badaniach kontrolnych.

Opracowane przez Proctora, w latach trzydziestych bieżącego stulecia, zasady kontroli jakości gruntu spoistego wbudowanego w nasyp, w oparciu o wskaźnik zagęszczenia, są z niewielkimi zmianami stosowane powszechnie dotychczas tak do gruntów spoistych jak i niespoistych drobnoziarnistych. Stosowanie tych zasad dla nasypów wykonywanych z gruntów gruboziarnistych i kamienistych /grunty gruboziarniste zawierają więcej niż 10%

ziarn o wymiarach ponad 2 mm i mniej niż 50% ziarn ponad 40 mm, natomiast grunty kamieniste zawierają więcej niż 50% ziarn ponad 40 mm/ na terenach górskich i podgórskich, napotyka na duże trudności ze względu na brak właściwych metod badań zagęszczalności i kontroli jakości zagęszczenia tych gruntów. Do ich badania potrzebna jest bowiem aparatura wielkowymiarowa.

Stosowanie próby Proctora do oceny zagęszczenia nasypu, niezależnie od rodzaju gruntu i sposobu zagęszczania, budzi szereg zastrzeżeń, szczególnie w odniesieniu do gruntów sypkich.

W aparacie Proctora w celu określenia  $\gamma_d \max$  i w  $\sigma_{opt}$  grunt zagęszcza się przez ubijanie, przy zróżnicowanych wilgotnościach. Tymczasem dla gruntów niespoistych w warunkach terenowych najlepsze zagęszczenie uzyskuje się sprzętem wibracyjnym. Z tego powodu coraz częściej do określania stanu zagęszczenia nasypów z gruntów niespoistych stosuje się stopień zagęszczenia  $I_D$ . Maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego  $\gamma_d \max$  gruntów niespoistych drobnoziarnistych potrzebny do określenia stopnia zagęszczenia oznacza się znormalizowaną metodą wibracyjną /w Polsce wg PN-55/B-04494 a od 1976 r. norma PN-75/B-04481 [174]/.

Natomiast do określania  $\gamma_d \max$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych, tak przez ubijanie jak i przez wibrację, brak jest w Polsce opracowanej metody badań.

Autor niniejszej pracy przeprowadził analizę dotychczasowych metod badań zagęszczalności gruntów i czynników wpływających na ich zagęszczenie. Analiza ta zasadniczo obejmuje grunty drobnoziarniste niespoiste, gdyż dla gruntów gruboziarnistych i kamienistych przeważnie brak jest danych w literaturze. Głównym celem pracy jest opracowanie metodyki badań zagęszczalności i kontroli jakości zagęszczenia gruntów gruboziarnistych i kamienistych. Wymagało to opracowania przez autora szeregu aparatów prototypowych do badań laboratoryjnych i terenowych tych gruntów oraz opracowania metodyki badań.

Następnie autor przeprowadził szereg badań metodą ubijania, wibracji i obciążeń statycznych w warunkach laboratoryjnych i terenowych oraz badań kontrolnych jakości zagęszczenia, na podstawie uzyskanych wyników zaproponował metodykę badań laboratoryjnych i terenowych zagęszczalności tych gruntów oraz metodykę badań kontrolnych.

# ANALIZA DOTYCHCZASOWYCH METOD BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW I CZYNNIKÓW WPLYWAJĄCYCH NA ICH ZAGĘSZCZENIE

## 2.1. WSTĘP

Zagęszczalnością gruntów nazywa się ich zdolność do uzyskiwania określonych ciężarów objętościowych szkieletu gruntowego  $\gamma_d$  w zależności od użytej energii zagęszczenia i sposobu jej użycia oraz rodzaju gruntu i jego wilgotności /w/ [8].

W badaniach zagęszczalności określa się maksymalne ciężary objętościowe szkieletu gruntowego  $\gamma_{d \max}$  i  $\gamma_{ds}$ <sup>1/</sup> oraz wilgotności optymalne  $w_{opt}$ , możliwe do uzyskania przy zastosowanej metodzie badawczej.

Maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego  $\gamma_{ds}$  wchodzi w skład wzoru na wskaźnik zagęszczenia  $I_g$ , a  $\gamma_{d \max}$  w skład wzoru na stopień zagęszczenia  $I_D$  [174].

W dotychczas stosowanej praktyce stosuje się metody laboratoryjne i polowe badań zagęszczalności gruntów.

Do metod laboratoryjnych określenia  $\gamma_{d \max}$  i  $w_{opt}$  należą: metody ubijania, metody statyczne /ugniatanie/ oraz metody wibracyjne.

Metody polowe polegają na określeniu bezpośrednio na terenie budowy /na poletku próbnym, za pomocą określonego sprzętu dla badanego gruntu/ zagęszczenia w zależności od ilości przejeżdżającego sprzętu ślad po śladzie oraz od grubości warstwy i wilgotności gruntu.

1/ Oznaczenie  $\gamma_{ds}$  wprowadzono dopiero w normie PN-74/B-02480 i zastąpiło ono oznaczenie  $\gamma_{os \max}$  wg normy PN-59/B-04491. W dalszej części pracy na maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego używano tylko oznaczenia

$\gamma_{d \max}$





## 2.2. ANALIZA DOTYCHCZASOWYCH METOD LABORATORYJNYCH BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW

### 2.2.1 METODY UBIJANIA

Dla gruntów drobnoziarnistych metodą laboratoryjną Kelso w Australii /1926 r./ i niezależnie od niego Proctor w USA /1933 r./ ustalili zależność pomiędzy  $\gamma_d$  a wilgotnością przy tej samej energii zagęszczającej [1], [2].

Proctor opracował metodę określania wilgotności optymalnej  $w_{opt}$ , przy której uzyskuje się największe zagęszczenie gruntu /  $\gamma_{d \max}$  / dla określonej energii [2].

Metoda opracowana przez Proctora dla gruntów spoistych jest najbardziej znana i powszechnie stosowana tak dla gruntów spoistych jak i niespoistych.

Metoda Proctora została z niewielkimi zmianami przyjęta jako obowiązująca również w Polsce /PN-59/B-04491, obecnie PN-75/B-04481 [55], [174]/.

Proctor udowodnił, na podstawie badań gruntów używanych do budowy zapór ziemnych w Kaliforni, że dla różnych gruntów dostajemy przy tej samej energii zagęszczenia, różne  $w_{opt}$ , przy których można osiągnąć  $\gamma_{d \max}$  oraz, że czym wyższa jest energia zagęszczania, tym wyższe jest maksymalne zagęszczenie, a tym niższa odpowiadająca im wilgotność optymalna. Znane są następujące podstawowe metody laboratoryjnego zagęszczania gruntów drobnoziarnistych przez ubijanie w cylindrze:

- 1/ metoda Proctora, a odpowiadająca jej w normie PN-59/B-04491 jest metoda normalna,
- 2/ metoda zmodyfikowana A.A.S.H.O., a odpowiadająca jej w normie PN-59/B-04491 jest metoda zmodyfikowana,
- 3/ metoda tłoczkowa,
- 4/ metoda DORNII /radziecka/.

Porównanie charakterystyk wymienionych metod określania  $w_{opt}$  i  $\gamma_{d \max}$  podano w tablicy 2.1.

Na rys. 2.1 przykładowo podano wyniki badań  $w_{opt}$  i  $\gamma_d^{max}$  piasku drobnego i średniego [7] wyżej wymienionymi metodami, z wyjątkiem metody tłoczkowej. Zaproponowana przez Z. Wiłuna [7], [8] metoda tłoczkowa nie była stosowana do badań gruntów sypkich.

Obecnie metoda ta nie jest stosowana.

Z przedstawionych danych oraz literatury [1], [3], [4], [8] i badań własnych [9], [10] wynika, że zagęszczenie gruntów droбноziarnistych /niespoistych i spoistych/ metodami ubijania zależy od wielu czynników.

Do najważniejszych z nich należy: uziarnienie gruntu, wilgotność gruntu, energia ubijania, impuls uderzenia, ciężar podstawy aparatu, zastosowana metoda badań /średnica cylindra, rodzaj ubijaka, ciężar ubijaka, wysokość opadania ubijaka, liczba warstw, objętość cylindra itp./ oraz czynniki związane ze sposobem przygotowania próbki do badań /podsuszanie próbek gruntu, dowilgacanie, rozdrobnienie, wymieszanie kilkakrotne, używanie tej samej porcji gruntu do badań itp./ i cechami indywidualnymi osoby przeprowadzającej badania.

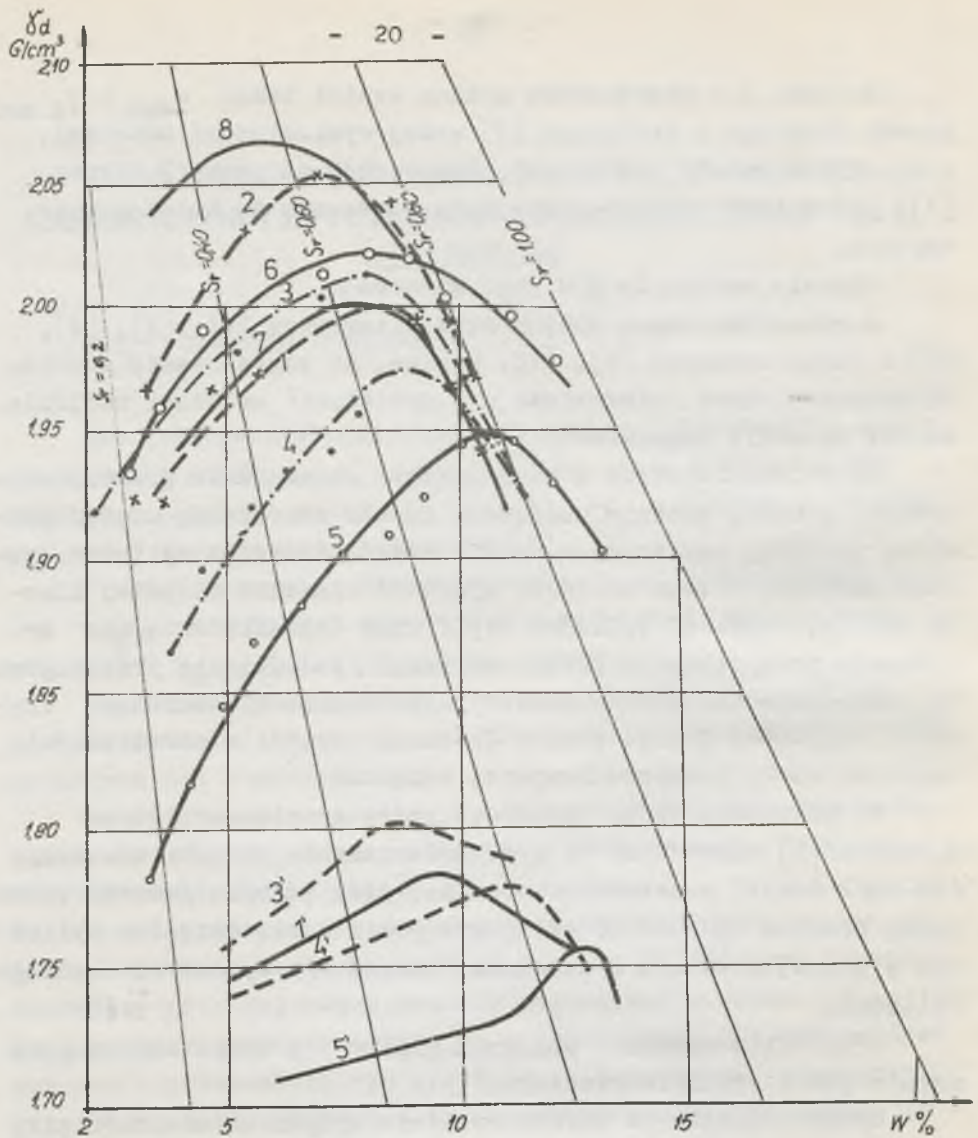
Na podstawie badań zagęszczalności gruntów spoistych Z. Szwech [4] udowadnia, że wysokość spadania ubijaka normowego /PN-59/B-04491/ w metodzie normalnej przy badaniu gruntów spoistych, powinna wynosić 46 cm, grunt powinno się ubijać w cylindrze w jednej warstwie o wysokości równej 1/3 wysokości obecnego cylindra.

Przy takim sposobie ubijania uzyska się takie samo zagęszczenie jak w metodzie Proctora.

Grubość ubijanych warstw wyraźnie wpływa na wielkość siły chwilowego uderzenia ubijaka, która decyduje o efekcie zagęszczenia. Objętość i średnica cylindra mają decydujący wpływ na zagęszczenie gruntów.

Przy małych objętościach próbki /małe średnice/ zasadniczo uzyskuje się mniejsze zagęszczenie, niż przy objętościach większych. Średnica aparatu ma też decydujący wpływ przy badaniu gruntów gruboziarnistych [1], [10].

Sposób przygotowania próbek do badania ma zasadniczo istotne znaczenie przy gruntach spoistych.



Rys. 2.1. Wyniki badań zagęszczalności przez ubijanie piasku drobnego i średniego [7]

- 1i' - Proctor
- 2 - AASHO - zmodyfikowana
- 3i3' - PN-591B-04491 - zmodyfikowana
- 4i4' - PN-591B-04491 - normalna
- 5i5' - DORNII - normalna
- 6 - DORNII - zmodyfikowana
- 7 - ubijanie w cylindrze CBR - metoda normalna
- 8 - ubijanie w cylindrze CBR - metoda zmodyfikowana
- 1-8 - piasek średni
- 1'-5' - piasek drobny



Tablica 2.1.

Charakterystyka metod wyznaczania  $d_{max}$  i  $w_{opt}$

Metoda	Średnica wałka mm	Ciężar wałka kg	Ilość wałka opad. mm	Ilość wałka opad. mm	Ilość wałka opad. mm	Ilość wałka opad. mm	Ilość wałka opad. mm	Ilość wałka opad. mm	Ilość wałka opad. mm	Ilość wałka opad. mm	Średnica wałka mm	Średnica wałka mm	Ilość całkowitej energii		Stosunek śred- nicy cylindra do średn. maks. siarn
													na próbę	na 1 cm <sup>3</sup>	
Normalna /wg PN-59/B-04491/	50,8	2,5	32,0	3	25	112,8	100	1000/1	6 + 7,0 <sup>3/</sup>	6000	6,0	16,1	13200	6,0	23,1
Zmodyfikowana /wg PN-59/B-04491/	50,8	4,5	48,0	5	25	112,8	100	1000	6 + 7,0	27000	27,0	16,1	59400	27,0	23,1
Tłoczkowa	50,8	8,2	5,1	1	20	50,8	35	71	2,4	840	11,8	21,2			
Radziecka /wg DORNII/ normalna	100,0	2,5	30,5	3	25	100,0	127	1000	6,35	5700	5,7	15,7			
Radziecka /wg DORNII/ zmodyfik.	100,0	4,5	45	3	25	100,0	127	1000	6,35	25700	25,7	15,7			
Metoda Prootera	50,8	2,5	30,48	5	25	101,6	116,6	944	4,76	5700	6,0	21,3			
Metoda zmodyfikowa- na A.43E.10.	50,8	4,54	45,8	5	25	101,6	116,6	944	4,76	25992	25,0	21,3			
Cylinder CBR-metoda normalna	50,8	6,725	30,5	3	21	152,0	126,5	2294	6,47,0	12922	5,7	21,7			
Cylinder CBR-metoda zmodyfikowana	50,8	6,725	30,5	5	55	152,0	126,5	2294	6,47,0	56406	24,7	21,7			
Metoda ASTM /Filadelfia/	50,8		30,5	3	25	152,0		2120	19 <sup>4/</sup>			8,0			

1/ Cylinder należy stosować do badania gruntów zawierających siarnę większą od 6 + 7 mm w ilości mniejszej niż 10%,  
 2/ Cylinder należy stosować do badania swirów i pospółek zawierających siarnę większą od 6 + 7 mm w ilości większej niż 10%  
 3/ Siarnę większą od 6 + 7 mm należy zastąpić siarnami 2 + 6 mm  
 4/ Siarnę większą od 19 mm powinny być zastąpione tą samą ilością siarn 4,76 - 19 mm.

Bardzo ważnym natomiast czynnikiem, mającym wpływ na prawidłowe określenie  $\gamma_d$  gruntów niespoistych, jest sposób pobierania próbek gruntu z cylindra do badania wilgotności. Szczególne trudności występują przy badaniu piasków grubych, pospółek i żwirów, kiedy to przy większych wilgotnościach bardzo szybko odsącza się woda /nierównomierna wilgotność w próbce/.

W takim przypadku, jak wykazało doświadczenie autora, badanie należy wykonywać w aparacie odpowiednio uszczelnionym. Po każdym zagęszczeniu należy ważyć cały używany do badania grunt, a po zakończeniu badań należy cały grunt wysuszyć. Mając ciężar gruntu suchego i poszczególne ciężary gruntu wilgotnego można określić i poszczególne wilgotności gruntu.

Wymienione metody badań zagęszczalności przez ubijanie, oparte na metodzie Proctora, ze względu na małe objętości cylindrów oraz istniejące ograniczenie wymiarów cylindra do wymiarów maksymalnych zmian w gruncie /patrz tablica 2.1/ nie nadają się bezpośrednio do badań większości gruntów gruboziarnistych i gruntów kamienistych. Do badań zagęszczalności tych gruntów należy stosować specjalną aparaturę wielkowymiarową.

W metodyce badań gruntów gruboziarnistych i kamienistych ogólnie panuje pogląd, że średnica cylindra aparatu powinna być minimum pięć razy większa od średnicy maksymalnych ziarn badanego gruntu [38], [39], [40].

Do określenia  $\gamma_{d \max}$  i  $w_{\text{opt}}$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych w literaturze [1], [40], [41], [42], [43], [177] istnieją wzory wyprowadzone na podstawie rozważań teoretycznych w oparciu o znajomość  $\gamma_{d \max}$  i  $w_{\text{opt}}$  dla frakcji drobnej i procentowej zawartości frakcji drobnej i grubej w rozważanym gruncie.

Proponowane w literaturze wzory mają jednak ograniczone zastosowanie [1], [40], [177], gdyż przy zawartości w gruncie frakcji grubej powyżej 30% obliczone wartości  $\gamma_{d \max}$  i  $w_{\text{opt}}$  znacznie odbiegają od wyznaczonych z badań /patrz p. 4.2.5/.



## 2.2.2 METODY STATYCZNE (Ugniatanie)

Znane są metody statyczne zagęszczania przez powolne obciążanie i przez ugniatanie przy wirowaniu.

Metoda statyczna podana przez Proctora w 1935 r. [3], zwana kalifornijską metodą statycznego zagęszczania, jest stosowana do przygotowania próbek gruntów do badań nośności podłoży drogowych /próba CBR/.

Aparat do badania zagęszczalności według omawianej metody stanowi metalowy cylinder o średnicy 15 cm i wysokości 20 cm, montowany na metalowej podstawie. W cylinder wchodzi tłok o wysokości 12,5 cm. Grunt do badań przygotowuje się podobnie jak w metodzie Proctora, z tym, że przesiewa się go przez sito 3/4 cala. Po nasypaniu gruntu do cylindra przykładana się nacisk tłoka przy użyciu prasy hydraulicznej. Nacisk doprowadza się do  $140 \text{ kg/cm}^2$  przy szybkości przesuwu tłoka 0,13 cm/min.

Obciążenie  $140 \text{ kg/cm}^2$  utrzymuje się przez 1 min i następnie odciąża próbkę w czasie 20 s.

Po odciążeniu określa się  $\gamma_d$  i wilgotność gruntu.

W celu uzyskania zależności  $\gamma_d$ -w, badania powtarza się kilkakrotnie zwiększając wilgotność gruntu o 1 - 2%.

Według tych badań przyrost  $\gamma_d$  ze wzrostem wilgotności jest mniejszy niż przyrost uzyskiwany metodami ubijania [1].

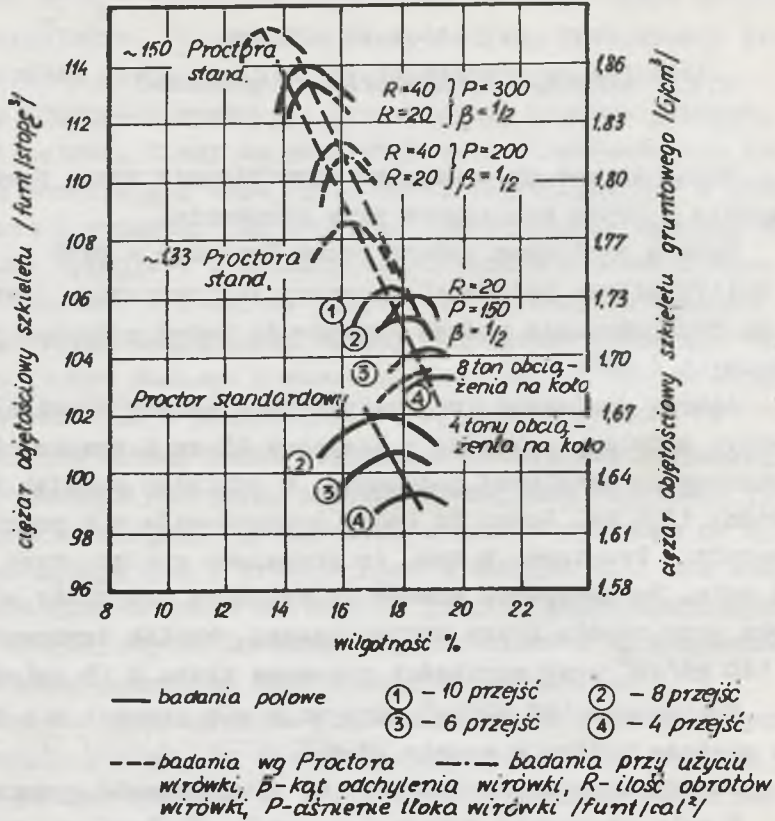
Badaniami zagęszczalności gruntów przy użyciu wirówek zajmowali się Mc Ray, Mc Daniel i Parsens [4] oraz A. Khafaji i W. Węgrzyn [5], [6].

Badania A. Khafaji i W. Węgrzyna polegały na umieszczeniu naczynia / $\emptyset$  4 cale/ zbliżonego do cylindra aparatu Proctora w urządzeniu wirującym. Grunt ugniatany był tłokiem, który w zależności od nachylenia naczynia wirującego przekazywał siłę odśrodkową tłoka na grunt.

Metoda ta daje charakter obciążenia zbliżony do obciążenia statycznego.

Porównanie badań metodami ubijania i ugniatania podaje rys. 2.2. Z rys. 2.2 widać, że optymalne zagęszczenie /wg krzy-





Rys. 2.2. Badanie linii "optimum" dla różnych metod zagęszczania pyłu wg Khafaji 5

wych/ z aparatu wirowego uzyskuje się przy wilgotności większej o ok. 1% w porównaniu z badaniami Proctora. Za pomocą wirówki można badać zachowanie się próbek gruntów przy szybkich zmianach obciążeń.

Metoda ta była stosowana przez A.Khafaji tylko do gruntów spoiстых.

### 2.2.3 METODY WIBRACYJNE ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW

Maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntu  $\gamma_d \max$  potrzebny do wzoru na stopień zagęszczenia  $I_D$  określa się metodami wibracyjnymi.

W Polsce do określenia stopnia zagęszczenia stosowana była do 1976 r. norma PN-55/B-04494 [11].

Wg normy PN-55/B-04494 w celu określenia  $\gamma_d \text{ max}$  grunt zagęszcza się wibracyjnie w pięciu warstwach w cylindrze stalowym o objętości ok.  $525 \text{ cm}^3 / d = 65 \text{ mm/}$  za pomocą stalowych widełek, którymi uderzamy o cylinder przez co najmniej 6,5 min.

W czasie wibracji grunt jest obciążany tłokiem, który daje nacisk ok.  $0,013 \text{ kG/cm}^2$ . Sposób ten jest najczęściej stosowany i zalecany przez licznych badaczy [24], [13], [8].

Natomiast wg nowej normy PN-75/B-04481 [174] grunt zagęszcza się w jednej warstwie, w wyżej opisanym cylindrze, przez co najmniej 2,5 min.

H.Muhs [12] zaleca natomiast ustalenie maksymalnego zagęszczenia /  $\gamma_d \text{ max}$  / przez wibrowanie piasku pod wodą, w aparacie podobnym do opisanego wyżej, odciągając wodę po zawibrowaniu pompą próżniową.

Metoda taka była stosowana w Polsce między innymi przez J.Orzechowskiego i J.Przystańskiego [13], J.Idzika i St.Smagałę [14] oraz K.Mosieję [15].

J.Orzechowski i J.Przystański oraz K.Mosiej [13], [15] stwierdzają, że w przypadku piasków pylastych i drobnych otrzymuje się większe zagęszczenie stosując wibrowanie pod wodą niż na sucho.

Podobnie J.Idzik i St.Smagała [14] stwierdzają, że uzyskali większe zagęszczenie dla badanych gruntów niespoistych, o zawartości frakcji pyłowej do 10%, przy wibrowaniu tych gruntów pod wodą niż na sucho.

Natomiast dla piasków średnich i grubych uzyskuje się przeważnie mniejsze zagęszczenie w wyniku wibrowania w wodzie. W 1948 r. J.Kolbuszewski [16] wprowadził metodę oznaczania maksymalnego zagęszczenia piasków przy zastosowaniu elektrycznego wibratora powierzchniowego.

Według tej metody grunt wibrowano w trzech warstwach pod wodą, wibrując 15 min każdą warstwę.

Metoda ta dawała większe zagęszczenie piasków suchych i nawodnionych niż zagęszczanie ich metodą Proctora, na stole wibracyjnym lub przy użyciu pneumatycznego wibratora powierzchniowego.

Jednak według tej metody piasek ulegał rozdrobnieniu, co zniekształcało uzyskiwane wyniki  $\gamma_d \max$  [22].

Stosowane też były metody określania maksymalnego zagęszczenia przez wibrowanie piasku zgodnie z normą PN-55/B-04494 lecz o różnej wilgotności / $w \geq 0$ / [15], [17] oraz przez wibrowanie piasku o różnej wilgotności / $w > 0$ / w cylindrze Proctora na stole wibracyjnym Ve-Be /częstość drgań - 50 Hz, obciążenie próbki  $0,1 \text{ kg/cm}^2$ , czas wibracji - 60 s/ [18].

Maksymalne zagęszczenie  $\gamma_d \max$  i wilgotność optymalną określano na podstawie zależności  $\gamma_d$ - $w$  /rys. 2.3/.

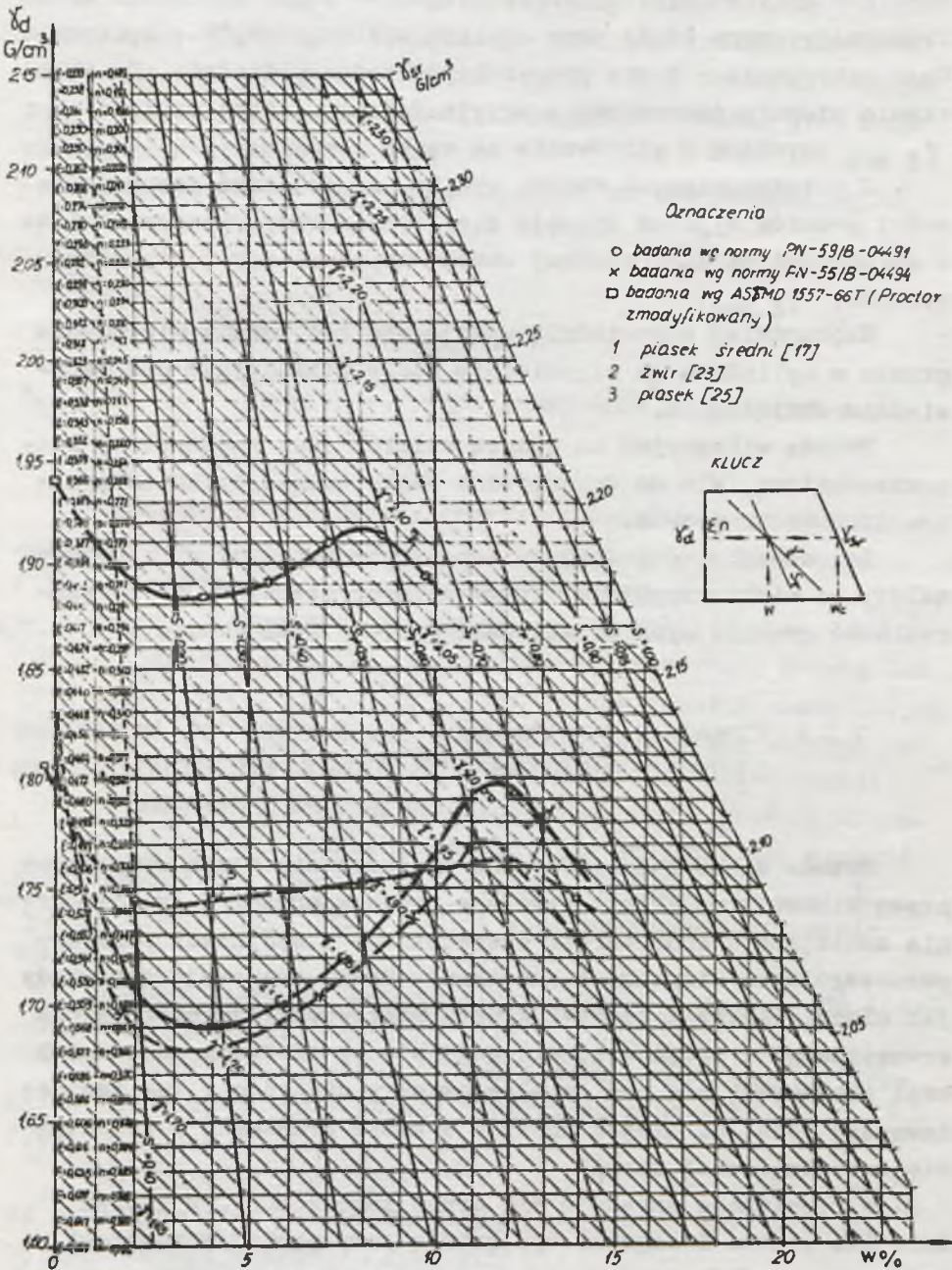
Z przedstawionych badań własnych /rys. 2.3/ oraz publikacji [15], [13] wynika, że  $\gamma_d \max$  określany przy wilgotności optymalnej metodą wibrowania piasku, zgodnie z normą PN-55/B-04494 lecz o różnej wilgotności, jest mniejszy od  $\gamma_d \max$  określonego z badań metodą normalną Proctora oraz metodą wibrowania na sucho.

Wibrowanie na stoliku Ve-Be dało takie same wyniki jak badania metodą normalną Proctora [18].

Na podstawie przedstawionych wyników badań J.Orzechowskiego i J.Przystańskiego [13] oraz badań własnych [17], [23] /rys. 2.3/ można też stwierdzić, że przy ubijaniu gruntów suchych /od piasków do żwirów/ w aparacie Proctora otrzymuje się przeważnie zagęszczenie większe niż przy wilgotności optymalnej.

Ponieważ jednak w naturze grunty sypkie nie występują w stanie wysuszonym / $w_n = 0$ /, w związku z czym należy je zagęszczać przy wilgotności optymalnej określonej metodą odpowiadającą przyjętej metodzie zagęszczenia w nasypie. Dla gruntów niespoistych zagęszczanych w nasypie za pomocą sprzętu wibracyjnego  $w_{opt}$  można określać przez wibrowanie próbek gruntu, przy stopniowo zwiększonej wilgotności, wykorzystując aparaturę zalecaną w normie PN-55/B-04494. W USA wg USBR [19], [20], [21]  $\gamma_d \max$  należy określać w sposób wibracyjny w cylindrze, którego wymiary zależą od uziarnienia gruntu. Dla uziarnienia  $d_{max} = 76,2 \text{ mm}$  zaleca się stosować cylinder o średnicy 27,62 cm i objętości  $14\ 160 \text{ cm}^3$ , a dla uziarnienia  $d_{max}$  mniejszego od 38,1 mm zaleca się stosować cylinder o średnicy 15,08 cm i objętości  $2830 \text{ cm}^3$ . Grunt zaleca się zagęszczać w stanie suchym i nawodnionym pod obciążeniem  $0,145 \text{ kg/cm}^2$ . Obciążać





Rys. 2.3. Zależność  $\gamma_d$  od wilgotności i metody badania

można obciążnikami lub za pomocą sprężyn odpowiednio dociskanych dźwignikiem hydraulicznym. Częstość drgań wibratora elektromagnetycznego 60 Hz przy amplitudzie drgań 0,05 - 0,64 mm. Czas wibrowania - 8 min przy maksymalnej amplitudzie. Do obliczenia stopnia zagęszczenia przyjmuje się większą wartość  $\gamma_d \text{ max}$  uzyskaną z wibrowania na sucho i mokro.

Z przedstawionych danych wynika, że do badań zagęszczalności gruntów sypkich stosuje się różne metody wibracyjne i że w zależności od zastosowanej metody uzyskuje się także różne wartości  $\gamma_d \text{ max}$ .

Najbardziej odpowiednią wydaje się być metoda wibrowania gruntu w cylindrze na odpowiednim stole wibracyjnym pod odpowiednim obciążeniem.

Metoda wibracyjna za pomocą widełek jest najbardziej rozpowszechniona, ale ma ograniczone zastosowanie tylko do gruntów drobnoziarnistych.

Zagęszczalność gruntów niespoistych metodami wibracyjnymi zależy od wielu czynników. Wpływ różnych czynników na zagęszczalność gruntów sypkich metodami wibracyjnymi podano w p. 2.2.4.

#### 2.2.4 CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ZAGĘSZCZALNOŚĆ GRUNTÓW NIESPOISTYCH PRZEZ WIBRACJĘ

Metoda wibrowania polega na przenoszeniu drgań wywołanych przez wibrator na grunt. Wywołane przez wibrator w gruncie drgania zmniejszają opór tarcia wewnętrznego i spójności pomiędzy poszczególnymi ziarnami i cząstkami. Grunt zachowuje się wtedy jak ciecz. Ziarna i cząstki gruntu przewyciężają opór tarcia wewnętrznego i spójności, ślizgają się po ziarnach sąsiednich oraz przesuwają się pod działaniem siły ciężkości, jak też nadawanego pędu, do miejsc pustych w masie gruntowej i układają się szczelnie obok siebie.

W rezultacie uzyskuje się grunt zagęszczony, w którym mniejsze ziarna i cząstki wypełniają pory pomiędzy ziarnami większymi.



Wibracyjnym zagęszczaniem gruntów badacze zajmują się od dawna /ponad 40 lat/. Jednak do tej pory nasza wiedza o czynnikach wpływających na to zjawisko jest jeszcze bardzo niekompletna, a często nawet mylna. Wobec tego, że na wibracyjne zagęszczenie gruntów wpływa wiele czynników trudno jest więc wyciągnąć generalne wnioski.

Poniżej przedstawione są czynniki mające zasadniczy wpływ na wibracyjne zagęszczenie gruntów.

#### 2.2.4.1. Skład granulometryczny i wskaźnik różnoziarnistości gruntu

Skład granulometryczny gruntu ma zasadniczy wpływ na zagęszczenie gruntu i maksymalny /  $\gamma_d \max$  / oraz minimalny /  $\gamma_d \min$  / ciężar objętościowy szkieletu gruntowego.

Grunty niespoiste, zawierające dużo części pylastych / > 5% /, zagęszczają się przez wibrację gorzej niż grunty bez tych części [14], [15], [25], [171]. Dla gruntów niespoistych zawierających > 5% części pylastych uzyskuje się większe zagęszczenie metodą ubijania wg Proctora niż metodą wibracji.

Na zagęszczalność ma też decydujący wpływ grubość ziarn.

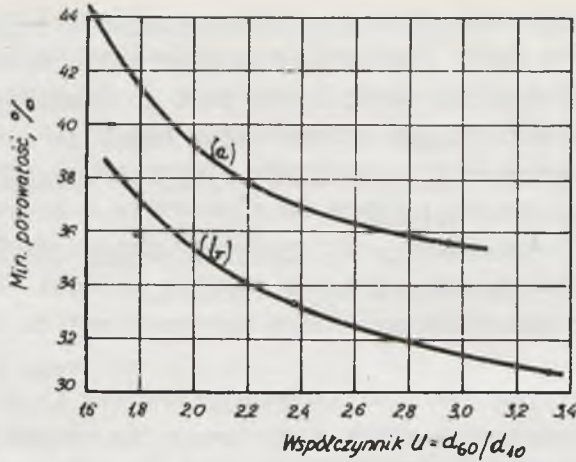
Dla gruntów o grubszym uziarnieniu uzyskuje się przeważnie /choć nie zawsze [13]/ większe wartości  $\gamma_d \max$  i  $\gamma_d \min$  [26], [15], [25], [27] i większe porowatości minimalne.

Istotny wpływ na zagęszczalność gruntu /  $\gamma_d \max$  / ma też wskaźnik różnoziarnistości /U/ [22], [30].

Z badań przeprowadzonych przez Kolbuszewskiego [22] wynika, że ze wzrostem U maleje porowatość minimalna  $n_{\min}$  /rys. 2.4/.

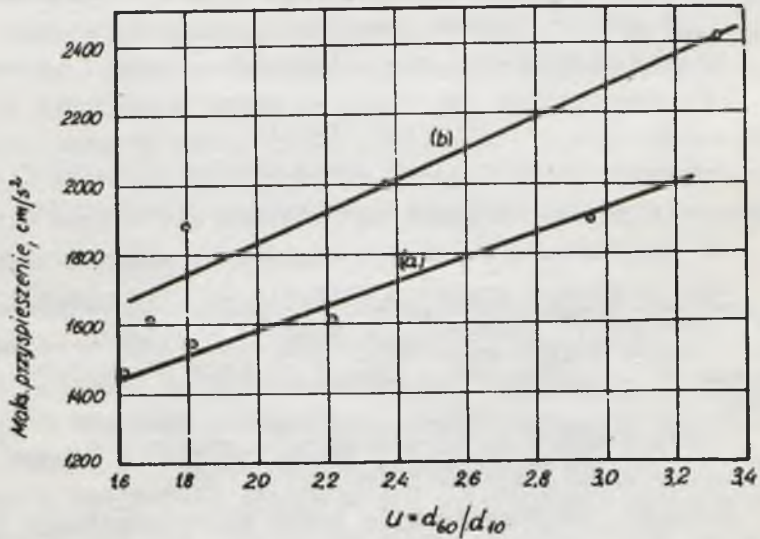
Następnie Kolbuszewski [22] stwierdza, że ze wzrostem U do uzyskania porowatości minimalnej potrzebne jest większe przyspieszenie wibracji /rys. 2.5/.





a - STONE COURTSAND, b - PACKINGTON SAND

Rys. 2.4. Wykres zależności porowatości minimalnej od wskaźnika różnoziarnistości [22]



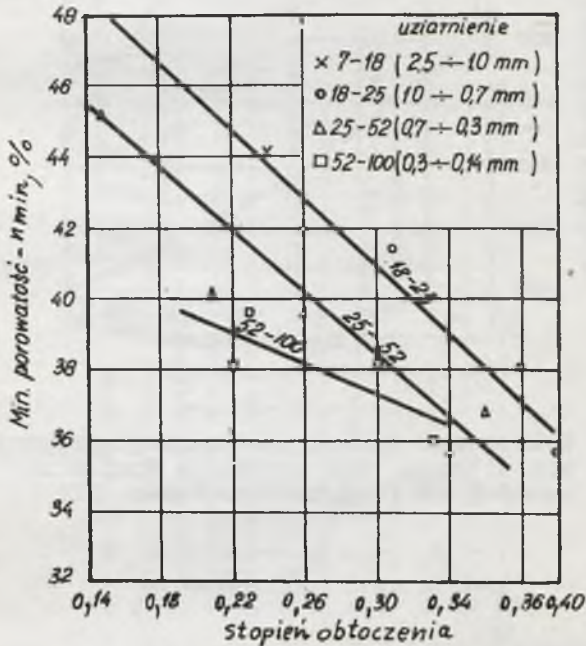
a - STONE COURTSAND, b - PACKINGTON SAND

Rys. 2.5. Wykres zależności maksymalnego przyspieszenia wibracji dla uzyskania minimalnej porowatości od wskaźnika różnoziarnistości [22]

### 2.2.4.2. Kształt i stopień obtoczenia ziarn

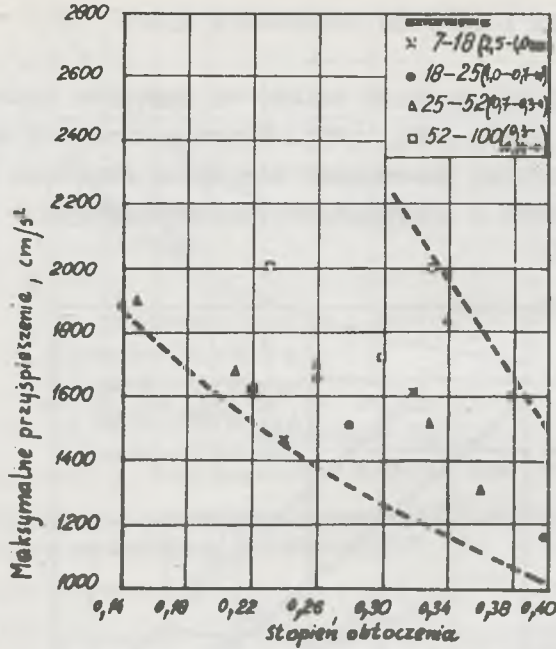
Zagęszczalność gruntów zależy od kształtu ziarn i stopnia ich obtoczenia [22], [28], [29]. Grunt o ziarnach kulistych i gładkich ma mniejszą porowatość minimalną /większą wartość

$\bar{\sigma}_d \text{ max}$  / niż grunt o ziarnach ostrokrawędzistych i nieobtoczonych /rys. 2.6/.



Rys. 2.6. Wykres zależności minimalnej porowatości od stopnia obtoczenia [22]

Do uzyskania porowatości minimalnej dla gruntu o ziarnach obtoczonych potrzebne jest mniejsze przyspieszenie wibracji niż dla gruntu o ziarnach ostrokrawędzistych [22] /rys. 2.7/.



Rys. 2.7. Wykres zależności maksymalnego przyspieszenia wibracji dla uzyskania minimalnej porowatości od stopnia obtoczenia [22]

### 2.2.4.3. Wilgotność gruntu

Wilgotność gruntu jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na zagęszczenie gruntów. Najlepiej wibracyjnie zagęszcza się grunt w stanie suchym lub przy tzw. wilgotności optymalnej  $w_{opt}$  oznaczonej metodą wibracyjną.

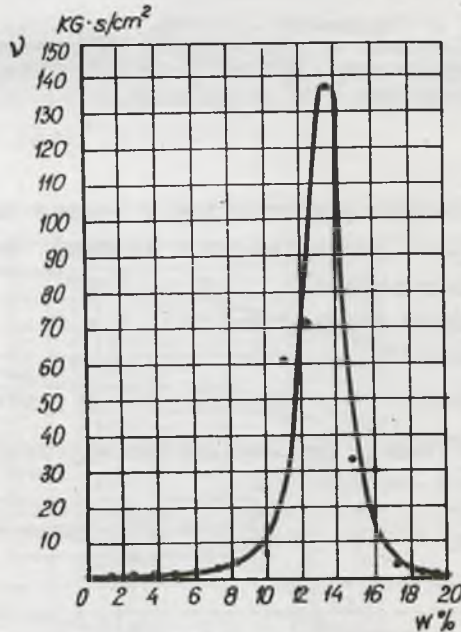
Przy małych wilgotnościach  $0 < w < w_{opt}$ , a więc w przypadku oddziaływania dużych sił kapilarnych zagęszczenie gruntów jest najtrudniejsze [13], [25], [30], [31], [32], [33], [34], [172]. Zjawisko to D.D. Barkan [32] tłumaczy tzw. współczynnikiem wibrolepkości gruntu. Przy małym współczynniku wibrolepkości grunt zagęszcza się najłatwiej. Współczynnik wibrolepkości gruntu  $\nu$  określamy wzorem



$$\nu = a \eta^{-k} \quad [\text{kGs/cm}^2] \quad /2.1/$$

gdzie:  $a$  i  $k$  - współczynniki empiryczne,  
 $\eta$  - stosunek przyspieszenia wibracji do przyspieszenia ziemskiego.

Współczynnik  $\nu$  zależy więc od przyspieszenia drgań oraz od rodzaju i wilgotności gruntu /rys. 2.8/.

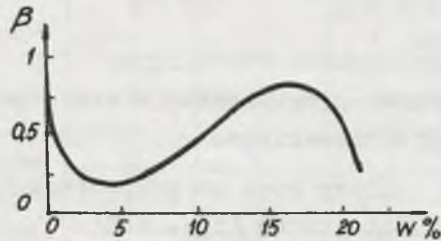


Rys. 2.8. Wykres zależności współczynnika wibrolepkości " $\nu$ " od wilgotności piasku drobnego [32]

Wpływ wilgotności na wibracyjne zagęszczenie gruntów potwierdza też zależność współczynnika wibracyjnego zagęszczenia gruntów od wilgotności /rys. 2.9/ [32], [34].

Współczynnik ten określamy wzorem

$$\frac{1}{\beta} = \frac{e_0 - e_{\min}}{\left(\frac{de}{d\eta}\right)_{\eta=0}} = \frac{e_0 - e_{\min}}{\text{tg } \alpha_0} \quad /2.2/$$



Rys. 2.9. Zależność współczynnika wibracyjnego zagęszczenia od wilgotności piasku średniego [34]

gdzie:

- $\beta$  - współczynnik wibracyjnego zagęszczenia gruntu,
- $\eta$  - stosunek przyspieszenia wibracji do przyspieszenia ziemskiego,
- $e/0/$  - wskaźnik porowatości dla  $\eta = 0$ ,
- $e_{\min}$  - wskaźnik porowatości minimalnej,
- $\alpha_0$  - kąt nachylenia krzywej  $e - \eta/$ , przy  $\eta = 0$ .

Im  $\beta$  jest większe, tym zagęszczenie gruntu jest bardziej efektywne.

#### 2.2.4.4. Amplituda drgań

Amplitudę drgań należy dobierać w zależności od uziarnienia gruntu /średnie wielkości ziarn/, od wilgotności gruntu i wielkości sił tarcia między cząsteczkami oraz od kształtu ziarn gruntu [33].

Ze zwiększeniem średniej wielkości ziarn, podobnie jak ze zmniejszeniem wilgotności, powinna wzrastać amplituda drgań. Podobnie amplituda drgań powinna być większa przy ziarnach ostrokrawędzistych niż przy ziarnach obtoczonych.

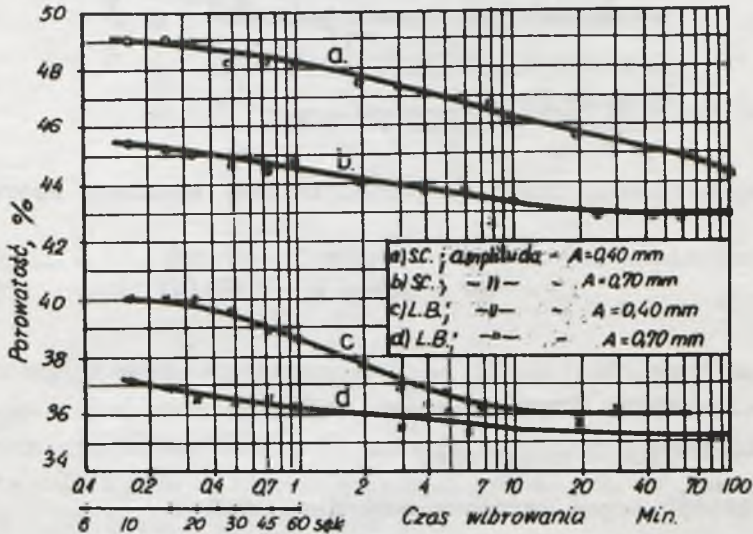
Amplituda drgań nie może być zbyt duża, gdyż przy zagęszczaniu cząstki gruntu przemieszczają się chaotycznie, co w re-

zultacie może powodować rozluźnienie się zagęszczonej masy gruntu.

W.Gordziejczuk podaje, że dopuszczalna wartość amplitudy dla gruntów sypkich powinna wynosić  $0,3 \div 0,4$  mm [30].

Wpływ amplitudy na zagęszczenie gruntów nie jest jednoznacznie wyjaśniony.

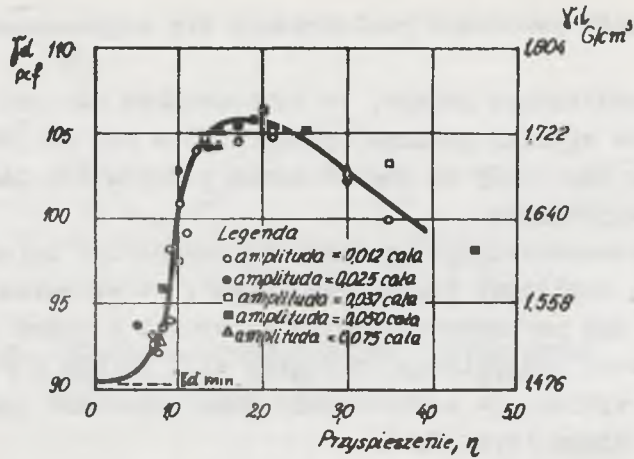
J.Kolbuszewski [22] podaje, że porowatość zależy od zastosowanej amplitudy drgań /rys. 2.10/; ze wzrostem amplitudy zmniejsza się porowatość gruntu. Natomiast z badań przeprowadzonych przez D'Appolonia [35] oraz R.J. Krizka i J.J.Fernandeza [25] wynika, że zagęszczenie zasadniczo nie zależy od amplitudy drgań /rys. 2.11/.



Uziarnienie gruntu, 0,7-4,0 mm, częstość drgań, 22,6 Hz

Rys. 2.10. Wpływ czasu wibrowania, pochodzenia gruntu i amplitudy na porowatość [22]





Rys. 2.11. Zależność zagęszczenia od stosunku przyspieszenia drgań do przyspieszenia ziemskiego i amplitudy [35]

#### 2.2.4.5. Częstotliwość i częstość drgań

Częstotliwość drgań /prędkość kątową/ wyrażamy wzorem [173]

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 0,105 \text{ n} \quad [\text{rad/s}] \quad /2.3/$$

gdzie:

T - okres drgań  $\frac{1}{T} = \frac{n}{60}$ , sekund,

n - liczba drgań/min.

Częstość drgań wyrażamy natomiast wzorem

$$f = \frac{1}{T} \quad [\text{Hz}] \quad /2.4/$$

gdzie:

T - okres drgań /sekund/.

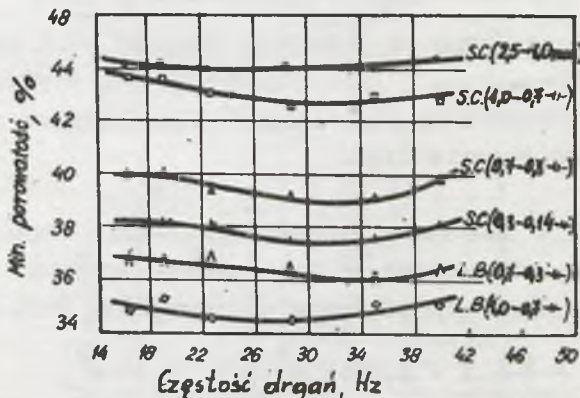
Pomiędzy częstotliwością drgań /prędkością kątową/ i częstością drgań istnieje stała zależność

$$\omega = 2\pi f. \quad /2.5/$$

Częstość mówi nam o liczbie drgań w jednostce czasu [173].

Częstotliwość drgań winna być ściśle uzależniona od amplitudy drgań dla zapewnienia niegasnącego charakteru drgań [33]. Zwiększenie częstości drgań powinno odpowiadać zmniejszeniu amplitudy.

J.Kolbuszewski [22] podaje, że częstość ma praktycznie niewielki wpływ na zagęszczenie /minimalną porowatość/ gruntów suchych. Najmniejszą porowatość otrzymuje się przy 22 - 33 Hz /rys. 2.12/.



Rys. 2.12. Wykres zależności porowatości minimalnej od częstości drgań [22]

Z badań przeprowadzonych przez IBMiR [170] wynika, że częstość drgań ma duży wpływ na zagęszczenie wilgotnych gruntów gruboziarnistych / $d \leq 50$  mm/. Ze wzrostem częstości drgań od 47 Hz do 62 Hz, przy wilgotności gruntu 8%,  $\gamma_d$  zwiększył się od  $1,67 \text{ G/cm}^3$  do  $1,96 \text{ G/cm}^3$ .

T.Kluz i K.Eyman [178] podają, że w celu właściwego zagęszczenia mieszanki betonowej o zawartości kruszywa grubego należy stosować wibrator o częstości niższej, a dla zagęszczenia mieszanki o drobnych frakcjach - o częstości wyższej /tablica 2.2/.

Tablica 2.2

Zależność optymalnej częstości drgań wibratora od wielkości ziarn kruszywa w mieszance betonowej [178]

Wymiar największych ziarn kruszywa [mm]	10	20	40
Optymalna częstość drgań [Hz]	100	50	33,3

#### 2.2.4.6. Przyspieszenie drgań

Powszechnie uważa się, że przyspieszenie drgań jest głównym czynnikiem wpływającym na zagęszczenie gruntu.

Przyspieszenie maksymalne drgań wyrażone jest wzorem

$$\alpha = \omega^2 A = \frac{4 \pi^2}{T^2} A = 0,0113 n^2 A \quad [\text{cm/s}^2] \quad /2.6/$$

gdzie:

- A - amplituda drgań /cm/,
- n - liczba drgań/minutę,
- T - okres drgań, s,
- $\omega$  - prędkość kątowna, rad/s.

Według badań D.D. Barkana [32] przy stałym przyspieszeniu drgań wskaźnik porowatości gruntu  $e$  /zagęszczenie gruntu/ pozostaje stały, niezależnie od tego, czy to przyspieszenie uzyskano w wyniku zmian amplitudy czy też częstotliwości drgań. Do zagęszczenia obciążonych próbek piasku niezbędne jest większe przyspieszenie niż dla próbek nieobciążonych. Jeśli grunt był wstępnie zagęszczony przy określonej wielkości przyspieszenia, to wibrowanie przy mniejszym przyspieszeniu nie może spowodować już dalszego zagęszczenia. Przyspieszenie drgań może spowodować zagęszczenie tylko wówczas, gdy będzie ono większe od określonej wielkości, która nosi nazwę proggu wibracji.



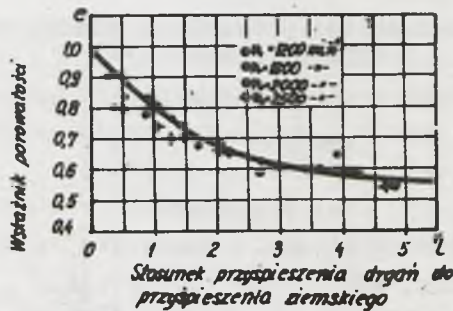
Próg wibracji " $\eta_0$ " określamy wzorem

$$\eta_0 = - \frac{1}{\beta} \ln \frac{e(0) - e_{\min}}{e_{\max} - e_{\min}} \quad /2.7/$$

gdzie:

- $\beta$  - współczynnik wibracyjnego zagęszczenia gruntu,
- $e(0)$  - wskaźnik porowatości dla  $\eta = 0$ ,
- $e_{\max}$  i  $e_{\min}$  - graniczne wskaźniki porowatości /przy minimalnym i maksymalnym zagęszczeniu/.

Badania D.D. Barkana wykazały, że przy wibrowaniu piasków nieobciążonych z przyspieszeniem ok. 5 g uzyskuje się największe możliwe zagęszczenie /najmniejszą porowatość/ /rys. 2.13/.



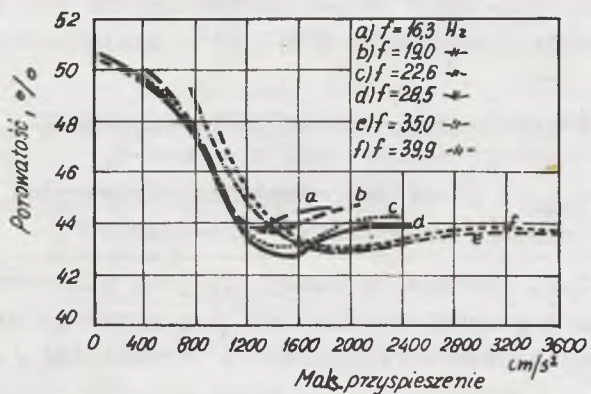
Rys. 2.13. Wykres zależności wskaźnika porowatości od przyspieszenia drgań [32]

Największy przyrost zagęszczenia następuje przy wzroście przyspieszenia do ok. 2 g.

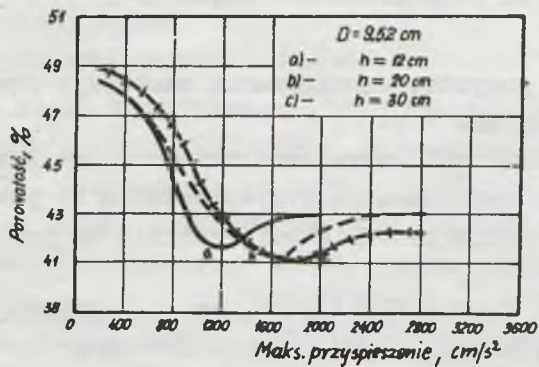
J.Kolbuszewski [22] natomiast twierdzi, że porowatość zmniejsza się ze zwiększeniem przyspieszenia do pewnych jego wartości, a następnie ponownie zwiększa się do pewnej stałej wartości.

Najmniejszą porowatość /największe zagęszczenie/ uzyskuje się przy przyspieszeniu drgań  $1200 \div 2000 \text{ cm/s}^2$ .

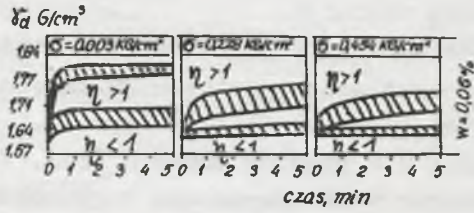
Wymagane przyspieszenie do uzyskania minimalnej porowatości jest większe przy wysokich częstościach wibracji niż niskich /rys. 2.14/ i większe przy większych obciążeniach lub wyższych próbkach /rys. 2.15/.



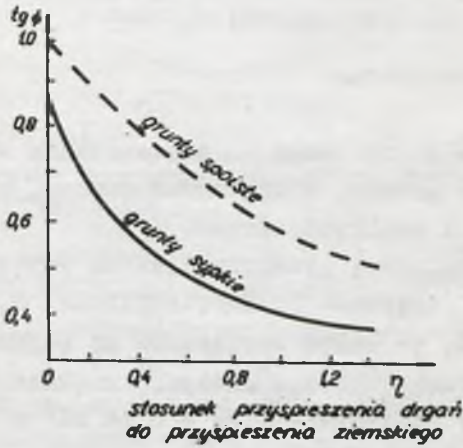
Rys. 2.14. Wykres zależności porowatości piasku od przyspieszenia i częstotliwości drgań [22]



Rys. 2.15. Wykres zależności porowatości gruntu od przyspieszenia drgań i wysokości zagęszczanej próbki / obciążenia/ [22]



Rys. 2.16. Wykresy zależności zagęszczenia piasku od czasu, obciążenia i przyspieszenia [25]. Grunt: piasek z Ottawy



Rys. 2.17. Zależność  $tg \phi$  od wielkości przyspieszenia drgań [36]



Według badań J.Kolbuszewskiego początkowe zagęszczenie mniejsze od maksymalnego nie ma wpływu na zagęszczenie maksymalne uzyskiwane metodą wibracji.

Wyniki badań J.Kolbuszewskiego odnośnie wartości przyspieszenia potrzebnego do uzyskania największego zagęszczenia pokrywają się z badaniami D'Appolonii [35] /rys. 2.11/ i z badaniami R.J. Krizeka [25] dla gruntów suchych /rys. 2.16 i 2.19a/. Grunty wilgotne natomiast wykazują wzrost zagęszczenia ze wzrostem przyspieszenia drgań /rys. 2.19b/.

Łatwiejsze zagęszczenie gruntów przy większym przyspieszeniu drgań spowodowane jest znacznym zmniejszeniem się tarcia wewnętrznego między ziarnami gruntu /rys. 2.17/ [36], [45].

Przy tym samym przyspieszeniu drgań, jak wykazały badania, większy stopień zagęszczenia  $I_D$  uzyskujemy dla piasków drobnoziarnistych niż gruboziarnistych [30].

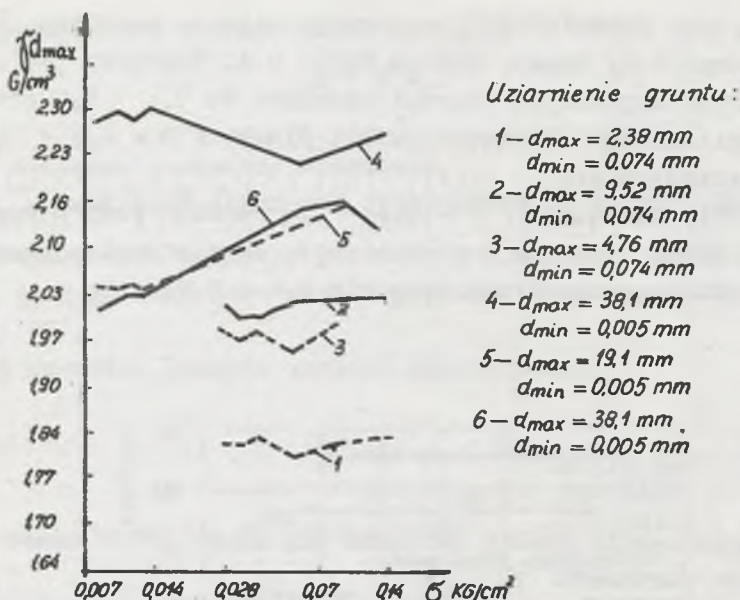
#### 2.2.4.7. Obciążenie statyczne

Wpływ obciążenia statycznego na zagęszczenie wibracyjne zależy od uziarnienia gruntu, wilgotności gruntu, przyspieszenia drgań, częstości i amplitudy drgań.

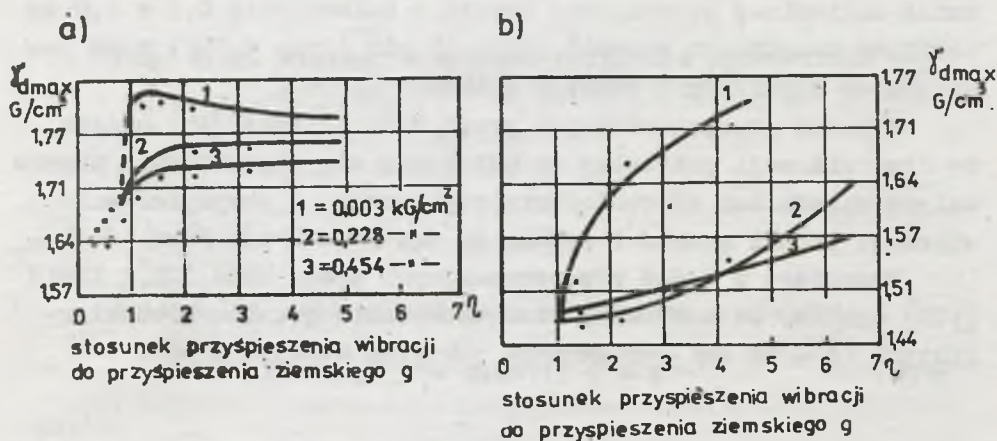
Z badań zagęszczalności przeprowadzonych przez USBR [20] na stole wibracyjnym /częstość 60 Hz/, amplituda 0,03 cm, czas wibracji 8 min wynika, że wpływ obciążenia na zagęszczenie uwydatnia się przy gruntach gruboziarnistych, większe zagęszczenie uzyskuje się przy obciążeniu  $0,07 \div 0,14 \text{ kg/cm}^2$  niż przy obciążeniu mniejszym /rys. 2.18/.

Natomiast z badań przeprowadzonych przez O.A. Sawinowa [44], [45] i R.J. Krizeka [25] wynika, że wzrost obciążenia statycznego powoduje zmniejszenie zagęszczenia maksymalnego /  $\gamma_{d \text{ max}}$  /; wpływ obciążenia na zmniejszenie  $\gamma_{d \text{ max}}$  jest większy dla gruntów wilgotnych niż suchych /rys. 2.19/.

Wzrost obciążenia statycznego powoduje wzrost przyspieszenia wibracji potrzebnego do uzyskania maksymalnego zagęsz-



Rys. 2.18. Wykres zależności  $\gamma_{d \max}$  od obciążenia i rodzaju gruntu sypkiego [20]



a-piasek powietrzno suchy  
b-piasek o wilgotności 4,4% ± 0,5%

Rys. 2.19. Wykresy zależności zagęszczenia /  $\gamma_{d \max}$  / piasku od przyspieszenia drgań, obciążenia statycznego i wilgotności gruntu [25]

czenia /rys. 2.15 i 2.19/, a to wiąże się ze wzrostem częstości lub amplitudy drgań. Według badań O.A. Sawinowa [44], [45] przy małych względnych przyspieszeniach do 0,4 - 1,0 przyspieszenia ziemskiego obciążone próbki piasku /  $\sigma = 0,4 - 1,2 \text{ kg/cm}^2$  / nie zagęszczają się.

Próbki obciążone /  $\sigma = 0,4 - 1,2 \text{ kg/cm}^2$  / przy przyspieszeniu względnym 2 osiągają stabilizację zagęszczenia. Zagęszczenie to osiąga stopień zagęszczenia  $0,6 \pm 0,8$ .

#### 2.2.4.8. Czas wibracji

Zagęszczenie gruntu zwiększa się ze wzrostem czasu wibracji aż do wartości  $\tau_{d \max}^*$ .

Czas wibracji potrzebny do osiągnięcia  $\tau_{d \max}$  przez wibrację zależy od uziarnienia gruntu, wilgotności gruntu, obciążenia i zastosowanej metodyki badań. Z badań przeprowadzonych przez J.Kolbuszewskiego [22] wynika, że czas potrzebny do uzyskania minimalnej porowatości gruntu o uziarnieniu  $0,7 \pm 1,0 \text{ mm}$  powinien zasadniczo wynosić ponad 15 min /rys. 2.10/; czas ten zależy od amplitudy i rodzaju gruntu.

Z badań przeprowadzanych przez R.J. Krizeka [25] wynika, że czas wibracji potrzebny do ustalenia się zagęszczenia piasku zależy zasadniczo od obciążenia statycznego i przyspieszenia wibracji próbki gruntu i wynosi od ok. 1 do 5 min /rys. 2.16/.

Natomiast z badań przeprowadzonych przez USBR [20] i IBMIR [170] wynika, że minimalny czas wibrowania gruntów gruboziarnistych /  $d \leq 50 \text{ mm}$  / wysuszonych powinien wynosić 8 min.

#### 2.2.4.9. Energia zagęszczania

Według W.F. Brumunda i G.A. Leonardsa [37] zagęszczenie gruntu metodą wibracyjną /zagęszczanie powierzchniowe/ zależy od przekazywanej energii.



Przekazywaną energię można wyznaczyć z wzoru

$$E = W A_p^2 \quad /2.8/$$

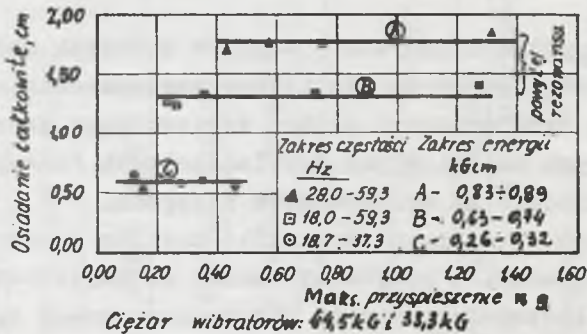
gdzie:

W - ciężar statyczny wibratora,

$A_p$  - amplituda drgań /od wierzchołka do wierzchołka/.

Zdaniem tych badaczy, przekazywana energia, a nie przyspieszenie jest głównym parametrem wpływającym na zagęszczenie /rys. 2.20/.

Ze wzrostem energii wzrasta zagęszczenie.



Rys. 2.20. Wykres zależności osiadania całkowitego od przyspieszenia i przekazywanej energii [37]

#### 2.2.4.10. Siła wzbudzająca

Maksymalną siłę wzbudzającą wyznaczamy z równania

$$S = m \omega^2 r = 0,00113 G A n^2 \quad /2.9/$$

gdzie:

m - masa wirująca,

r - promień obrotu masy,

$\omega$  - prędkość kątowna drgań,

G - ciężar gruntu wibrowanego,

A - amplituda drgań,

n - liczba drgań na minutę.

Dla uzyskania korzystnych rezultatów zagęszczenia siła wzbudzająca musi być co najmniej równa ciężarowi wibrowanego gruntu. Zbyt duża siła wzbudzająca w stosunku do ciężaru wibrowanego gruntu wywołuje nadmierne amplitudy drgających ziarn gruntu, następuje segregacja i rozluźnienie gruntu.

### 2.3. ANALIZA POLOWYCH METOD BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW

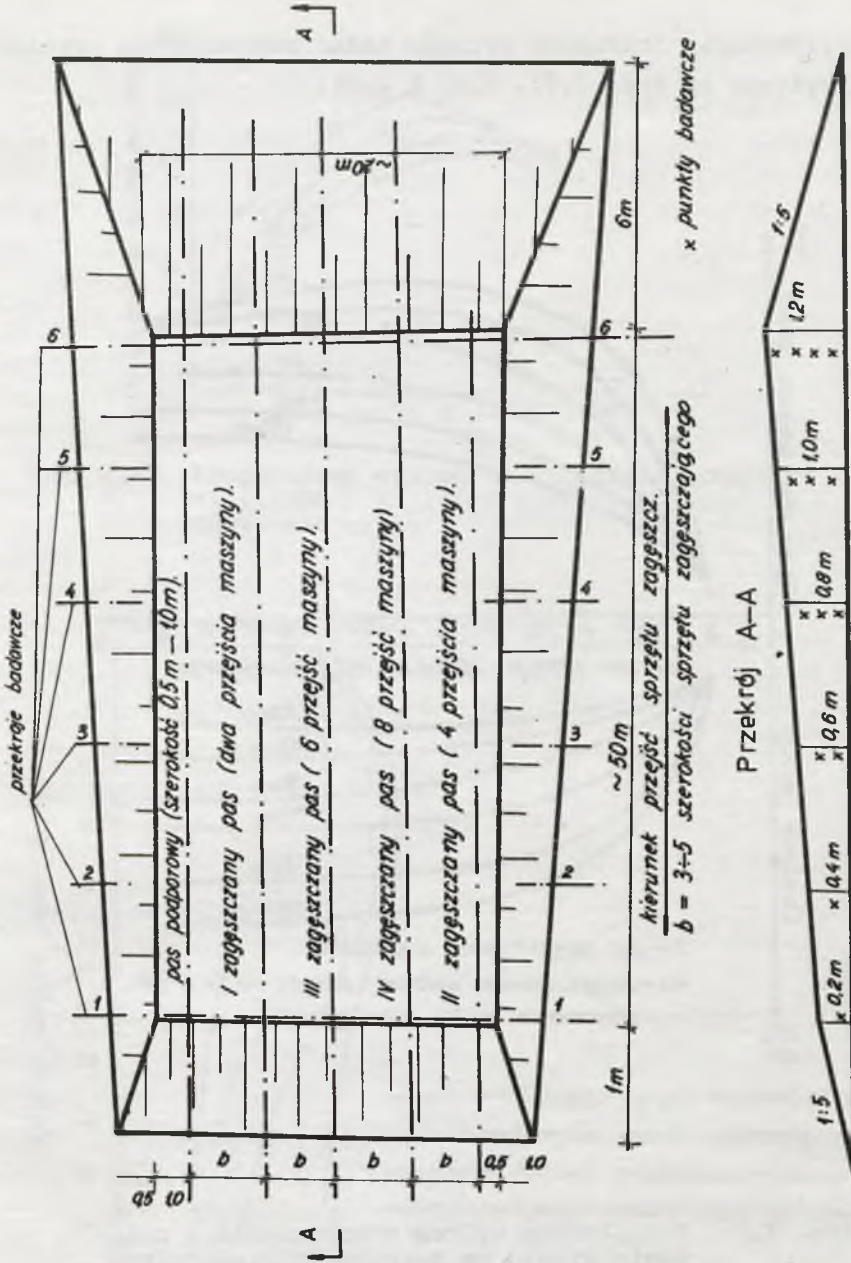
W przypadku wykonywania nasypów o dużych objętościach przed przystąpieniem do właściwego zagęszczenia nasypu przeprowadzane są bardzo często próbne zagęszczenia gruntu w warunkach polowych na poletkach doświadczalnych /nasypach próbnych/ lub bezpośrednio na wykonywanych nasypach.

Próbnym zagęszczeniem określa się lub sprawdza:

- a/ najbardziej przydatny sprzęt do zagęszczenia,
- b/ wilgotność optymalną dla zastosowanego sprzętu zagęszczającego,
- c/ największą możliwą grubość zagęszczanych warstw,
- d/ rozkład zagęszczenia na głębokości zagęszczanej warstwy,
- e/ maksymalne zagęszczenie w zależności od liczby przejść sprzętu zagęszczającego po jednym śladzie,
- f/ najmniejszą skuteczną liczbę przejść sprzętu zagęszczającego po jednym śladzie dla założonego stopnia /wskaźnika/ zagęszczenia,
- g/ najbardziej odpowiednią metodę kontroli jakości robót ziemnych.

Kształt i wymiary poletka próbnego zależą od rodzaju gruntu i od rodzaju sprzętu, którego efektywność zagęszczania ma być sprawdzana.

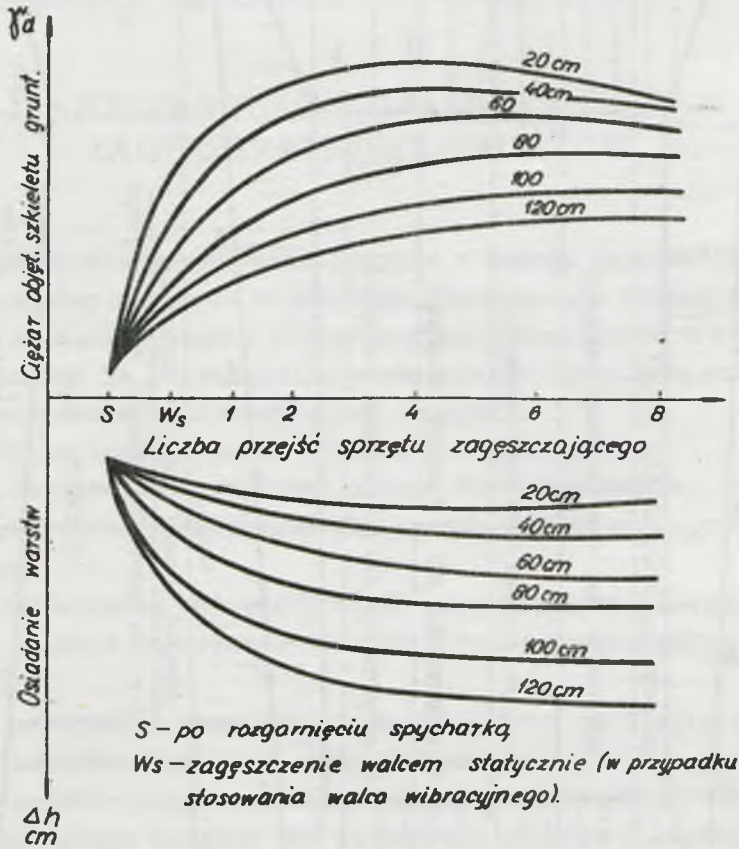
W różnych wytycznych wykonania i odbioru robót ziemnych oraz publikacjach [46], [48], [49], [51], [52] przyjmowany jest przeważnie kształt poletka jak na rys. 2.21.



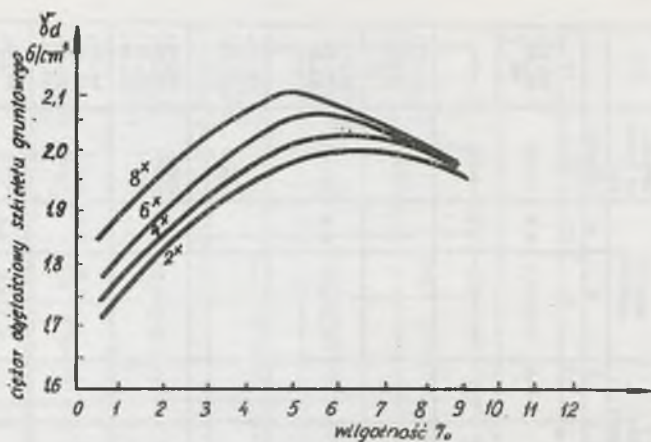
2.21. Schemat poletka do próbnego zagęszczenia gruntów



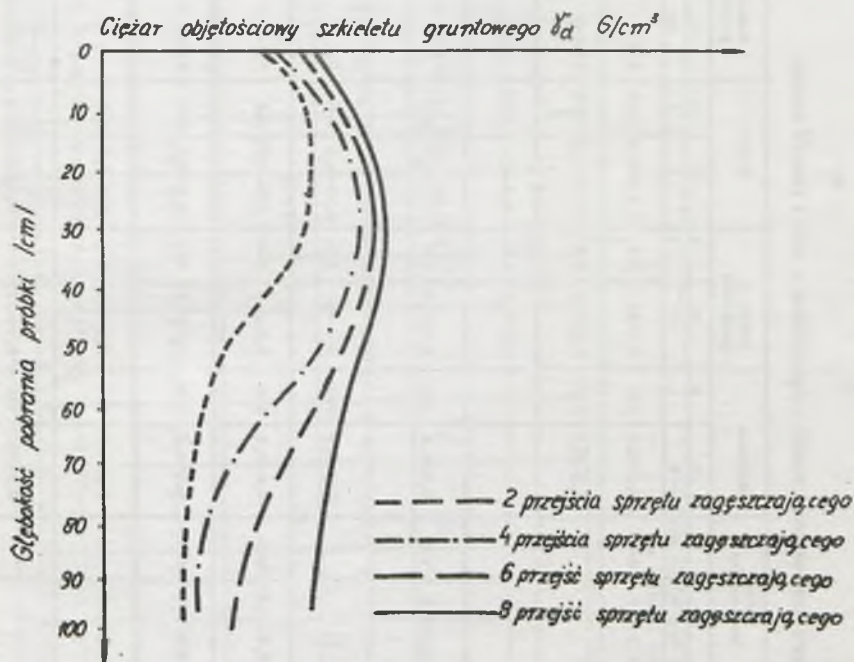
Przykładowy charakter wyników badań zagęszczenia przedstawiają wykresy na rys. 2.22, 2.23 i 2.24.



Rys. 2.22. Przykładowy wykres zagęszczenia i osiadania gruntu na poletku doświadczalnym przy różnych grubościach zagęszczanej warstwy



Rys. 2.23. Przykładowy wykres zagęszczenia gruntu od wilgotności i ilości przejazdów sprzętu zagęszczającego



Rys. 2.24. Przykładowe zestawienie śred. ciężarów objętościowych szkieletu gruntowego w zależności od głębokości i ilości przejazdów sprzętu wibracyjnego

ORIENTACYJNE GRUBOŚCI WARSTW ZAGĘSZCZONYCH I ILOŚCI PRZEJŚĆ SPRZĘTU

Tablica 2.3

Rodzaj sprzętu zagęszczającego	Zwały kamieniste		Rumosze		Żwir i pospółki		Piaski		Rumosze gliniaste		Żwir i pospółki gliniaste		Grunty spoiste		Wydaż. na budowę w %/godz	Lát
	h	n	h	n	h	n	h	n	h	n	h	n	h	n		
1		2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Płyta ubijak na koparce 2-4 t	0,5-0,8	2-4	0,5-0,7	3-4	0,5-0,7	3-4	0,5-0,7	3-4	0,4	3-4	0,3	4-5	0,25-0,7	2-5	7-63	46,47, 48,49, 50,51, 52,53, 54
Ubiłaki spalinowe 0,1-1,2 t			0,3-0,5	3-5	0,2-0,5	2-5	0,15-0,5	2-5	0,1-0,3	4-5	0,1-0,3	4-5	0,1-0,5	2-5	5-35	- -
Zagęszczarki wibracyjne ciężkie 0,12-0,8 t					0,2-0,5	3-8	0,2-0,8	3-10							15-31	46,47, 48,49, 50,51, 52,53, 54
Zagęszczarki wibracyjne ciężkie /krążce/ 0,5-2,5 t	0,3-0,4	4-6	0,4-0,6	3-5	0,3-1,0	2-6	0,4-0,8	3-5					0,2-0,3	6-8	35-170	46,47, 50,52, 53,54
Walec wibracyjny samobieżny 0,3-9 t			0,3-0,6	2-6	0,2-0,5	2-6	0,15-0,5	2-6	0,5	3	0,4	3			100-300	46,47, 48,49, 50,53, 54
Walec wibracyjny przęsłowy 2-8 t	0,4-1,0	2-6	0,4-0,9	2-6	0,4-0,9	2-6	0,2-0,8	2-6	0,6-0,9	3-4	0,4-0,5	3	0,2-0,35	3-6	250-1500	46,47, 48,50, 51,52, 53,54
Walec wibracyjny przęsłowy 2-5 t	0,4-1,0	2-6	0,4-0,9	2-6	0,4-0,9	2-6	0,2-0,8	2-6	0,6-0,9	3-4	0,4-0,5	3	0,2-0,35	3-6	250-1500	46,47, 48,50, 51,52, 53,54
Walec wibracyjny przęsłowy 5-14 t	0,5-1,0	3-6	0,5-1,0	3-6	0,5-0,8	2-5	0,5-0,8	3-5					0,3-0,4	3-4	450-100	47,50, 53
Samobieżne walec statyczne 4-18 t			0,15-0,5	3-6	0,1-0,2	4-8	0,15-0,4	4-5	0,15-0,3	4-5	0,15-0,3	4-5	0,1-0,2	4-8	150-430	46,47, 48,50, 53,54



o.d. Tabl. 2.3

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Samobieżne walce statywowe szersokośmierzowe 7-18 T	0,3-0,4	8-12	0,2-0,3	8-12	0,2-0,3	8-12	0,2-0,3	8-12	0,25-0,3	4-6	0,25-0,3	4-6	0,2-0,4	4-10	250- 900	46,47, 50,53, 54
Walce siewne- oryjne okolkowane/ przebiegowe- pnie/4-10,5 T	0,3-0,5	6-10	0,4-0,5	4-8	0,3-0,5	3-8	0,3-0,6	3-8					0,3-0,5	4-10	250- 900	47,50, 53,54
Statywne walce przy- csepne okolkowane 3-4 T	0,2-0,3	8-12					0,2-0,2	3-8					0,15-0,3	7-12	40- 65	46,47, 49,50, 55
Statywne walce przy- csepne ogumione 8-55 T			0,15-0,5	3-12	0,15-0,5	3-12	0,2-0,5	6-12	0,2-0,4	4-5	0,2-0,34	4-5	0,2-0,5	4-12	60- 780	46,47, 48,49, 50,52
Spycharki gąsienic- kowe 12-14 T			0,5	3	0,5	3	0,15-04	3-15	0,15-0,25	4-9	0,15-0,3	4-9	0,15-0,25	6-10	30- 70	46,47, 48,49, 50,52
Zgarniarki cążkic sasaohody 7-10 T			0,5	3	0,5	3	0,1-0,5	8-12	0,3-0,4	4-8	0,3-0,4	4-8	0,2-0,3	6-8		46,48 49

h - grubość warstw, m  
n - ilość przejazdów sprzętu

Na podstawie tych danych można określić optymalne warunki zagęszczania gruntu w budowanym nasypie.

Na podstawie badań próbnych na poletkach doświadczalnych oraz bezpośrednio na wykonywanych nasypach podawane są warunki zagęszczania gruntów za pomocą różnego sprzętu [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54].

Przykładowo warunki zagęszczania różnych gruntów w nasypach za pomocą różnego sprzętu podaje tablica 2.3 sporządzona na podstawie załącznika 2.1.

Z przedstawionych danych wynika, że istnieją duże rozpiętości co do zalecanych grubości zagęszczanych warstw i liczby przejść sprzętu zagęszczającego, jak również istnieją różne poglądy odnośnie zastosowania poszczególnego rodzaju sprzętu do rozpatrywanych gruntów.

W przypadku projektowania więc nasypów ziemnych o znacznych objętościach należy wykonać przed przystąpieniem do właściwego wykonawstwa nasypów /zagęszczania/ próbne zagęszczania na poletkach doświadczalnych.

## KIERUNKI I METODYKA BADAŃ WŁASNYCH

W cytowanej literaturze można znaleźć dużo danych odnośnie badań zagęszczalności i kontroli zagęszczenia nasypowych gruntów drobnoziarnistych, w tym i gruntów niespoistych. Natomiast bardzo mało jest danych dotyczących badań nasypowych gruntów gruboziarnistych i kamienistych.

W Polsce badaniami gruntów gruboziarnistych i kamienistych zaczęto zajmować się na większą skalę dopiero w latach sześćdziesiątych obecnego wieku, w związku z potrzebą określenia parametrów geotechnicznych tych gruntów, przewidzianych jako materiał miejscowy do budowy korpusów zapór ziemnych /Tresna, Wisła Czarne i inne/. Do badań tych gruntów brak było odpowiedniej aparatury i opracowanej metodyki badań laboratoryjnych i terenowych.

Autor w niniejszej pracy, po przeanalizowaniu metod badań zagęszczalności zasadniczo gruntów drobnoziarnistych i czynników wpływających na ich zagęszczenie, zajął się zagadnieniami badań zagęszczalności i kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych i kamienistych /niespoistych/ oraz wyjaśnieniem wpływu niektórych czynników na zagęszczalność i metody kontroli jakości zagęszczenia.

Do realizacji powyższych zagadnień konieczne było skonstruowanie prototypów aparatów wielkowsmiarowych oraz opracowanie metodyki przygotowania próbek do badań i wykonania poszczególnych badań, jak również przeprowadzenia wielu badań w warunkach laboratoryjnych i terenowych w celu ustalenia zależności pomiędzy odpowiednimi cechami.

W zakres opracowanej metodyki wchodzi następujące badania:

- badania laboratoryjne zagęszczalności metodą ubijania,
- badania laboratoryjne zagęszczalności metodą wibracyjną,
- badania laboratoryjne zagęszczalności metodą obciążeń statycznych,
- badania terenowe zagęszczalności za pomocą różnych maszyn,
- badania kontrolne zagęszczenia nasypu oraz ocena wyników badań kontrolnych.

Przy wymienionych badaniach wykonywano niezbędne oznaczenia innych cech fizycznych, których metodyki się nie opisuje, a którą należało też opracować.

Wyżej wymienione zagadnienia zostały szczegółowo przedstawione w rozdziałach następnych.



The first part of the document is a letter from the Secretary of the State to the Governor, dated the 1st day of January, 1862. The letter is addressed to the Governor and is signed by the Secretary of the State. The letter contains the following text:

Sir, I have the honor to acknowledge the receipt of your letter of the 29th inst. in relation to the application of the State of New York for a loan of \$1,000,000. I have the honor to inform you that the same has been referred to the Finance Committee of the Senate, and they have reported in favor of the same. I have the honor to inform you that the same has been passed by the Senate on the 27th inst. and is now in the hands of the Governor for his signature. I have the honor to inform you that the same will be signed by the Governor on the 31st inst. and will be in force from that date. I have the honor to inform you that the same will be paid to the State of New York on the 1st day of February, 1862. I have the honor to inform you that the same will be paid to the State of New York on the 1st day of February, 1862. I have the honor to inform you that the same will be paid to the State of New York on the 1st day of February, 1862.

I am, Sir, very respectfully,  
 Your obedient servant,  
 J. B. Thompson, Secretary of the State.

The second part of the document is a letter from the Governor to the Secretary of the State, dated the 1st day of January, 1862. The letter is addressed to the Secretary of the State and is signed by the Governor. The letter contains the following text:

Sir, I have the honor to acknowledge the receipt of your letter of the 29th inst. in relation to the application of the State of New York for a loan of \$1,000,000. I have the honor to inform you that the same has been referred to the Finance Committee of the Senate, and they have reported in favor of the same. I have the honor to inform you that the same has been passed by the Senate on the 27th inst. and is now in the hands of the Governor for his signature. I have the honor to inform you that the same will be signed by the Governor on the 31st inst. and will be in force from that date. I have the honor to inform you that the same will be paid to the State of New York on the 1st day of February, 1862. I have the honor to inform you that the same will be paid to the State of New York on the 1st day of February, 1862. I have the honor to inform you that the same will be paid to the State of New York on the 1st day of February, 1862.

I am, Sir, very respectfully,  
 Your obedient servant,  
 J. B. Thompson, Secretary of the State.

## BADANIA LABORATORYJNE ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH

### 4.1. ZAKRES I METODY BADAŃ

Jak podano w rozdziale 2 zagęszczanie gruntów gruboziarnistych i kamienistych w warunkach laboratoryjnych wymaga stosowania aparatury wielkowymiarowej.

Odnosnie badań zagęszczalności w.w. gruntów brak jest metod normowych.

Autor w Katedrze Geotechniki i Zakładzie Geotechniki Instytutu Dróg i Mostów Politechniki Warszawskiej wykonał badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych:

- 1/ metodą ubijania, w wielkowymiarowym aparacie o średnicy  $D = 100$  cm,
- 2/ metodą wibracji na stole wibracyjnym, w aparatach o średnicy 61,37 cm i 49 cm,
- 3/ metodą wibracji, za pomocą wibratora powierzchniowego, w aparacie o średnicy 49 cm,
- 4/ metodą obciążeń statycznych w edometrach o średnicy 98,8 cm i 49 cm.

Laboratoryjne badania zagęszczalności zostały wykonane w aparatach prototypowych opracowanych przez autora, bądź przy jego współudziale.

Dodatkowo zostały wykonane badania terenowe za pomocą maszyn o oddziaływaniu statycznym, udarowym i wibracyjnym. Ocena wyników tych badań została podana w rozdziale 5.

## 4.2. BADANIA ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH METODĄ UBIJANIA

Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych w warunkach laboratoryjnych, jak już wspomniano w p. 2.2.1, wymaga stosowania aparatów wielkowymiarowych ze względu na zachowanie warunku, żeby średnica próbki była co najmniej 5 razy większa od średnicy maksymalnego ziarna w gruncie [74].

Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych w aparatach wielkowymiarowych za granicą wykonywali H.Breth [39], B.Gordon i R.Miller [38] oraz R.J.Marsal [64].

H.Breth [39] zagęszczał ubijakiem grunty o maksymalnej średnicy ziarn 60 mm w aparacie o średnicy i wysokości równej 30 cm.

B.Gordon i R.Miller [38] badali zagęszczalność gruntów o uziarnieniu do 75 mm w aparatach o średnicy 50 cm, ubijakiem o ciężarze 58 kg.

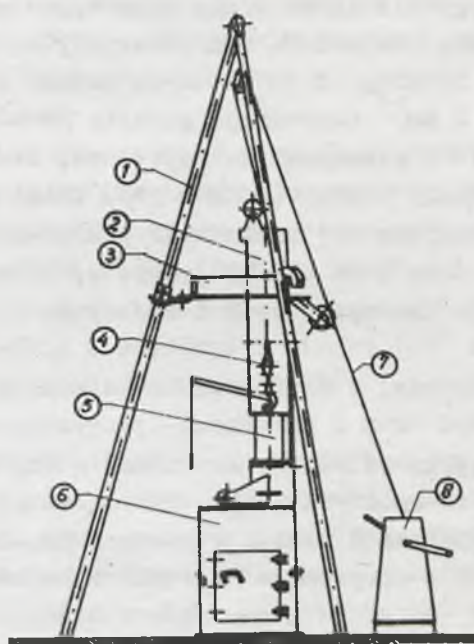
W Polsce do 1966 r. brak było danych z badań co do  $w_{opt}$  i  $\gamma_{d max}$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych pochodzenia fliszowego i innych używanych do budowy zapór ziemnych oraz nasypów drogowych i kolejowych.

Konieczność kontroli jakości wykonawstwa zapór ziemnych w Polsce na terenach górskich /Tresna, Wisła-Czarne i inne/ z miejscowych gruntów gruboziarnistych i kamienistych wymagała wykonania wielkowymiarowego aparatu do badania zagęszczalności tych gruntów oraz opracowania metodyki badań.

Wielkowymiarowy aparat do zagęszczalności gruntów przez ubijanie /rys. 4.1/ zaprojektowano i wykonano w 1966 r. pod kierunkiem prof. Z.Wiłuna w Katedrze Geotechniki Politechniki Warszawskiej /współtwórcą aparatu był między innymi autor/.

W aparacie tym wykonano badania zagęszczalności według metody normalnej, zmodyfikowanej, przy użyciu energii równej  $1/2$  energii normalnej i gruntu luzem nasypowego. Opis aparatu i metodykę badań podano w zał. 4.4.





1-trójnóg; 2-prowadnica; 3-pierścień do zamieszania prowadnicy;  
4-hak do zamieszania ubijaka; 5-ubijak; 6-cylinder z drzwiczkami;  
7-lina; 8-winda kołowa (ręczna lub mechaniczna)

Rys. 4.1. Schemat aparatu wielkowsymiarowego do badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych

#### 4.2.1 CHARAKTERYSTYKA GRUNTÓW UŻYWANYCH W BADANIACH

Do badań użyto grunty gruboziarniste i kamieniste ze złóż wytypowanych do budowy nasypów zapór ziemnych i obwałowań w dolinie Dunajca /Kojśówka, Frydman, Sromowce Wyżne, Niedzica, Jazowsko/ i na rzece Nysa Szalona w Słupie oraz grunty używane do budowy nasypu zapory ziemnej w Wiśle-Czarnem na rzece Wiśle /Biała Wisiełka/, w Dobczycach na rzece Rabie, w Głębinowie na rzece Nysa Kłodzka. Do analizy wykorzystano też wyniki badań gruntów przeznaczonych do budowy nasypu zapory ziemnej na rzece Ropie w Klimkówce, wykonanych przez IMiGW [69].

Badane grunty charakteryzują się różnym pochodzeniem oraz różnym składem litologicznym, uziarnieniem i kształtem ziarn.

Ponieważ zagadnienia te mogły mieć wpływ na wyniki badań, poniżej podaje się ich krótką charakterystykę.

W składzie litologicznym badanych próbek z doliny Dunajca we frakcji  $d > 2$  mm<sup>1/</sup> przeważają granity /9 ÷ 58%/, piaskowce fliszowe /6 ÷ 56%/, piaskowce kwarcytyczne, kwarcyty i kwarc /1 ÷ 10%/, oraz skały węglanowe /2 ÷ 9%/. Ilość granitów z biegiem Dunajca zmniejsza się na korzyść piaskowców. W Jazowsku we frakcji  $d > 2$  mm jest ok. 9% granitów, 7% skał węglanowych, ok. 3% piaskowców kwarcytycznych i kwarcytów i ok. 56% piaskowców fliszowych.

W próbce pobranej z Niedziczanki /Niedzica/ w sąsiedztwie Dunajca we frakcji  $d > 2$  mm przeważają piaskowce fliszowe /78% i skały węglanowe /10%. Natomiast w skład litologiczny gruntów użytych do budowy zapory w Wiśle-Czarnem we frakcji  $d > 2$  mm wchodzi skały fliszowe w postaci piaskowców różnoziarnistych /52 ÷ 78%, zlepieńców /1 ÷ 8% i żupków /0,2 ÷ 4% oraz kwarcu /3 ÷ 5%.

Skład litologiczny gruntu gruboziarnistego z Dobczyc jest podobny do gruntu z Wisły-Czarne. Grunt ten zasadniczo składa się ze skał fliszowych w postaci piaskowców drobnoziarnistych, średnioziarnistych i gruboziarnistych oraz we frakcjach drobniejszych /20 ÷ 2 mm/ z kwarcu /1 ÷ 25%.

Podobny skład litologiczny ma grunt ze złoża w Klimkówce.

W składzie litologicznym gruntów gruboziarnistych, użytych do budowy zapory w Głębinowie, dominują skały krystaliczne Sudetów Wschodnich. We frakcji  $d > 2$  mm występuje najwięcej kwarcu /21 ÷ 29%/, granitoidów /6 ÷ 11%/, skał metamorficznych /4,5 ÷ 6% i piaskowców /4 ÷ 8%.

Skład litologiczny badanych gruntów gruboziarnistych ze Słupa jest bardzo bogaty i różnorodny. W największych ilościach występują tu otaczaki skał metamorficznych /kwarcytów i gnejsów/ oraz magmowych /bazaltów/ i piroklastycznych /tufów/. Próba SIII w odróżnieniu od próby SI i SII charakteryzuje się bardzo małą ilością otoczków bazaltowych, które występują tylko we frakcji 5 ÷ 20 mm /ok. 6%.

<sup>1/</sup> Skład litologiczny frakcji  $d > 2$  mm określony w procentach wagowych w stosunku do ciężaru całej próbki.

Uziarnienie badanych próbek podano na rys. 4.2.

Pod względem stopnia obtoczenia grunty z doliny Dunajca oraz z Dobczyc są bardziej obtoczone niż grunty z Głębinowa, Słupa i Wisły-Czarne.

Sredni stopień obtoczenia według L.B. Ruchina [67] frakcji  $d > 40$  mm gruntów z doliny Dunajca wynosi  $41 \pm 63\%$ , gruntów z Dobczyc ok. 50%, gruntów użytych do budowy zapory w Wiśle-Czarnem  $16 \pm 38\%$ , Słupa  $36 \pm 48\%$  /frakcja  $> 20$  mm/. Grunty z Głębinowa mają ziarno na ogół kanciaste i słabo obtoczone. Kształt ziarna gruntów według klasyfikacji Zingga [68] z doliny Dunajca jest przeważnie dyskoidalny /piaskowce/ i sferoidalny /granity/, podobnie gruntów z Dobczyc. Natomiast w gruntach ze złoża w Wiśle-Czarnem i Niedzicy przeważa kształt ziarn dyskoidalny, przy mniej więcej równomiernym występowaniu kształtów sferoidalnych, elipsoidalnych i wrzecionowatych. W gruncie z Głębinowa i Słupa najmniej występuje kształt wrzecionowaty, przy mniej więcej jednakowym występowaniu kształtów pozostałych.

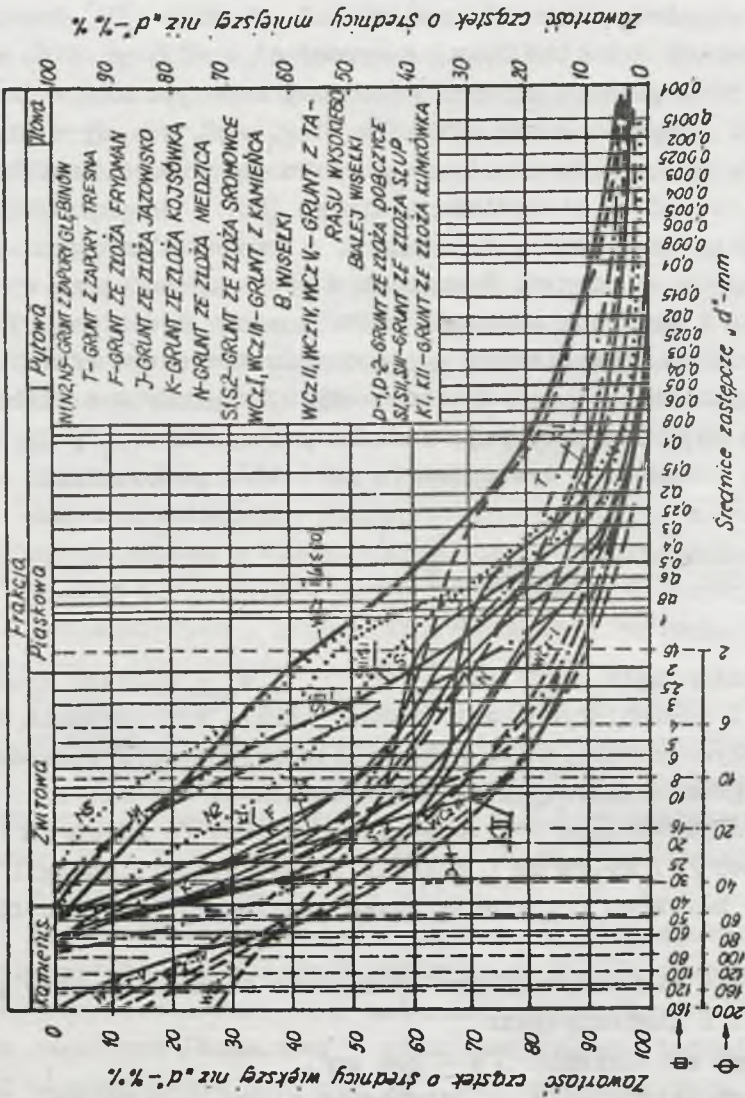
#### 4.2.2 CEL I WYNIKI BADAŃ

Celem badań było określenie  $\delta_d \max$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych przy różnej energii zagęszczania oraz ustalenie wpływu uziarnienia, składu litologicznego i pochodzenia gruntów gruboziarnistych na zagęszczalność. Badania zagęszczalności przeprowadzano przy energii normalnej /6 kG.cm/cm<sup>3</sup>/, zmodyfikowanej /27 kG.cm/cm<sup>3</sup>/ energii równej połowie energii normalnej /3 kG.cm/cm<sup>3</sup>/ i gruntu luzem nasypanego /energia równa 0/.

W aparacie wielkowymiarowym wykonywano badania gruntów gruboziarnistych i kamienistych:

- o naturalnym uziarnieniu / $d < 200$  mm/,
- o naturalnym uziarnieniu po odrzuceniu ziarn  $d > 80$  mm,
- o naturalnym uziarnieniu przy zastąpieniu ziarn  $d > 80$  mm ziarnami  $d = 60 \pm 80$  mm.





Rys. 4.2. Wykresy uziarnienia badanych próbek gruntów gruboziarnistych badanych w aparacie wielkowiarymym

Wyniki badań zagęszczalności podano w zał. 4.2 oraz na rysunkach /rys. 4.3 + 4.10/. Błąd względny oznaczenia  $\tau_{d \max}$  wynosi około 1,5%, a  $w_{opt}$  około 3% [70].

#### 4.2.3 ANALIZA OTRZYMANYCH WYNIKÓW

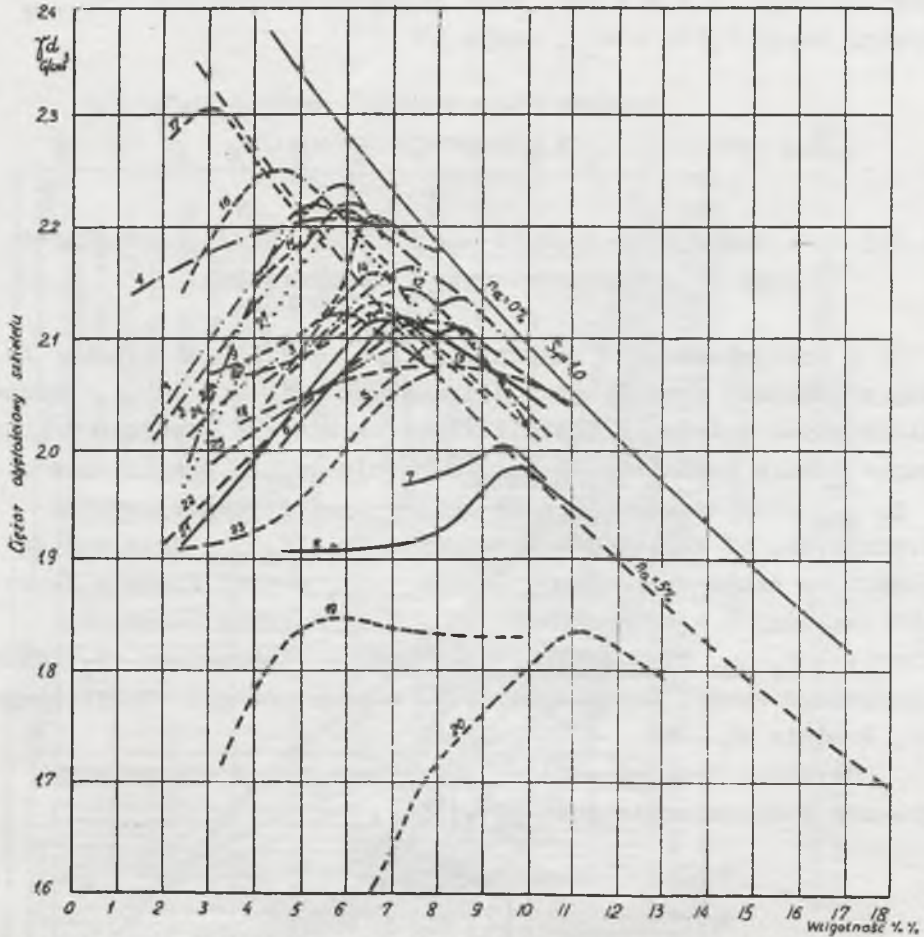
##### 4.2.3.1. Ocena wpływu energii zagęszczania na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych

Z przedstawionych zależności /rys. 4.3 + 4.5/ wynika, że zagęszczalność gruntów gruboziarnistych podobnie jak i drobnoziarnistych zależy od energii zagęszczenia; ze wzrostem energii zagęszczania wzrasta  $\tau_{d \max}$ , a maleje  $w_{opt}$ . Zwiększenie  $\tau_{d \max}$  przy zagęszczaniu wg metody zmodyfikowanej wynosi średnio ok. 5% względnych w stosunku do  $\tau_{d \max}$  przy zagęszczaniu wg metody normalnej. Spadek  $w_{opt}$  wynosi średnio około 35% względnych w stosunku do  $w_{opt}$  przy energii normalnej. Wzrost  $\tau_{d \max}$  przy energii normalnej w stosunku do  $\tau_{d \max}$  luzem nasypanego wynosi średnio ok. 17%, a przy energii zmodyfikowanej średnio ok. 23%.

Uzyskane dane są zbieżne z wynikami badań niespoistych gruntów drobnoziarnistych [8], [54].

##### 4.2.3.2. Ocena wpływu składu granulometrycznego i litologicznego na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych

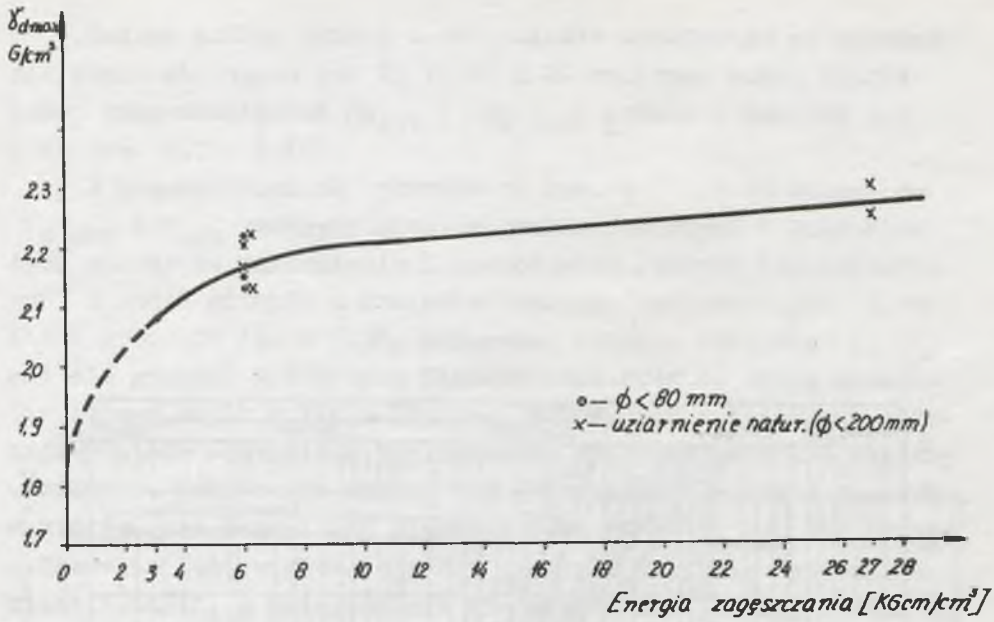
Do oceny wpływu uziarnienia i składu litologicznego na zagęszczalność gruntów wzięto pod uwagę badania w aparacie wielkowymiarowym oraz wykonane dodatkowe badania zagęszczalności na próbkach gruntu ze złoża w Sromowcach Wyżnych /kamieniec Dunajca/, Wisły - Czarne /taras wysoki Białej Wisełki/ i Głębinowa. Badania wykonano w aparacie normowym i w cylindrze CBR stosując energię normową.



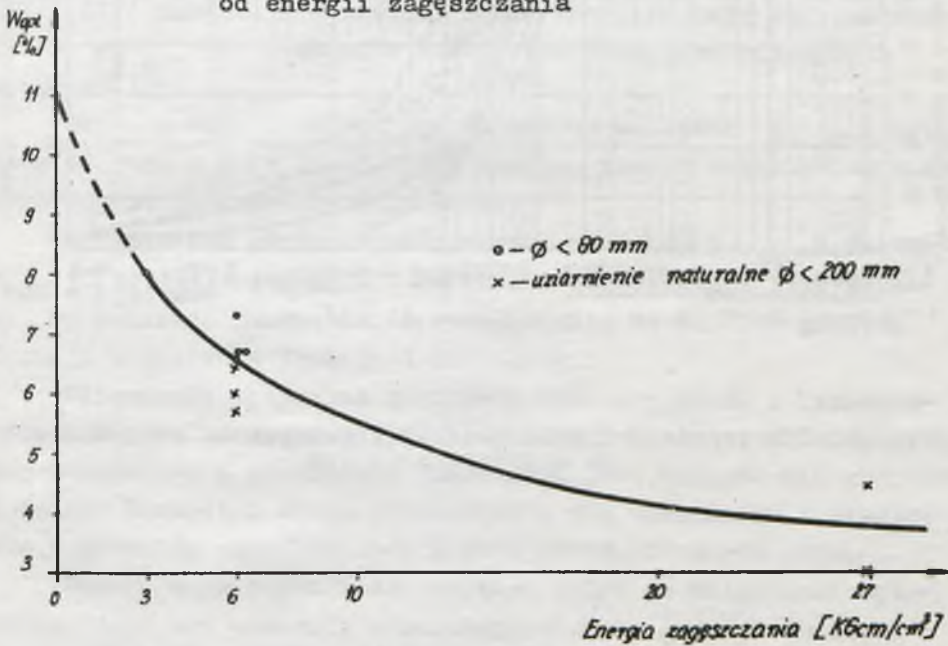
Rys. 4.3. Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów w aparacie wielkowymiarowym

NR WTK	ZŁOŻE	RZĘKA	DZNAŁZ PROBY	UZDARNIE d mm	ENERGIA ZAGĘSZCZ.	NR WTK	ZŁOŻE	RZĘKA	DZNAŁZ PROBY	UZDARNIE d mm	ENERGIA ZAGĘSZCZ.
1	SPRONOKŁE WIŻNE	DUNAJEC	S	<80	NORMAL	17	WISŁA-CZARNE	BIAŁA WISŁEKA	WCz.III	NATUR	ZWODIF.
2	FRYDOMAN	BIALKA	F	<80	NORMAL	18	WISŁA-CZARNE	BIAŁA WISŁEKA	WCz.III	JAK 9	WODNEM.
3	JAZOWSKO	DUNAJEC	J	<80	NORMAL	19	WISŁA-CZARNE	BIAŁA WISŁEKA	WCz.IV	JAK 9	LUŻN MS
4	KOZJÓWKA	CZARNY DUNAJ	K	<80	NORMAL	20	WISŁA-CZARNE	BIAŁA WISŁEKA	WCz.II	JAK 9	NORMAL
5	NIEDZICA	NIEDZICZANKA	N	<80	NORMAL	21	SEUP	NYSA SZALONA	S.III	<50	NORMAL
6	GLEBWINÓW	NYSA KŁODZKA	N2	NATUR	NORMAL	22	KLIMBÓWKA	POPA	K.I	<60	NORMAL
7	GLEBWINÓW	NYSA KŁODZKA	N1	NATUR	NORMAL	23	KLIMBÓWKA	POPA	K.II	<60	NORMAL
8	GLEBWINÓW	NYSA KŁODZKA	N5	NATUR	NORMAL	24	DOBCEZYCE	RABA	D-1	<200	NORMAL
9	WISŁA-CZARNE	BIAŁA WISŁEKA	WCz.I	<80-100	NORMAL	25	DOBCEZYCE	RABA	D-2	<400	NORMAL
10	WISŁA-CZARNE	BIAŁA-WISŁEKA	WCz.IB	---	NORMAL	26	SEUP	NYSA SZALONA	S.III	<60	NORMAL
11	WISŁA-CZARNE	BIAŁA-WISŁEKA	WCz.II	NATUR	NORMAL	27	SEUP	NYSA SZALONA	S.II	<60	NORMAL
12	WISŁA-CZARNE	BIAŁA-WISŁEKA	WCz.II	JAK 9	NORMAL						
13	WISŁA-CZARNE	BIAŁA-WISŁEKA	WCz.IV	JAK 9	NORMAL						
14	WISŁA-CZARNE	BIAŁA-WISŁEKA	WCz.IV	NATUR	NORMAL						
15	WISŁA-CZARNE	BIAŁA-WISŁEKA	WCz.V	NATUR	NORMAL						
16	WISŁA-CZARNE	BIAŁA-WISŁEKA	WCz.V	NATUR	ZWODIF.						

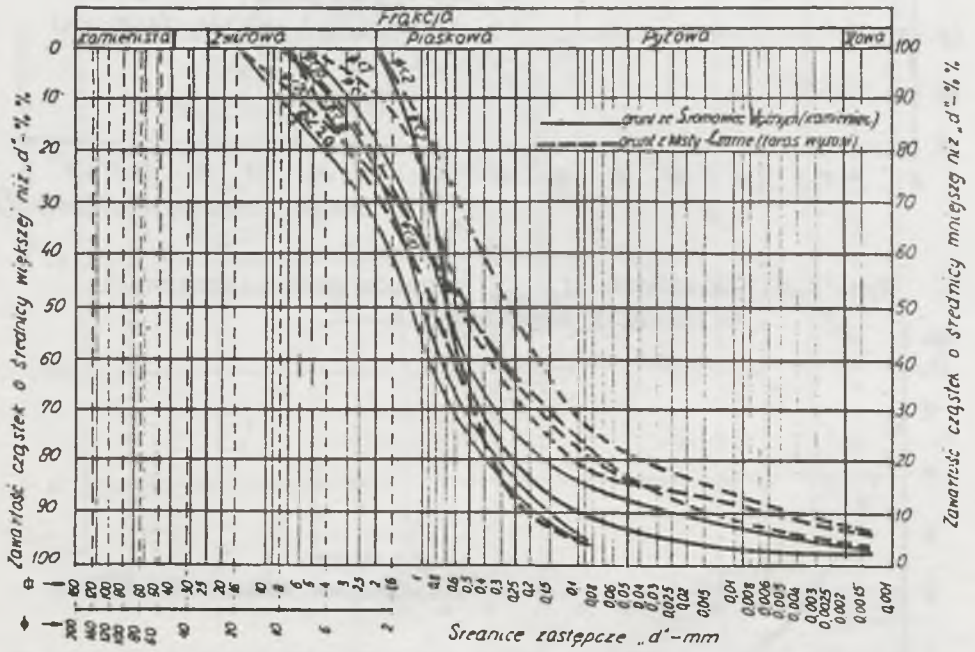




Rys. 4.4. Zależność  $\gamma_{d max}$  gruntów gruboziarnistych od energii zagęszczenia



Rys. 4.5. Zależność  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych od energii zagęszczenia



Rys. 4.6. Wykresy uziarnienia gruntów używanych do zagęszczenia w aparacie normowym

Badano próbki gruntu o uziarnieniu naturalnym po odrzuceniu ziarn większych od: 2, 7, 10 i 20 mm /rys. 4.6/. Wyniki badań zagęszczalności  $w_{opt}$  i  $\gamma_d^{max}$  podano w tablicy 4.1 i na rys. 4.7 - 4.10/.

Z przedstawionych wykresów na rys. 4.7 - 4.10 widać, że  $\gamma_d^{max}$  i  $w_{opt}$  badanych gruntów gruboziarnistych i kamienistych zależy od uziarnienia i pochodzenia /składu litologicznego/. Z badań gruntów z kamieńca Dunajca, zawierających dużą ilość granitów /33 + 58%, otrzymano większe wartości  $\gamma_d^{max}$  niż dla gruntów z kamieńca Niedziczanki oraz ze złoża gruntów dla budowy zapór w Wiśle-Czarnem, Dobczycach i Klimkowca składających się zasadniczo z piaskowców fliszowych /różne ciężary właściwe/. Potwierdza się to też w przypadku gruntu z Jazowska, w którym jest mała ilość granitów /ok. 9%/.  $\gamma_d^{max}$  dla gruntu z Jazowska jest większa niż dla gruntu z Niedzicy /kamieniec Niedziczanki/, a mniejsza niż dla gruntu z Kojcówki, Sromowiec Wyżnych i Frydmana.

Podobne rezultaty uzyskano dla gruntów ze Słupa; próbki /SI i SII/ zawierające większą ilość bazaltów mają większe wartości  $\gamma_d^{max}$  niż próbka, w której bazaltów jest nieznaczna ilość /SIII/.

Grunt z Głębinowa posiada najniższe wartości  $\gamma_d^{max}$ , związane to jest z dużą zawartością kwarcu, słabym obtoczeniem ziarn oraz równoziarnistością uziarnienia.

Ze wzrostem grubości uziarnienia wzrasta  $\gamma_d^{max}$  a maleje  $w_{opt}$ . Dla  $d_{max}$  powyżej 100 mm wzrost zagęszczenia jest znikomy, co wskazuje na możliwość zastępowania do ok. 30% grubych frakcji najbliższą frakcją drobniejszą.

Wilgotność optymalna gruntów gruboziarnistych i kamienistych z Wisły-Czarne, Dobczyc, Klimkówki i Niedzicy składających się zasadniczo z piaskowców fliszowych jest większa niż gruntów z doliny Dunajca i Słupa składających się zasadniczo z piaskowców i granitów oraz bazaltów i skał metamorficznych /Słup/.

Decydującym czynnikiem, mającym wpływ na wilgotność optymalną, jest też wskaźnik różnoziarnistości; grunty równoziarniste /Słup/ <sup>6, 10, 400</sup> mają większą wilgotność optymalną niż grunty bardzo różnoziarniste [51], [54].

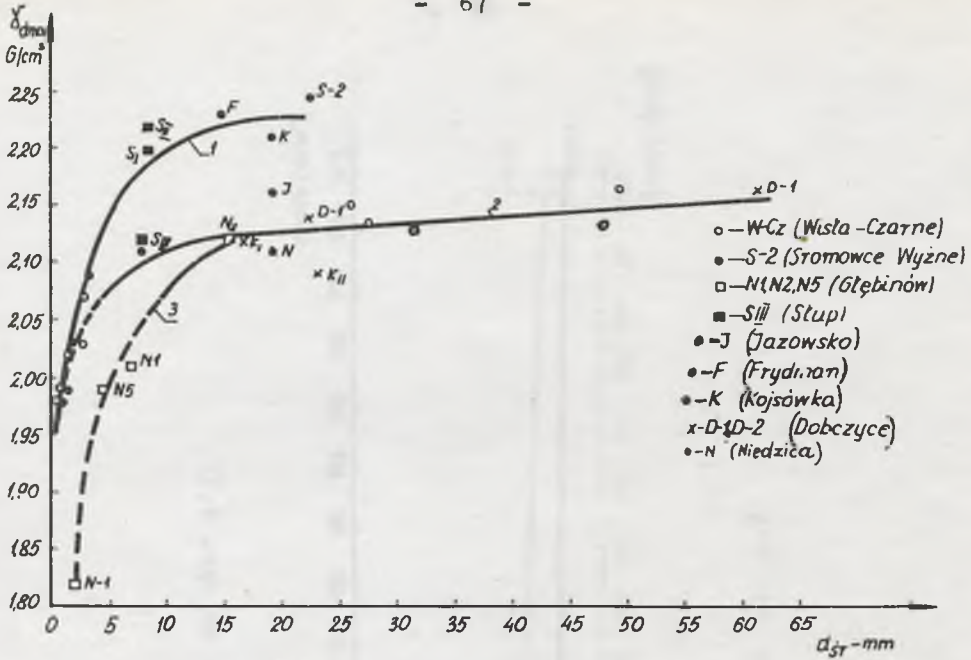


Tablica 4.1

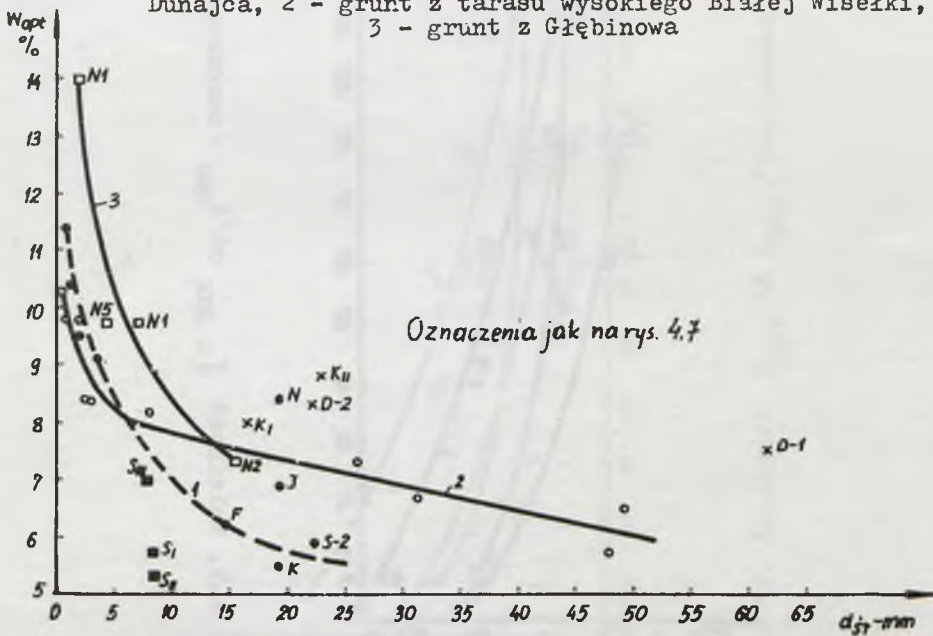
Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych 2-20 mm w aparacie normowym Proctora i CBR według energii normalnej

d <sub>max</sub> mm	Sromowce Wyzne				Wisla-Czarne				Glebinów			
	d <sub>śr</sub> mm	d <sub>50</sub> mm	d <sub>max</sub> G/cm <sup>3</sup>	w <sub>opt</sub> %	d <sub>śr</sub> mm	d <sub>50</sub> mm	d <sub>max</sub> G/cm <sup>3</sup>	w <sub>opt</sub> %	d <sub>śr</sub> mm	d <sub>50</sub> mm	d <sub>max</sub> G/cm <sup>3</sup>	w <sub>opt</sub> %
2	0,31	0,7	1,98	11,4	0,55	0,28	1,96	10,3				
7	1,29	0,7	1,99	10,4	0,90	0,50	1,99	9,8				
10	1,93	1,0	2,03	9,5	1,56	0,60	2,02	9,8	1,83	0,80	1,82	14,0
20	3,47	1,3	2,09	9,1	2,65	0,60	2,03	8,4				
20	-	-	-	-	2,65 <sup>1/2</sup>	0,60	2,07	8,4				

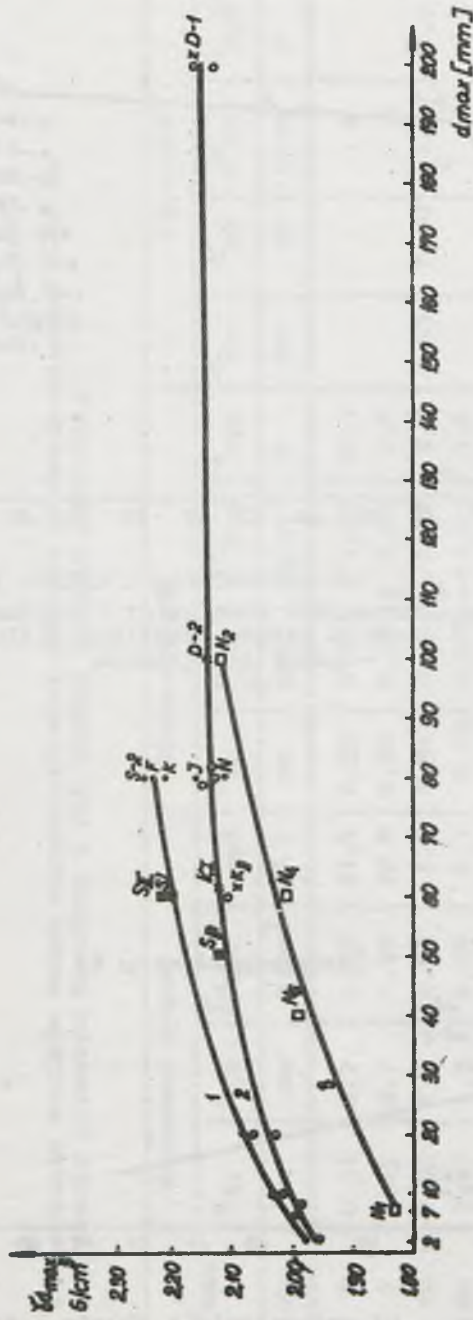
1/ Badania wykonane w cylindrze CBR



Rys. 4.7. Zależność  $\gamma_{d \max}$  od uziarnienia i składu litologicznego /energia zagęszczania  $6 \text{ kGcm/cm}^3$ : 1 - grunt z kamieńca Dunajca, 2 - grunt z tarasu wysokiego Białej Wisłoki, 3 - grunt z Głębinowa

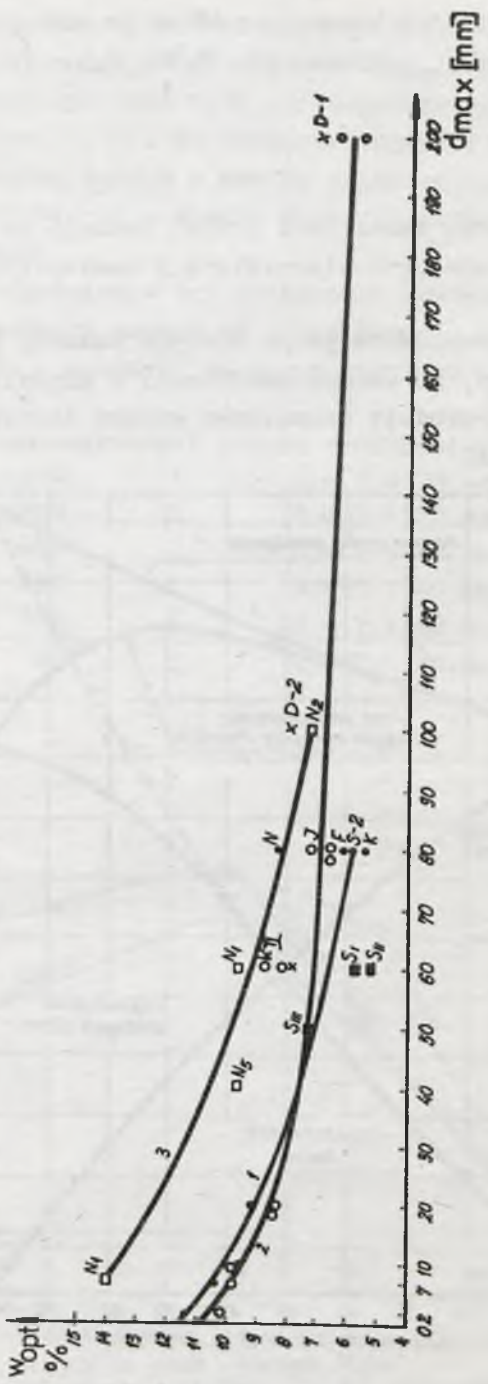


Rys. 4.8. Zależność  $w_{opt}$  od uziarnienia i składu litologicznego /energia zagęszczania -  $6 \text{ kGcm/cm}^3$ /



Rys. 4.9. Zależność  $d_{max}$  od  $d_{max}$  / oznaczenia jak na rys. 4.7/



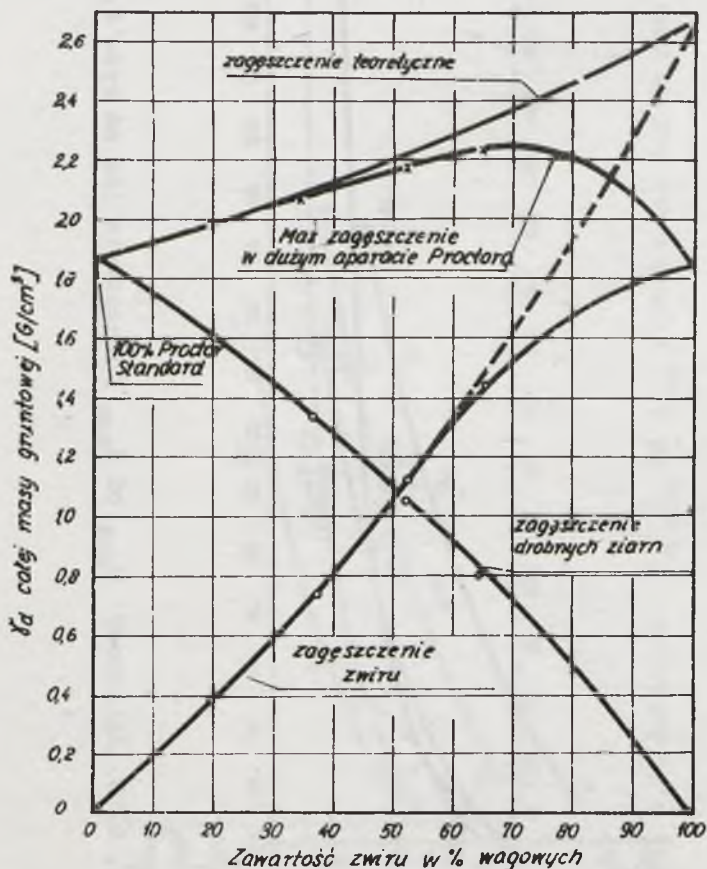


Rys. 4.10. Zależność  $w_{opt}$  od  $d_{max}$  / oznaczenia jak na rys. 4.7/

Stopień wilgotności badanych próbek gruntu gruboziarnistego przy  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  wynosi ok.  $0,7 \div 0,9$ .

#### 4.2.3.3. Ocena wpływu zawartości grubej frakcji na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych

Badania przeprowadzone przez różnych badaczy [1], [40], [71], [72] wykazały, że wzrost zawartości w gruncie grubych ziarn /nadziarna/ powoduje początkowo wzrost zagęszczenia, a później jego spadek.



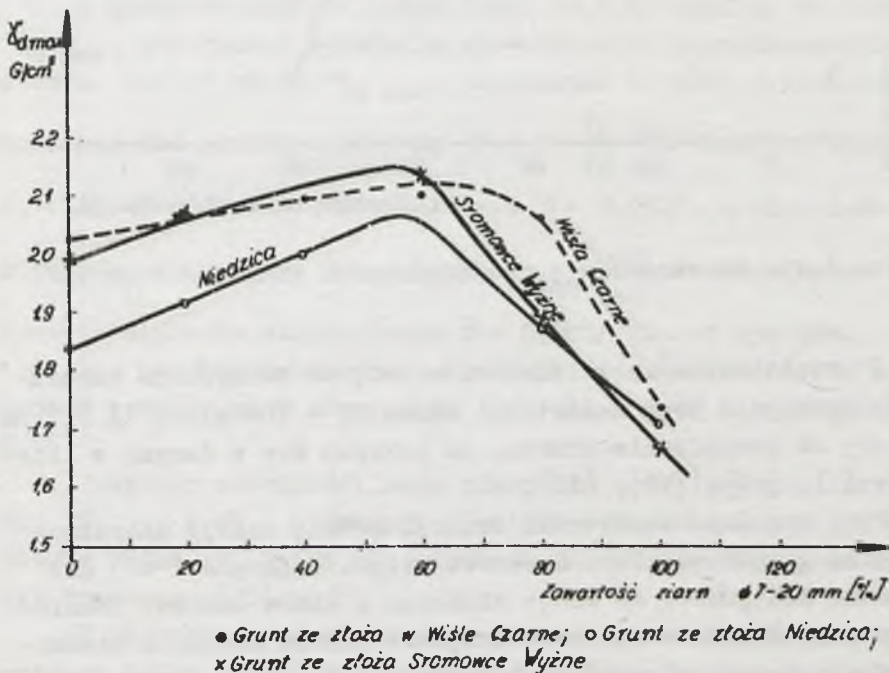
Rys. 4.11. Zależność  $\gamma_d \max$  od zawartości żwiru w gruncie wg Bureau of Reclamation [73]

Według US Bureau of Reclamation [72], [73] wynika, że dla gruntów gruboziarnistych przy zawartości około 60 ÷ 75% ziarn zwirowych /większych niż 4,76 mm/ uzyskuje się największe zagęszczenie /rys. 4.11/. Po przekroczeniu tej granicy efekt zagęszczenia szybko maleje w wyniku zwiększającej się porowatości /ziarna drobne nie są w stanie wypełnić porów utworzonych przez frakcje grubsze/.

W celu wyjaśnienia tej zależności wykonano badania zagęszczalności mieszanek gruntu ze złoże Sromowce Wyżne, Niedzica i Wisła-Czarne w aparacie normowym Proctora według metody normalnej.

Zagęszczano mieszanki gruntu o składzie:

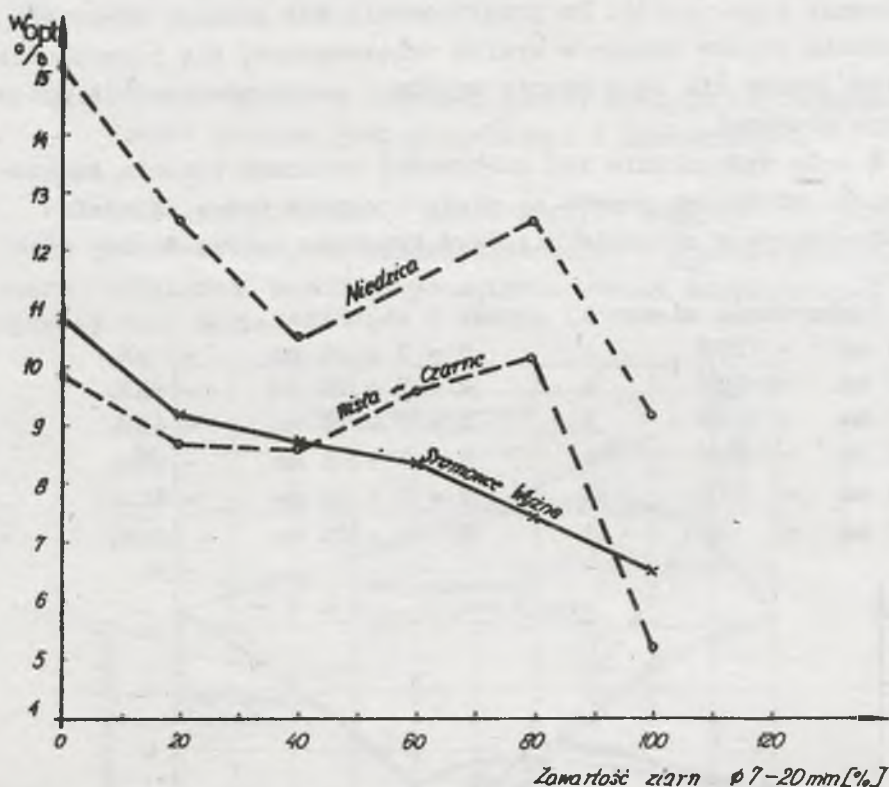
d < 7 mm - 100%	i	d = 7 ÷ 20 mm - 0%,
d < 7 mm - 80%	i	d = 7 ÷ 20 mm - 20%,
d < 7 mm - 60%	i	d = 7 ÷ 20 mm - 40%,
d < 7 mm - 40%	i	d = 7 ÷ 20 mm - 60%,
d < 7 mm - 20%	i	d = 7 ÷ 20 mm - 80%,
d < 7 mm - 0%	i	d = 7 ÷ 20 mm - 100%.



Rys. 4.12. Zależność  $\gamma_d \max$  od zawartości ziarn  $\phi$  7-20 mm



Wyniki badań  $\sigma_{d \max}$  i  $w_{opt}$  poszczególnych mieszanek podano w załączniku nr 4.3 oraz na rys. 4.12 i 4.13.



Rys. 4.13. Zależność  $w_{opt}$  od zawartości ziarn  $\phi 7-20$  mm

Z przedstawionych zależności widać, że maksymalne zagęszczenie występuje przy zawartości około  $50 \pm 70\%$  ziarn  $d > 7$  mm i zależy od pochodzenia gruntu, co pokrywa się z danymi z literatury [1], [40], [72], [73].

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

PN-59/B-06714 /Kruszywo mineralne. Badania techniczne, wykazały, że 36% ziarn  $d = 7 \div 20$  mm gruntu z Wisły-Czarne ulega rozkruszeniu, a gruntu ze Sromowiec Wyżnych około 5%.

#### 4.2.4 PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH (w aparacie wielkowymiarowym) Z WYNIKAMI BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI FRAKCJI $d < 7$ mm (w aparacie normowym)

W celu porównania wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym z wynikami badań zagęszczalności frakcji  $d \leq 7$  mm w aparacie normowym z badanych próbek gruntów w aparacie wielkowymiarowym odsiano ziarna większe od 7 mm. Następnie dla frakcji  $d \leq 7$  mm w aparacie normowym Proctora wykonano badania zagęszczalności przy energii zagęszczania odpowiadającej metodzie normalnej.

Z przeprowadzonych badań /zał. nr 4.4/ wynika, że stosunek  $\gamma_{d \max}$ , uzyskanego z badań w aparacie wielkowymiarowym dla gruntu  $d \leq 80$  mm do  $\gamma'_{d \max}$ , uzyskanego z badań w aparacie

normowym dla gruntu  $d \leq 7$  mm /  $\eta = \frac{\gamma_{d \max}}{\gamma'_{d \max}}$  średnio wynosi

1,11 /przy odchyleniu standardowym  $\sigma = 0,032/$ , a odpowiedni

stosunek wilgotności optymalnych /  $r = \frac{w_{opt}}{w'_{opt}}$  średnio wynosi 0,66

/przy odchyleniu standardowym  $\sigma = 0,086/$  dla 13 wyników.

Dla prawdopodobieństwa  $P = 0,95$  średnie wartości w/w stosunków zawarte są w granicach:  $\eta = 1,11 \pm 0,02$  i  $r = 0,66 \pm 0,05$ .

Powyższe zależności mogą służyć do orientacyjnego określania  $\gamma_{d \max}$  i  $w'_{opt}$  podobnych gruntów gruboziarnistych, na podstawie badań  $\gamma'_{d \max}$  i  $w'_{opt}$  frakcji  $d < 7$  mm w aparacie normowym Proctora [75].

W przypadku badania innych gruntów gruboziarnistych należy wykonać kilka badań tych gruntów w aparacie wielkowymiarowym i aparacie normowym frakcji  $d < 7$  mm w celu określenia wskaźni-

ków  $\eta$  i  $r$ . Znając wartości wskaźników  $\eta$  i  $r$  można w czasie badań kontrolnych gruntów gruboziarnistych wykonywać tylko badania  $\gamma_d' \max$  i  $w_{opt}$  frakcji  $d < 7$  mm w aparacie normowym, a parametry  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych określać na podstawie obliczeń wg wzorów:

$$\eta = \frac{\gamma_d \max}{\gamma_d' \max} \quad /4.1/$$

i

$$r = \frac{w_{opt}}{w_{opt}} \quad /4.2/$$

#### 4.2.5 PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH (w aparacie wielkowymiarowym) Z OBLICZENIAMI $w/g$ WZORÓW TEORETYCZNYCH

Na podstawie rozważań teoretycznych opracowano do określania  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych wzory w oparciu  $\gamma_d' \max$  i  $w_{opt}$  frakcji drobnej.

Do określania  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych Bureau of Reclamation [1], [72], [73] zaleca stosować następujące wzory:

$$\gamma_d \max = \frac{1}{\frac{m}{\gamma_s} + \frac{1-m}{\gamma_d' \max}} \quad [G/cm^3], \quad /4.3/$$

$$w_{opt} = \frac{w_{opt} (100 - m) + w \cdot m}{100} \quad [\%], \quad /4.4/$$

gdzie:

$\gamma_d \max$  - maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego badanego gruntu gruboziarnistego, w  $G/cm^3$ ,

$\gamma_d' \max$  - maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntu przesianego przez sito 4,76 mm, w  $G/cm^3$



- $w_{opt}$  - wilgotność optymalna badanego gruntu gruboziarnistego, w %,  
 $w'_{opt}$  - wilgotność optymalna dla gruntu przesianego przez sito 4,76 mm, w %  
 $m$  - wagowy procent frakcji pozostałych na sicie 4,76 mm,  
 $\gamma_s''$  - ciężar właściwy frakcji pozostałych na sicie 4,76 mm, w  $G/cm^3$ ,  
 $w''$  - nasiąkliwość ziarn gruntu pozostałego na sicie 4,76 mm obliczona wg wzoru

$$w'' = \frac{B - A}{A} 100\%, \quad /4.5/$$

gdzie:

- $A$  - ciężar pozostałości na sicie 4,76 mm wysuszonej przy  $100 \div 110^\circ C$ , w G,  
 $B$  - ciężar pozostałości na sicie 4,76 mm nasyczonej wodą w temperaturze  $15 \div 25^\circ C$  przez okres 24 godz lub lepiej do stałej wagi w G.

Wzór /4.3/ daje poprawne wartości  $\gamma_d \max$  jeżeli zawartość w gruncie ziarn większych niż 4,76 mm nie przekracza 30% /rys. 4.11/.

W Europie niektórzy badacze [40], [76], [77], [78], [79] w przypadku gruntów gruboziarnistych  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  zalecają określać ze wzorów

$$\gamma_d \max = \frac{100 \gamma_s'' \gamma_{d' \max}}{\gamma_s'' (100-m) + \gamma_{d' \max} m} \quad [G/cm^3] \quad /4.6/$$

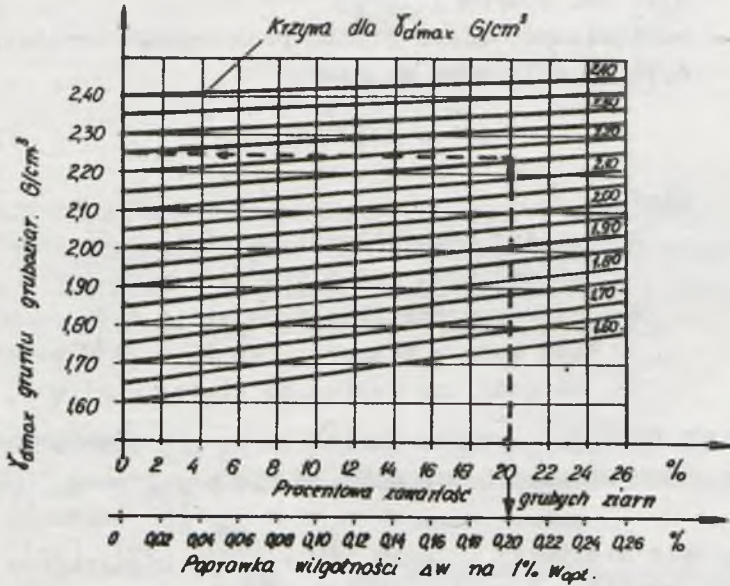
$$w_{opt} = \frac{w'_{opt} (100-m) + w'' m}{100} \quad [\%] \quad /4.7/$$

gdzie:

- $\gamma_{d \max}''$  - maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego uzyskany w aparacie Froctora dla gruntu przesianego przez sito 10 mm,  
 $\gamma_s''$  - ciężar właściwy gruntu,  $G/cm^3$   
 $m$  - wagowy procent pozostałości na sicie 10 mm.

Oznaczenia we wzorze /4.7/ takie same jak we wzorze /4.4/ z tym, że nasiąkliwość ziarn pozostałych na sicie 10 mm zalecają przyjmować w granicach  $1 \pm 3\%$ .

Wzór /4.6/ ma również ograniczenie, można go stosować gdy zawartość w gruncie ziarn grubszych od 10 mm nie przekracza 25%. Do obliczenia  $\gamma_{d \max}$  i  $w_{\text{opt}}$  można wykorzystać nomogram /rys. 4.14" wg pracy [76].



$$(w_{\text{opt}} = w'_{\text{opt}}(1 - \Delta w)\%)$$

Rys. 4.14. Nomogram do określania  $\gamma_{d \max}$  i  $w_{\text{opt}}$  gruntów gruboziarnistych  $\gamma_s = 2,65$  na podstawie  $\gamma_{d \max}$  i  $w'_{\text{opt}}$  dla frakcji drobnej [76]

W literaturze polskiej A.Wilczyński [43] proponuje aby parametry te określać z następujących wzorów:

$$\gamma_{d \max} = \frac{100 + x}{\frac{100}{\gamma'_{d \max}} + \frac{x}{\gamma'_s}} \quad [\text{G/cm}^3], \quad /4.8/$$

$$w_{\text{opt}} = \frac{100 w'_{\text{opt}}}{100 + x}, \quad /4.9/$$

gdzie:

$\sigma'_{d \max}$  i  $w'_{opt}$  - parametry uzyskane z badań w aparacie Proctora dla gruntu przesianego przez sito 6,3 mm,

$\sigma''_s$  - ciężar właściwy frakcji  $> 6,3$  mm,

x - procentowa zawartość w próbce frakcji grubej  $> 6,3$  mm/ w stosunku do ciężaru frakcji drobnej.

Natomiast W.Knabe [177] proponuje następujące wzory:

$$\sigma'_{d \max} = \frac{\sigma'_{d \max}}{\frac{\sigma'_{d \max}}{\sigma''_s} + \alpha \left(1 - \frac{\sigma'_{d \max}}{\sigma''_s}\right)(1-x)} \quad /4.10/$$

$$w_{opt} = (1-x) w'_{opt} \quad /4.11/$$

gdzie:

$\sigma'_{d \max}$  i  $w'_{opt}$  - parametry uzyskane z badań w aparacie Proctora dla gruntu bez grubych ziarn,

$\sigma'_s$  - ciężar właściwy gruntu,

x - zawartość wagowa ziarn grubych odsianych /ułamek dziesiętny/,

$\alpha$  - współczynnik; dla  $x \leq 0,3$  współczynnik  $\alpha \approx 1$ , a dla  $x > 0,3$  współczynnik  $\alpha > 1$  - należy wyznaczać doświadczalnie.

Podane wyżej wzory na obliczanie  $\sigma'_{d \max}$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych są równoważne. Różnią się zasadniczo tylko grubością odrzucanych ziarn.

Dla zawartości grubych ziarn  $> 85\%$  Missouri Highway Department [40] zaleca  $\sigma'_{d \max}$  obliczać według wzoru

$$\sigma'_{d \max} = \frac{\sigma_{d.g}}{m}, \quad /4.12/$$

gdzie:

$\sigma_{d.g}$  - ciężar objętościowy szkieletu gruntowego pozostałości na sicie, w  $G/cm^3$ ,

m - wagowy procent pozostałości na sicie.



We wzorze /4.12/ założono, że objętość porów w gruboziarnistym szkielecie pozostaje jednakowa, a drobne ziarna wchodzą tylko w te pory.

W celu sprawdzenia przydatności wyżej podanych wzorów, przeprowadzono obliczenia  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych na podstawie uzyskanych wyników badań  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  frakcji  $d < 7$  mm w aparacie normowym Proctora i porównano je z wynikami badań gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowieściowym /zał. 4.4/.

Obliczone w ten sposób wartości  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  dla gruntów gruboziarnistych z doliny Dunajca i Wisły-Czarne nie pokrywają się z wynikami, uzyskanymi z badań w aparacie wielkowieściowym.

Obliczone wartości  $\gamma_d \max$  są  $3 \pm 15\%$  większe od wyznaczonych z badań w aparacie wielkowieściowym, a obliczone wartości  $w_{opt}$  wynoszą  $0,34 \pm 0,83 w_{opt}$ , wyznaczonych z badań w aparacie wielkowieściowym.

Uzyskane różnice, między innymi wynikają z tego, że przy wyprowadzaniu wzorów na  $\gamma_d \max$  założono, iż  $\gamma_d \max$  /drobnej frakcji/ jest stały, a wiadome jest [40], że przy zawartości frakcji grubej powyżej  $25 \pm 30\%$  następuje zmniejszenie zagęszczenia frakcji drobnej. Potwierdzają to wyniki uzyskane z badań gruntów z Głębinowa /próbka nr 1 i nr 5/, które zawierają około  $22 \pm 31\%$  frakcji  $d > 7$  mm; dla tych gruntów uzyskano zgodność obliczeń z wynikami badań. Przy obliczaniu wilgotności optymalnej gruntów gruboziarnistych należy zdaniem autora uwzględniać wodozadržalność frakcji odrzuconej.

Biorąc powyższe pod uwagę można stwierdzić, że chcąc uzyskać miarodajne dane odnośnie  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych należy wykonywać badania zagęszczalności w odpowiednich aparatach wielkowieściowych.

#### 4.2.6 WNIOSKI Z BADAŃ

Na podstawie przeprowadzonych badań zagęszczalności stwierdzono:

1. Zwiększenie  $\gamma_d \text{ max}$  przy zagęszczaniu energią 27 kGcm/cm<sup>3</sup> wynosi średnio około 5%, a spadek wilgotności optymalnej wynosi średnio około 35% w stosunku do wyników zagęszczania energią 6 kGcm/cm<sup>3</sup>.

2. Wraz ze wzrostem grubości uziarnienia gruntu wzrasta maksymalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego /  $\gamma_d \text{ max}$  /, a maleje wilgotność optymalna /  $w_{\text{opt}}$  /. Największe zagęszczenie uzyskuje się przy zawartości w gruncie ok. 50 ÷ 70% ziarn  $d > 7 \text{ mm}$ .

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  $\gamma_d \text{ max}$ .

4. Wartości  $\gamma_d \text{ max}$  i  $w_{\text{opt}}$  obliczone na podstawie wzorów teoretycznych wyprowadzonych w oparciu o zagęszczalność frakcji drobnej nie pokrywają się z wynikami badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych o dużej zawartości frakcji grubej w aparacie wielkowymiarowym. Obliczone wartości  $\gamma_d \text{ max}$  są około 3 ÷ 15% większe od  $\gamma_d \text{ max}$  wyznaczonych z badań w aparacie wielkowymiarowym, a obliczone wartości  $w_{\text{opt}}$  wynoszą około 34 ÷ 83%  $w_{\text{opt}}$  wyznaczonych z badań. Wzory te można stosować do około 30% zawartości frakcji grubej /  $d > 7 \text{ mm}$  / w gruncie.

5. Parametry  $\gamma_d \text{ max}$  i  $w_{\text{opt}}$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych można wyznaczać w oparciu o  $\gamma_d' \text{ max}$  i  $w_{\text{opt}}'$  frakcji  $d < 7 \text{ mm}$  / badania w aparacie normowym / według wzorów /4.1/ i /4.2/, mając wcześniej określone parametry  $\rho$  i  $r$ . Według tych wzorów uzyska się bardziej miarodajne parametry  $\gamma_d \text{ max}$  i  $w_{\text{opt}}$  niż wg wzorów teoretycznych.

6. W celu uzyskania miarodajnych danych  $\gamma_d \text{ max}$  i  $w_{\text{opt}}$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych metodą ubijania należy wykonywać badania zagęszczalności w aparatach wielkowymiarowych. Średnica aparatu powinna być co najmniej 5 razy większa od średnicy maksymalnego ziarna w gruncie.

### 4.3. BADANIA ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH METODĄ WIBRACYJNĄ

Celem badań było opracowanie najwłaściwszej metodyki określania parametrów  $\tau_d \max$  i  $\tau_d \min$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych, niezbędnych do określenia stopnia zagęszczenia. Do tej pory brak jest w kraju opracowanej metodyki określania tych parametrów dla gruntów gruboziarnistych i kamienistych.

Następnym zagadnieniem tych badań było porównanie otrzymanych wyników z wynikami badań uzyskanymi metodą ubijania /badania według Proctora/ i metodą obciążeń statycznych /badania edometryczne/ oraz wynikami badań za pomocą maszyn w warunkach polowych.

Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych metodą wibracji wykonywano w 4 seriach:

1/ badania wstępne na stole wibracyjnym mające na celu ustalenie grubości zagęszczanej warstwy oraz wstępne ustalenie jakie czynniki mają wpływ na zagęszczenie gruntów przy stałych parametrach wibracji,

2/ badania na stole wibracyjnym mające na celu ustalenie jaki wpływ na zagęszczalność mają parametry wibracji i obciążenia próbki gruntu przy 3 różnych wilgotnościach,

3/ badania na stole wibracyjnym mające na celu ustalenie wilgotności optymalnej,

4/ badania zagęszczalności za pomocą wibratora powierzchniowego.

Badania wykonano dla gruntów przeznaczonych na budowę zapory w Dobczycach oraz Kojsówki, Frydmana, Sromowiec Wyżnych, Niedzicy i Jazowska.

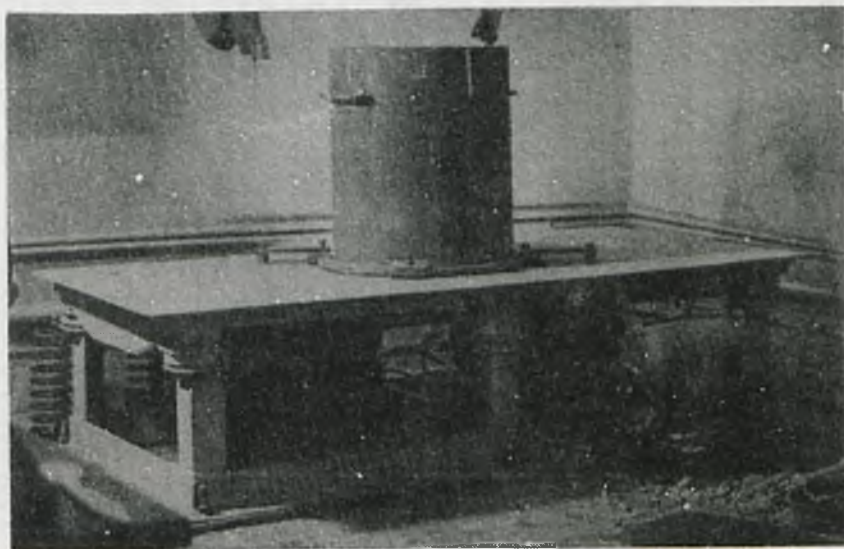
Do analizy wykorzystano też wyniki badań wykonane przez inne ośrodki [165], [170].



#### 4.3.1. BADANIA WSTĘPNE NA STOLE WIBRACYJNYM

Badania zagęszczenia wykonano na stole wibracyjnym typu SW-2 produkcji Gnieźnieńskiego Przedsiębiorstwa Metalowego Przemysłu Terenowego [169].

Grunt wibrowano w zbiorniku o średnicy wewnętrznej 61,37 cm / $F = 2956,5 \text{ cm}^2$ / i wysokości 79,85 cm przymocowanym śrubami do stołu /rys. 4.15/. Parametry drgań stołu wibracyjnego w czasie badań określone za pomocą miernika drgań N102, wynosiły: amplituda -  $650 \div 800 \text{ } \mu\text{m}$ , częstość 80 Hz. Zbiornik z gruntem ważył ok. 480 kG /ciężar samego zbiornika - 63 kG, ciężar płyty obciążającej - 10,1 kG/.



Rys. 4.15. Urządzenie do wibracyjnego zagęszczenia gruntów gruboziarnistych

Badania wykonano dla próbek gruntu o uziarnieniu jak na rys. 4.16.

Metodykę badań oraz szczegółowe wyniki badań podano w załączniku 4.5 i tablicy 4.2.

Tablica 4.2

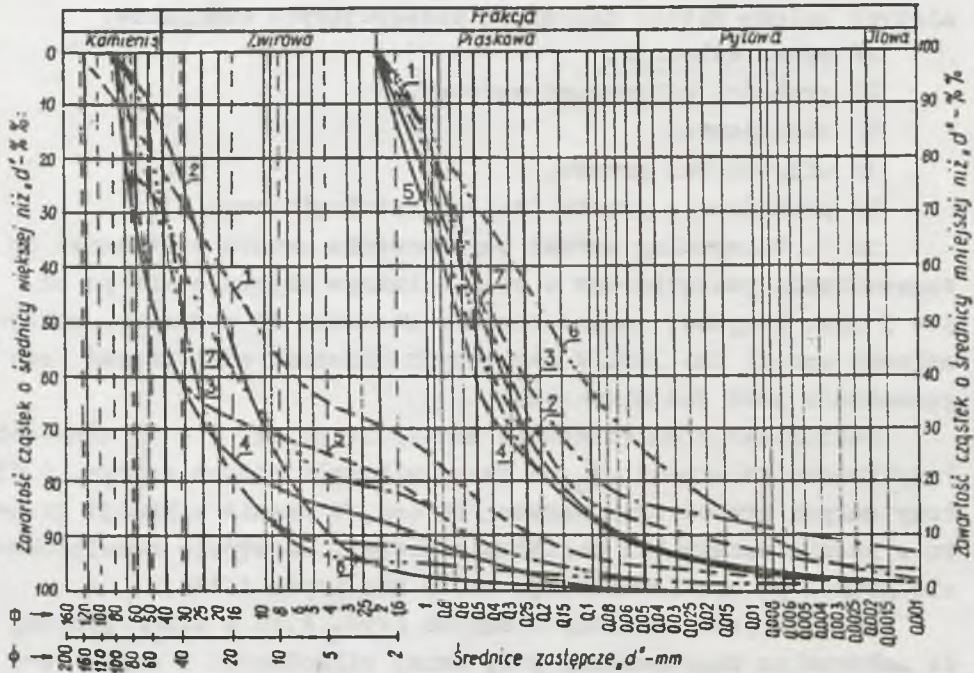
Zestawienie wyników badań  $\bar{J}_{d \min}$  i  $\bar{J}_{d \max}$  wibracji próbek gruntu gruboziarnistego z Kajsówki, Frydmana, Sromowiec Wyznych, Niedzicy, Jazowska, Dobzyce, Klinskówki, Słupa i Wisły-Czarne

Miejsce pobrania próby	$\bar{J}_{d \min}$			$\bar{J}_{d \max}$			$\frac{\bar{J}_{d \max}}{\bar{J}_{d \min}}$	Uwagi		
	1	2	3	średnie	1	2			3	średnie
Kojsówka	1,651	1,684	1,718	1,684	2,058	2,056	1,947	2,030	0,918	1,21
Frydman	1,727	1,678	1,668	1,691	1,993	2,036	2,007	2,012	0,902	1,19
Sromowiec Wyzne	1,610	1,602	1,595	1,602	1,894	1,877	1,848	1,873	0,894	1,17
Niedzica	1,709	1,670	1,665	1,681	1,925	1,896	1,923	1,914	0,907	1,14
Jazowska	1,685	1,798	1,748	1,744	1,999	2,079	2,152	2,076	0,960	1,19
Dobzyce D-1	1,868	1,832	1,800	1,833	2,126	2,128	2,141	2,132	0,986	1,16
Dobzyce D-2	1,799	1,815	1,827	1,814	2,123	2,126	2,139	2,129	0,995	1,17
Klinskówka K-1	1,66	1,57	1,62	1,617	1,975	2,032	2,032	2,013	0,950	1,24
Klinskówka K-2	1,51	1,53	1,55	1,530	1,860	1,950	1,940	1,917	0,917	1,25
Słup	-	-	-	1,75	-	-	-	2,10	0,955	1,20
Wisła Czarne	-	-	-	-	-	-	-	2,10	1,01	-

Badania wykonane pod obciążeniem  $\sigma = 0,02 \text{ kg/cm}^2$  i wysokości próbek ok. 60 cm oraz wilgotności  $w = 0\%$  czas wibracji  $t = 10 \text{ min}$

Wzrost badań IMIGW [69]  
 $t = 5 \text{ min}$   
 $\sigma = 0,15 \text{ kg/cm}^2$   
 $w = 0\%$   
 $d < 60 \text{ mm}$

Wzrost badań [178]  
 $\sigma = 0,13 \text{ kg/cm}^2$   
 $t = 9 \text{ min}$   
 $d < 60 \text{ mm}$   
 $w = 0\%$



- 1 - złoże Dobczyce. Próbka D-1 taras niższy
- 2 - złoże Dobczyce. Próbka D-2 taras wyższy
- 3 - złoże Kojcówka
- 4 - złoże Frydman
- 5 - złoże Sromowce Wyżne
- 6 - złoże Niedzica
- 7 - złoże Jazowsko

Rys. 4.16. Wykresy uziarnienia próbek zagęszczanych metodą wibracji na stole wibracyjnym



#### 4.3.1.1. Analiza i wnioski ze wstępnych wyników badań wibracyjnych

Analizując uzyskane wstępne wyniki badań /rys. 4.17 - 4.20/ próbek gruntu z Dobczyc /D-1 i D-2/ o takim samym składzie litologicznym oraz próbek gruntu z różnych złóż /tablica 4.2/ można zauważyć, że zagęszczalność gruntów gruboziarnistych zależy między innymi od następujących czynników:

- 1/ czasu wibracji,
- 2/ grubości wibrowanej warstwy,
- 3/ obciążenia,
- 4/ wilgotności gruntu,
- 5/ pochodzenia gruntu /składu litologicznego/.

ad 1. Maksymalny wzrost zagęszczenia gruntu w stosunku do zagęszczenia początkowego w stanie luźnym uzyskuje się po ok. 1 + 3 min. Przyrost zagęszczenia w stosunku do przyrostu maksymalnego wynosi ok. 90%. W następnych minutach efektywność zagęszczania jest już nieznaczna.

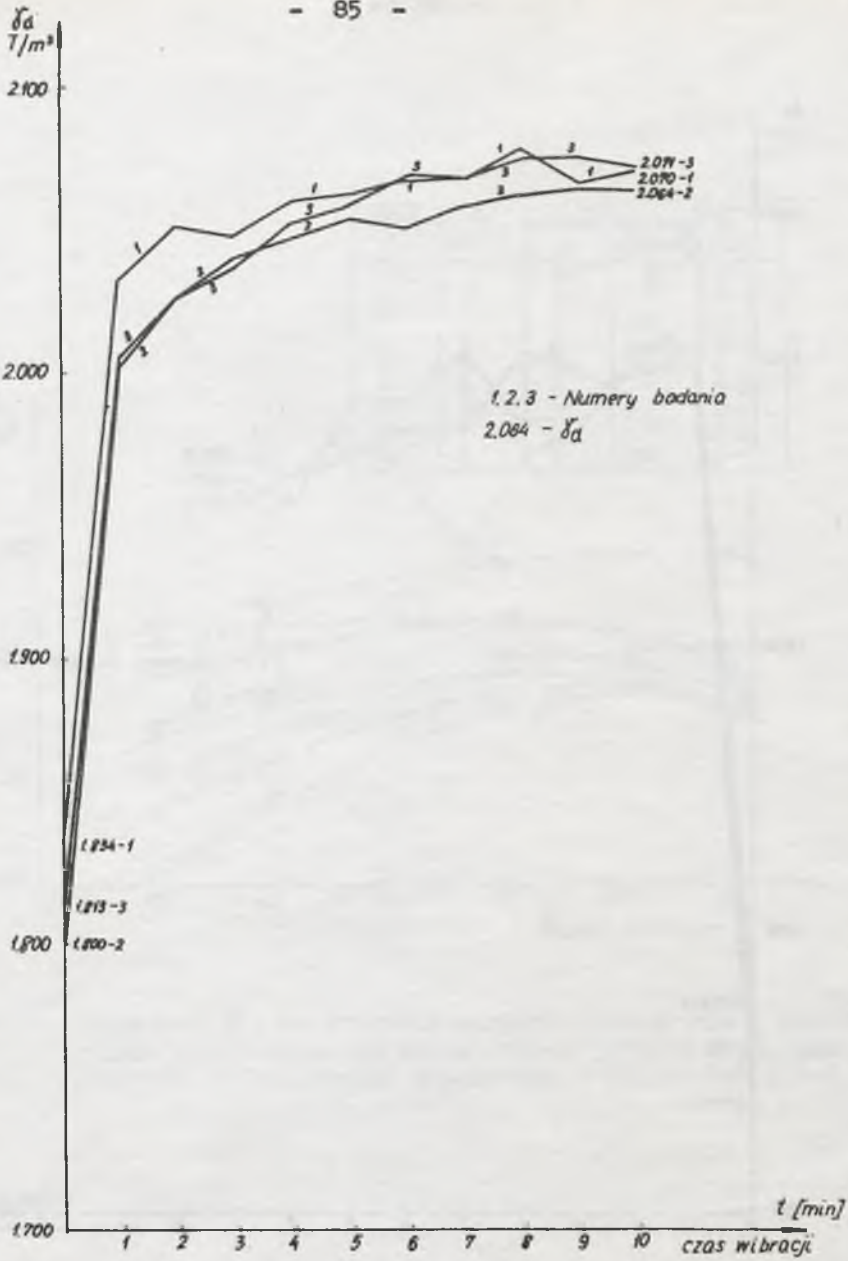
Stabilizacja zagęszczenia następuje po ok. 6 ÷ 10 minutach. Przykładowo zależność  $\gamma_d$  od czasu wibracji podano na rys. 4.17. Przy małych grubościach warstw /30 cm/, w czasie wibracji gruntu w stanie suchym bez obciążenia próbki, następuje rozwibrowanie gruntu po czasie wibracji ok. 3 min /rys. 4.18/.

ad 2. Z przedstawionych danych /rys. 4.19 i 4.20/ wynika, że maksymalne zagęszczenie przy danej wilgotności i danym obciążeniu w większości przypadków uzyskano przy początkowej wysokości próbki w przybliżeniu równej średnicy zbiornika, w którym zagęszczano grunt / $h \approx 60$  cm/.

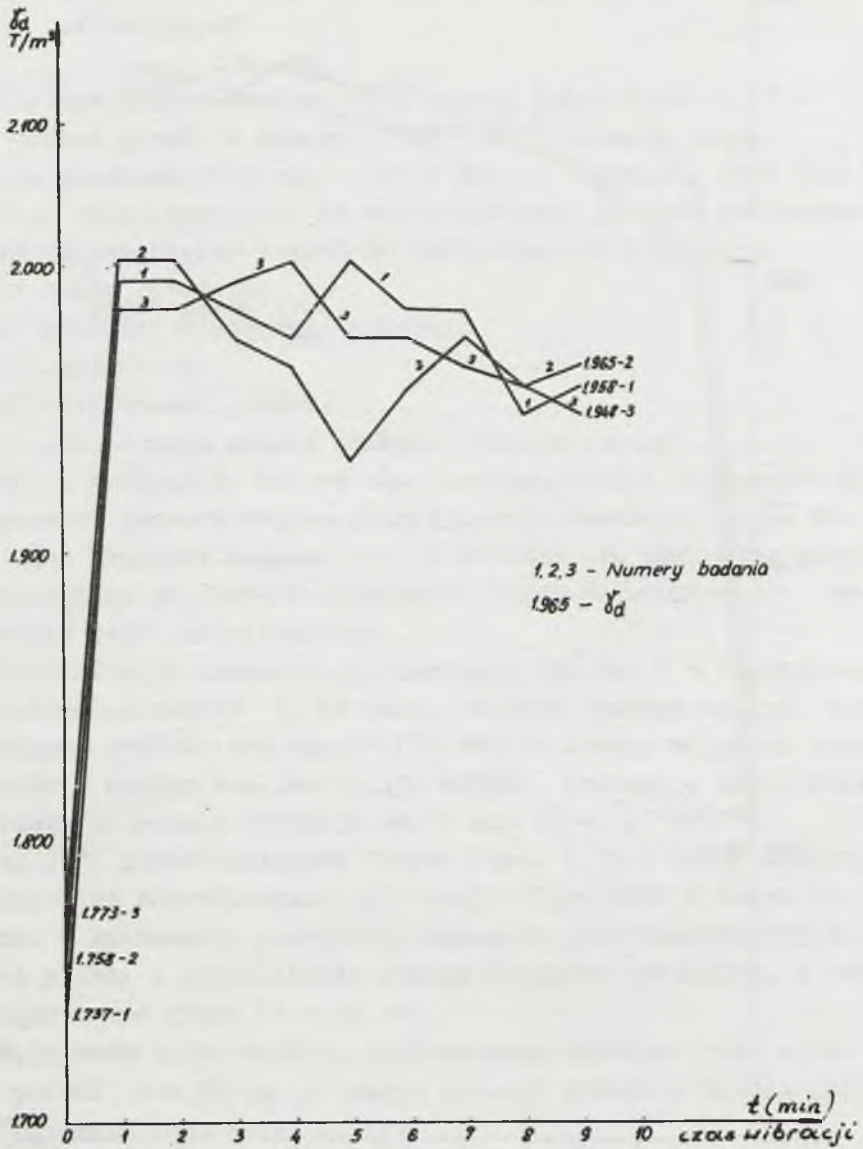
Wyjątkowo tylko większe zagęszczenie uzyskano przy wysokości próbki  $h \approx 80$  cm w czasie badania gruntu w stanie pełnego nasycenia wodą /rys. 4.20/.

Porównując wyniki badań zagęszczalności /  $\gamma_{d \max}$  / gruntu zagęszczanego w jednej warstwie i w 5 warstwach na podstawie dotychczasowych badań nie można wyraźnie stwierdzić wpływu tego sposobu badania na wyniki badań.

ad 3. Z przedstawionych danych /rys. 4.19 i 4.20/ wynika, że ze wzrostem obciążenia z  $\sigma = 0$  do  $\sigma = 0,02$  kg/cm<sup>2</sup> wzrasta

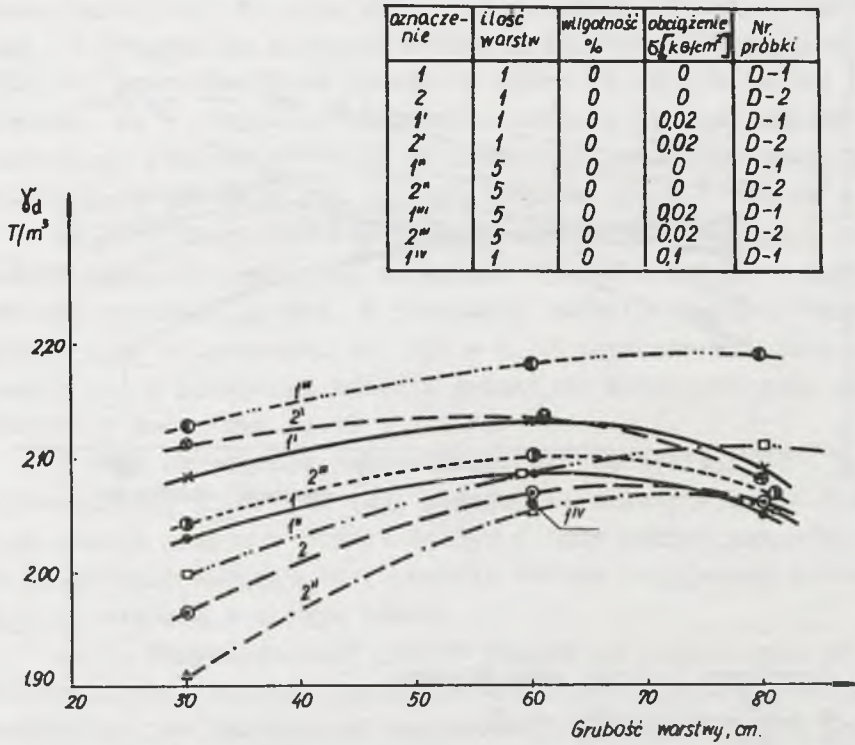


Rys. 4.17. Zależność  $\gamma_d$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próbka D-2 z Dobczyc, h próbki = 60 cm, obciążenie próbki  $\sigma = 0$ ,  $w = 0\%$

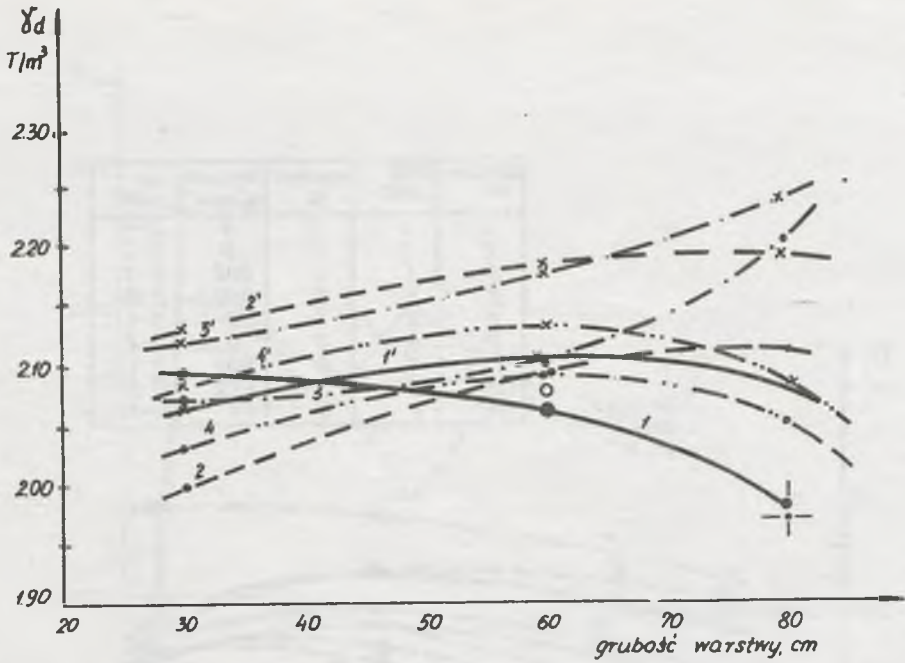


Rys. 4.18. Zależność  $\gamma_d$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próbką D-2 z Dobczyc, h próbki = 30 cm, obciążenie próbki  $\sigma = 0$ ,  $w = 0\%$





Rys. 4.19. Zależność  $\gamma_d$  od grubości warstwy, obciążenia i uziarnienia gruntu wibrowanego na stole wibracyjnym SW-2 po czasie wibracji 10 min. Grunt z Dobczyc - próbki D-1 i D-2



- 1,1' — 5 warstw, pełne nasycenie
- - 2,2' - - 5 warstw, w=0%
- · - 3,3' - · - 1 warstwa, pełne nasycenie
- · - 4,4' - · - 1 warstwa, w=0%

1,2,3,4 • badanie bez obciążenia

1',2',3',4' x badanie z obciążeniem  $Q_{02} \text{ kg/cm}^2$

○ badanie z obciąż.  $Q_{1} \text{ kg/cm}^2$  ( 1 warstwa, pełne nasycenie).

● badanie z obciąż.  $Q_{0.1} \text{ kg/cm}^2$  ( 1 warstwa, w=0% ).

- + badanie bez obciążenia ( 1 warstwa, w=4,3% ).

Rys. 4.20. Zależność  $\gamma_d$  od grubości warstwy i obciążenia gruntu wibrowanego na stole wibracyjnym SW-2 po czasie wibracji 10 min. Próbką D-1

zagęszczenie gruntu, przy zwiększeniu obciążenia do  $\sigma = 0,1 \text{ kg/cm}^2$  zaobserwowano spadek zagęszczenia /rys. 4.20/.

Spadek zagęszczenia w tym przypadku spowodowany jest prawdopodobnie przeciążeniem stołu, gdyż próbkę obciążano obciążnikami. W związku ze znacznym obciążeniem stołu wibracyjnego zmieniły się prawdopodobnie parametry wibracji. Z literatury [20] wiadomo, że w przypadku stosowania nacisku hydraulicznego przekazywanego poprzez sprężynę na próbki gruntu, zagęszczenia przy wibracji stabilizują się pod obciążeniem ok.  $0,14 \text{ kg/cm}^2$ .

ad 4. W przypadku badania gruntu w stanie suchym i przy pełnym nasyceniu wodą nie uchwycono wyraźnie różnic w maksymalnym zagęszczeniu gruntu. W przypadku badania zagęszczalności gruntu przy wilgotności ok.  $3,1 \div 4,3\%$  uzyskano mniejsze zagęszczenie niż w przypadku badania gruntu na sucho lub przy pełnym nasyceniu wodą /rys. 4.19 i 4.20/.

W celu określenia maksymalnego zagęszczenia gruntu metodą wibracji /  $\gamma_d \text{ max}$  / USBR [20] podaje, że należy wykonać badania tego samego gruntu w stanie suchym i przy pełnym nasyceniu wodą. Do obliczania stopnia zagęszczenia należy przyjmować wartość  $\gamma_d \text{ max}$  większą z obydwu badań.

ad 5. Zagęszczalność gruntu zależy od pochodzenia gruntu i składu litologicznego /tablica 4.2/. Z przeprowadzonych badań wynika też, że maksymalne zagęszczenie gruntu w stanie powietrzno-suchym uzyskane metodą wibracyjną jest  $\leq$  od maksymalnego zagęszczenia uzyskanego metodą ubijania przy wilgotności optymalnej /tablica 4.2/. Należy stwierdzić, że badane grunty w czasie wibracyjnego zagęszczenia zachowują się podobnie. Stabilizacja zagęszczenia następuje w tym samym czasie wibracji. Dalsze badania wibracyjne wykonywano wobec tego na próbkach gruntu z Dobczyc.

W celu określenia stopnia zagęszczenia należy znać oprócz maksymalnego ciężaru szkieletu gruntu /  $\gamma_d \text{ max}$  / i minimalny ciężar objętościowy szkieletu gruntu /  $\gamma_d \text{ min}$  /. Porównując uzyskane wyniki badań  $\gamma_d \text{ min}$  gruntu w stanie suchym i przy pełnym nasyceniu /zał. 4.5 - tablica 1/ wynika, że mniejsze wartości  $\gamma_d \text{ min}$  uzyskuje się przy metodzie sypania gruntu do wody /bada-



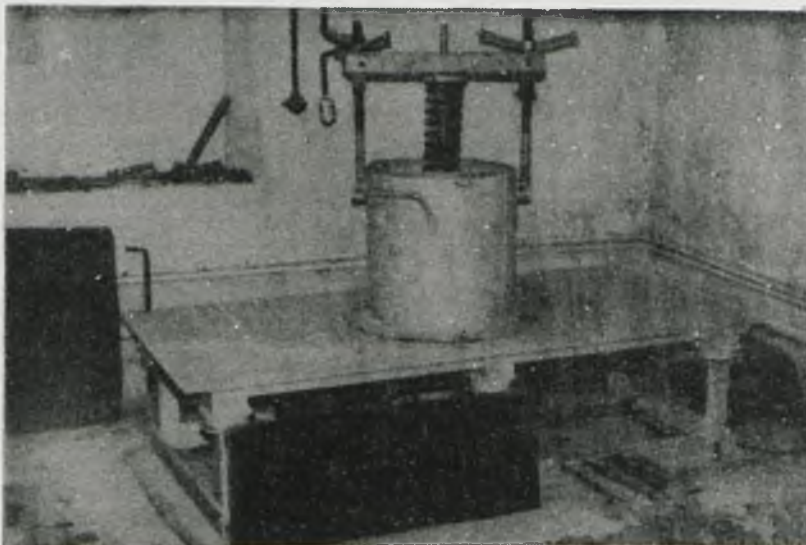
nie przy pełnym nasyceniu wodą/. Uzyskane wyniki pokrywają się z danymi podawanymi przez J.Kolbuszewskiego dla piasku [22].

W czasie oznaczania  $\gamma_d$  min grunt należy sypać do zbiornika ze stałej wysokości ok. 30 cm nad warstwą; wysokość zbiornika i badanej próbki nie powinna być mniejsza od średnicy.

#### 4.3.2 BADANIA NA STOLE WIBRACYJNYM MAJĄCE NA CELU USTALENIE JAKI WPŁYW NA ZAGĘ- SZCZALNOŚĆ MAJĄ PARAMETRY WIBRACJI I OBCIĄŻENIE PRÓBKII GRUNTU

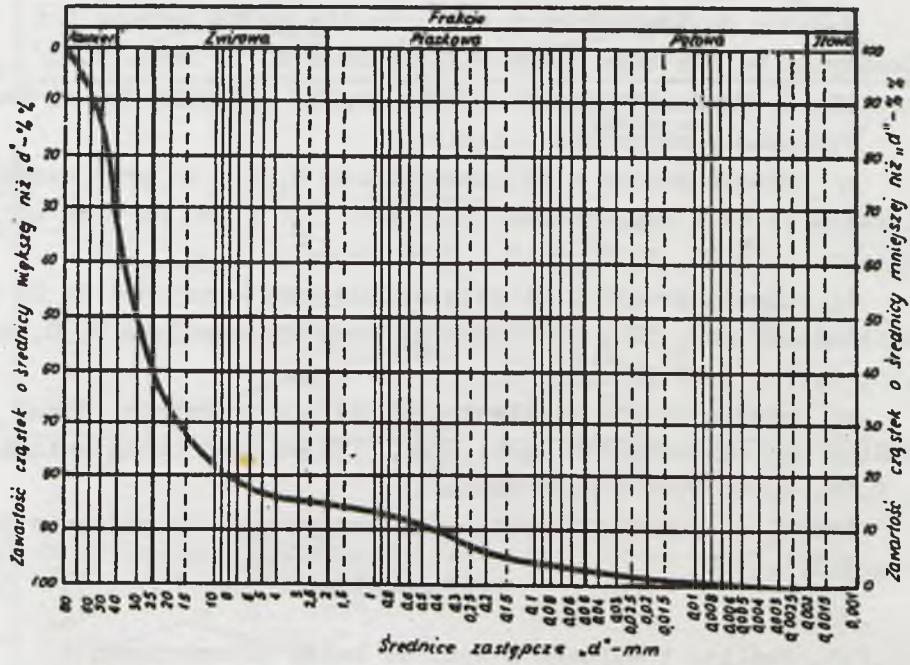
##### 4.3.2.1. Opis aparatury

Badania wykonano na stole wibracyjnym typu SW-2 przy 3. częstościach drgań /22, 34 i 74 Hz/ i różnych amplitudach drgań dla każdej częstości.



Rys. 4.21. Ogólny widok aparatury do wibracyjnego zagęszczania na stole wibracyjnym SW-2

Parametry drgań stołu wibracyjnego w czasie badań określono za pomocą aparatury firmy Siemens.



Rys. 4.22. Wykres uziarnienia gruntu badanego metodami wibracyjnymi

Grunt wibrowano w zbiorniku o średnicy wewnętrznej 49 cm / $P = 1885 \text{ cm}^2$ / i wysokości 50 cm przymocowanym śrubami do stołu.

Ciężar samego zbiornika wynosił 87 kG, a ciężar płyty obciążającej 18 kG. Grunt obciążano dociskając sprężynę /rys. 4.21/.

#### 4.3.2.2. Metodyka przeprowadzonych badań

Badania zagęszczalności wykonano dla próbki gruntu D-1 /Dobczyce/ po odsianiu ziarn większych od 80 mm /rys. 4.22/. Początkowa wysokość badanych próbek gruntu wynosiła ok. 49 cm.

Wykonano następujące badania:

a/ badania gruntu o wilgotnościach: 0, 4 i 8% przy częstotliwości drgań 34 Hz i amplitudach: 590, 800, 920 i 980  $\mu\text{m}$  oraz obciążeniach: 0, 0,05, 0,10, 0,15 i 0,50  $\text{kG/cm}^2$ ,

b/ badania gruntu o wilgotności 0% przy częstotliwości 74 Hz i amplitudach: 280, 370, 470 i 510  $\mu\text{m}$  oraz obciążeniach 0, 0,05, 0,10, 0,15 i 0,50  $\text{kG/cm}^2$ ,

c/ badania gruntu o wilgotności 0% przy częstotliwości drgań 22 Hz i amplitudach: 330, 475, 590 i 675  $\mu\text{m}$  oraz obciążeniach: 0, 0,05, 0,10, 0,15 i 0,50  $\text{kG/cm}^2$ .

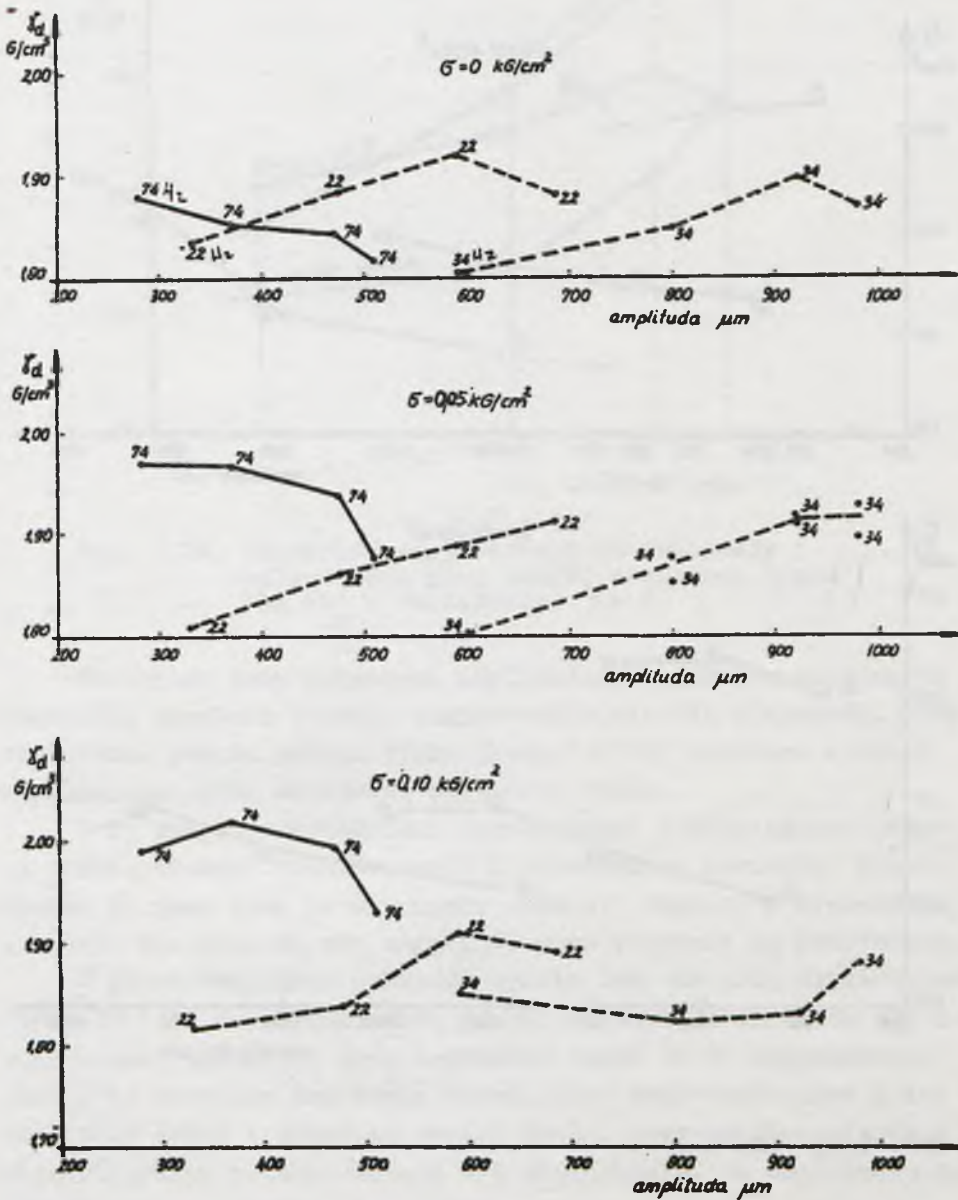
Próbki do poszczególnych badań przygotowywano podobnie jak w p. 4.3.1.

#### 4.3.2.3. Analiza i wnioski z wyników badań wibracyjnych

Zestawienie wyników badań po czasie wibracji 10 min podano w zał. 4.6 i na rys. 4.23 + 4.27. Stabilizacja zagęszczenia następuje po czasie wibracji ok. 6 + 10 min. Dla gruntów wilgotnych czas stabilizacji zagęszczenia jest dłuższy. Na rysunkach naniesiono wartości średnie uzyskanych wyników z 3 badań. Maksymalny błąd względny oznaczenia  $\gamma_d$  wynosi ok. 1,2%.

Z wykresów podanych na rys. 4.23 wynika, że zagęszczenie gruntu gruboziarnistego zależy od częstotliwości drgań, amplitudy i przyłożonego obciążenia. Ze wzrostem częstotliwości drgań w zakresie amplitud 280 + 510  $\mu\text{m}$  i obciążeń  $\sigma < 0,05 \text{ kG/cm}^2$  wzrasta zagęszczenie gruntu.





Rys. 4.23 Wykresy zależności zagęszczenia od częstości drgań /22 Hz, 34 Hz, 74 Hz/ i amplitudy przy różnych obciążeniach. Wilgotność gruntu  $w = 0\%$

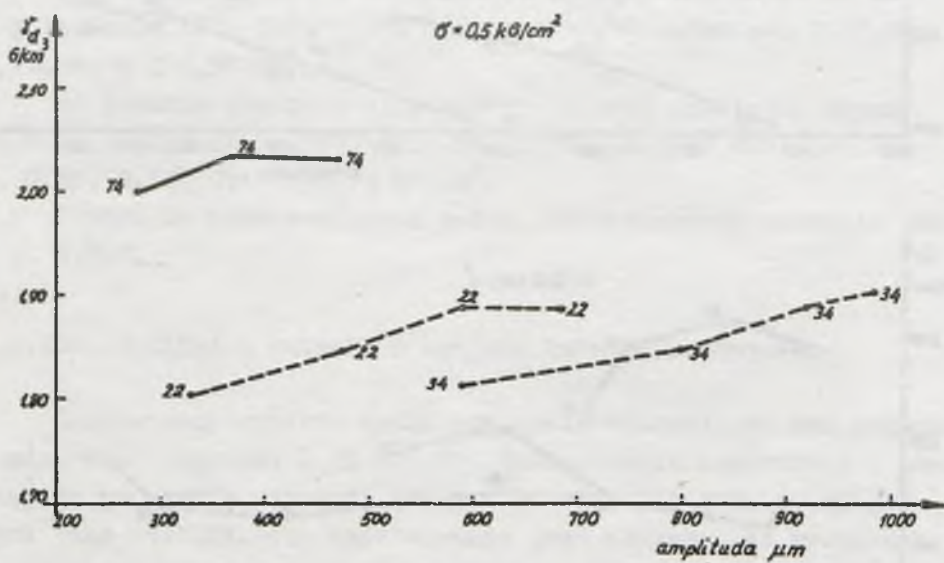
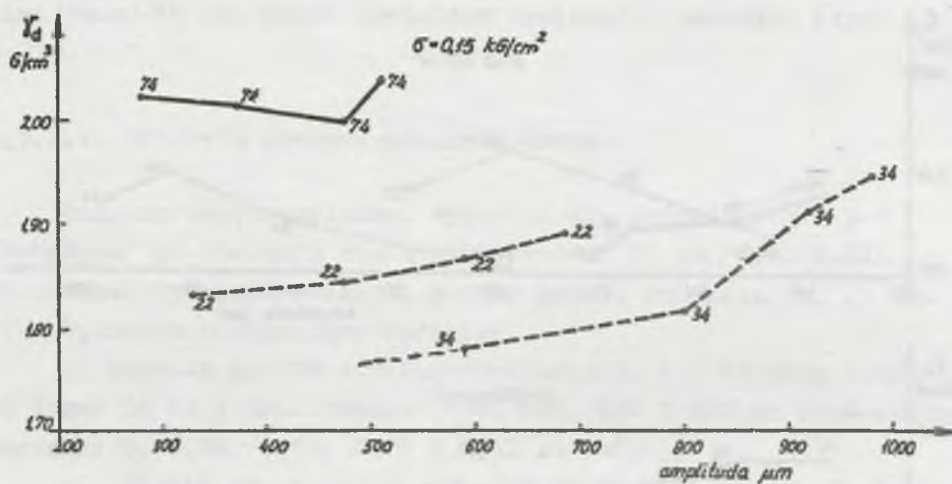
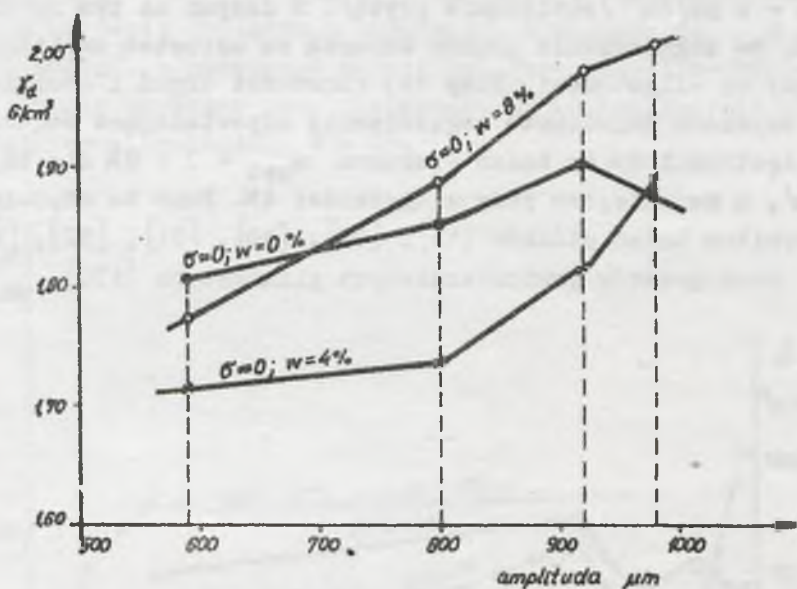


Fig. 4.23 (c. d.)



Rys. 4.24. Zależność zagęszczenia od amplitudy i wilgotności przy stałej częstotliwości drgań /34 Hz/ i obciążeniu  $\sigma = 0$

Natomiast przy większych amplitudach drgań dla mniejszych częstotliwości uzyskano większe zagęszczenie niż dla większych. Przy obciążeniu próbki gruntu tylko płytą /  $\sigma \approx 0$  / uzyskano większe zagęszczenie przy mniejszej częstotliwości drgań.

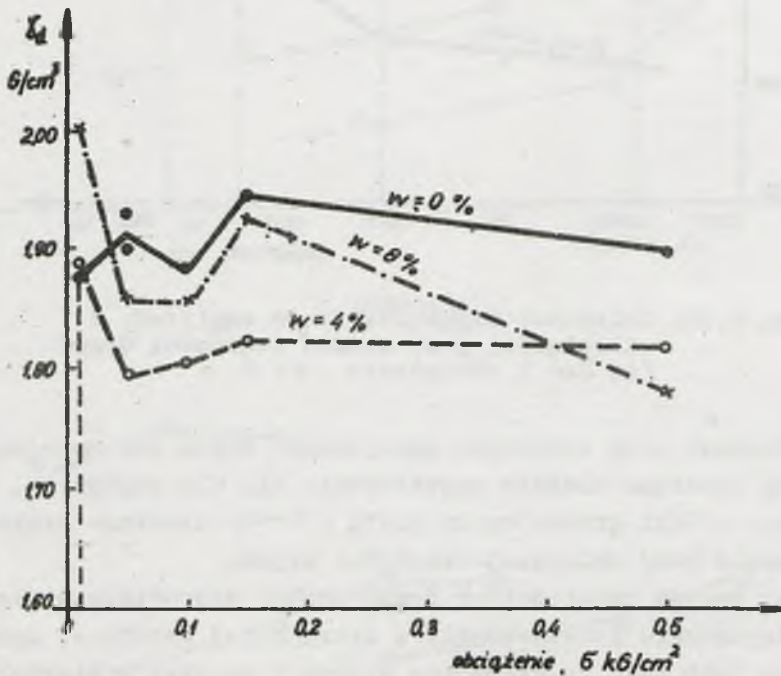
Przy dużych częstotliwościach drgań próbki nieobciążone ulegają prawdopodobnie rozwibrowaniu w wierzchniej warstwie. Spowodowane to jest tym, że wibrujące ziarna i cząstki w wierzchniej warstwie nie zdążają się zagęścić, gdyż ponownie są podrzucane.

Z przedstawionych wykresów wynika też, że przy częstotliwościach drgań 22 i 34 Hz zagęszczenie gruntu wzrasta ze wzrostem amplitudy drgań, natomiast przy częstotliwości drgań 74 Hz zagęszczenie maleje ze wzrostem amplitudy drgań. Przy stosowaniu zbyt dużej amplitudy drgań i dużej częstotliwości drgań, poszczególne ziarna i cząstki gruntu przemieszczają się chaotycznie, co doprowadza do rozwibrowania gruntu.

Na rys. 4.24 przedstawiono zależność zagęszczenia od amplitudy i wilgotności przy stałej częstotliwości drgań 34 Hz i obciążeniu



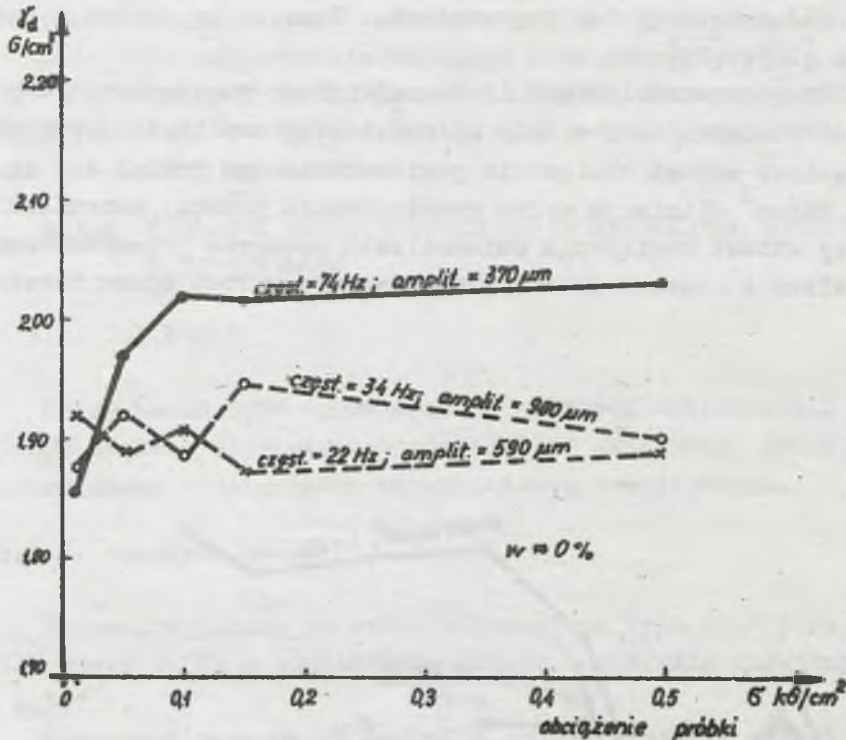
niu  $\sigma = 0 \text{ kG/cm}^2$  /obciążenie płytą/. Z danych na tym rysunku wynika, że zagęszczenie gruntu wzrasta ze wzrostem amplitudy i zależy od wilgotności. Przy tej częstotliwości drgań i obciążeniu  $\sigma = 0$  uzyskano największe zagęszczenie odpowiadające zasadniczo wilgotności 8% /z badań Proctora  $w_{\text{opt}} = 7 \div 8\%$  dla tego gruntu/, a najmniejsze przy wilgotności 4%. Dane te odpowiadają wynikom badań piasków [13], [25], [30], [31], [32], [33] i [34] oraz gruntów gruboziarnistych gliniastych [170].



Rys. 4.25. Zależność zagęszczenia od obciążenia i wilgotności gruntu. Badania wykonano przy częstotliwości 34 Hz i amplitudzie 980  $\mu\text{m}$

Spostrzeżenia te pokrywają się z danymi na rys. 4.25 z tym, że przy większych obciążeniach pionowych największe zagęszczenie uzyskano przy wilgotności  $W = 0\%$ . Przy wilgotności gruntu równej ok.  $0,5 w_{\text{opt}}$  występuje prawdopodobnie największe oddziaływanie sił kapilarnych /spójności pozornej/. Z rys. 4.25 wynika też, że dla gruntu wilgotnego przy początkowym wzroście

obciążenia do  $\sigma = 0,05 + 0,10 \text{ kG/cm}^2$  maleje zagęszczenie. Przy dalszym wzroście obciążenia zagęszczenie wzrasta do  $\sigma = 0,15 \text{ kG/cm}^2$ , a następnie maleje lub jest stałe; największe zagęszczenie uzyskano przy obciążeniu  $\sigma \approx 0$  /obciążenie płytą/ z wyjątkiem wilgotności  $W = 0\%$ .

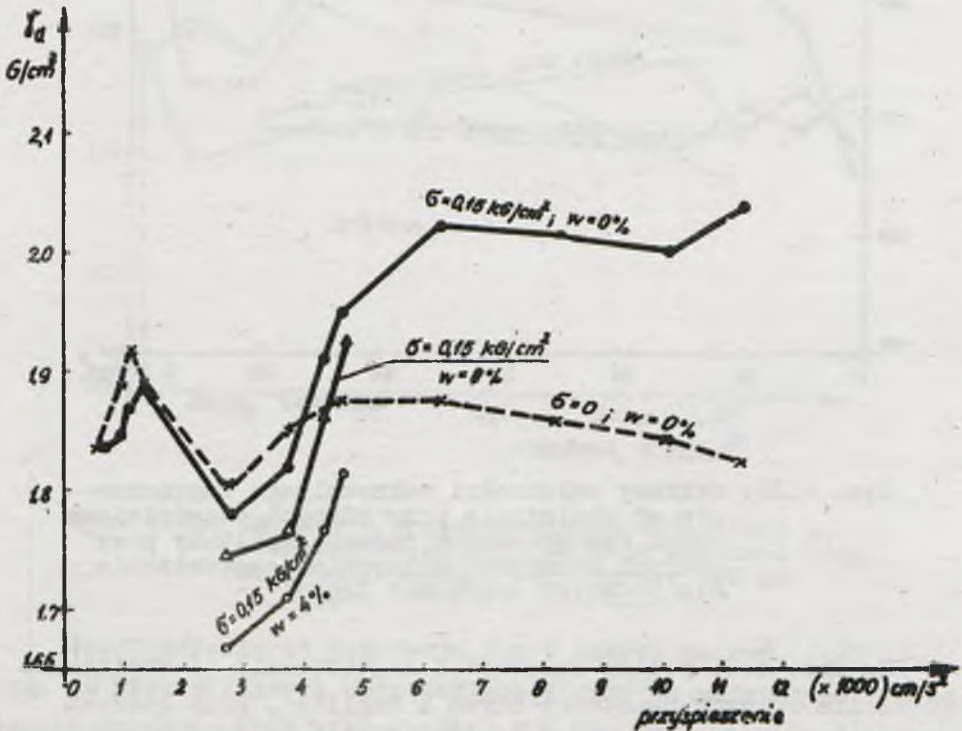


Rys. 4.26. Wykresy zależności maksymalnego zagęszczenia od obciążenia przy różnych częstotliwościach drgań /na wykresach podano amplitudy przy których otrzymano maksymalne zagęszczenia dla podanych częstotliwości drgań/

Na rys. 4.26 podano zależności zagęszczenia od obciążenia próbki dla różnych częstotliwości drgań i amplitud, przy których uzyskano największe zagęszczenie. Na podstawie tych danych można stwierdzić, że zagęszczenie gruntu zależy od obciążenia i częstotliwości drgań oraz amplitudy.

Największe zagęszczenie gruntu o wilgotności  $w = 0\%$  uzyskano przy częstotliwości drgań 75 Hz i amplitudzie 370  $\mu\text{m}$  oraz obciążeniu  $\sigma \geq 0,1 \text{ kG/cm}^2$ . Wzrost zagęszczenia gruntu w stosunku do stanu luźnego wynosi ok. 17%. Przy częstotliwości drgań 22 Hz największe zagęszczenie uzyskano pod obciążeniem  $\sigma = 0$  i amplitudzie 590  $\mu\text{m}$ ; zwiększenie obciążenia przy tej amplitudzie powoduje zasadniczo spadek zagęszczenia. Dane te są zgodne z badaniami [20], [25].

Przy częstotliwości drgań 34 Hz największe zagęszczenie uzyskano pod obciążeniem  $\sigma = 0,15 \text{ kG/cm}^2$  i przy amplitudzie 980  $\mu\text{m}$ . Początkowy wzrost obciążenia powierzchniowego próbek do ok.  $0,15 \text{ kG/cm}^2$  eliminuje wpływ rozwibrowania gruntu, natomiast dalszy wzrost obciążenia uniemożliwia swobodne przemieszczanie się ziarn i cząstek gruntu oraz powoduje wzrost oporu tarcia



Rys. 4.27. Zależność zagęszczenia od przyspieszenia drgań i obciążenia



między ziarnami i cząstkami, co dodatkowo zmniejsza efekt zagęszczania.

Zależność zagęszczenia gruntu od przyspieszenia podano na rys. 4.27. Z przedstawionych danych wynika, że maksymalne zagęszczenie gruntu o wilgotności  $w = 0\%$  obciążonego naciskiem  $\sigma = 0,15 \text{ kg/cm}^2$  uzyskano przy przyspieszeniu powyżej  $6000 \text{ cm/s}^2$ , a obciążonego naciskiem  $\sigma = 0$  przy przyspieszeniu ok.  $1200 \text{ cm/s}^2$ .

Najniższe zagęszczenie uzyskano przy przyspieszeniu ok.  $3000 \text{ cm/s}^2$ . Grunt wilgotny do uzyskania takiego samego zagęszczenia jak grunt suchy, potrzebuje większego przyspieszenia.

#### 4.3.3 BADANIA WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ NA STOLE WIBRACYJNYM

##### 4.3.3.1. Cel badań

Celem badań było określenie wilgotności optymalnej i maksymalnego ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego gruntu gruboziarnistego w zależności od obciążenia zewnętrznego.

##### 4.3.3.2. Metodyka badań

Badania wykonano na stole wibracyjnym typu SW-2 przy częstotliwości drgań 74 Hz i amplitudzie 370  $\mu\text{m}$  w aparacie omówionym w p. 4.3.2.1.

Wysokości początkowe badanych próbek wynosiły ok. 45 cm. Do badań użyto próbkę gruntu D-1 o uziarnieniu podanym na rys. 4.22.

Badania gruntu wykonano przy wilgotnościach: 0,61%, 2,24%, 5,53%, 6,03%, 6,86% i 9,27%.

Próbki gruntu przy każdej wilgotności badano pod obciążeniem  $\sigma \approx 0$  /płyta obciążająca/,  $\sigma = 0,05 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma = 0,10 \text{ kg/cm}^2$  i  $\sigma = 0,15 \text{ kg/cm}^2$ . Pomiary zagęszczenia gruntu wykonywano po: 0, 1, 2, 5, 8, 10 i 12 min wibracji.

#### 4.3.3.3. Analiza wyników i wnioski z badań

Zestawienie wyników badań podano w zał. 4.7 oraz w tablicach 4.3 i 4.4 i na rys. 4.28 i 4.29.

Analizując uzyskane wyniki badań zagęszczalności można stwierdzić, że zagęszczalność gruntu gruboziarnistego zależy od wilgotności, obciążenia i czasu vibracji.

Z analizy zależności  $\gamma_d$  od wilgotności wynika, że zagęszczenie zależy od wilgotności. Maksymalne zagęszczenie niezależnie od obciążenia uzyskano przy wilgotności ok. 6,9%, dalszy wzrost wilgotności powoduje zmniejszenie zagęszczenia. Najniższe zagęszczenie uzyskano w przedziale wilgotności od ok. 2% do 5%.

Przy wilgotności gruntu w stanie powietrzno-suchym uzyskano zagęszczenie niższe niż przy wilgotności 6,9%, którą należy uznać za  $w_{opt}$  /patrz tabl. 4.2 i rys. 4.28/.

Wpływ obciążenia na zagęszczalność podano w tablicy 4.3 oraz na rys. 4.28 i 4.29. Z przedstawionych danych wynika, że ze wzrostem obciążenia / $\sigma = 0 \div 0,15 \text{ kg/cm}^2$ / wzrasta zagęszczenie gruntu. Jedynie przy wilgotności 2,24% i 6,86% zaobserwowano spadek zagęszczenia przy wzroście  $\sigma$  od 0,05 do 0,10  $\text{kg/cm}^2$  /rys. 4.29/. Podobne zmiany zaobserwowano w czasie badań omówionych w p. 4.3.2. Można jednak przyjąć, że stabilizacja zagęszczenia następuje przy obciążeniu  $\sigma = 0,15 \text{ kg/cm}^2$ . Obciążenie to można przyjąć za obciążenie optymalne /rys. 4.28 i 4.29/, przy którym uzyskuje się maksymalne zagęszczenie.

Czas vibracji próbek do ustalenia się zagęszczenia zależy od wilgotności gruntu. Przy wilgotności gruntu w stanie powietrzno-suchym stabilizacja zagęszczenia następuje po ok.  $6 \div 8$  min. Przy wilgotnościach większych czas vibracji powinien wynosić ok.  $10 \div 12$  min. Największy przyrost zagęszczenia w stosunku do stanu luźnego następuje po ok. 2 min /patrz tabl. 4.4/.

Minimalny ciężar objętościowy szkieletu gruntowego

/  $\gamma_{d \min}$  / zależy od wilgotności /tabl. 4.3/, ze wzrostem wilgotności w zakresie przeprowadzonych badań maleje  $\gamma_{d \min}$ . Ze względu na zapewnienie jednakowych warunków badań, jako metodę zalecaną należy przyjąć badanie  $\gamma_{d \min}$  gruntu w stanie suchym.

Tablica 4.3

Zestawienie wyników badań  $\gamma_{dmin}$  i  $\gamma_{dmax}$  po czasie wibracji 10 i 12 min.

Lp.	Wilgot- ność %	$\gamma_{dmin}$ G/cm <sup>2</sup>	$\gamma_{dmax}$ G/cm <sup>3</sup>						$\frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_{dmin}}$			
			10 min		12 min		$\frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_{dmin}}$					
			Obciążenie kg/cm <sup>2</sup>		Obciążenie kg/cm <sup>2</sup>							
1	2	3	0	0,05	0,10	0,15	0	0,05	0,10	0,15	0,15	0,15
1	0,61	1,751	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12
2	2,24	1,678	1,947	2,051	2,079	2,087	1,955	2,054	2,083	2,088	1,19	1,19
3	5,53	1,633	1,935	1,981	1,987	2,033	1,935	1,989	1,985	2,038	1,21	1,21
4	6,03	1,590	1,971	1,998	2,020	2,027	1,980	2,006	2,027	2,034	1,24	1,24
5	6,86	1,620	1,955	2,009	2,031	2,031	1,980	2,028	2,043	2,041	1,28	1,28
6	9,26	1,565	2,180	2,132	2,165	2,197	2,196	2,198	2,176	2,176	1,34	1,34
			2,04	2,078	2,087	2,097	2,052	2,087	2,10	2,11	1,35	1,35

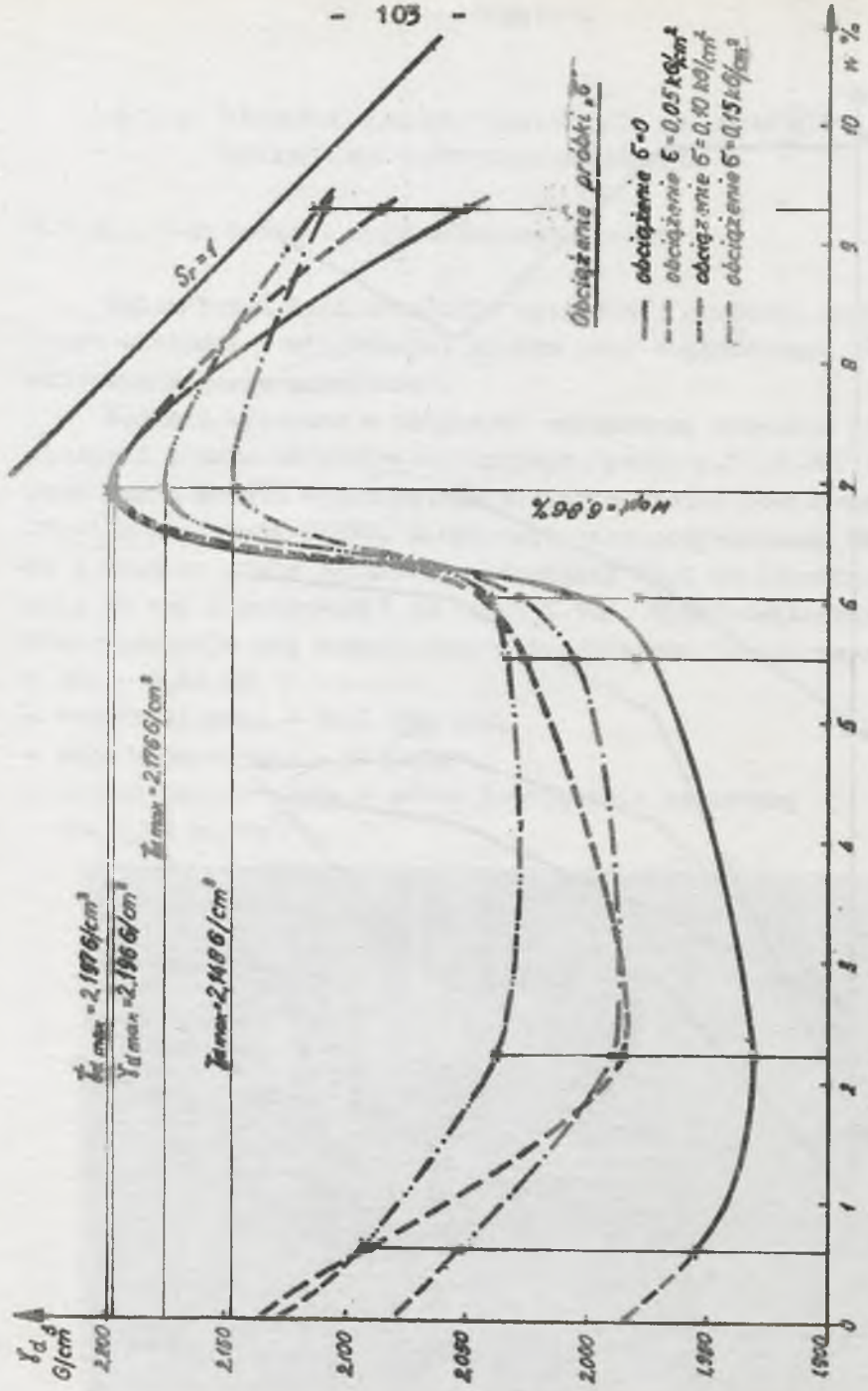


Tablica 4.4

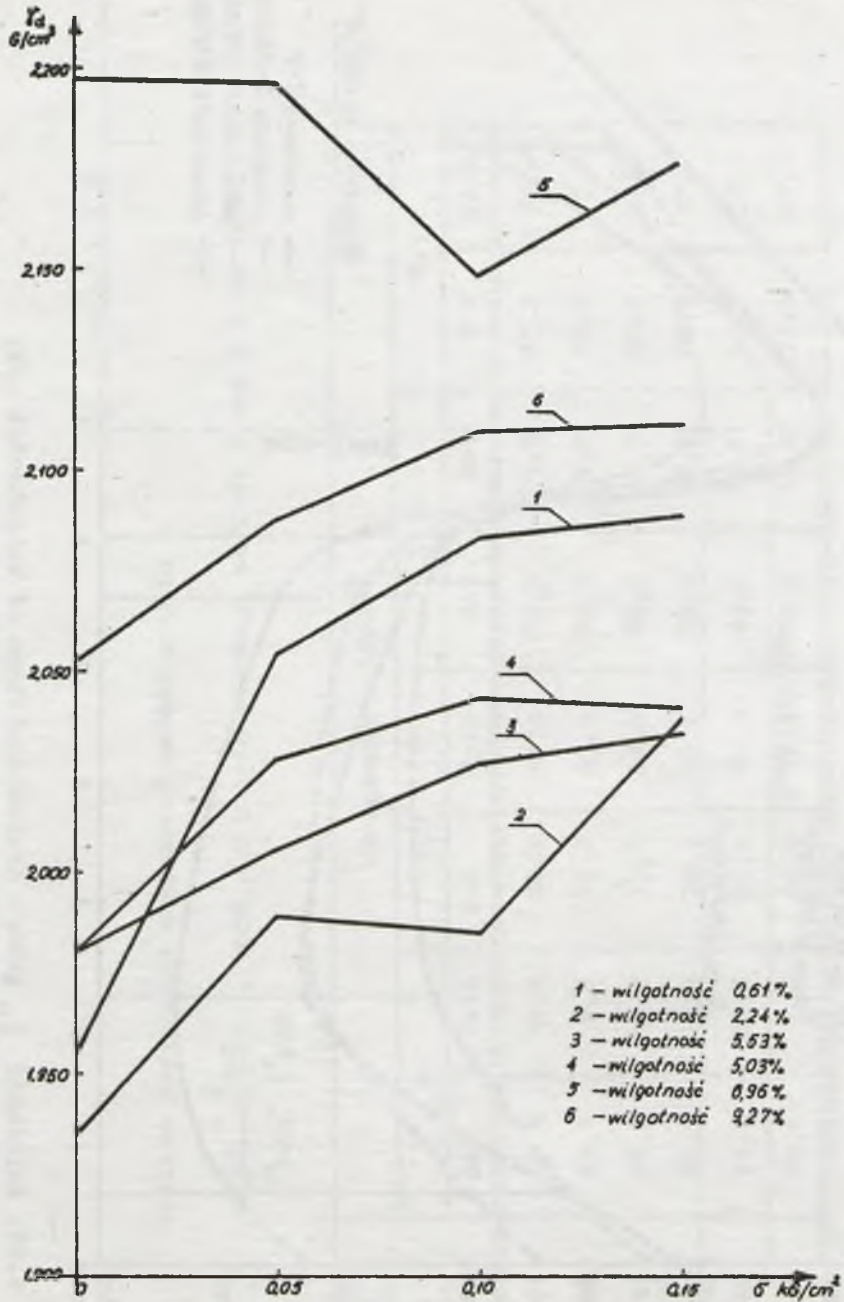
Analiza przyrządów zagęszczeń próbek gruntu

$$\frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}} \cdot 100\% \text{ w osi wibracji od 0 do 2 min i 2 do 12 min}$$

Wilgot. %	Obciążenie kg/cm <sup>2</sup>												
	0			0,05			0,10			0,15			
	0+2	2+12	0+2	2+12	0+2	2+12	0+2	2+12	0+2	2+12	0+2	0+12	
0,61	77,4	22,6	82,7	17,3	85,7	14,3	87,1	12,9	84,4	15,6	80,5	17,7	18,1
2,24	92,2	6,8	76,4	23,6	86,0	14,0	84,4	15,6	80,5	19,3	82,3	17,7	18,1
5,53	86,3	13,7	79,8	29,2	80,7	19,3	80,5	19,5	82,3	20,8	82,3	17,7	18,1
6,03	86,1	13,9	79,3	20,7	79,2	20,8	82,3	17,7	81,9	16,1	81,9	18,1	18,1
6,86	71,2	28,8	77,7	22,3	83,9	16,1	81,9	18,1	81,9	16,1	81,9	18,1	18,1
9,27	90,2	9,8	85,0	15,0	80,8	19,2	76,8	23,2	76,8	19,2	76,8	23,2	23,2



Rys. 4.28. Zależność  $G_d$  gruntu gruboziarnistego od wilgotności przy różnym obciążeniu próbki po czasie wibracji 12 min



Rys. 4.29. Zależność  $\gamma_d$  gruntu gruboziarnistego od obciążenia próbki i jej wilgotności po czasie wibracji 12 min



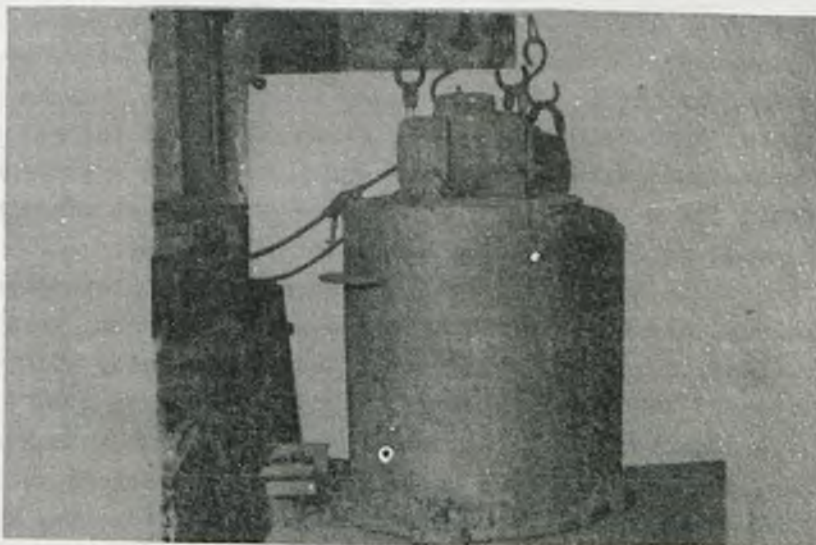
#### 4.3.4 BADANIA ZAGĘSZCZALNOŚCI ZA POMOCĄ WIBRATORA POWIERZCHNIOWEGO

##### 4.3.4.1. Cel badań i opis wykonanych badań

Celem badań było ustalenie optymalnej grubości warstwy, czasu wibracji i wilgotności gruntu przy zagęszczeniu za pomocą wibrowania powierzchniowego.

Badania wykonano w cylindrze metalowym, używanym do zagęszczeń gruntu na stole wibracyjnym /patrz p. 4.3.2/. Do zagęszczenia gruntu wykorzystano elektrowibrator powierzchniowy EWC-12b produkcji ZREMB. Elektrowibrator przymocowano za pomocą 4 śrub do płyty metalowej o średnicy 48,8 cm /średnica zbiornika 49 cm/ i grubości 8 cm /rys. 4.30/. Elektrowibrator EWC-12b charakteryzuje się następującymi parametrami technicznymi:

- moc - 0,40 kW,
- obroty silnika - 2925 obr/min,
- siła wymuszająca - 500 kG,
- ciężar wraz z płytą - 41 kG /obciążenie na próbkę  $\sigma = 0,02 \text{ kG/cm}^2$ /.



Rys. 4.30. Urządzenie do powierzchniowego zagęszczenia za pomocą elektrowibratora

Badania wykonano w dwóch cyklach:

- a/ cykl pierwszy miał na celu ustalenie liczby warstw i ich grubości, przy których stabilizuje się zagęszczenie,
- b/ cykl drugi miał na celu ustalenie wilgotności optymalnej przy ustalonej grubości warstwy.

Do badań użyto gruntu gruboziarnistego /próbka D-1/ o uziarnieniu podanym na rys. 4.22.

Metodyka badań oraz szczegółowe wyniki badań podano w załączniku nr 4.8.

#### 4.3.4.2. Analiza wyników i wnioski z badań

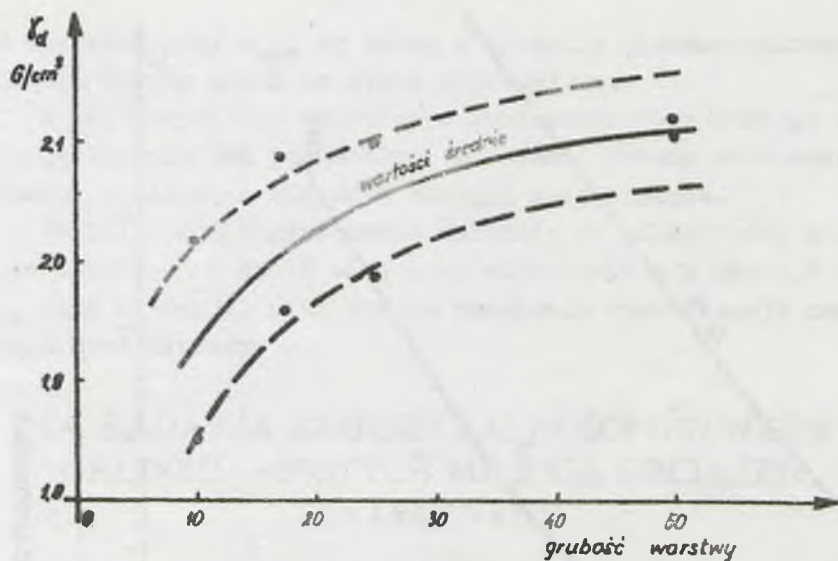
Na podstawie uzyskanych wyników zagęszczenia gruntu /rys. 4.31 i 4.32/ można jednoznacznie stwierdzić, że zagęszczenie gruntu jest największe w przypadku wibrowania w jednej warstwie o grubości ok. 50 cm, a więc przy grubości warstwy równej średnicy zbiornika. W pozostałych przypadkach uzyskiwano mniejsze wyniki zagęszczenia gruntu. Wibrowanie w kilku warstwach nie ma zasadniczo wpływu na zagęszczenie /rys. 4.32/.

Podczas wibrowania gruntu w pięciu warstwach po ok. 10 cm każda, obserwowano zjawisko częściowego rozvibrowania.

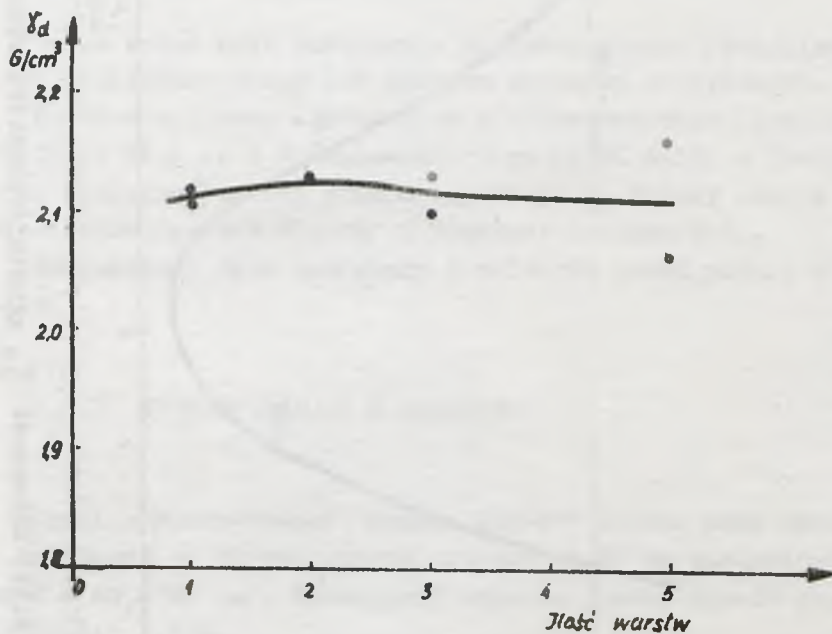
Zjawisko to występowało wyraźnie podczas zagęszczenia warstwy pierwszej i drugiej po około 3 minutach wibracji, by po 6 minutach powrócić prawie do stanu poprzedniego. Dalsza wibracja powodowała ciągły wzrost ciężaru objętościowego gruntu. Podczas wibrowania warstwy 3, 4 i 5 zjawisko to nie występowało tak wyraźnie jak w warstwach 1 i 2, jednakże przyrost ciężaru objętościowego po 3 minutach wibracji był nieznaczny.

Na podstawie uzyskanych wyników badań z cyklu pierwszego i ich analizy, badania cyklu drugiego wykonano w jednej warstwie o grubości ok. 50 cm, a więc zbliżonej do średnicy zbiornika. Zależność zagęszczenia od wilgotności podano na rys. 4.33.

Krzywa zagęszczalności wg tych badań ma podobny charakter jak z badań metodą ubijania w aparacie Proctora i metodą wibracji na stole wibracyjnym. Największe zagęszczenie uzyskano w stanie suchym i nieznacznie mniejsze przy wilgotności optymalnej / $w_{opt} = 6,5\%$ . Uzyskane zagęszczenie przy  $w_{opt}$  jest mniejsze

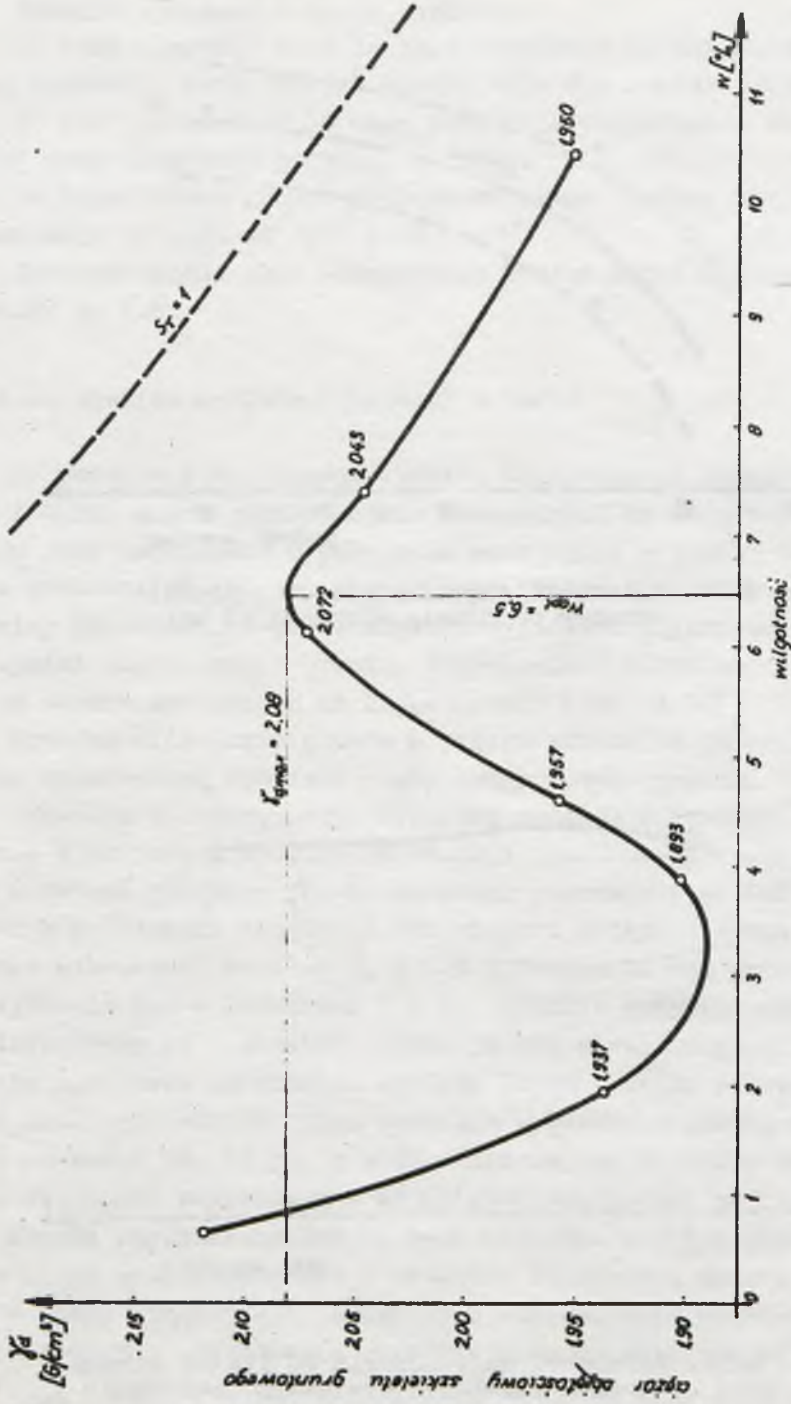


Rys. 4.31. Zależność zagęszczenia od grubości warstwy po czasie wibracji 12 min



Rys. 4.32. Zależność zagęszczenia od ilości warstw. Łączna grubość warstw ok. 50 cm. Czas wibracji każdej warstwy 12 min





Rys. 4.33. Zależność  $\gamma_d$  gruntu gruboziarnistego od wilgotności

niż uzyskane przy  $w_{opt}$  wg badań w aparacie wielkowymiarowym Proctora lub wg badań na stole wibracyjnym.

W celu uzyskania wibratorem powierzchniowym takiego samego zagęszczenia jak pozostałymi metodami, należy zastosować wibrator cięższy, o większej energii zagęszczenia.

Stabilizacja zagęszczenia zależy od wilgotności następuje po czasie od 6 do 12 min; przy wilgotnościach ok.  $0,5 \div 1,0$   $w_{opt}$  czas wibracji, przy którym następuje stabilizacja zagęszczenia jest dłuższy.

#### 4.4. BADANIA ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH METODĄ OBCIĄŻEŃ STATYCZNYCH

##### 4.4.1 CEL I METODYKA BADAŃ

Celem badań było określenie zagęszczalności /ściśliwości/ gruntu gruboziarnistego pod wpływem obciążeń statycznych.

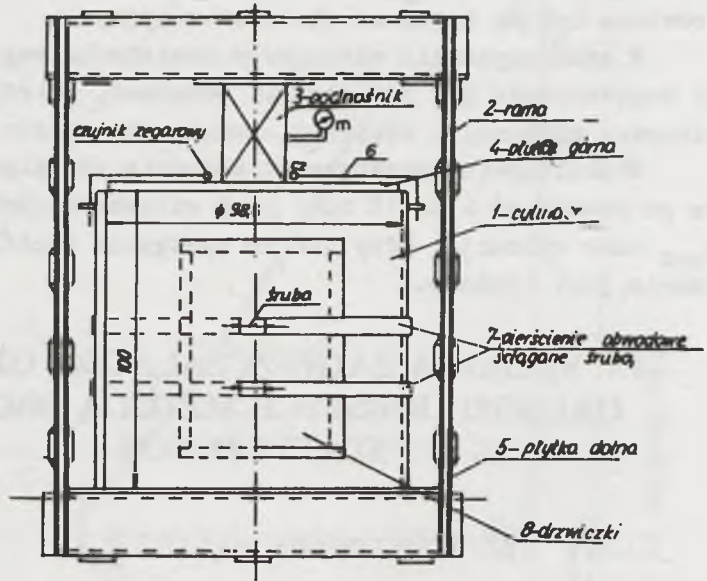
Badania wykonano w edometrze wielkowymiarowym /rys. 4.34/ o średnicy 96,6 cm i średniowymiarowym /rys. 4.35/ o średnicy 49 cm. Wykonano badania gruntu używanego do budowy zapory Wisła-Czarne /próbka WCz-IV/ i Dobczyce /próbka D-1/.

Szczegółowy opis aparatury i metodykę badań podano w zał. nr 4.9.

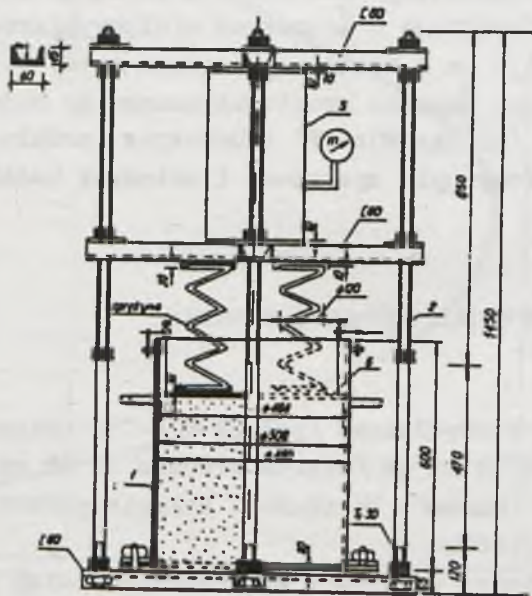
##### 4.4.2 WYNIKI BADAŃ I WNIOSKI

Grunt z Wisły-Czarne /próbka WCz-IV/ badano przy uziarnieniu mniejszym od 80 mm /ziarna grubsze od 80 mm zastąpiono ziarnami  $d = 60 \div 80$  mm/. Wykonano 2 badania próbki WCz-IV przy wilgotności 2,60%.

Wyniki badań w postaci zależności osiadań próbki od obciążenia podano na rys. 4.36.

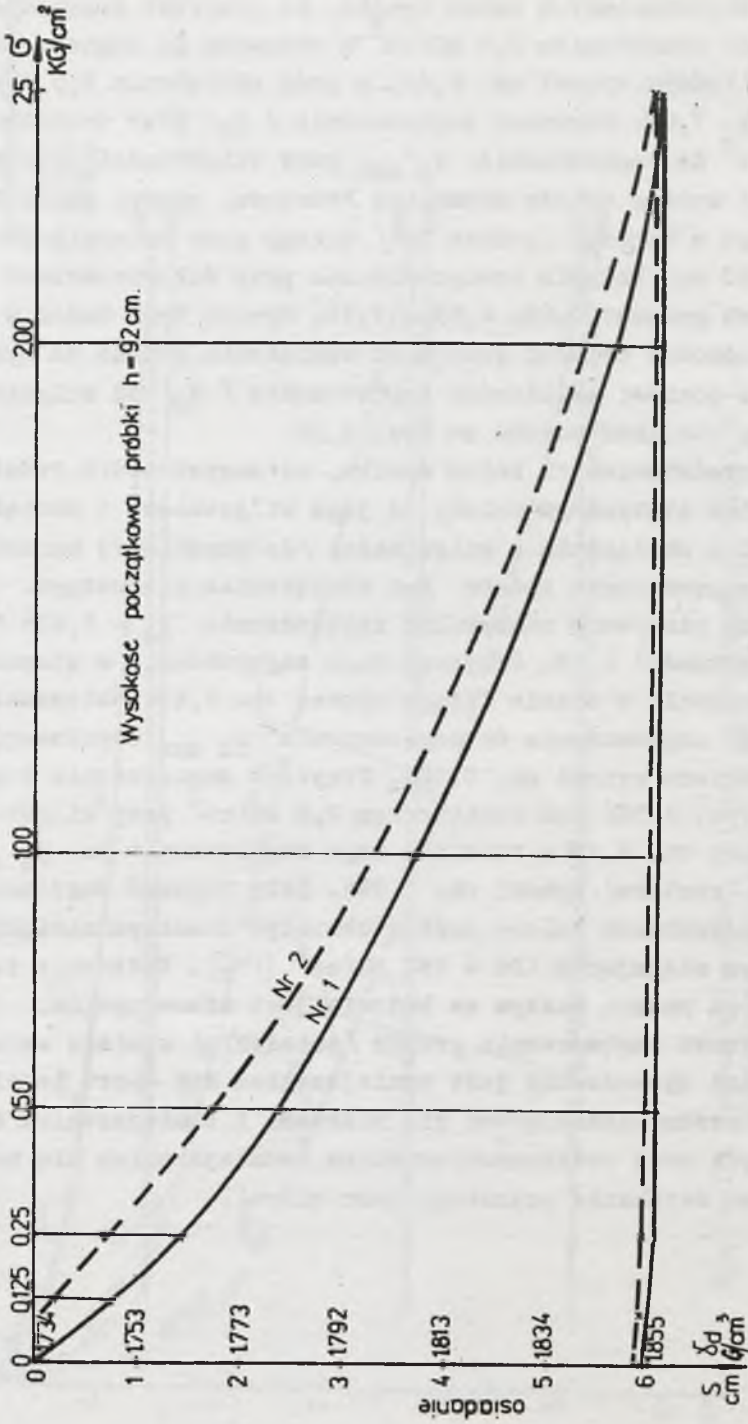


Rys. 4.34. Edometr wielkowymiarowy



Rys. 4.35. Edometr średniowymiarowy





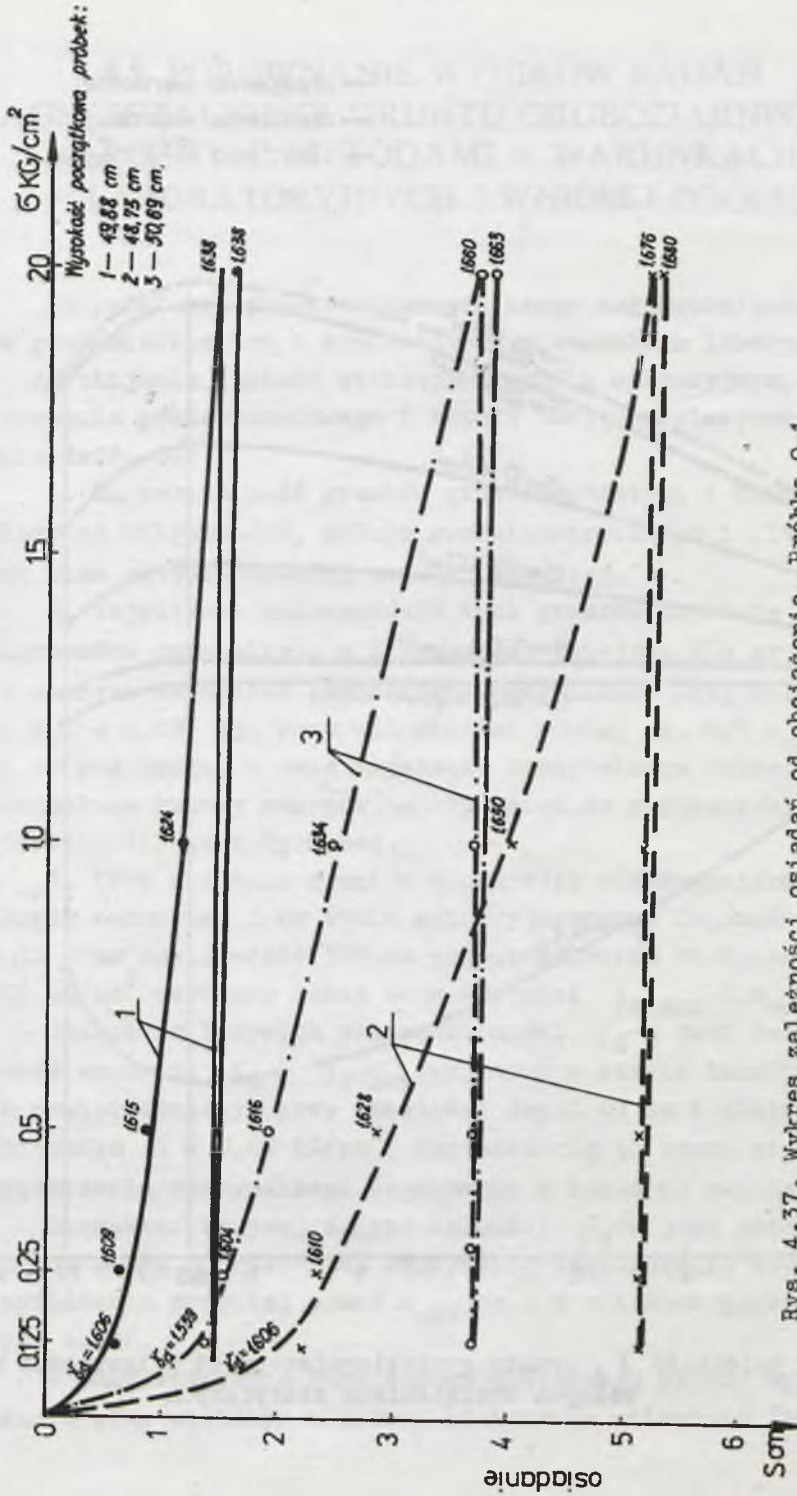
Rys. 4.36. Wykres zależności osiadań od obciążenia. Próbka W-Cz IV.  
Grunt luźno nasypany przy wilgotności  $w = 2,6\%$

Z przedstawionych badań wynika, że przyrost zagęszczenia gruntu pod obciążeniem  $2,0 \text{ kG/cm}^2$  w stosunku do zagęszczenia w stanie luźnym wynosi ok. 6,4%, a przy obciążeniu  $2,5 \text{ kG/cm}^2$  wynosi ok. 7,0%. Stosunek zagęszczenia /  $\gamma_d$ / przy obciążeniu  $2,0 \text{ kG/cm}^2$  do zagęszczenia  $\gamma_{d \text{ max}}$  przy wilgotności optymalnej, uzyskanej według metody normalnej Proctora, wynosi ok. 0,87.

Grunt z Dobczyc /próbka D-1/ badano przy uziarnieniu mniejszym od 80 mm. Badania przeprowadzono przy wilgotnościach początkowych gruntu: 0,6%, 6,6% i 7,7%. Wyniki tych badań w postaci zależności osiadań gruntu od obciążenia podano na rys. 4,37, a w postaci zależności zagęszczenia /  $\gamma_d$ / od wilgotności i zakresu obciążeń podano na rys. 4.38.

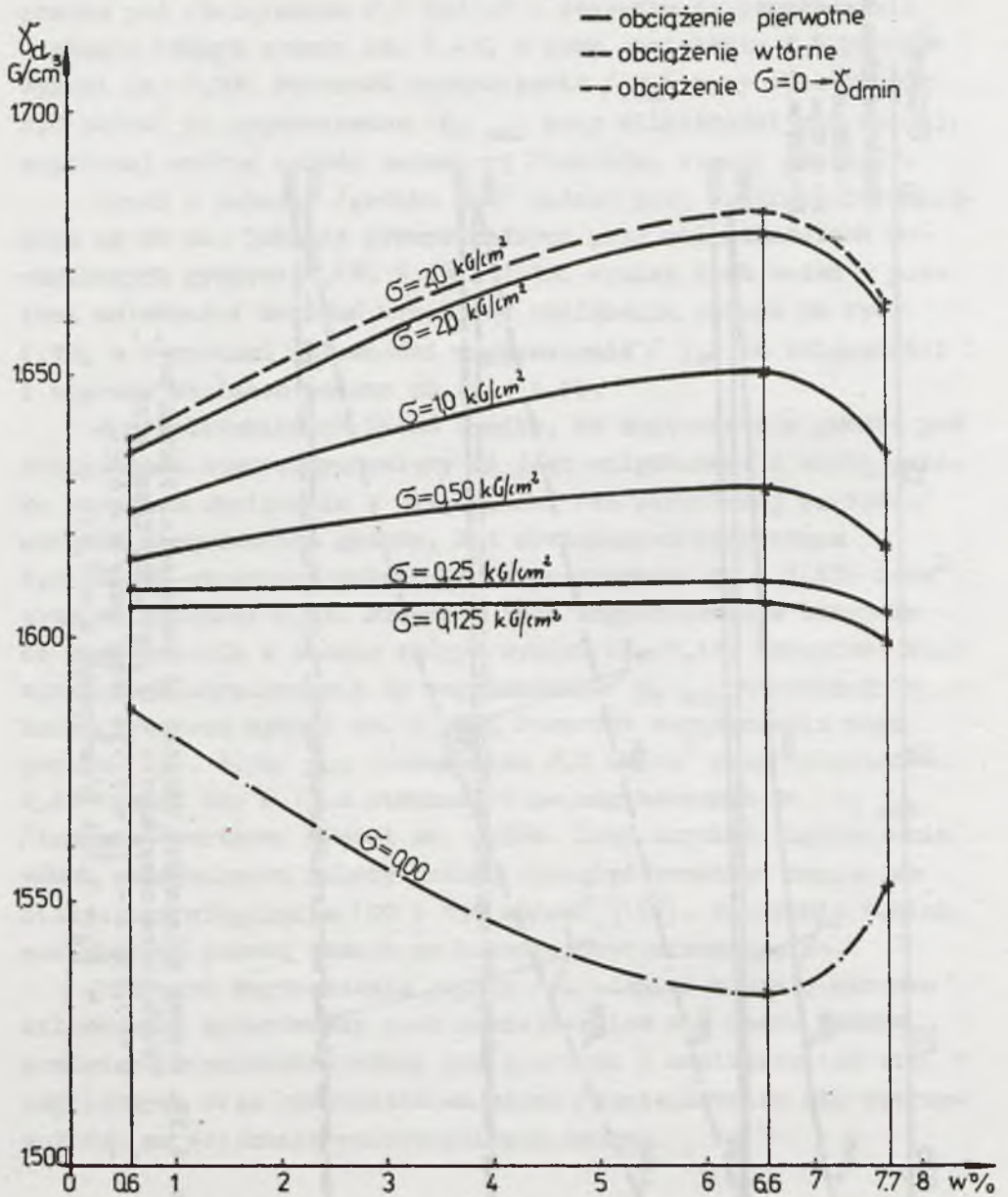
Z przedstawionych badań wynika, że zagęszczenie gruntu pod obciążeniem statycznym zależy od jego wilgotności i obciążenia. Ze wzrostem obciążenia i wilgotności /do określonej wartości/ wzrasta zagęszczenie gruntu. Pod obciążeniem pierwotnym  $2,0 \text{ kG/cm}^2$  otrzymano maksymalne zagęszczenie  $\gamma_d = 1,676 \text{ G/cm}^2$  przy wilgotności 6,6%. Przyrost tego zagęszczenia w stosunku do zagęszczenia w stanie luźnym wynosi ok. 9,4%. Natomiast stosunek tego zagęszczenia do zagęszczenia  $\gamma_{d \text{ max}}$  uzyskanego z badań Proctora wynosi ok. 0,776. Przyrost zagęszczenia tego gruntu /rys. 4.38/ pod obciążeniem  $2,0 \text{ kG/cm}^2$  przy wilgotności 2,6% wynosi ok. 6,1% a stosunek tego zagęszczenia do  $\gamma_{d \text{ max}}$  /badania Proctora/ wynosi ok. 0,766. Żeby uzyskać zagęszczenie równe maksymalnemu należy próbkę obciążyć znacznym naciskiem statycznym sięgającym  $100 \div 150 \text{ kG/cm}^2$  [156]. Zadawanie takich nacisków za pomocą maszyn na budowie jest nieosiągalne.

Przyrost zagęszczenia gruntu /osiadania/ w miarę wzrostu wilgotności spowodowany jest zmniejszeniem się oporu tarcia pomiędzy przemieszczającymi się ziarnami i zmniejszeniem sił kapilarnych oraz rozkruszaniem ziarn /zmniejszeniem się wytrzymałości na ściskanie poszczególnych ziarn/.



Rys. 4.37. Wykres zależności osiadań od obciążenia. Próbkę 0-1.  
 Grunt luźno nasypny: 1 -  $\gamma_d = 1,586 \text{ T/cm}^3$  przy  $w = 0,64$ ; 2 -  $\gamma_d = 1,532 \text{ T/cm}^3$  przy  $w = 6,6\%$ ; 3 -  $\gamma_d = 1,554 \text{ T/cm}^3$  przy  $w = 7,7\%$ .





Rys. 4.38. Zależność  $\chi_d$  gruntu gruboziarnistego od wilgotności przy różnych obciążeniach statycznych

## 4.5. PORÓWNANIE WYNIKÓW BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU GRUBOZIARNISTEGO RÓŻNYMI METODAMI W WARUNKACH LABORATORYJNYCH I WNIOSKI OGÓLNE

Na podstawie przeprowadzonych badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych w warunkach laboratoryjnych metodą ubijania, metodą wibracji na stole wibracyjnym, metodą wibrowania powierzchniowego i metodą obciążeń statycznych można stwierdzić, że:

1. Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych zależy od wilgotności, składu granulometrycznego i litologicznego oraz od zastosowanej metody badawczej.

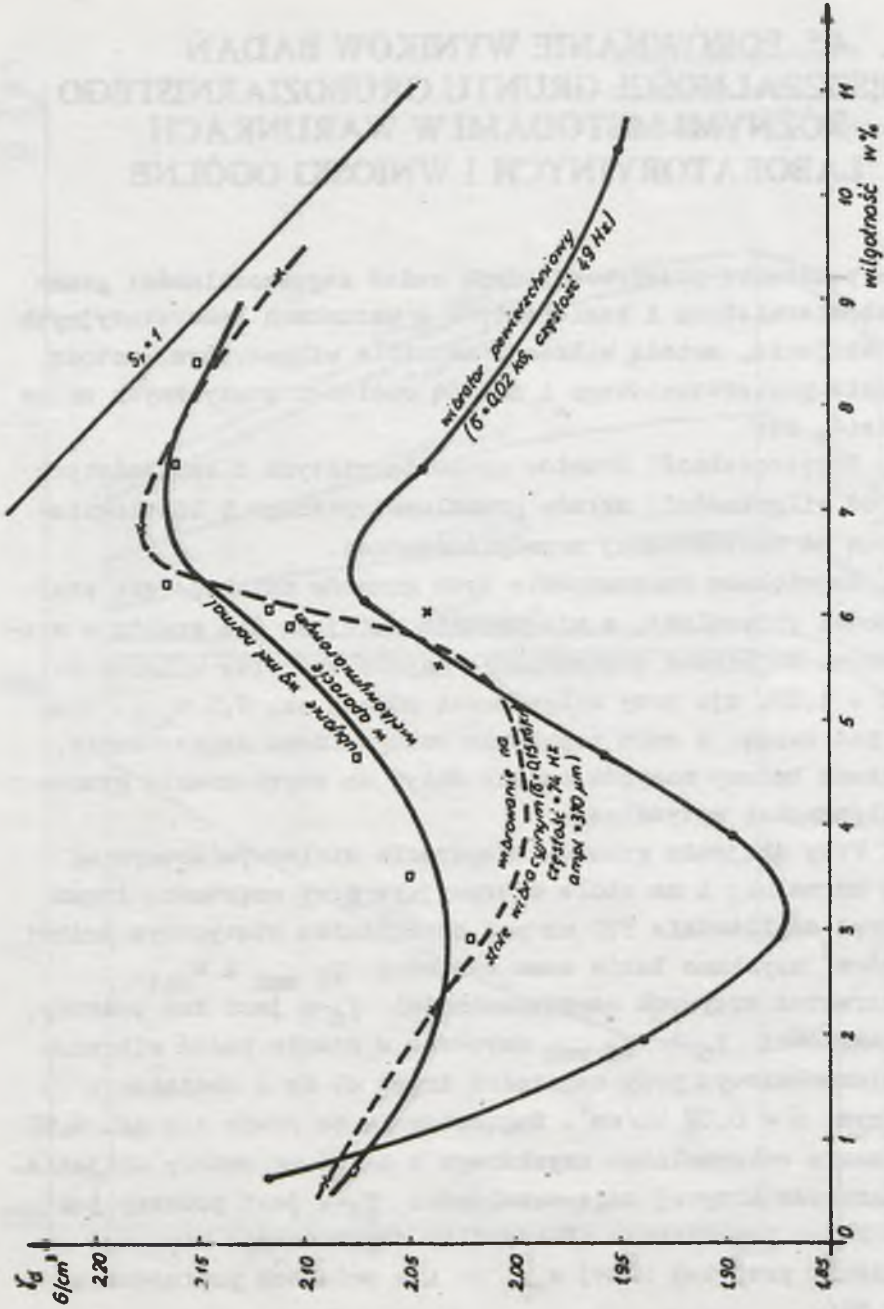
2. Największe zagęszczenie tych gruntów uzyskuje się przy wilgotności optymalnej, a nieznacznie mniejsze dla gruntu w stanie suchym. Najniższe zagęszczenie uzyskiwano przy wilgotności ok.  $3,0 \div 4,0\%$ , tj. przy wilgotności równej ok.  $0,5 w_{opt}$ . Biorąc to pod uwagę, w celu uzyskania maksymalnego zagęszczenia, w warunkach budowy nasypów należy dążyć do zagęszczenia gruntu przy wilgotności optymalnej.

3. Przy ubijaniu gruntów w aparacie wielkowymiarowym wg energii normalnej i na stole wibracyjnym przy częstotliwości drgań 74 Hz oraz amplitudzie  $370 \mu m$  pod obciążeniem statycznym próbki  $0,15 \text{ kg/cm}^2$  uzyskano takie same wartości  $\gamma_d^{max}$  i  $w_{opt}$ .

Charakter krzywych zagęszczalności  $\gamma_d$ -w jest też podobny. Niższe wartości  $\gamma_d$  i  $\gamma_d^{max}$  uzyskano w czasie badań wibratorem powierzchniowym przy częstotliwości drgań 49 Hz i obciążeniu statycznym  $\sigma = 0,02 \text{ kg/cm}^2$ . Zagęszczenie to równa się ok.  $0,96$  zagęszczenia maksymalnego uzyskanego z badań wg metody ubijania.

Charakter krzywej zagęszczalności  $\gamma_d$ -w jest podobny jak dla obu metod poprzednich. Maksymalne zagęszczenie uzyskano w przybliżeniu przy tej samej  $w_{opt}$  co i w metodach poprzednich /rys. 4.39/.

W celu uzyskania tego samego obciążenia należy wykonywać badania przy większym ciężarze statycznym wibratora [156], [172].



Rys. 4.39. Zależność  $G_d$  od wilgotności dla gruntu gruboziarnistego od wilgotności dla różnych metod zagęszczania



Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych na stole wibracyjnym jest wygodniejsza niż wibratorem powierzchniowym. Najniższe zagęszczenie uzyskano przy zagęszczaniu za pomocą obciążeń statycznych /  $\sigma_{\max} = 2,0 \text{ kg/cm}^2$  / w edometrze. Maksymalne zagęszczenie według tej metody wynosi ok. 0,78 zagęszczenia maksymalnego uzyskanego w aparacie wielkowymiarowym metodą ubijania. Żeby uzyskać zagęszczenie równe maksymalnemu należy próbkę obciążać znacznym obciążeniem statycznym /  $\sigma > 100 \text{ kH/cm}^2$  / [156]. W warunkach budowy nasypów zadawanie takich nacisków za pomocą maszyn jest niemożliwe.

4. Na zagęszczalność gruntów metodami wibracyjnymi mają decydujący wpływ parametry wibracji /patrz p. 4.3/. Na podstawie otrzymanych wyników badań można przyjąć, że największe zagęszczenie gruntu na stole wibracyjnym uzyskano przy częstotliwości drgań 74 Hz i amplitudzie 370  $\mu\text{m}$  pod obciążeniem statycznym próbki ok.  $0,15 \text{ kg/cm}^2$  /rys. 4.26 i 4.29/.

Przyspieszenie drgań przy tym obciążeniu statycznym powinno być większe od  $6000 \text{ cm/s}^2$  /rys. 4.27/. D.D. Barkan [32] przy wibrowaniu piasków uzyskał największe zagęszczenie przy przyspieszeniu ok.  $5000 \text{ cm/s}^2$ .

5. Wysokość próbki przy badaniu metodami wibracyjnymi powinna być równa średnicy aparatu. Badania należy przeprowadzać w jednej warstwie.

6. Stabilizacja zagęszczenia metodami wibracyjnymi następuje po ok.  $6 \div 12 \text{ min}$  /zależnie od wilgotności gruntu/. Czas wibracji gruntu na stole wibracyjnym w celu określenia  $\gamma_{d \max}$  i  $w_{\text{opt}}$  powinien wynosić ok. 12 min.

7. Maksymalny przyrost zagęszczenia gruntu w czasie wibracji w stosunku do zagęszczenia gruntu w stanie luźnym wynosi ok.  $14 \div 35\%$ . Przyrost ten zależy od rodzaju gruntu i wilgotności.

Przyrost zagęszczenia uzyskanego w czasie wibrowania gruntu w stosunku do zagęszczenia w stanie luźnym /przy tych samych wilgotnościach/ jest większy przy wzroście wilgotności /tablica 4.3/.



# OCENA WYNIKÓW BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH ZA POMOCĄ MASZYN

## 5.1. WSTĘP

Opracowanie racjonalnej technologii zagęszczania gruntów w nasypie za pomocą sprzętu będącego do dyspozycji wykonawcy robót ziemnych, do założonego wskaźnika lub stopnia zagęszczenia, wymaga przeprowadzenia próbnych badań zagęszczalności. W czasie próbnych badań ustala się najbardziej przydatną maszynę, grubość zagęszczanej warstwy, ilość przejazdów maszyny zagęszczającej oraz metody kontroli zagęszczenia gruntu w nasypie.

Analizując wyniki badań z literatury [157], [158], [159], [160] widzimy, że zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamiennistych 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 /liczba przejazdów maszyny/.

W przypadku stosowania maszyn wibracyjnych o intensywnym oddziaływaniu bardzo duży wpływ na zagęszczenie wywiera również rozkruszanie się ziarn [157], co w przypadku gruntów fliszowych występujących w naszych warunkach może mieć duże znaczenie.

Istniejące w literaturze obcej [157], [158], [159], [160] dane otrzymane z badań na innych gruntach niż nasze oraz przy użyciu innego sprzętu nie mogą być bezpośrednio przeniesione na nasze warunki.

Zachodziła więc konieczność wykonania odpowiednich badań. Badania takie m.innymi przeprowadzono w czasie wykonawstwa zapór w Tresnej, Głębinowie, Wiśle-Czarnem i Dobczycach w byłej Katedrze Geotechniki Politechniki Warszawskiej /obecnie Zakład Geotechniki Instytutu Dróg i Mostów/ [161], [162], [163] oraz w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej [165].



## 5.2. PRÓBNE BADANIA ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH

### 5.2.1 BADANIA PRZEPROWADZONE NA BUDOWIE ZAPORY W TRESNEJ

Na budowie zapory w Tresnej próbne badania zagęszczalności przeprowadzono za pomocą następującego sprzętu:

- spycharki gąsienicowej D-157,
- kroczącej zagęszczarki wibracyjnej BCM-2,
- obciążonych samochodów "Praha" i "Tatra",
- ogumionego walca wielokołowego "Madro".

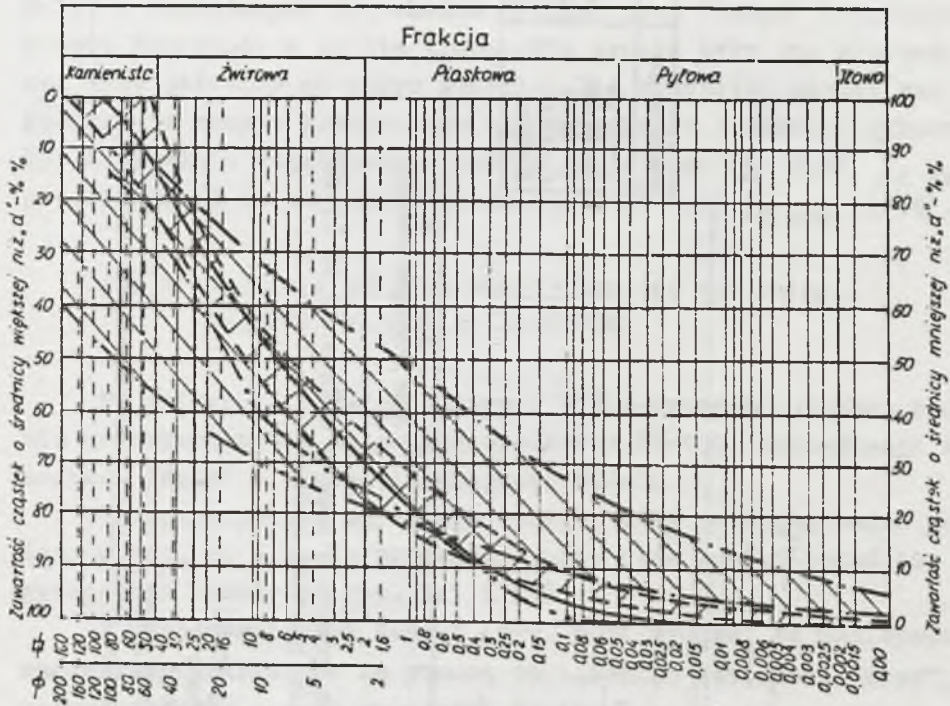
Charakterystykę wyżej wymienionego sprzętu oraz metodykę badań podano w zał. 5.1.

Uziarnienie badanego gruntu podano na rys. 5.1.

Wyniki przeprowadzonych badań zagęszczenia podano na rys. 5.2. Z przeprowadzonych badań wynika, że najlepsze zagęszczenie uzyskano za pomocą zagęszczarki wibracyjnej BCM-2 i obciążonego samochodu "Tatra" /20 t/. Najsłabszy efekt zagęszczania uzyskano za pomocą ogumionego walca wielokołowego "Madro".

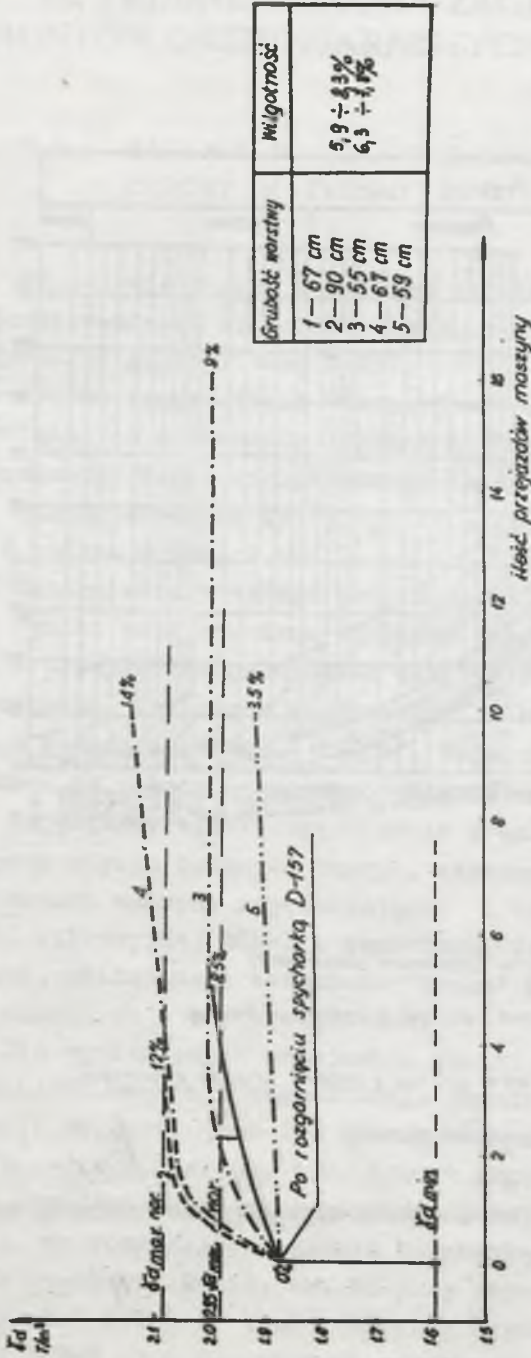
Największy efekt zagęszczenia gruntu możliwy do osiągnięcia przy użyciu badanych maszyn, uzyskano przy początkowych przejazdach maszyny zagęszczającej i tak przy użyciu zagęszczarki wibracyjnej BCM-2 i samochodu "Tatra" /20 t/ po 1-2 przejazdach, obciążonego samochodu "Praha" po 2 + 3 przejazdach, a spycharki po 4 + 5 przejazdach.

Dla wymienionych przejazdów obciążonego samochodu "Praha" i spycharki wskaźnik zagęszczenia gruntu jest nieznacznie większy od 0,95, natomiast dla BCM-2 i samochodu "Tatra" wskaźnik zagęszczenia wynosi ok. 1,0. Wzrost zagęszczenia gruntu po ok. 1 + 4 przejazdach maszyny zagęszczającej w stosunku do zagęszczenia, po rozgarnięciu gruntu spycharką wynosi: ok. 8,5% przy użyciu spycharki D-157, ok. 9% przy użyciu obciążonych samochodów "Praha" /11,5 t/ i ok. 12% przy użyciu zagęszczarki wibracyjnej BCM-2 oraz obciążonych samochodów "Tatra" /20 t/.



- Grunt z zapory w Głębinowie (złóże nr 2)
- ▤▤▤▤ Zakres uziarnienia gruntu z zapory w Tresnej
- ▥▥▥▥ Zakres uziarnienia gruntu z zapory w Wście - Czarnem.
- ..... Grunt z zapory w Dobzycach

Rys. 5.1. Wykresy uziarnienia gruntu używanego do prógnych zapór:



Rys. 5.2. Zależność zagęszczenia gruntu z zapory w Tresnej od liczby przejazdów badanej maszyny

- 1 - spycharka D-157
  - 2 - zagęszczarka wibracyjna BCM-2
  - 3 - obciążony samochód „Praga”
  - 4 - obciążony samochód „Tatra”
  - 5 - ogumiony wałek wieloletowy „Madro”
- 14% - Wzrost zagęszczenia w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu spycharką.



Sypanie gruntu z wywrotek oraz plantowanie za pomocą spycharki powoduje wstępne zagęszczenie gruntu ok. 18% w stosunku do zagęszczenia gruntu w stanie luźnym /  $\gamma_d \text{ min}$  /.

Grunt w korpusie statycznym zapory w Tresnej zagęszczano warstwami o grubości 40 ÷ 50 cm trzema przejazdami spycharek D-157 i obciążonych samochodów "Praha" oraz "Tatra" dowożących grunt. Samochody w czasie transportu gruntu były tak kierowane, żeby jeździły po całym nasypie. Dla przyjętej metody zagęszczania nasypu statycznego zapory badania kontrolne wykazały, że średnie zagęszczenie nasypu równe jest ok. 0,95  $\gamma_d \text{ max}$ , a tylko 16,6% ma zagęszczenie mniejsze od 0,9  $\gamma_d \text{ max}$  [164].

### 5.2.2 BADANIA PRZEPROWADZONE NA BUDOWIE ZAPORY W WIŚLE-CZARNEM

Na poligonie doświadczalnym w Wiśle-Czarnem wykonano badania zagęszczalności za pomocą spycharki SM-100, obciążonego samochodu "Kraz" i walca wibracyjnego WDJ-06.

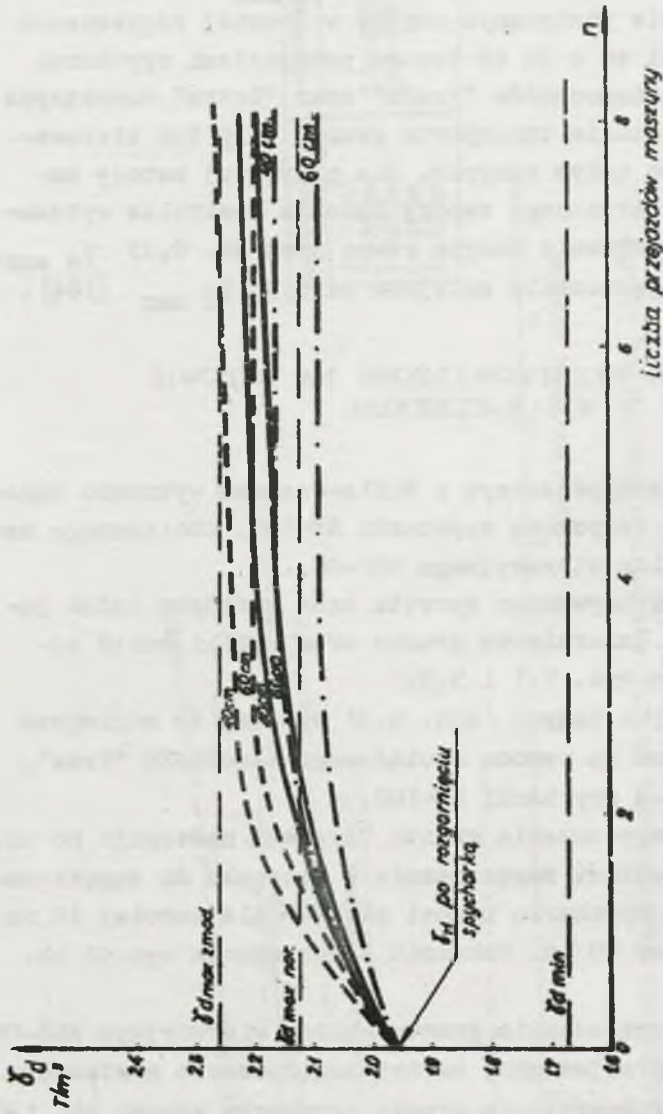
Charakterystykę używanego sprzętu oraz metodykę badań podano w zał. nr 5.1. Uziarnienie gruntu oraz wyniki badań zagęszczenia podano na rys. 5.1 i 5.3.

Z przedstawionych danych /rys. 5.3/ wynika, że najlepsze zagęszczenie uzyskano za pomocą obciążonego samochodu "Kraz", najmniejsze za pomocą spycharki SM-100.

Stabilizacja zagęszczenia gruntu "Krazem" następuje po ok. 2 ÷ 3 przejazdach; wzrost zagęszczenia w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu spycharką wynosi ok. 20% dla warstwy 40 cm i ok. 12% dla warstwy 60 cm. Wskaźnik zagęszczenia wynosi ok. 1,03 ÷ 1,05.

Stabilizacja zagęszczenia gruntu walcem wibracyjnym WDJ-06 następuje po ok. 4 przejazdach; wzrost zagęszczenia w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu gruntu spycharką wynosi ok. 12% dla warstwy 40 cm i ok. 10% dla warstwy 60 cm. Wskaźnik zagęszczenia wynosi ok. 0,97 ÷ 1,01.

Natomiast stabilizacja zagęszczenia gruntu spycharką następuje po ok. 4 ÷ 5 przejazdach; wzrost zagęszczenia w stosun-



Rys. 5.3. Zależność zagęszczenia gruntu od liczby przejazdów maszyny i grubości warstwy / zapora w Wiśle-Czarnem/

- — — — — zagęszczenie spycharką SM100 (wilgotność =  $3,2 \div 8,7\%$ )
  - - - - - zagęszczenie obciążonymi samochodem „Kraz” (wilgotność =  $3,6 \div 9,8\%$ )
  - — — — — zagęszczenie wałkiem wibracyjnym (wilgotność =  $4,4 \div 9,5\%$ )
- 40cm - grubość warstwy

ku do zagęszczenia po rozgarnięciu gruntu spycharką wynosi ok. 10% dla warstwy 40 cm i ok. 7% dla warstwy 60 cm.

Sypanie gruntu z wywrotek oraz plantowanie za pomocą spycharki powoduje wstępne zagęszczenie gruntu ok. 17% w stosunku do gruntu w stanie luźnym /  $\gamma_d \text{ min}$  /.

Do zagęszczenia gruntu w korpusie zapory jako sprzęt zasadniczy stosowano spycharki SM-100. Grunt w warstwach o grubości 30 ÷ 40 cm zagęszczano 4 przejazdami ślad po śladzie spycharki.

Poza tym dodatkowe zagęszczenie uzyskiwano obciążonymi samochodami "Kraz" dowożącymi grunt. Średni ciężar objętościowy szkieletu gruntowego gruntu wbudowanego w korpus zapory wynosił 2,158 G/cm<sup>3</sup>. Zagęszczenie mniejsze od 0,95  $\gamma_d \text{ max}$  posiada ok. 14% zbadanych próbek [168].

### 5.2.3 BADANIA PRZEPROWADZONE NA BUDOWIE ZAPORY W GŁĘBINOWIE

Na poligonie w Głębinowie wykonano badania zagęszczalności za pomocą przyczepnego walca wibracyjnego SVAW-25 produkcji NRD o ciężarze 3,9 t.

Metodykę badań podano w zał. nr 5.1.

Uziarnienie gruntu oraz wyniki przeprowadzonych badań zagęszczenia podano na rys. 5.1, 5.4 i 5.5.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zagęszczenie gruntu zależy od grubości usypanej warstwy i liczby przejazdów walca.

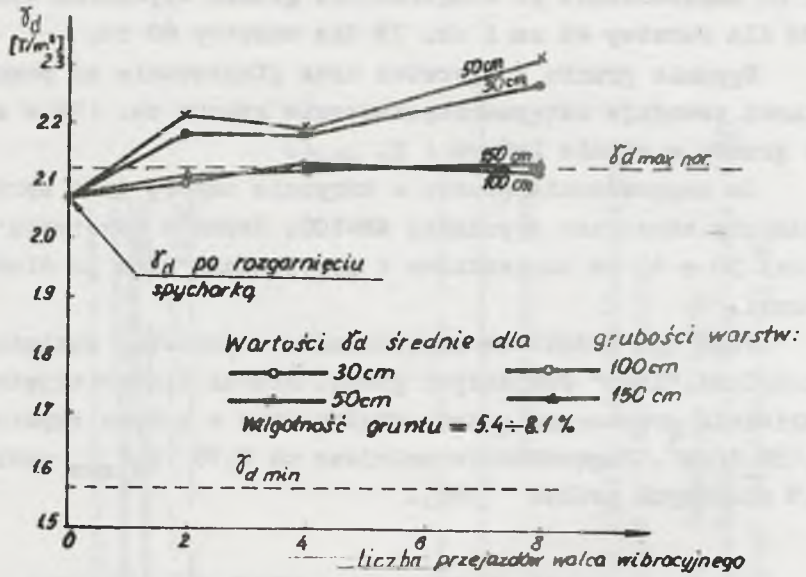
Można przyjąć, że stabilizacja zagęszczenia warstwy o grubości 30 ÷ 50 cm następuje po 2 przejazdach walca, a warstwy o grubości 100 ÷ 150 cm po 4 przejazdach walca.

Wskaźnik zagęszczenia gruntu przy tych przejazdach walca wynosi ok. 1,0 ÷ 1,03.

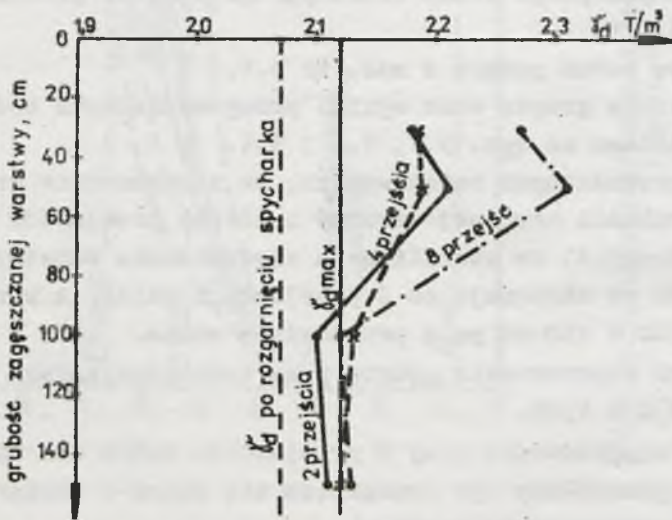
Wzrost zagęszczenia przy 8 przejazdach walca dla warstw 30 i 50 cm spowodowany był kruszeniem się ziarn w powierzchniowej strefie zagęszczonej warstwy.

W warstwach o grubości powyżej 100 cm największe zagęszczenie uzyskuje się w strefie do głębokości ok. 50 cm. Zagęszcze-





Rys. 5.4. Zależność zagęszczenia gruntu od ilości przejazdów walca wibracyjnego typu SVAW-25 i grubości warstwy /Zapora Głębinów, grunt ze złoża nr 2/



Rys. 5.5. Zależność  $\gamma_d$  od grubości warstwy i ilości przejeżdż walca SVAW-25

nie warstwy o grubości 30 i 50 cm jest prawie jednakowe i jest ok. 3 ÷ 4% większe od średniego zagęszczenia warstwy 100 i 150 cm.

W czasie przesuwania gruntu spod taśmociągu i formowania warstwy za pomocą spycharki uzyskano wzrost zagęszczenia ok. 32% w stosunku do zagęszczenia w stanie luźnym. Natomiast maksymalny wzrost zagęszczenia po 8 przejazdach walca wibracyjnego SVAW-25 wynosi średnio 3% dla warstw o grubości 100 i 150 cm i ok. 10% dla warstw o grubości 30 i 50 cm w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu spycharką.

Badania kontrolne zagęszczenia korpusu zapory głównej wykonywanego warstwami o grubości ok. 60 cm, które zagęszczono 3 przejazdami w/w walca, wykazały średnie zagęszczenie  $\gamma_d = 2,098 \text{ G/cm}^3$ , a tylko ok. 10,6% próbek ma zagęszczenie mniejsze od  $2,0 \text{ G/cm}^3$  166 .

#### 5.2.4 BADANIA PRZEPROWADZONE NA BUDOWIE ZAPORY W DOBCZYCACH

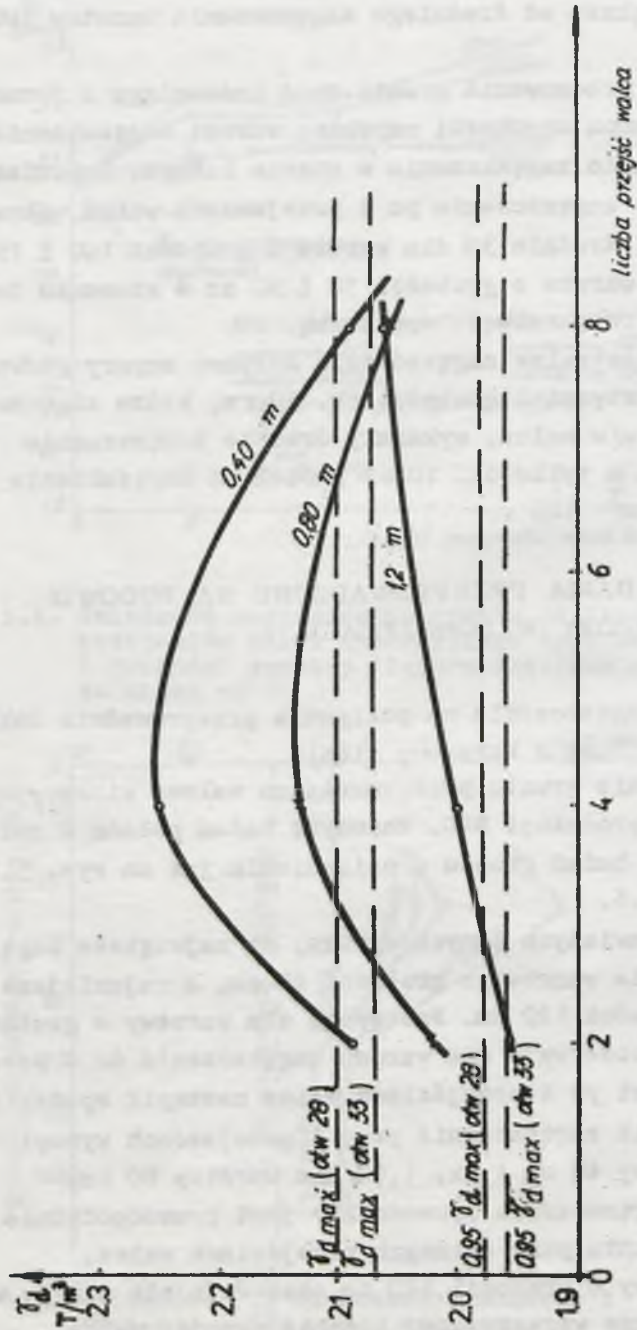
Badania zagęszczenia na poligonie przeprowadził Zakład Hydrotechniki IMiGM z Warszawy [165].

Zagęszczanie gruntu przeprowadzano walcem wibracyjnym o ciężarze 12 t produkcji NRD. Metodę badań podano w załączniku nr 5.1. Wyniki badań gruntu o uziarnieniu jak na rys. 5.1 podano na rys. 5.6.

Z przedstawionych danych wynika, że największe zagęszczenie uzyskano dla warstwy o grubości 40 cm, a najmniejsze dla warstwy o grubości 120 cm. Następnie dla warstwy o grubości 40 cm i 80 cm obserwuje się wzrost zagęszczenia do 4 przejść walca, natomiast po 4 przejściach walca nastąpił spadek zagęszczenia. Wskaźnik zagęszczenia przy 4 przejazdach wynosi ok. 1,08 dla warstwy 40 cm i ok. 1,02 dla warstwy 80 cm.

Spadek zagęszczenia spowodowany jest prawdopodobnie rozwibrowaniem gruntu przy dalszych przejściach walca.

Dla warstwy o grubości 120 cm obserwuje się ciągły wzrost zagęszczenia przy wzrastającej liczbie przejść walca.



Rys. 5.6. Wykres zależności liczby przejazdów walca wibracyjnego 12 t po jednym śladzie na poletku doświadczalnym w Dobrycach /wilgotność gruntu: 5,7 - 7,9%



Wskaźnik zagęszczenia 1,0 uzyskano na warstwy o grubości 40 cm po ok. 2 przejściach walca, dla warstwy 80 cm po ok. 3 przejściach walca, a dla warstwy 120 cm po ok. 9 przejściach walca.

### 5.3. ANALIZA I WNIOSKI Z UZYSKANYCH WYNIKÓW POLOWYCH BADAŃ GRUNTU

1. Grunty gruboziarniste i kamieniste zagęszczają się łatwo, stabilizacja zagęszczenia warstw o grubości ok. 40 + 80 cm następuje po ok. 2 ÷ 3 przejazdach ciężkich maszyn /obciążone samochody, o ciężarze 20 ÷ 25 t, walce wibracyjne 4 t, zagęszczarki wibracyjne 3,5 t/ i po ok. 4 przejazdach maszyn lżejszych /spycharki, lżejsze samochody o ciężarze 12 t, lekkie walce wibracyjne/. Wzrost zagęszczenia gruntu przy tych liczbach przejazdów w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu spycharką wynosi ok. 7 + 20%, a wskaźnik zagęszczenia jest większy od 0,95, a dla sprzętu wibracyjnego jest większy od 1,0 i wynosi 1,0 ÷ 1,08. Dla ciężkich walców wibracyjnych /12 t/ przy większej liczbie przejazdów niż 4 zaobserwowano rozwibrowywanie zagęszczonych warstw o grubości 40 + 80 cm.

2. Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych zależy od pochodzenia i uziarnienia gruntu, grubości zagęszczonej warstwy, rodzaju maszyny, liczby przejazdów maszyny po tym samym miejscu. Grunty z Wisły, przy zagęszczeniu ich podobnym sprzętem jak w Tresnej, wykazały większe wartości ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego /  $\gamma_d$  /. Większe zagęszczenie gruntu z Wisły związane jest między innymi grubszym uziarnieniem. Wraz ze wzrostem grubości warstw zmniejsza się zagęszczenie gruntu.

3. Najlepszym sprzętem do zagęszczania gruntów gruboziarnistych i kamienistych jest ciężki sprzęt wibracyjny /walce wibracyjne o ciężarze > 3,9 t, zagęszczarki wibracyjne o ciężarze > 3,5 t/. Przy zagęszczeniu gruntów wymienionym sprzętem nie należy dopuścić do rozwibrowania gruntu; należy określić badaniami odpowiednią liczbę przejazdów.

Obciążone samochody do zagęszczania gruntu gruboziarnistego i kamienistego są dobre, z tym, że zagęszczanie tym sprzętem jest nieekonomiczne. Samochody można wykorzystywać do zagęszczania przez odpowiednie kierowanie nimi po nasypie w czasie transportu gruntu. Stosowanie do zagęszczania gruntów gruboziarnistych i kamienistych spycharek jest też nieekonomiczne, gdyż aby uzyskać ten sam efekt zagęszczenia co sprzętem ciężkim należy zagęszczać grunt warstwami cieńszymi i przy większej liczbie przejazdów spycharki ślad po śladzie.

Walec wielokołowy "Madro" nie nadaje się do zagęszczania gruntów gruboziarnistych i kamienistych, gdyż uzyskiwane efekty zagęszczania tym walcem są znikome.

4. Z gruntu używanego do budowy nasypów należy usuwać kamienie grubsze od  $2/3 \div 3/4$  grubości warstwy, gdyż kamienie grubsze utrudniają zagęszczanie i kontrolę zagęszczenia.

5. W celu opracowania technologii zagęszczania gruntów, w korpusie zapory lub innym nasypie o znacznej objętości należy wcześniej wykonać badania próbne, na podstawie których można będzie wybrać optymalne grubości warstw i liczby przejazdów dla dysponowanego sprzętu oraz opracować metodykę kontroli zagęszczenia.

## ANALIZA METOD KONTROLI ZAGĘSZCZENIA GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH

Zagęszczenie niespoistych gruntów w nasypach określa się zwykle na podstawie wskaźnika zagęszczenia  $I_B$  lub stopnia zagęszczenia  $I_D$  [174]. Wskaźniki te można obliczać na podstawie znajomości ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego /  $\gamma_d$  / gruntu w nasypie i znajomości  $\gamma_{d \max}$  i  $\gamma_{d \min}$  określonych z badań zagęszczalności /metod Proctora i metody wibracji/ omówionych w rozdziale 4 albo na podstawie badań nieniszczących "in situ" /za pomocą urządzeń odpowiednio wyskalowanych/.

W tym rozdziale zostaną omówione metody badań  $I_B$  i  $I_D$  oparte na pomiarze ciężaru objętościowego i wilgotności gruntu

z pobranych próbek /określenie  $\gamma_d$ / oraz metody badań nieniszczących, "in situ" przy użyciu urządzeń.

Ciężar objętościowy szkieletu gruntowego /  $\gamma_d$ / gruntu określa się ze wzoru

$$\gamma_d = \frac{100 \gamma}{100 + w} \quad [\text{G/cm}^3], \quad /6.1/$$

gdzie:

$\gamma$  - ciężar objętościowy gruntu, w  $\text{G/cm}^3$ ,  
 $w$  - wilgotność gruntu, w %.

Z powyższego wzoru wynika, że do określenia  $\gamma_d$  konieczna jest znajomość ciężaru objętościowego gruntu /  $\gamma$ / i wilgotności /  $w$ /.

Do określania  $\gamma$  i  $w$  stosuje się różne metody.

## 6.1. METODY OKREŚLANIA CIĘŻARU OBJĘTOŚCIOWEGO GRUNTU NA PODSTAWIE POBIERANIA PRÓBEK

### 6.1.1 METODA POBIERANIA GRUNTU DO CYLINDRÓW MIAROWYCH

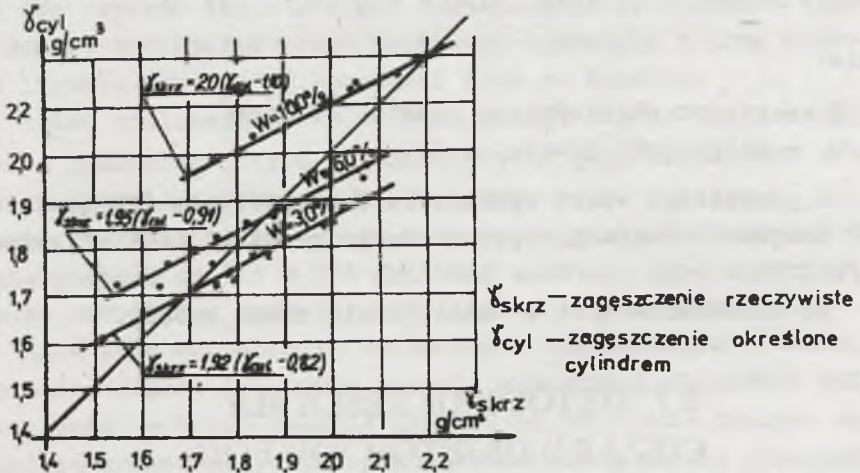
Pomiar ciężaru objętościowego za pomocą cylindrów miarowych [83], [84], [85] jest metodą najbardziej rozpowszechnioną w praktyce. Polega ona na wciśnięciu cienkościennego metalowego cylindra w grunt i po dokładnym wyrównaniu powierzchni, zważeniu go wraz z gruntem.

Przy badaniu gruntów gruboziarnistych /żwirowych/ powinna obowiązywać zasada, żeby minimalna średnica cylindra wynosiła co najmniej  $5 d_{\max} / d_{\max}$  - maksymalna średnica badanego gruntu/. Najodpowiedniejszy stosunek wysokości do średnicy cylindra jest ok. 1,0.

Metoda ta do badania gruntów gruboziarnistych ma jednak ograniczone zastosowanie ze względu na trudność wciskania cylindra w grunt oraz ze względu na znaczne naruszenie struktury zagęszczonego gruntu.



Z badań przeprowadzonych przez J.Reczka [81] wynika, że podczas wciskania cylindra w grunt następuje naruszenie struktury gruntu w cylindrze; dogęszczenie przy słabym zagęszczeniu i rozluźnienie przy bardzo dobrym zagęszczeniu. Stopień naruszenia struktury zależy też od wilgotności gruntu /rys. 6.1/.



Rys. 6.1. Wyniki pomiarów zagęszczenia gruntu / $d_{max} = 25$  mm/ cylindrem w stosunku do zagęszczenia rzeczywistego [81]

Biorąc powyższe pod uwagę, przed badaniem zagęszczenia nasypów z gruntów gruboziarnistych - żwirowych, należy laboratoryjnie dla odpowiednich przedziałów wilgotności ustalić odpowiednie poprawki dla mierzonego ciężaru objętościowego gruntu.

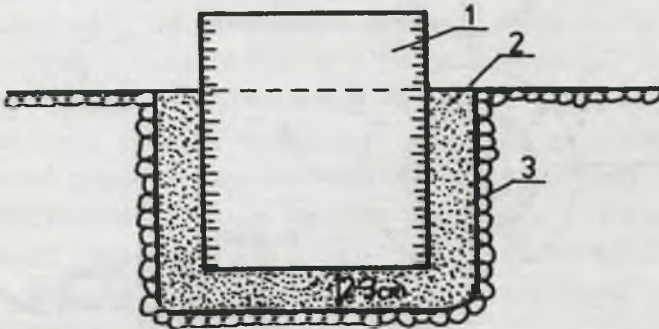
### 6.1.2 METODA PIASKU KALIBROWEGO

Piaskiem kalibrowanym nazywa się piasek o ziarnach zaokrąglonych, przemyty, wysuszony w temperaturze 105°C i przesiany przez sита o oczkach kwadratowych w ten sposób, aby jego uziarnienie zawierało się w niewielkim przedziale /np. 1 ÷ 2 mm lub 0,5 ÷ 1,0 mm [85]/. J.Adamczyk [82] podaje, że średnica ziaren

powinna być większa od 1 mm, gdyż piasek złożony z ziaren mniejszych jest podatny na zawilgocenie w stopniu powodującym zmiany ciężaru objętościowego. Pomiar ciężaru objętościowego gruntu odbywa się następująco. W gruncie wykonuje się wykop o pewnej objętości, wybrany materiał waży, a wykop wypełnia piaskiem kalibrowanym o znacznym ciężarze objętościowym w stanie luźnym. Wypełnianie dołka piaskiem kalibrowanym może się odbywać poprzez sypanie go przez lejek [86] lub też przy zastosowaniu objętościomierza piaskowego [85]. Piasek musi całkowicie wypełniać wykonany dołek. Znając ciężar wsypanego piasku do dołka oraz  $\gamma$  piasku w stanie luźnym można obliczyć objętość dołka. Ponieważ znany jest również ciężar wybranego z wykopu gruntu, można stąd obliczyć ciężar objętościowy gruntu  $\gamma$ .

Dokładność tej metody zależy od objętości dołków w zależności od uziarnienia gruntu. Z.Janiak [87] podaje, że dla nasypów wykonanych ze żwirów i pospółek minimalna objętość dołka powinna wynosić  $2500 \text{ cm}^3$ , a ciężar gruntu wydobytego z dołka powinien być większy od 5 kg.

K.W. Aleksiejew [86] do badania gruntów żwirowo kamienistych przy użyciu piasku kalibrowanego /rys. 6.2/ stosował wykopy o objętości ok. 10 l. Przy stosowaniu tej metody błędy



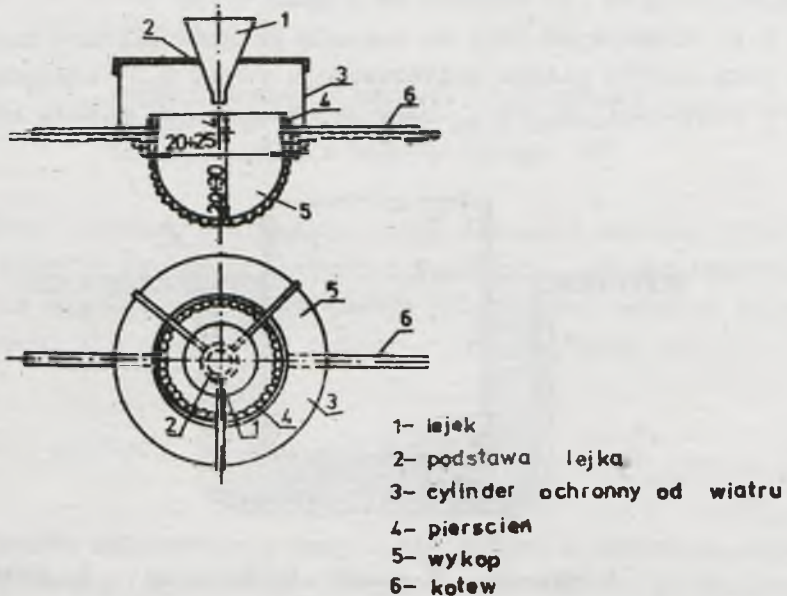
1—zbiornik; 2—piasek kalibrowany; 3—dołek.

Rys. 6.3. Pomiar objętości wykopu za pomocą elementu o znanej objętości i piasku kalibrowanego

mogą osiągać wartości 12% określonego ciężaru objętościowego gruntu [88].

W celu zmniejszenia błędu oznaczania ciężaru objętościowego gruntów żwirowo-kamienistych, objętość wykopów uzależniana jest od średnicy ziaren maksymalnych wbudowanego gruntu. Przykładowo [87], na zaporze Oroville /USA/ dla gruntu o  $d_{max} = 76$  mm pobierano próbki o objętości około 34 l, natomiast dla gruntu o  $d_{max} = 150$  mm objętość próbek wynosiła do 300 l. Na zaporze Mont-Cenis /Francja/ dla gruntu o  $d_{max} = 150$  mm objętość próbek wynosiła około 100 l. Na zaporze Cougar /USA/ dla gruntu o  $d_{max} = 300$  mm objętość wykopu wynosiła 600 l.

W celu zmniejszenia ilości piasku potrzebnego do wypełnienia tak dużych objętości wykopów na budowie zapory Orto-Tckojskiej wykorzystano do kontroli zagęszczenia gruntu kamienistego / $d_{max} \leq 200$  mm/ metodą opracowaną przez SANIIRI [89]. Istota



Rys. 6.2. Pomiar objętości wykopu za pomocą piasku kalibrowanego



tej metody polega na częściowym zastąpieniu piasku kalibrowanego elementem o znanej objętości /rys. 6.3/. Błąd określenia według tej metody jest w porównaniu do poprzedniej około 2 razy mniejszy [89].

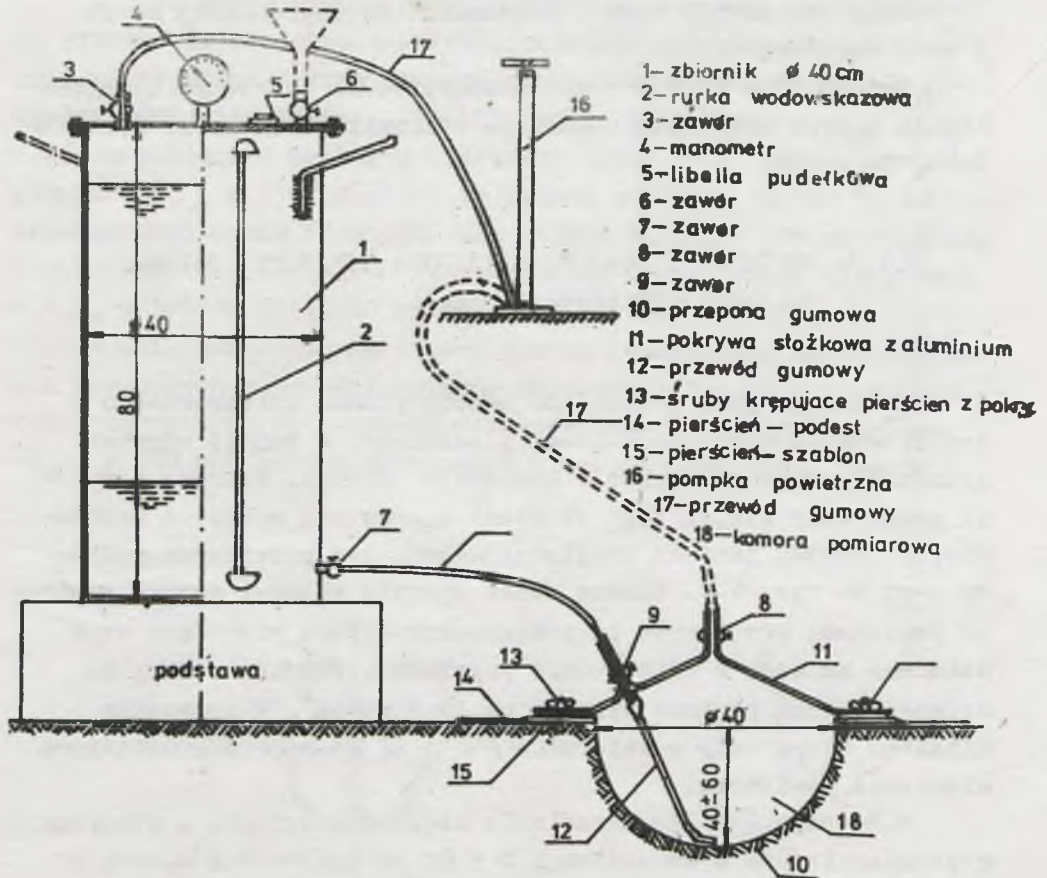
Metoda ta w Polsce została zastosowana do kontroli zagęszczenia nasypu obwałowania górnego zbiornika Elektrowni Porąbka-Żar [176].

### 6.1.3 METODA Z ZASTOSOWANIEM APARATU MEMBRANOWEGO (Przeponowego)

Metoda ta jest podobna do metody piasku kalibrowanego z zastosowaniem objętościomierza piaskowego. W badanej warstwie gruntu wykonuje się wykop w kształcie półkuli. Wybrany z wykopu grunt waży się, a jego objętość mierzy się aparatem membranowym. Schemat pomiaru objętości wykopu tym przyrządem pokazany jest na rys. 6.4. Główną część aparatu stanowi gumowa membrana dociskana przez wodę do powierzchni wykopu miarowego oraz zbiornik na wodę z odpowiednią podziałką. Ciśnienie wody na ścianki wykopu powinno wynosić ok.  $0,1 \text{ kg/cm}^2$ . W przypadku niskiego słupa wody w zbiorniku /  $< 1 \text{ m}$  / stosuje się dodatkowo ciśnienie powietrza.

M.Baveaux [91] do określania objętości wykopów w gruntach gruboziarnistych o uziarnieniu  $0 \div 80 \text{ mm}$  zastosował aparat o objętości zbiornika 18 l /średnica 26 cm i wysokość 50 cm/. Objętość badanych wykopów wynosiła  $12 \div 14 \text{ l}$ . Na podstawie modelowych badań porównawczych i analizy statystycznej stwierdzono, że objętości mierzone za pomocą aparatu membranowego są mniejsze od rzeczywistych o ok. 1,5%. Jest to częściowo spowodowane tym, że guma membrany nie może wypełniać wszystkich nieregularności powierzchni dołka.

Podobny aparat przedstawiony jest w pracy [76]. B.Gilg [90] podaje, że do badania gruntów kamienistych o  $d_{\text{max}} < 200 \text{ mm}$  /objętość wykopów ok. 200 l/ metoda przeponowa jest niewystarczająca, gdyż popełnia się błąd systematyczny; ciężary  $\gamma_d$  są stale za wysokie i to często o 10%. Wyjaśnienia przyczyny

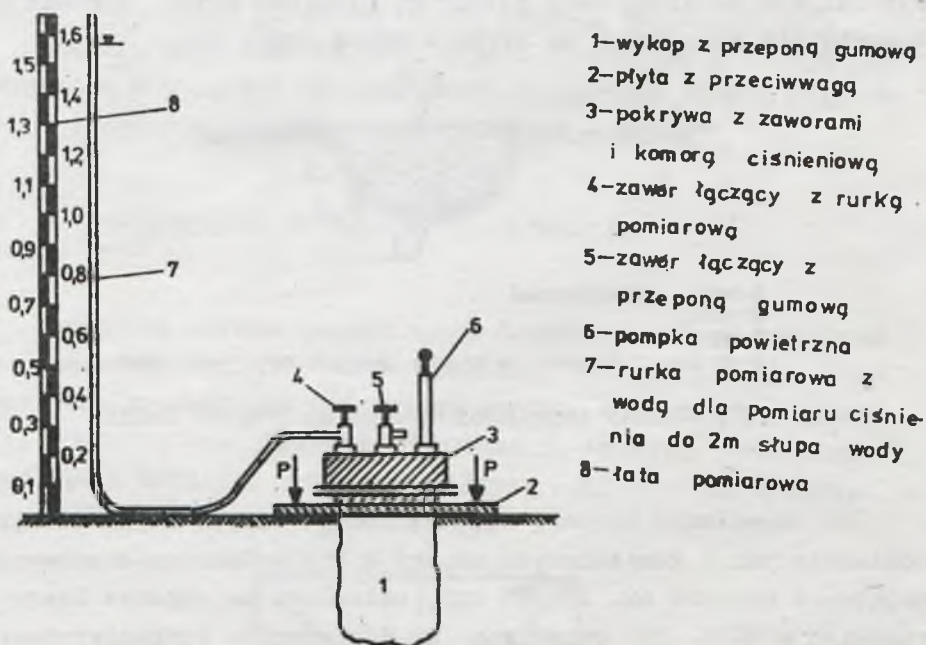


Rys. 6.4. Schemat pomiaru objętości wykopu aparatem membranowym /przeponowym/

szuka się w odkształcaniu ścian wykopu po jego wykonaniu. W Polsce do badania gruntów gruboziarnistych aparat membranowy został wykonany przez SGGW, o objętości cylindra ok. 6 l [93] oraz w 1968 r. przez Katedrę Geotechniki Politechniki Warszawskiej /projekt autora rys. 6.4/, umożliwiającą badanie wykopów o objętości ok. 70 l [70], [92].

Aparat ten jest używany do pomiaru objętości wykopów w gruntach gruboziarnistych / $d < 80$  mm/. Błąd względny oznaczania objętości tym aparatem nie przekracza 1,5%.

Na rys. 6.5 przedstawiony jest aparat membranowy - powietrzny, w którym do pomiaru objętości wykopu można wykorzystać sprężone powietrze i zależności wynikające z prawa Boyle'a i Mariotte'a [54].



Rys. 6.5. Aparat przeponowy - powietrzny

#### 6.1.4 METODA Z ZASTOSOWANIEM FOLII I WODY

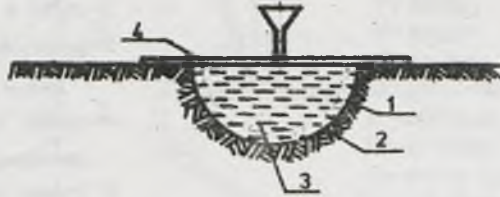
Pomiar ciężaru objętościowego przy użyciu folii syntetycznej oparty jest na podobnej zasadzie jak przy aparacie membranowym. Wykonany w gruncie wykop wykłada się cienką folią polietylenową /lub polichlorowinyłową/. Grubość używanej folii powinna się zawierać w granicach 0,01 + 0,15 mm /im cieńsza folia tym dokładniej dopasowuje się do ścianek wykopu, lecz szybciej ulega zniszczeniu/. Wyłożony folią wykop zalewa się wodą mierząc w ten sposób jego objętość.



Stosowanie wody gorącej powoduje dokładniejsze przyleganie folii do gruntu. Znając wcześniej ciężar wybranego z wykopu gruntu, określa się jego ciężar objętościowy.

Powierzchnia gruntu w miejscu planowanego wykopu powinna być dokładnie wyrównana do poziomu.

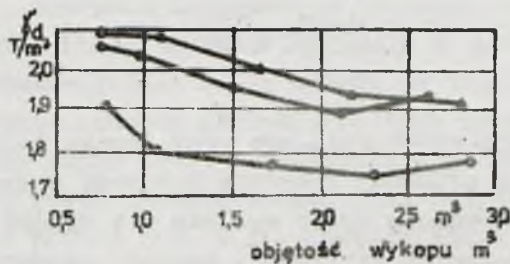
W celu dokładnego określenia objętości wykopu po częściowym nalaniu do niego wody należy go przykryć szybą /z pleksi/ a następnie wodę dolać do styku z szybą /rys. 6.6/.



- 1-folia polietylenowa
- 2-nasyp
- 3-woda
- 4-szyba z otworem w którym zamocowany jest lejek

Rys. 6.6. Pomiar objętości wykopu za pomocą folii i wody

Do określania ciężaru objętościowego nasypu z gruntów gruboziarnistych i kamienistych zapory w Wiśle-Czarnem stosowano objętości wykopów ok.  $25\ 000\ \text{cm}^3$ , natomiast na zaporze Czarnowskiej w ZSRR [95] określono, że dla gruntów gruboziarnistych i kamienistych o  $d_{\text{max}} = 500\ \text{mm}$  minimalna objętość wykopu przy tej metodzie powinna wynosić ok.  $2\ \text{m}^3$  /rys. 6.7/. Największy



Rys. 6.7. Zależność  $\gamma_d$  gruntu gruboziarnistego od objętości próbki [95]

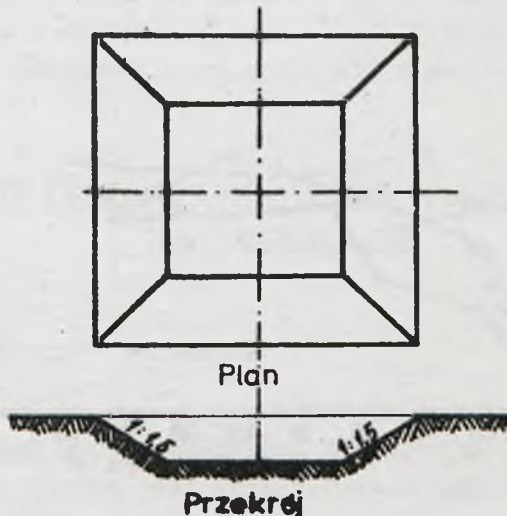
błąd pojedynczego określania  $\gamma$  przy tej metodzie nie przewyższa 1,5% [95]. Metoda ta, podobnie jak metoda z zastosowaniem aparatu membranowego, daje zawyżone wartości  $\gamma$  ze względu na niedokładne przyleganie folii do ścian wykopu.

Z.Janiak [87] określił, że objętość wykopów określona przy użyciu folii i wody  $V = 2 \div 3$  l/ jest mniejsza od objętości wykopów określonej piaskiem kalibrowanym o ok.  $3,2 \div 20\%$ .

Badania zagęszczenia przy użyciu folii i wody trwają krócej i wymagają mniejszego nakładu pracy niż metoda piasku kalibrowanego i aparatu membranowego z wodą.

### 6.1.5 METODA WYKOPÓW MIAROWYCH

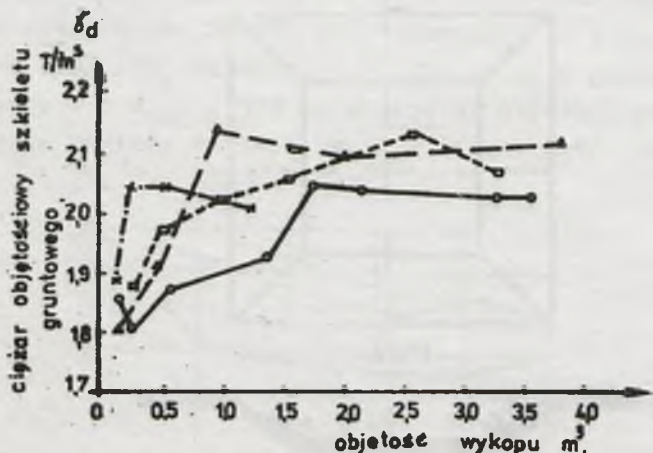
Metoda ta polega na wykonaniu foremnego wykopu, pomiarze jego geometrycznych elementów potrzebnych do obliczenia objętości oraz na zważeniu wydobytego urobku. W gruntach sypkich wykop powinien mieć kształt odwróconego, ściętego ostrosłupa o podstawie możliwie kwadratowej /rys. 6.8/. Metodę wykopów



Rys. 6.8. Plan i przekrój dołu do pomiaru zagęszczenia gruntów sypkich

miarowych przeważnie stosuje się do gruntów gruboziarnistych i kamienistych. Wykop badawczy wykonuje się o głębokości równej grubości zagęszczonej warstwy. Objętość wykopów miarowych w gruntach gruboziarnistych i kamienistych ze względu na dokładność uzależniona jest od uziarnienia  $d_{max}$ . Na przykład dla zapory Mattmark w Szwajcarii [90] ustalono, że dla gruntu o uziarnieniu do 200 mm wykop powinien mieć  $6 \text{ m}^3$ . Na zaporze Göschenenalp [109] wobec konieczności określania  $\gamma$  z dużą dokładnością /wymagano błędu mniejszego niż 1% pobierano próbki o objętości około  $200 \text{ m}^3 / d_{max}$  gruntu wynosiła około 2000 mm/.

W celu określenia najmniejszej objętości wykopu, przy której ustala się ciężar objętościowy gruntu gruboziarnistego i kamienistego o  $d_{max} < 120 \text{ mm}$ , autor w zagęszczonym nasypie zapory w Tresnej wykonał serię wykopów przy stopniowym wzroście objętości wykopów od  $0,1125$  do  $3,768 \text{ m}^3$ . Wyniki badań podaje zał. nr 6.1 i rys. 6.9. Jak widać, ciężar objętościowy ustala się przy objętości wykopu powyżej  $1,7 \text{ m}^3$ . Błąd względny określania ciężaru objętościowego tą metodą może dochodzić do 10% [70]. Należy zaznaczyć, że metoda wykopów jest powolna i wymaga dużego nakładu pracy, co komplikuje organizację robót ziemnych na wykonywanym nasypie.



Rys. 6.9. Zależność  $\gamma_d$  gruntu gruboziarnistego od objętości wykopu



## 6.1.6 METODA Z ZASTOSOWANIEM ZAWIESIN OLEJÓW I GIPSU

Przeprowadzone obserwacje zachowywania się zawiesin tiksotropowych w wykopach wąskoprzestrzennych wykazały, że wnikanie tych zawiesin w grunt jest bardzo nieznaczne /ułamki milimetra/. Pozwoliło to na wykorzystanie zawiesin również do wypełnienia wykopów w celu dokładnego określania ich objętości. W badanej warstwie wykonuje się wykop, ważąc przy tym wydobywany z niego grunt. Objętość wykopu określa się przez zalanie go mierzoną ilością zawiesiny tiksotropowej o ciężarze objętościowym  $1,05 \div 1,1 \text{ G/cm}^3$ . Zamiast zawiesiny tiksotropowej stosować można zawiesiny klejowe o ciężarze objętościowym  $1,002 \div 1,005 \text{ G/cm}^3$  lub olej [40], [76], [96].

Na podobnej zasadzie objętość wykopu mierzyć można zalewając go gipsem [76]. Po stwardnieniu gipsu określa się objętość bryły gipsu /np. przez zanurzenie jej w oleju/. Metody te są stosunkowo mało rozpowszechnione [92]. Są one bardzo proste i dokładne ze względu na to, że nie stosuje się wykładania ścian wykopu. Metody z zastosowaniem zawiesin i oleju mogą być wykorzystywane do gruntów gruboziarnistych i kamienistych małopruszczalnych.

## 6.2. METODY OKREŚLANIA WILGOTNOŚCI GRUNTU NA PRÓBKACH

### 6.2.1 METODA SUSZENIA

Najbardziej rozpowszechnioną metodą określania wilgotności gruntu w laboratorium jest suszenie go w suszarce elektrycznej w temperaturze  $105 \div 110^\circ\text{C}$  do stałego ciężaru. Czas suszenia gruntów niespoistych wynosi ok. 4 godzin. W przypadku badania wilgotności gruntów gruboziarnistych i kamienistych próbka powinna być odpowiednio duża.

Autor [70], [104] na podstawie badań wilgotności /metodą suszenia/ odpowiednio odsiewanych grubych frakcji ustalił orientacyjne minimalne ciężary próbek, jakie należy stosować przy określaniu wilgotności gruntów gruboziarnistych sypkich w zależności od uziarnienia /tablica 6.1/.

Tablica 6.1.

Zestawienie zależności ciężaru próbki od uziarnienia

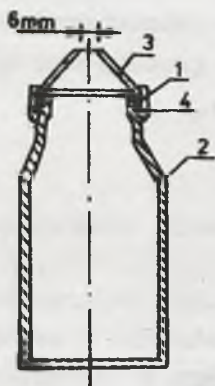
Uziarnienie mm	< 2	< 5	< 10	< 20	< 40	< 60	< 80	< 120
Ciężar próbki G	≥ 50	≥ 150	≥ 500	> 1000	≥ 2000	≥ 3500	≥ 5000	≥ 8000

W warunkach terenowych, próbki gruntu niespoistego można suszyć na kuchenkach turystycznych. Zaletą tego sposobu jest szybkie uzyskiwanie wyników od kilkunastu do kilkudziesięciu minut.

Czas suszenia próbki żwiru o ciężarze 500 G na kuchence turystycznej do stałego ciężaru wynosi ok. 20 min. Błąd względny pomiaru wynosi ok. 2% [102].

#### 6.2.2 METODA PIKNOMETRU WODNEGO

Piknometr wodny /rys. 6.10/ składa się ze słoika /zbiornika/ zakończonego nakrętką metalową w postaci stożka z otworem o średnicy 6 mm. Oznaczenie wilgotności za pomocą piknometru przedstawia się następująco: odważoną próbkę gruntu wilgotnego wkłada się do wytarowanego piknometru i zalewa wodą /3/4 objętości/, a następnie po dokładnym wymieszaniu i uzupełnieniu wody do przelewu waży się piknometr z gruntem i wodą.



- 1- pierścień gumowy
- 2- słoik szklany
- 3- przykrywka metal. z otworem
- 4- nakrętka

Rys. 6.10. Piknometr wodny

Wilgotność oblicza się ze wzoru

$$w = \frac{(\gamma_s - 1) G}{(G_{pwg} - G_{pw}) \gamma_s} 100 \quad [\%], \quad /6.2/$$

gdzie:

$\gamma_s$  - ciężar właściwy gruntu, w  $G/cm^3$ ,

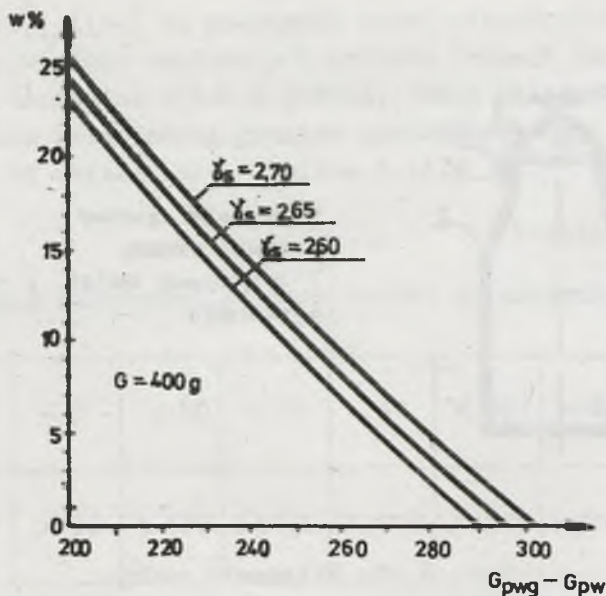
$G$  - ciężar gruntu wilgotnego, w  $G$ ,

$G_{pwg}$  - ciężar piknomtru napełnionego wodą i gruntem,  
w  $G$ ,

$G_{pw}$  - ciężar piknomtru napełnionego wodą, w  $G$ .

Do badań gruntów gruboziarnistych używa się ok.  $1 \div 2$  kg gruntu przy objętości piknomtru  $3 \div 4$  l [104]. Badanie wilgotności tą metodą trwa około  $5 + 10$  min. Dla ułatwienia oznaczania wilgotności gruntu można sporządzić nomogram /rys. 6.11/ przy stałym ciężarze próbki [8]. Badania wilgotności tą metodą można wykonywać w laboratorium i w terenie.





Rys. 6.11. Nomogram do oznaczania wilgotności gruntu za pomocą piknometru [8]

### 6.2.3 METODA KARBIDOWA

Do badań wilgotności gruntów drobnoziarnistych stosowana jest metoda karbidowa-ciśnieniowa [98], [105], [106], [107], [108]. Ze względu na małe ciężary próbek /6 G/ jakie można używać, metoda ta nie może być stosowana do badania wilgotności gruntów gruboziarnistych. Do badania wilgotności gruntów gruboziarnistych /żwirowych/ można zastosować metodę bezciśnieniową opracowaną w OBRBWI "Hydrobudowa" [108]. Według tej metody do badań można używać próbki o ciężarze 200 G [107].

### 6.2.4 METODA LABORATORYJNO-OBLICZENIOWA

Do określenia wilgotności gruntów gruboziarnistych i kamienistych w przypadku niemożliwości bezpośredniego określenia wilgotności jedną z podanych wyżej metod, stosuje się metodę

laboratoryjno-obliczeniową [110]. Metoda ta polega na obliczaniu ogólnej wilgotności gruntu gruboziarnistego i kamienistego na podstawie znajomości wilgotności frakcji drobnej i frakcji grubej oraz procentowej zawartości tych frakcji według wzoru

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

gdzie:

$w_d$  - wilgotność frakcji drobnej, oznaczona metodą suszenia /%,

$w_g$  - wilgotność frakcji grubej, często przyjmowana jako równa 0 lub równa nasiąkliwości,

$a$  - zawartość w gruncie frakcji grubej /odsianej/.

Dla gruntów żwirowo-otoczkowatych, niezawietrzających, wilgotność frakcji grubej w związku z małą powierzchnią właściwą i słabymi własnościami adsorbcyjnymi, można przyjąć równą zero.

W takim przypadku wzór przybiera postać

$$w = w_d (1 - a) \quad [\%] \quad /6.4/$$

Na podstawie przeprowadzonych badań G.B. Kulczickij podaje [110], że dla gruntów zawierających ziarna zwietrzałe wilgotność gruntu obliczona według podanych wzorów /6.3/ i /6.4/, nie odpowiada rzeczywistej wilgotności, otrzymanej metodą suszenia; błąd wzrasta z procentową zawartością frakcji grubych.

Objasnia to tym, że we wzorach obliczeniowych /6.3/ i /6.4/ nie uwzględnia się stopnia zwietrzenia frakcji grubych.

Dla określenia wilgotności eluwalnych gruntów gruboziarnistych podaje wzór

$$w = w_d (1 - b) + w_g b \quad [\%] \quad /6.5/$$

gdzie:

$b = a (1 - k_B)$  - współczynnik uwzględniający obniżenie zawartości frakcji grubych w związku z ich zwietrzeniem,

$a$  - zawartość frakcji grubych,

$k_B$  - współczynnik zwietrzenia zawierający się w granicach 0 + 1, określony według specjalnych badań [111].

Dla porównania wpływu wilgotności frakcji grubej na całkowitą wilgotność gruntu autor wykonał badania porównawcze [70], [104].

Wilgotność gruntu / $d \leq 80$  mm/ określono metodą suszenia próbki oraz metodą obliczeniową według wzoru /6.4/ na podstawie wilgotności frakcji  $d < 7$  mm.

Wyniki badań gruntu z kamieńca Białej Wisłoki przykładowo podano w tablicy 6.2.

Tablica 6.2

Zestawienie wyników badań wilgotności

Lp.	Wilgotność określana metodą suszenia dla uziarnienia		Zawartość frakcji $d = 7 \div 80$ mm	Wilgotność obliczona dla uziarnienia $d \leq 80$ mm	Różnica pomiędzy wilgotnością oznaczoną a obliczoną	Obliczona wilgotność frakcji $d = 7 \div 80$ mm	$F = W_{d \leq 80} : W_{d < 7}$
	$d \leq 80$ mm	$d < 7$ mm					
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	
1	6,6	12,6	67,3	4,1	2,5	3,7	1,91
2	8,0	12,1	72,5	3,3	4,7	6,4	1,51
3	7,5	11,7	62,5	4,4	3,1	5,0	1,56
4	9,1	14,6	49,0	7,5	1,6	3,5	1,60
5	9,2	17,9	69,1	5,5	3,7	5,3	1,95
6	8,3	13,4	69,4	4,1	4,2	6,0	1,61
7	7,9	12,3	67,4	4,0	3,9	5,8	1,56
8	7,4	11,0	70,4	3,3	4,1	5,8	1,49
9	7,3	9,4	64,2	3,4	3,9	6,1	1,29
10	8,9	13,2	63,1	4,9	4,0	6,3	1,48
11	6,5	11,1	70,0	3,3	3,2	4,6	1,71
12	7,9	14,1	62,0	5,4	2,5	4,0	1,78
śr.	7,9	12,8	65,6	4,4	3,4	5,2	1,62

Z przedstawionych danych widać, że wilgotność gruntu  $d \leq 80$  mm obliczona tylko na podstawie wilgotności frakcji  $d < 7$  mm jest znacznie niższa /średnio 44% względnych/ od wilgotności rzeczywistej, wyznaczonej metodą suszenia.



Znając rzeczywiste wilgotności gruntu o uziarnieniu  $d \leq 80$  mm i wilgotność  $d \leq 7$  mm, oznaczone metodą suszenia określono wpływ frakcji  $d = 7 \div 80$  mm na rzeczywistą wilgotność gruntu o uziarnieniu  $d \leq 80$  mm.

Wilgotność frakcji  $d = 7 \div 80$  mm wyznaczono ze wzoru

$$w_{7\div 80} = \frac{\Delta w}{a} \cdot 100 \quad [\%], \quad /6.6/$$

gdzie:

$\Delta w$  - różnica pomiędzy wilgotnością uzyskaną metodą suszenia i obliczoną na podstawie wilgotności frakcji  $d \leq 7$  mm,  
 $a$  - procentowa zawartość frakcji  $d = 7 \div 80$  mm.

Obliczoną według wzoru /6.6/ wilgotność frakcji  $d = 7 \div 80$  mm podano w tablicy 6.2. Obliczona wilgotność frakcji  $d = 7 \div 80$  mm jest większa od nasiąkliwości. Dla badanej frakcji nasiąkliwość wynosi około 3,5% [70].

Z przedstawionych danych wynika, że do określania wilgotności gruntu gruboziarnistego nie powinno się odrzucać frakcji grubej ani pomijać wilgotność tej frakcji.

Przy obliczaniu wilgotności według wzoru /6.3/ popełniamy tym większy błąd im do obliczeń weźmiemy drobniejszą frakcję oraz im bardziej grube ziarna będą zwietrzałe.

Biorąc powyższe pod uwagę, do obliczania wilgotności gruntów gruboziarnistych i kamienistych można zalecić wzór

$$w = w_d \frac{1}{r} \quad [\%], \quad /6.7/$$

gdzie:

$w_d$  - wilgotność frakcji drobnej, w %,

$r$  - współczynnik określony doświadczalnie dla badanego gruntu jednorazowo wg wzoru /6.7/ /tablica 6.2/.

## 6.3. METODY OKREŚLANIA WILGOTNOŚCI W WARUNKACH „IN SITU”

### 6.3.1 METODY RADIOIZOTOPOWE

Pomiar wilgotności gruntów przy zastosowaniu radioizotopów opiera się na zjawisku rozpraszania i spowolniania neutronów. Do najczęściej spotykanych źródeł neutronów zaliczyć można źródła radowo-berylowe, polonowo-berylowe lub plutonowo-berylowe. Źródła te wysyłają neutrony prężkie, o energii około kilku MeV. Szybkie neutrony przechodzące przez materię ulegają zderzeniom z jądrami atomów, w wyniku czego zmieniają kierunek swego ruchu. Jest to proces rozpraszania neutronów. Oprócz zmiany kierunku neutron traci w każdym akcie zderzenia część swojej energii, stając się tym samym coraz bardziej powolnym. To zjawisko nazywa się spowolnianiem neutronów.

Spowolnienie jest tym efektywniejsze, im dany ośrodek zawiera więcej wodoru /jąder lekkich/. W wyniku spowolnienia neutrony szybkie stają się neutronami termicznymi, których energia kinetyczna jest uwarunkowana wysokością temperatury środowiska.

Energia neutronów termicznych zawiera się w granicach  $0,01 + 0,1$  eV.

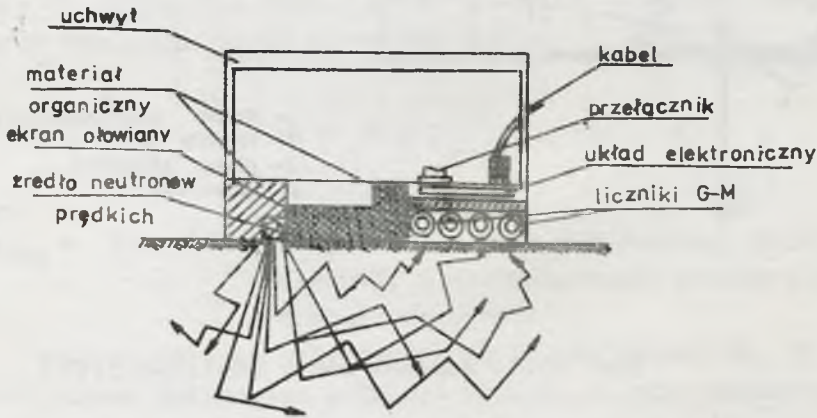
Neutrony termiczne rejestruje się na drodze wykorzystania wtórnych efektów. Jednym ze sposobów wykorzystywanych przy rejestracji neutronów termicznych jest otoczenie licznika Geigera-Millera blachą kadmową. Kadm ma duży przekrój czynny na neutrony termiczne i po wychwycie neutronu wysyła kwant gamma, który z kolei jest rejestrowany przez licznik.

Wykorzystując charakterystyczne oddziaływanie neutronów z materią opracowano szereg aparatów /sond/ do pomiaru wilgotności gruntu. W praktyce używa się sondy powierzchniowe WP, sondy otworowe WO i sondy szpilkowe.

Szczegółowy opis sond, jak również szersze podstawy teoretyczne tej metody, omówione są w literaturze [116] + [120].

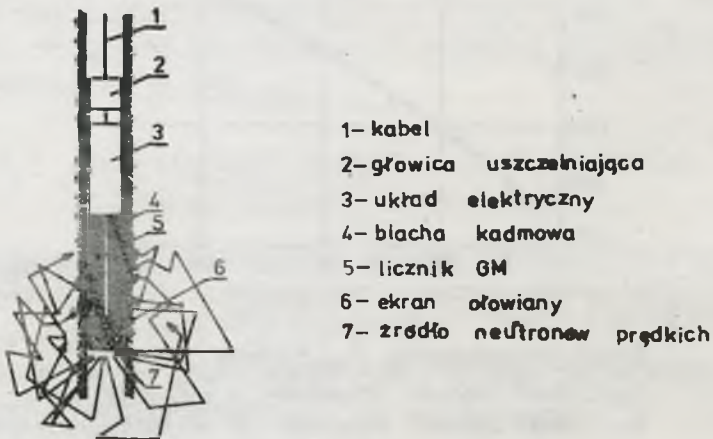
W skład zestawu do pomiarów radioizotopowych wilgotności wchodzi:

a/ metodą powierzchniową: sonda WP-62 /rys. 6.12/ ze źródłem Pu + Be o aktywności 0,5 C oraz *przelicznik*



Rys. 6.12. Schemat sondy WP-62 [93]

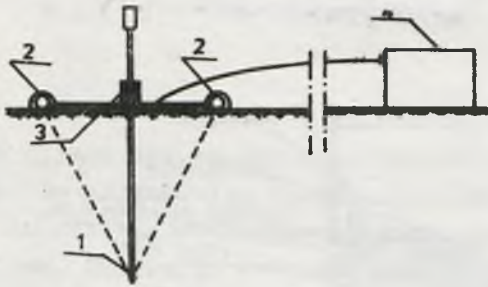
b/ metodą otworową: sonda WO-64 /rys. 6.13/ ze źródłem Pu + Be o aktywności 1,0 C oraz przelicznik TPP-400/3, jak również wibromkot, rurki stalowe 38/5 mm, żurawik,



Rys. 6.13. Wilgotnościomierz otworowy WO-64 [93]



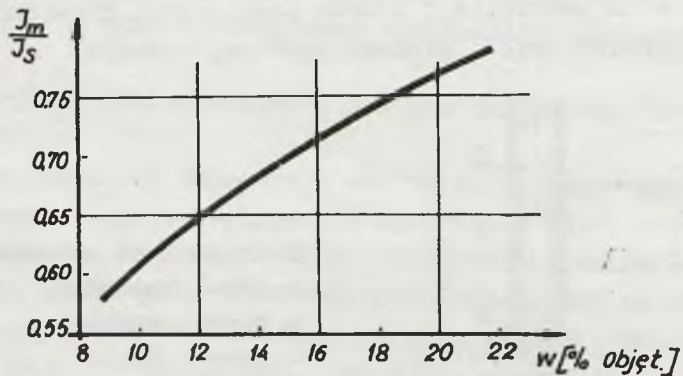
c/ metodą szpilkową: rurka /szpilka/ ze źródłem promieniowania /rys. 6.14/ oraz przelicznik.



- 1- źródło promieniowania
- 2- licznik G-M
- 3- płyta ołowiana
- 4- przelicznik

Rys. 6.14. Schemat sondy szpilkowej [82]

Sondy radioizotopowe przed badaniem wilgotności gruntu należy wycechować. Interpretacja wskazań aparatury dokonuje się na podstawie odpowiedniej krzywej cechowania /rys. 6.15/.



Grunt gruboziarnisty  $d_{max} = 80mm$

$J_m$  — ilość zliczeń impulsów w jednostce czasu

$J_s$  — ilość zliczeń impulsów w standaryzatorze

Rys. 6.15. Krzywa cechowania sondy WP-62 [120]

Wyżej wymienione metody najczęściej stosuje się do kontroli wilgotności /0 ÷ 45%/ gruntów drobnoziarnistych. Do kontroli wilgotności gruntów gruboziarnistych zagęszczonych w nasypach najbardziej przydatna jest sonda powierzchniowa WP. Pozostałe sondy można stosować do takich gruntów gruboziarnistych jak pospółki i żwiry. Wadą metody z zastosowaniem sondy powierzchniowej WP jest mały promień strefy wpływu, który nie zależy od aktywności źródła promieniowania. W przybliżeniu promień ten można określić wzorem [93]

$$r = 15 \sqrt[3]{\frac{100}{w_{obj}}} \quad [\text{cm}], \quad /6.8/$$

gdzie

$w_{obj} = \vartheta_d$  w [%] - wilgotność gruntu w procentach objętościowych, a  $w$  - wilgotność gruntu w procentach wagowych.

Czas określenia wilgotności tą metodą wynosi ok. 15 min. Z doświadczeń wykonanych w Polsce wynika, że błąd względny określenia wilgotności gruntów gruboziarnistych o uziarnieniu  $d_{max} = 25$  mm tą metodą wynosi ok. 10% [102]. Ostatnie badania wykazały, że metoda ta może być stosowana do badania wilgotności gruntów gruboziarnistych, o uziarnieniu do 40 mm [120].

Wydaje się jednak, że przy opracowaniu odpowiednich aparatów metody radioizotopowe będą bardzo przydatne do określania wilgotności wszystkich gruntów gruboziarnistych. Należy zaznaczyć, że metody radioizotopowe wymagają szczególnego przestrzegania zasad bhp.

### 6.3.2 INNE METODY OKREŚLANIA WILGOTNOŚCI

Do oznaczania wilgotności gruntów drobnoziarnistych znane są jeszcze metody elektryczne: elektrooporowa [106], [113], [7] oraz pojemnościowa [114], [115].

Metody te nie mają jednak zastosowania do gruntów gruboziarnistych i kamienistych.

## 6.4. METODY NIENISZCZĄCE OKREŚLANIA ZAGĘSZCZENIA GRUNTÓW W WARUNKACH „IN SITU”

### 6.4.1 PRÓBNE OBCIĄŻENIE GRUNTU (statyczne)

Jedną z cech mechanicznych gruntu, którą można wykorzystać do kontrolowania jego stanu zagęszczenia jest ściśliwość.

Mierząc wielkość odkształceń gruntu pod wpływem próbnych obciążeń można określić jego zagęszczenie.

Za miarę jakości zagęszczenia gruntu można przyjąć:

a/ moduł odkształcenia  $/E_0/$  gruntu według wzoru

$$E_0 = \frac{D \Delta q \omega}{\Delta s} \frac{1 - \nu^2}{1}, \quad /6.9/$$

gdzie:

$\Delta q$  - przyrost obciążenia jednostkowego  $/\text{kg}/\text{cm}^2/$ ,

$\Delta s$  - osiadanie gruntu  $/\text{cm}/$  spowodowane przyrostem obciążenia,

$\omega$  - współczynnik zależny od kształtu i sztywności płyty  
 $/ \omega = 0,79$  - dla płyty kołowej sztywnej i  $\omega = 1,0$  dla płyty kołowej wiotkiej/,

$\nu$  - współczynnik Poissona,

$D$  - średnica płyty;

b/ moduł podatności gruntu  $/E_g/$  według wzoru

$$E_g = \frac{\Delta q}{\Delta s} D \quad /6.10/$$

/oznaczenia jak we wzorze 6.9/;

c/ współczynnik podatności gruntu  $/C/$  według wzoru

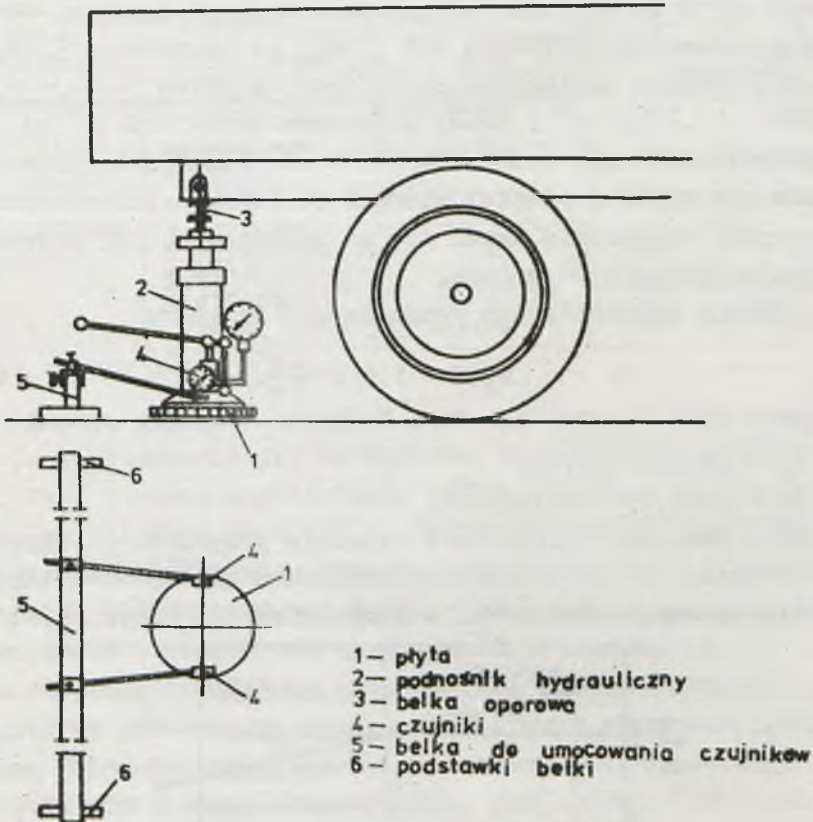
$$C = \frac{\Delta q}{\Delta s} \quad /6.11/$$

/oznaczenia jak we wzorze 6.9/.

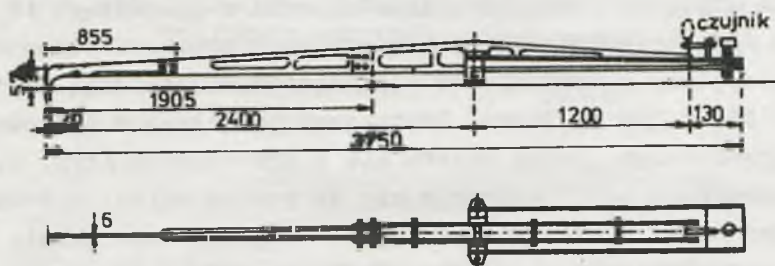
Wszystkie trzy wyżej wymienione charakterystyki gruntu można wyznaczyć przez próbne obciążenie gruntu w nasypie przy użyciu płyt.



Metoda próbnych obciążeń wywodzi się z Niemiec [76], [106]. Polega na porównaniu modułów odkształcenia z pierwszego  $E_0$  i wtórnego  $E$  obciążenia płyty. Do próbnych obciążeń stosuje się przeważnie płyty o średnicy 600 mm. Amerykanie stosują płyty o średnicy 250 - 750 mm [106]. Płyta jest połączona z podnośnikiem hydraulicznym, który opiera się o przeciwwagę /rys. 6.16/. Odczyt osiadania płyty wykonuje się za pomocą ugięciomierza Benkelmana /rys. 6.17/ wyposażonego w czujnik, ewentualnie za pomocą ugięciomierza optycznego lub bezpośrednio za pomocą czujników mocowanych do specjalnej konstrukcji niezależnej od układu obciążającego [124].



Rys. 6.16. Schemat próbnych obciążeń



Rys. 6.17. Szkic ugięciomierza

Przy tej metodzie bardzo istotne jest odpowiednie dopasowanie płyty do podłoża oraz stopniowanie obciążenia. Według normy niemieckiej /ZTVE-STB 59/ [106], po ustawieniu płyty stosuje się wstępne obciążenie  $0,2 \text{ kg/cm}^2$ , a potem stosuje się obciążenie  $0,3 \text{ kg/cm}^2$  i dalej stopniowo co  $0,3 \text{ kg/cm}^2$  aż do osiągnięcia łącznego osiadania ok. 2 mm. Następnie stopniami odciąża się płytę i później wtórnie obciąża, osiadanie przy danym stopniu obciążenia uważa się za zakończone, gdy przyrost osiadania jest  $\leq 0,02 \text{ mm/min}$ .

Moduły odkształcenia wyznacza się ze wzoru

$$E_0, E = 1,5 r \frac{\Delta q}{\Delta s}, \quad /6.12/$$

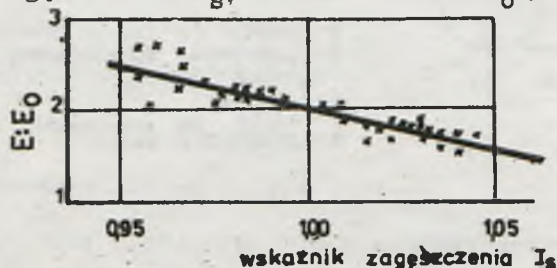
gdzie:

$r$  - promień płyty,

$\Delta q$  - przyrost obciążenia,

$\Delta s$  - przyrost osiadania w zakresie przyrostu obciążenia.

W metodzie tej została wykorzystana zależność między wskaźnikiem zagęszczenia  $I_s$ , a stosunkiem  $E/E_0$  /rys. 6.18/.



Rys. 6.18. Związek między wskaźnikiem zagęszczenia i stosunkiem  $E/E_0$  dla nasypów z małospoistych żwirów

Proponuje się, że grunt jest dostatecznie zagęszczony przy

$$w = w_{opt} \pm 2\%$$

jeżeli  $E:E_0 \leq 2,2$  /dla gruntów niespoistych/, ponadto powinna być osiągnięta minimalna wartość modułów jak w tabelicy 6.3.

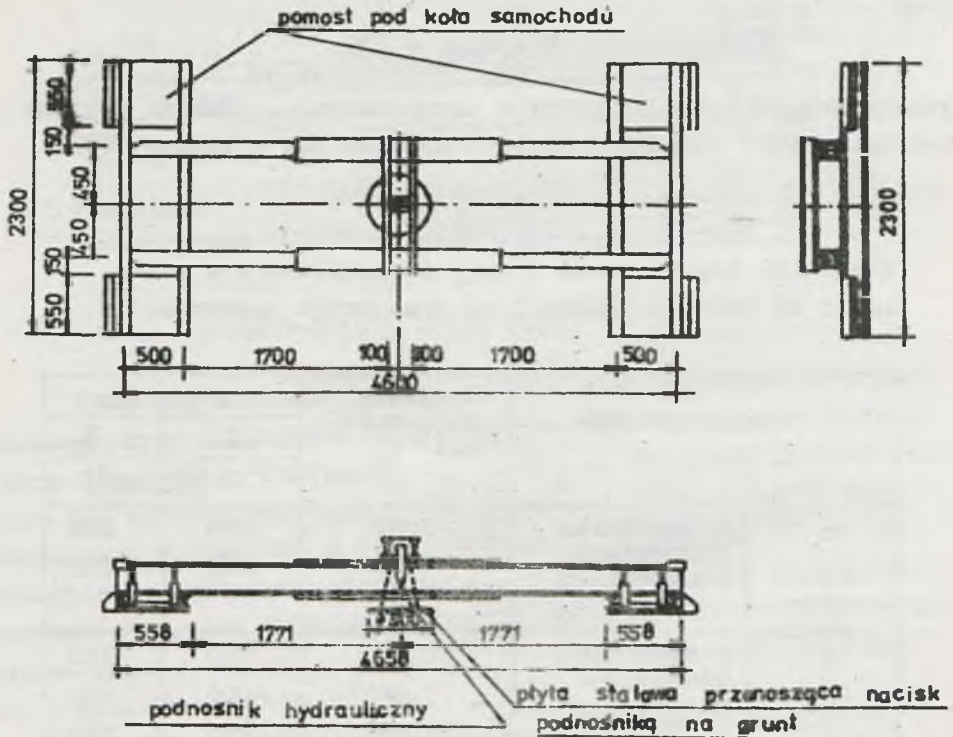
Tabela 6.3.

Minimalne dopuszczalne moduły odkształcenia w zależności od rodzaju gruntu i od wymaganego zagęszczenia

Rodzaj gruntów		Wskaźnik zagęszczenia $I_s$	Minimum	
			E	$E_0$
				[kg/cm <sup>2</sup> ]
Grunt niespoisty	o wskaźniku równozianności $U \leq 7$	0,95	450	200
		1,00	600	270
	o wskaźniku równozianności $U > 7$	0,95	700	320
		1,00	1000	450
		1,03	1200	550

Metoda próbnych obciążeń jest efektywna i daje dobre wyniki przy stosowaniu jej do kontroli zagęszczenia gruntów sypkich. Czas badania zagęszczenia wynosi ok. 20 + 45 min [122]. Metoda ta zalecana jest też w niektórych krajach jako jedyna do kontroli zagęszczania gruntów gruboziarnistych i kamienistych / $d_{max} = 120 + 200$  mm/ [121], [106], [125]. W warunkach krajowych do próbnych obciążeń gruntów o uziarnieniu do 60 mm można stosować urządzenia normowe [124]. Metoda próbnych obciążeń gruntów gruboziarnistych w Polsce była stosowana przez Katedrę Geotechniki Politechniki Warszawskiej na terenie budowy zapory Tresna i Wisła-Czarne [126], [92], [70], [127]. Do badania używano płyty  $D = 50$  cm i specjalnego urządzenia /pomostu/ do zadawania obciążeń załadowanymi samochodami /rys. 6.19/. Uzyskane moduły podatności  $/E_g/$  w zakresie obciążeń  $0,5 + 2,0$  kg/cm<sup>2</sup> dla gruntu zapory w Tresnej o uziarnieniu ok.

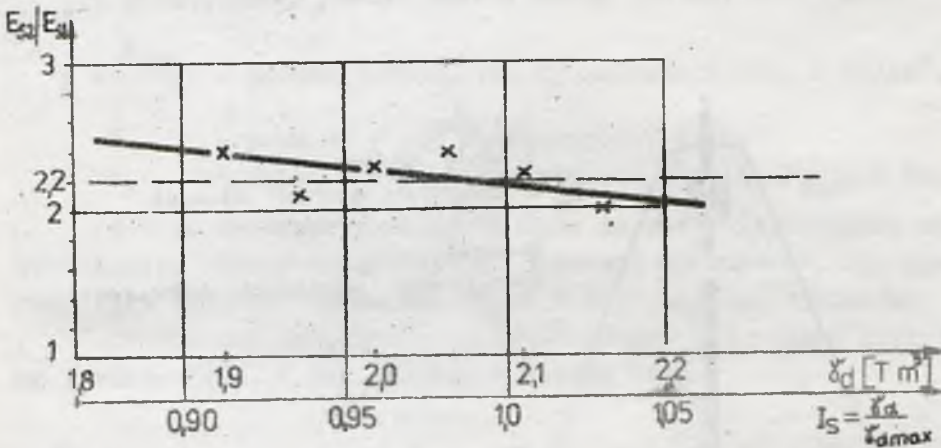




Rys. 6.19. Rysunek ogólny urządzenia do próbnych obciążeń gruntu

$d_{\max} \leq 120$  mm wskazują /rys. 6.20/, że metoda próbnych obciążeń może być stosowana do kontroli zagęszczenia gruntów o uziarnieniu podobnym jak w Tresnej [92], [126]. Przy wskaźniku zagęszczenia  $J_B = 1$  stosunek  $E_{B2}:E_{B1} \approx 2,2$ , a  $E_{B1} = 830 \text{ kg/cm}^2$ .

Natomiast metoda ta okazała się nieprzydatna do kontroli zagęszczenia nasypu zapory w Wiśle-Czarnem, wykonywanego z gruntu o uziarnieniu  $d_{\max} \leq 400$  mm, ze względu na bardzo duże rozrzuty wyników badań [127]. W celu określenia miarodajnych modułów odkształcenia należałoby wykonywać większą liczbę badań  $> 7/$ . W warunkach budowy taka liczba badań kontrolnych dla każdej odbieranej warstwy była niemożliwa.



Rys. 6.20. Zależność między wskaźnikiem zagęszczenia i stosunkiem  $E_{s2}$  do  $E_{s1}$  dla nasypu zapory w Tresnej

Podkreślić należy, że nakład sił i środków przy stosowaniu tej metody do badania gruntów gruboziarnistych był bardzo duży; przy zaangażowaniu dwóch samochodów ciężarowych i dwóch ludzi pomiar na jednym punkcie trwał około 4 - 6 godzin.

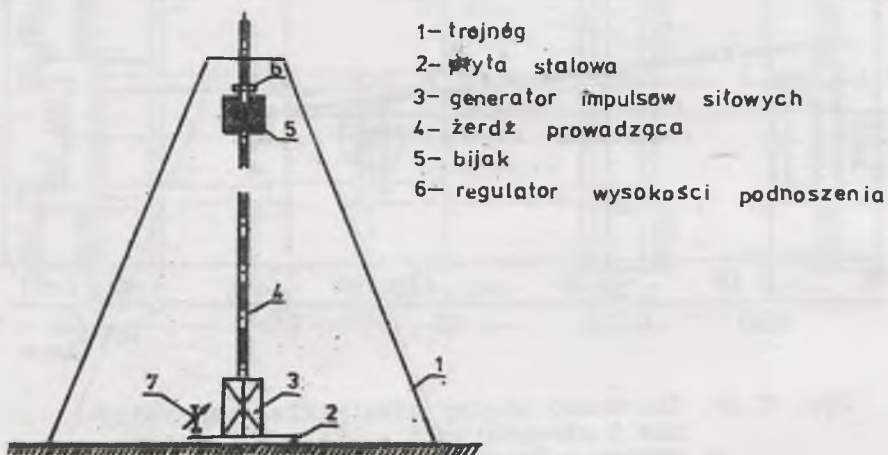
Odmienną metodę płytową opartą na modelu odprężenia do badania zagęszczenia wprowadził Gaspar /Węgry/ [106]. Do obciążenia płyty używa określonego typu obciążonego samochodu, rezygnując z pomiaru siły obciążającej. Określenie modułu odprężenia i korzystania z tej metody jest możliwe przy zastosowaniu urządzeń wyżej omówionych.

#### 6.4.2 METODA DYNAMICZNYCH OBCIĄŻEŃ

Metoda ta polega na pomiarze odkształceń badanej warstwy nasypu pod działaniem dynamicznym, które zależą między innymi od zagęszczenia.

Do badań używa się ugięciomierza dynamicznego [128], [129], [130], [131]. Schemat ugięciomierza dynamicznego przedstawia rys. 6.21. Spadający z wysokości  $h$  bijak /5/ o ciężarze " $p_0$ "

uderza o generator impulsów siłowych /sprężynę/ /3/, który przekazuje na płytę /2/ przez krótki okresu czasu T siłę F.



Rys. 6.21. Schemat ugięciomierza dynamicznego

Wartość tej siły zmienia się w przybliżeniu sinusoidalnie od zera do pewnej maksymalnej wartości  $F_{\max}$  i z powrotem do zera.

Pod wpływem impulsu siłowego ośrodek gruntowy a wraz z nim płyta naciskowa ulega krótkotrwałym dynamicznym ugięciom /osiadaniom/. Ugięcia te mierzone są za pomocą fastografu lub wibrografu. Siłę dynamiczną  $F_{\max}$  określa się przez bezpośredni pomiar lub na drodze obliczeniowej według wzoru [131]

$$F_{\max} = 2P_0 h k, \quad /6.13/$$

gdzie:

$P_0$  - ciężar bijaka, w kG,

$h$  - wysokość spadania bijaka, w m,

$k$  - sztywność konstrukcji generatora impulsów siłowych, w kG/cm.

Dynamiczny moduł odkształcenia dynamicznego wyznacza się z wzoru

$$E_d = \frac{1.5 v r}{s_d}, \quad /6.14/$$



gdzie:

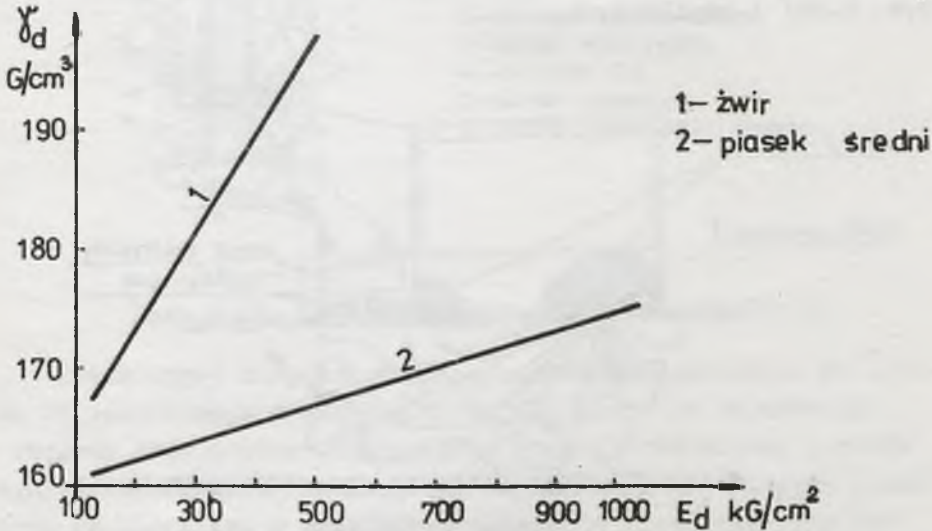
$p = \frac{F_{\max}}{\pi r^2}$  - jednostkowy nacisk dynamiczny płyty, w  $\text{kg/cm}^2$ ,

$r$  - promień płyty obciążającej, w  $\text{cm}$ ,

$s_d$  - ugięcie dynamiczne podłoża od siły  $F_{\max}$ , w  $\text{cm}$ .

W celu wykorzystania tej metody do badań kontrolnych zagęszczenia, należy urządzenie odpowiednio wycechować, np. sporządzając wykresy zależności  $\gamma_d = f / E_d /$  badanych gruntów.

Cechowanie ugięciomierza dynamicznego dla piasku średniego i żwiru /rys. 6.22/ wykonał J.Reczek [131].



Rys. 6.22. Wykres skalowania ugięciomierza dynamicznego: średnica płyty = 34,4  $\text{cm}$ ;  $k = 85 \text{ kg/cm}$ ; ciężar bijaka = 9,2  $\text{kg}$ ; wysokość opadania bijaka  $h = 0,75; 10; 125 \text{ cm}$

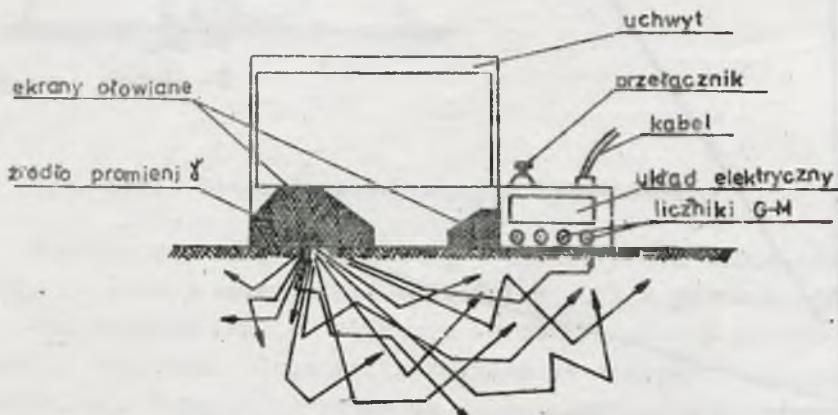
Z przeprowadzonych badań [131] wynika, że dokładność tej metody przy badaniu żwirów i piasków średnich wynosi ok. 14 + 16%. Czas pomiaru tą metodą wynosi ok. 30 min. Metoda ta pomimo znacznych błędów powinna być powszechniej stosowana do kontroli zagęszczenia gruntów sypkich.

W celu wykorzystania tej metody do badania zagęszczenia gruntów gruboziarnistych i kamienistych w warunkach krajowych należy prowadzić dalsze badania.

### 6.4.3 METODY RADIOIZOTOPOWE

Pomiar zagęszczenia gruntu /ciężaru objętościowego/ przy użyciu radioizotopów opiera się na zjawisku pochłaniania i rozpraszania emitowanych przez źródło promieniowania kwantów gamma, podczas przechodzenia ich przez ośrodek gruntowy.

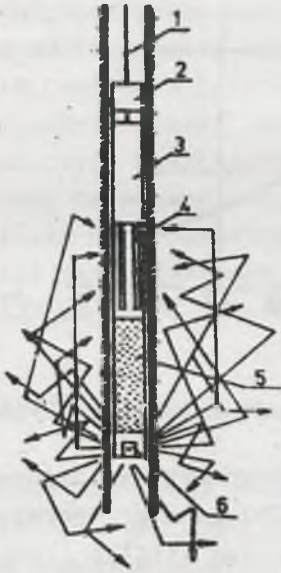
W praktyce do pomiaru ciężaru objętościowego gruntu używa się sond powierzchniowych GP /rys. 6.23/, otworowych GO /rys. 6.24/ i szpilkowych.



Rys. 6.23. Schemat sondy GP-64 [93]

W sondach zamontowane jest źródło promieniowania gamma / $C_{60}$ -137 o aktywności ok. 5 mC i półokresie rozpadu ok. 33 lata/ w stałej odległości od detektora /licznika GM/, oddzielone przegrodą ołowianą o odpowiedniej grubości zabezpieczającej przed bezpośrednim podaniem kwantów gamma na licznik. We wszystkich sondach zasada pomiaru jest taka sama. Emitowane przez źródło promieniowania kwanty gamma przenikające w grunt ulegają rozproszeniu comptonowskiemu na elektronach orbitalnych ato-

mów ośrodka gruntowego oraz częściowo absorpcji przez jądra wskutek efektu fotoelektrycznego.



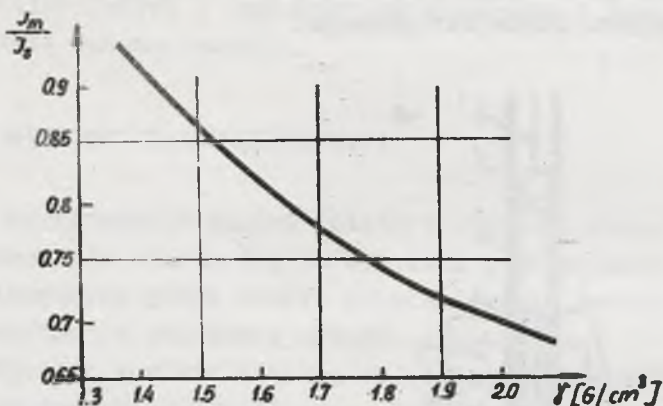
- 1- kabel
- 2- głowica uszczelniająca
- 3- układ elektryczny
- 4- liczniki GM
- 5- ekran ołowiany
- 6- źródło promieni gamma

Rys. 6.24. Gęstościomierz odwiertowy GO-64 [93]

Pewna część rozproszonego promieniowania dochodzi do licznika GM połączanego z układem liczącym, który je rejestruje. Im większy jest ciężar objętościowego gruntu, tym więcej kwantów ulegnie rozproszeniu i absorpcji, czyli tym mniej kwantów gamma dotrze do licznika. W rezultacie natężenie promieniowania rejestrowanego przez licznik jest funkcją ciężaru objętościowego gruntu.

Teoretycznie określenie bezwzględnej wartości ciężaru objętościowego gruntu na podstawie pomiaru natężenia promieniowania rozproszonego jest trudne i często obarczone dużym błędem. Dlatego też w sposób eksperymentalny cechuje się sondę na gruntach o ściśle określonym ciężarze objętościowym, a wyniki tego cechowania przedstawia się w sposób graficzny /rys. 6.25/. Czas całkowitego pomiaru ciężaru objętościowego gruntu tą metodą wynosi ok. 15 min.





Rys. 6.25. Krzywa cechowania sondy GP-64 [93]

Szczegółowy opis różnych typów aparatury izotopowej stosowanej do pomiaru ciężaru objętościowego oraz teoretyczne podstawy metody można znaleźć w literaturze [116] ÷ [120].

Metody radioizotopowe najbardziej przydatne są do kontroli zagęszczenia gruntów drobnoziarnistych /  $\gamma = 1,4 - 2,3 \text{ G/cm}^3$  / [117], [119],

Do kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych wykonywanych nasypów najbardziej przydatna jest sonda powierzchniowa GP.

Pozostałe sondy można stosować do takich gruntów gruboziarnistych jak pospółki i żwiry. Badania przeprowadzone na zaporze w Tresnej, na materiale filtrów odwrotnych /  $d_{\max} = 25 \text{ mm}$  / wykazały, że różnice w pomiarze ciężaru objętościowego pomiędzy metodą piasku kalibrowanego, a metodą radioizotopową / sonda GP-64 / osiągają średnio ok. 5% wartości oznaczonego ciężaru objętościowego [102].

Badania na materiale korpusu statycznego w/w zapory wykazały, że wyniki uzyskane metodą wykopów miarowych i metodą radioizotopową / sonda GP-64 / są prawie identyczne [92]. Podobną zgodność uzyskano na zaporze Mattmark dla gruntu o uziarnieniu  $d_{\max} = 200 \text{ mm}$  [90].

Ostatnie badania wykazały, że metoda z zastosowaniem sondy powierzchniowej GP-64 może być stosowana do badania gruntów gruboziarnistych o uziarnieniu do 40 mm [120]. Błąd oznaczenia ciężaru objętościowego wynosi wtedy ok. 5%.

Nad zastosowaniem metod radioizotopowych do kontroli zagęszczenia nasypów z gruntów gruboziarnistych i kamienistych należy prowadzić dalsze badania w kierunku opracowania sond powierzchniowych o większym zasięgu niż mają sondy obecnie.

Metody te z uwagi na to, że są metodami nie niszczącymi i dają prawie natychmiast wynik pomiaru, powinny znaleźć w przyszłości jak najszersze zastosowanie do badań kontrolnych zagęszczenia nasypów z gruntów gruboziarnistych i kamienistych.

#### 6.4.4 METODA NIWELACJI

Metoda niwelacji polega na określeniu stabilizacji osiadań zagęszczonej warstwy. Niwelację nasypanej warstwy wykonuje się przed zagęszczeniem, następnie po zagęszczeniu określoną liczbą przejazdów maszyny i później po dodatkowych przejeźdźciach sprawdzających. Stabilizacja osiadań po dodatkowych przejeźdźciach maszyny wskazuje, że warstwa jest dobrze zagęszczona.

P.Klablena [154] za miarę zagęszczenia przyjmuje przyrost średniego osiadania warstwy od określonej liczby przejeżdżających maszyn zagęszczających do grubości warstwy, określony według wzoru

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0} 100\% \leq \varepsilon_{\text{dop}}, \quad /6.15/$$

gdzie:

$h_0$  - grubość początkowa warstwy,

$\Delta h = h_1 - h_2$  - przyrost średniego osiadania,

$h_1$  - grubość warstwy po przewidywanej liczbie przejazdów,

$h_2$  - grubość warstwy po dodatkowych 2 przejazdach.

Wartość dopuszczalną odkształcenia  $\varepsilon_{\text{dop}}$  ustala się na podstawie badań na poletkach doświadczalnych, gdzie wykonuje się pomiary niwelacyjne i kontroluje zagęszczenie metodami bezpośrednimi. P.Klablena przyjął za  $\varepsilon_{\text{dop}} = 0,5\%$ .

Płaszczyznę badań wg P.Klableny wybiera się dostatecznie daleko od krawędzi warstwy i od obiektów. Pomiar wykazuje się minimum w 4 punktach na płaszczyźnie od 2 do 4 m<sup>2</sup>. Punkty niwelacyjne obiera się stałe, np. przez ułożenie żabek stalowych o wymiarach 250 × 100 × 10 mm.

Metoda ta z pewnymi zmianami /zwiększenie liczby punktów pomiarowych i interpretacji wyników badań/ z powodzeniem została zastosowana do kontroli zagęszczenia nasypów z gruntów kamienistych na stacji Łosień Huty Katowice [153], [179].

W badaniach tych za miarę zagęszczenia przyjęto stosunek osiadań warstwy od przejeżdżających maszyn do grubości początkowej, który powinien być większy od 10%.

Metody niwelacyjne do kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych były z powodzeniem stosowane też m.in. na zapory Czarwaskiej [151], Gepastsch [152] i Mattmark [90].

Próby zastosowania pomiarów niwelacyjnych do kontroli zagęszczenia nasypów były przeprowadzone też na budowie zapory Tresna [126]. Badania polegały na pomiarze za pomocą kolejnych niwelacji, obniżenia powierzchni warstwy gruntu w wyniku postępującego procesu zagęszczenia.

Badania przeprowadzono na powierzchni 20 × 20 m. Punkty niwelacyjne rozmieszczono w siatce 2 × 2 m.

W wyniku przeprowadzonych pomiarów niwelacyjnych i badań kontrolnych ciężaru objętościowego gruntu metodą wykopów miarowych /tablica 6.4/ ustalono, że:

a/ wyniki niwelacji wykazały postępujące obniżenie powierzchni nasypu w miarę wzrostu liczby przejeżdżających maszyn zagęszczającej,

b/ wyliczone na podstawie niwelacji grubości warstwy i odpowiadające im obliczeniowe ciężary objętościowe szkieletu gruntowego dość dobrze korespondują z wartościami  $\gamma_a$  wyznaczonymi na podstawie badań w wykopach. Różnice zamknęły się w granicach 1,2 ÷ 5,5%.



Tablica 6.4

Zestawienie wyników badań zagęszczenia metodą  
niwelacji

Faza zagęszczenia	Grubość warstwy [mm]	$\gamma'_d$ wg badań w wykopie	$\gamma''_d$ wg niwelacji	$\frac{\gamma'_d}{\gamma''_d}$
Po splantowaniu	551	1,717	1,717	1,000
Po 4 przejściach zpycharki	510	1,840	1,853	0,988
Po 2 przejściach samochodu	506	1,981	1,870	1,055
Po 4 przejściach samochodu	488	2,006	1,935	1,036
Po 8 przejściach samochodu	489	1,988	1,932	1,031

Ciężar objętościowy szkieletu gruntowego obliczono według wzoru

$$\gamma_{d,k} = \gamma_{d,p} \frac{h_p}{h_k} \quad /6.16/$$

gdzie:

$\gamma_{d,k}$  - ciężar objętościowy szkieletu gruntowego po zagęszczeniu,  $G/cm^3$ ,

$\gamma_{d,p}$  - ciężar objętościowy gruntu przed zagęszczeniem /początkowy/,  $G/cm^3$ ,

$h_p$  - miąższość warstwy przed zagęszczeniem, mm,

$h_k$  - miąższość warstwy po zagęszczeniu, mm.

Biorąc pod uwagę powyższe można stwierdzić, że od strony technicznej pomiary niwelacyjne mogą być stosowane do kontroli zagęszczenia nawet gruntów gruboziarnistych.

Dokładność wyników w znacznej mierze zależy od liczby punktów pomiarowych oraz dokładnej lokalizacji tych punktów. Istnieją natomiast zastrzeżenia co do jej walorów organizacyjnych w warunkach wykonawstwa nasypów. Stosowanie tej metody po-

woduje bowiem konieczność sypania wyrównanych kolejnych warstw, co na wykonywanym nasypie jest zbyt często zakłócone różnorodnymi czynnikami, nie zawsze zależnymi od wykonawcy robót.

Wydaje się jednak, że przy odpowiedniej organizacji robót metoda ta, szczególnie przy wykonawstwie nasypów z gruntów gruboziarnistych i kamienistych, może być metodą niezastąpioną [153], [179].

#### 6.4.5 INNE METODY KONTROLI ZAGĘSZCZENIA

Znane metody kontroli zagęszczenia gruntów drobnoziarnistych za pomocą sondowań dynamicznych [8], [136], [137], [138], [128], [norma] i sondowań statycznych [139], [140], [141] oraz penetracji [8], [106], [142], [63], [60], [136], [145], [143], [144], [146], [147] nie mają zasadniczo zastosowania do badań kontrolnych zagęszczenia gruntów gruboziarnistych i kamienistych ze względu na uziarnienie. Podobnie do badania tych gruntów nie ma zastosowania metoda ultradźwiękowa [82], [132], [133], [134], [135].

## UOGÓLNIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W warunkach masowego stosowania w budownictwie wodnym, drogowym i kolejowym materiałów gruboziarnistych i kamienistych do budowy odpowiednich nasypów, zagadnienie stosowania odpowiednich metod wyznaczania parametrów fizycznych i mechanicznych tych gruntów w celu określenia ich przydatności do budowy oraz doboru odpowiedniego sprzętu do wykonawstwa staje się zagadnieniem coraz bardziej istotnym.

Równie istotne, a może nawet ważniejsze, jest zagadnienie kontroli jakości wykonywanych robót, co ułatwia ocenę trwałości i bezpieczeństwa zrealizowanych budowli gruntowych.

W poszukiwaniu najbardziej właściwych metod oznaczania poszczególnych cech gruntów i sposobów ich wbudowywania oraz

zagęszczania, podjęte zostały przez autora badania i rozważania nad przydatnością stosowanych dotychczas lub zaproponowanych w oparciu o badania własne metod badań i kontroli, a mianowicie:

- badania cech zagęszczalności metodą ubijania, wibracji i obciążeń statycznych,
- badania nad rodzajem stosowanego sprzętu zagęszczającego,
- badania nad wpływem cech fizycznych na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych oraz
- badania nad opracowaniem możliwie prostych, ale skutecznych metod kontroli jakości zagęszczenia, w zależności od rodzaju zagęszczanego materiału.

Uzyskane wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na dokonanie następujących uogólnień:

1. W celu uzyskania miarodajnych danych  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych metodą ubijania, należy wykonywać badania zagęszczalności w aparatach wielkowymiarowych. Średnica aparatu powinna być co najmniej 5 razy większa od średnicy maksymalnego ziarna w gruncie.

Przedstawiony w pracy wielkowymiarowy aparat do badań zagęszczalności gruntów przez ubijanie, jak wykazały badania, może być zalecany do badań  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych i kamienistych o uziarnieniu do ok. 200 mm.

2. Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych i kamienistych metodą ubijania, podobnie jak gruntów drobnoziarnistych, zależy od wilgotności, uziarnienia składu litologicznego i pochodzenia oraz użytej energii. Wraz ze wzrostem grubości uziarnienia gruntu wzrasta  $\gamma_d \max$ , a maleje  $w_{opt}$ .

Największe zagęszczenie uzyskuje się przy zawartości w gruncie ok. 50 ÷ 70% ziarn  $d > 7$  mm. Grunty pochodzące z różnych rejonów, różniące się składem litologicznym, dają różne zagęszczenia, zwiększenie  $\gamma_d \max$  przy zagęszczaniu energią 27 kG.cm/cm<sup>3</sup> wynosi średnio ok. 5%, a spadek  $w_{opt}$  wynosi średnio ok. 35% w stosunku do wyników zagęszczania energią 6 kG.cm/cm<sup>3</sup>. Uzyskane dane są zbieżne z wynikami badań niespoistych gruntów drobnoziarnistych [8], [54].

3. Wartości  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  obliczone na podstawie wzorów teoretycznych /4.3 - 4.11/, wyprowadzonych w oparciu o zagęsz-



czalność frakcji drobnej, nie pokrywają się z wynikami badań zagęszczalności w aparacie wielkowymiarowym gruntów gruboziarnistych o dużej zawartości frakcji grubej / > 30%/. Obliczone wartości  $\gamma_d \max$  są około 3 ÷ 15% większe od  $\gamma_d \max$  wyznaczonych z badań w aparacie wielkowymiarowym, a obliczone wartości  $w_{opt}$  wynoszą około 34 + 83%  $w_{opt}$  wyznaczonych z badań. Omawiane wzory teoretyczne można stosować tylko do około 30% zawartości frakcji grubej /  $d > 7 \text{ mm}$ / w gruncie. W przypadku większej zawartości frakcji grubej parametry  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  gruntów gruboziarnistych można wyznaczać w oparciu o  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  frakcji drobnej  $d < 7 \text{ mm}$  / badania w aparacie normowym/ według wzorów /4.1/ i /4.2/, mając wcześniej laboratoryjnie określone parametry  $\eta$  i  $r$  na podstawie badań w aparacie wielkowymiarowym i normowym.

4. Decydujący wpływ na zagęszczalność badanych gruntów gruboziarnistych metodą wibracyjną posiada wilgotność gruntu. Największe zagęszczenie gruntu uzyskano przy wilgotności optymalnej, a nieco mniejsze przy wilgotności w stanie powietrzno suchym.

Najniższe zagęszczenie uzyskiwano przy wilgotności ok. 3,0 + 4,0%, tj. przy wilgotności równej ok. 0,5  $w_{opt}$ . Przy tej wilgotności występuje prawdopodobnie największe oddziaływanie sił kapilarnych.

Charakter krzywych zagęszczalności  $\gamma_d$ -w uzyskanych metodą wibracji na stole wibracyjnym i wibratorem powierzchniowym jest podobny do uzyskiwanych metodą ubijania. Wilgotność optymalna uzyskana na podstawie badań wibracyjnych gruntu na stole wibracyjnym za pomocą wibratora powierzchniowego jest zasadniczo taka sama i nie zależy od obciążenia.

5. Na zagęszczalność gruntów metodami wibracyjnymi mają też decydujący wpływ parametry wibracji. Ogólnie można stwierdzić, że ze wzrostem częstości drgań przy określanych małych amplitudach /280 ÷ 510  $\mu\text{m}$ / wzrasta zagęszczenie gruntu. Podobnie przy określonych małych częstościach drgań /22 + 32 Hz/ - wzrasta zagęszczenie ze wzrostem amplitudy, przy dużych częstościach /74 Hz/ ze wzrostem amplitudy maleje zagęszczenie.

Zjawisko to można wytłumaczyć tym, że przy stosowaniu zbyt dużej amplitudy i częstości drgań, poszczególne ziarna i cząstki gruntu prawdopodobnie przemieszczają się chaotycznie, co doprowadza do rozwibrowania gruntu.

Na podstawie otrzymanych wyników badań można przyjąć, że największe zagęszczenie gruntu na stole wibracyjnym uzyskuje się przy częstościach drgań 74 Hz i amplitudzie 370  $\mu\text{m}$  pod obciążeniem statycznym próbki  $\sigma = 0,15 \text{ kg/cm}^2$ .

Przyspieszenie drgań przy obciążeniu  $\sigma = 0,15 \text{ kg/cm}^2$  w celu uzyskania maksymalnego zagęszczenia powinno być nie mniejsze od  $6000 \text{ cm/s}^2$ .

Ze wzrostem obciążenia i wilgotności gruntu przyspieszenie drgań powinno wzrastać. Wpływ obciążenia na zagęszczenie gruntów związany jest z wilgotnością gruntu. Dla badanych gruntów suchych przy częstości drgań powyżej 34 Hz wzrost obciążenia do ok.  $0,15 \text{ kg/cm}^2$  powodował wzrost zagęszczenia, natomiast dla gruntów wilgotnych ze wzrostem obciążenia do  $0,05 + 0,10 \text{ kg/cm}^2$  obserwuje się czasami spadek zagęszczenia, a następnie jego wzrost. Można ogólnie przyjąć dla podanych częstości, że maksymalne zagęszczenie uzyskuje się przy obciążeniu  $\sigma = 0,15 \text{ kg/cm}^2$ .

Początkowy wzrost obciążenia powierzchniowego próbek do ok.  $0,15 \text{ kg/cm}^2$  eliminuje prawdopodobnie wpływ rozwibrowania gruntu, natomiast dalszy wzrost obciążenia uniemożliwia swobodne przemieszczanie się ziarn i cząstek gruntu oraz powoduje wzrost oporu tarcia pomiędzy ziarnami i cząstkami, co dodatkowo zmniejsza efekt zagęszczania.

Przy małych częstościach /22 Hz/ wzrost obciążenia powoduje spadek zagęszczenia, również i w tym przypadku wzrost obciążenia uniemożliwia swobodne przemieszczanie się ziarn i cząstek gruntu.

6. Przy ubijaniu gruntów w aparacie wielkowymiarowym wg energii normalnej i na stole wibracyjnym przy częstości drgań 74 Hz i amplitudzie 370  $\mu\text{m}$  pod obciążeniem statycznym próbki  $0,15 \text{ kg/cm}^2$  /zadawanym za pomocą sprężyny/ uzyskano w przybliżeniu takie same wartości  $\gamma_d \text{ max}$  i  $w_{\text{opt}}$ . Niższe wartości  $\gamma_d \text{ max}$  uzyskano w czasie badań wibratorem powierzchniowym przy częstości drgań 49 Hz i obciążeniu statycznym  $\sigma = 0,02 \text{ kg/cm}^2$ ; zagęszczenie to równa się ok. 0,96 zagęszczenia maksymalnego, uzyska-

nego z badań wg metody ubijania. Metodą wibracji powierzchniowej można uzyskiwać takie same zagęszczenia jak i metodą ubijania lub wibracji na stole wibracyjnym. W celu uzyskania tego zagęszczenia należy zwiększyć obciążenie statyczne do ok.  $0,3 \text{ kg/cm}^2$  [156], [172]. Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych na stole wibracyjnym jest wygodniejsza niż wibratorem powierzchniowym.

7. Wykonany aparat do badań zagęszczalności na stole wibracyjnym SW-2 może być zalecany do badań seryjnych zagęszczalności gruntów gruboziarnistych.

8. Wysokość próbki przy badaniu metodami wibracyjnymi powinna być równa średnicy aparatu. Badania należy przeprowadzać w jednej warstwie.

9. Stabilizacja zagęszczenia gruntu metodami wibracyjnymi następuje po ok.  $6 \div 12$  min wibracji.

Stabilizacja zagęszczenia gruntów suchych następuje po ok. 6 min, a gruntów wilgotnych po ok. 12 min, przy czym dla określania  $w_{\text{opt}}$  czas wibracji powinien wynosić ok. 12 min.

10. Najniższe zagęszczenie uzyskano przy zagęszczaniu za pomocą obciążeń statycznych /  $\sigma_{\text{max}} = 2,0 \text{ kg/cm}^2$  / w edometrze. Maksymalne zagęszczanie wg tej metody wynosi ok. 0,78 zagęszczenia maksymalnego uzyskanego w aparacie wielkowymiarowym metodą ubijania. Żeby uzyskać zagęszczenie równe maksymalnemu próbkę należałoby obciążyć znacznym obciążeniem statycznym /  $\sigma > 100 \text{ kg/cm}^2$  / [156].

Obciążenie to musi zniszczyć /przesunąć/ układy ziarn i cząstek, istniejące w badanej próbce. Przemieszczenia ziarn i cząstek przy obciążeniu statycznym są znacznie trudniejsze niż przy wibracji, gdyż w miejscach styków ziarn i cząstek w czasie ich przemieszczania należy pokonać duże opory tarcia. W związku z tym metoda statycznego zagęszczania gruntów nie jest najkorzystniejsza w stosowaniu.

11. Grunty gruboziarniste i kamieniste w warunkach polowych za pomocą maszyn zagęszczają się łatwo. Stabilizacja zagęszczenia warstw o grubości ok.  $40 \div 80$  cm następuje po ok.  $2 \div 3$  przejazdach ciężkich maszyn i po ok. 4 przejazdach maszyn lżejszych /p. 5.3/.

Wzrost zagęszczenia gruntu przy tej liczbie przejazdów



w stosunku do zagęszczenia po rozgarnięciu spycharką wynosi ok.  $7 \div 20\%$ , a wskaźnik zagęszczenia jest większy od 0,95.

12. Najlepszym sprzętem do zagęszczania gruntów gruboziarnistych i kamienistych jest ciężki sprzęt wibracyjny, a w szczególności walce wibracyjne o ciężarze powyżej 4 t. Przy stosowaniu walców wibracyjnych dla warstw o grubości  $40 \div 80$  cm po ok.  $2 \div 3$  przejazdach uzyskuje się wskaźnik zagęszczenia większy od  $1,0 / 1,0 \div 1,08/$ .

13. W celu opracowania technologii zagęszczania gruntów w nasypie o znacznej objętości /np. zapory ziemne, itp./, należy wcześniej wykonać badania próbne, na podstawie których można będzie wybrać optymalne grubości warstw i liczby przejazdów dla dysponowanego sprzętu oraz opracować metodykę kontroli zagęszczania [179] - [182].

14. Zagęszczalność gruntu zależy między innymi od następujących cech fizycznych gruntu: składu granulometrycznego i litologicznego, wilgotności, kształtu i stopnia obtoczenia ziarn oraz od pochodzenia gruntu.

Biorąc to pod uwagę w celu określenia miarodajnych parametrów zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych, należy wykonywać dla gruntu z każdego złoża odpowiednie badania.

15. Stwierdzono w badaniach gruntów gruboziarnistych i kamienistych duży wpływ przypadkowego ułożenia grubych ziarn na wyniki badań, przejawiający się dużymi ich rozrzutami. Wynika stąd konieczność wykonywania badań laboratoryjnych w dostatecznej ilości /min. 5 oznaczeń/ na próbkach gruntu możliwie jednorodnego; w tym celu zaleca się stosować specjalnie przygotowane typowe mieszanki z wysegregowanych frakcji. Wyniki badań należy opracowywać statystycznie [70], [180], [181].

16. Do kontroli zagęszczenia gruntów gruboziarnistych i kamienistych proponuje się metody podane w rozdz. 8.



# PROPONOWANE METODY KONTROLI ZAGĘSZCZENIA I WILGOTNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH W NASYPACH ORAZ METODY OCENY WYNIKÓW BADAŃ KONTROLNYCH

## 8.1. PROPONOWANE METODY KONTROLI ZAGĘSZCZENIA I WILGOTNOŚCI GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH I KAMIENISTYCH

1. Do oceny zagęszczenia gruntów gruboziarnistych i kamienistych niespoistych proponuje się stosować stopień zagęszczenia  $I_D$ , a dla gruntów zaglinionych /zawartość frakcji iłowej zredukowanej powyżej 2%/ wskaźnik zagęszczenia  $I_g$ .

2. Wartości  $\gamma_d \max$  wchodzące do wzoru na  $I_D$  proponuje się określać metodą wibracyjną na stole wibracyjnym SW-2 w metalowym cylindrze przy częstotliwości drgań 74 Hz i amplitudzie ok. 0,4 mm /słownik 2900 obr/min, kąt  $\varphi = 60^\circ$ / pod obciążeniem próbki  $\sigma = 0,15 \text{ kG/cm}^2$  /obciążenie zadawane przez sprężynę/. Czas wibracji powinien wynosić ok. 12 min. Próbka gruntu zagęszczana w 1 warstwie, powinna mieć wysokość równą średnicy. Średnica próbki powinna być co najmniej 5 razy większa od średnicy maksymalnych ziarn. Grunt w cylindrze należy zagęszczać stopniowo zwiększając wilgotność od stanu powietrzno-suchego do pełnego nasycenia. Do obliczeń należy brać wartość  $\gamma_d \max$  większą z badań w stanie powietrzno-suchym lub przy  $w_{opt}$  /patrz p. 4.3.3/. Wartość  $\gamma_d \min$  wchodzącą do wzoru na  $I_D$  należy określać przez bardzo ostrożne sypanie gruntu w stanie powietrzno-suchym do cylindra o wyżej określonych wymiarach z wysokości ok. 30 cm nad warstwą.

3. Wartość  $\gamma_d \max / \gamma_d g$  wchodzącą do wzoru na  $I_g$  proponuje się określać w wielkowymiarowym aparacie typu Proctora przez ubijanie /patrz p. 4.2/ gruntu o różnej wilgotności wg energii normalnej.

Wartości  $\gamma_d \max$  i  $w_{opt}$  można określać też obliczeniowo na podstawie wzorów /4.3/ + /4.11/, gdy zawartość frakcji  $> 7 \text{ mm}$



nie przekracza ok. 30% lub na podstawie wzorów /4.1/ i /4.2/ /patrz p. 4.2.4/.

4. Do określania ciężaru objętościowego gruntu proponuje się stosować aparaty membranowe lub folię i wodę, względnie piasek kalibrowany z wykorzystaniem foremnej bryły zastępującej część piasku.

Optymalną objętość dołka przy tych metodach należy określać każdorazowo doświadczalnie w zależności od uziarnienia gruntu.

Orientacyjne minimalne objętości należy przyjmować dla gruntów o  $d_{\max}$ :

$d_{\max} = 25 \text{ mm}$	-	$V = 3 \text{ l}$ ,
$d_{\max} = 80 \text{ mm}$	-	$V = 17 \text{ l}$ ,
$d_{\max} = 150 \text{ mm}$	-	$V = 110 \text{ l}$ ,
$d_{\max} = 250 \text{ mm}$	-	$V = 510 \text{ l}$ .

5. Do określania wilgotności gruntu proponuje się stosować:  
- suszenie gruntu w suszarce, ciężar próbek gruntu powinien być uzależniony od  $d_{\max}$  /patrz tablica 6.1/,  
- piknometr wodny o objętości 3 - 4 l,  
- suszenie gruntu z zastosowaniem kuchenki turystycznej.

W przypadku stosowania kuchenki lub piknometru uziarnienia gruntu powinno być ograniczone do ok. 20 mm.

Wilgotność gruntu o pełnym uziarnieniu proponuje się obliczać wg wzoru /6.3/ lub /6.7/.

6. Do kontroli zagęszczenia nasypu możliwe jest wykorzystanie metody płytowej przy obciążeniu statycznym do uziarnienia  $d_{\max} = 120 \text{ mm}$ . Średnica płyty powinna być min. 5 razy większa od  $d_{\max}$  gruntu /patrz p. 6.4.1/.

7. Do kontroli zagęszczania przy odpowiedniej organizacji wykonawstwa można też wykorzystać pomiary niwelacyjne /patrz p. 6.4.4/.

## 8.2. PROPONOWANE METODY OCENY WYNIKÓW BADAN KONTROLNYCH JAKOŚCI ZAGĘSZCZENIA NASYPÓW

W przypadku kontroli zagęszczenia nasypów ziemnych wyniki pomiarów kontrolnych wykorzystywane są parokrotnie do oceny jakości nasypu. Po raz pierwszy doraźnie przy odbiorze poszczególnych warstw nasypu. Po obliczeniu odpowiedniego wskaźnika charakteryzującego zagęszczenie gruntu wydawana jest decyzja, czy może być układana następna warstwa nasypu.

Po raz drugi wyniki pomiarów kontrolnych powinny być wykorzystane przy ocenie większej części nasypu, wykonanej podczas dłuższego okresu budowy, np. miesiąca, kwartału. Ocena taka ma szczególne znaczenie, gdyż stanowi podstawę do sprawdzenia prawidłowości stosowanego procesu technologicznego zagęszczania.

W tym przypadku wyniki powinny być opracowane statystycznie. Uzyskane z pomiarów kontrolnych zbiory liczbowe wskaźników opisujących grunt w nasypie /np.  $\gamma_d$ , w/ charakteryzują się w większości przypadków rozkładem normalnym [19], [168], [164] /rys. 8.1/.

Przy założeniu, że rozpatrywana cecha ma rozkład normalny obliczamy średnią arytmetyczną zmiennej losowej  $X$  i odchylenie standardowe  $S$  [19], [175]. Następnie sprawdzamy czy zachowany jest warunek

$$\bar{X} - 1,65 S \geq X_{\min \text{ dop}}, \quad /8.1/$$

gdzie:

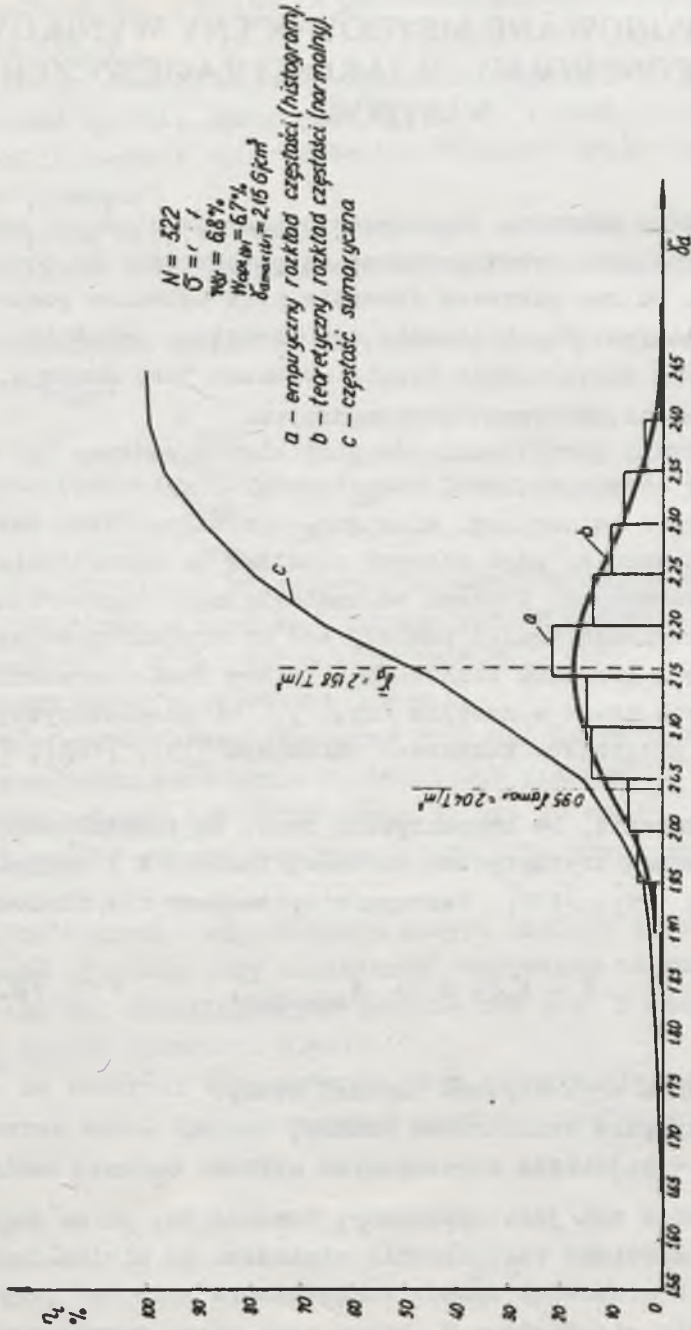
$\bar{X}$  - średnia arytmetyczna badanej cechy,

$S$  - odchylenie standardowe badanej cechy,

$X_{\min \text{ dop}}$  - najniższa dopuszczalna wartość badanej cechy.

Gdy warunek ten jest spełniony, oznacza to, że co najmniej 95% wyników odpowiada zagęszczeniu większemu od minimalnego dopuszczalnego i stosowany sposób zagęszczenia może być przyjęty.

Odchylenie standardowe  $S$ , które jest miarą rozproszenia pojedynczych wyników, w stosunku do średniej arytmetycznej  $\bar{X}$

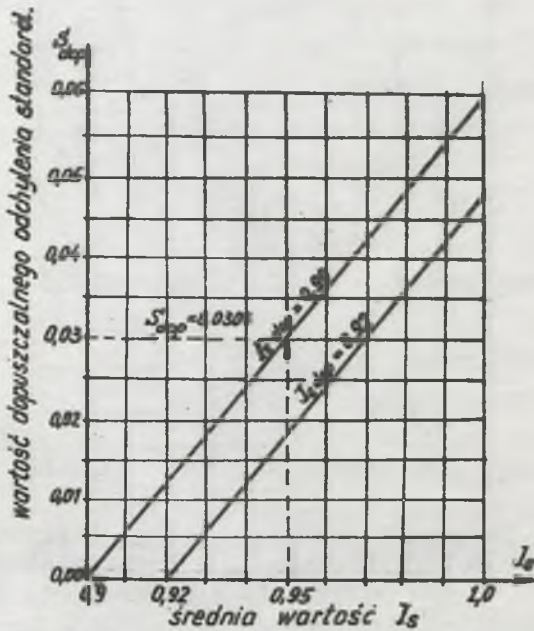


Rys. 8.1. Wyniki statystycznego opracowania kontroli zagęszczenia nasypu zapory w Wiśle-Czarnem [168]



charakteryzuje jakość wykonawstwa robót. Im mniejsza jest wartość  $S$ , tym bardziej unormowany jest sposób wykonywania nasypu i odwrotnie, większe  $S$  jest oznaką niejednorodnie wykonywanych robót [19].

Przy ocenie technologii wykonania nasypów ziemnych, za właściwą technologię uważa się taką, przy której odchylenie standardowe obliczane dla wskaźnika zagęszczenia  $I_S$  lub stopnia zagęszczenia  $I_D$  jest mniejsze od dopuszczalnej wartości odchylenia standardowego  $S_{dop}$ .  $S_{dop}$  można wyznaczać z nomogramów /rys. 8.2 i 8.3/ [19]. Przy konstruowaniu tych nomogramów

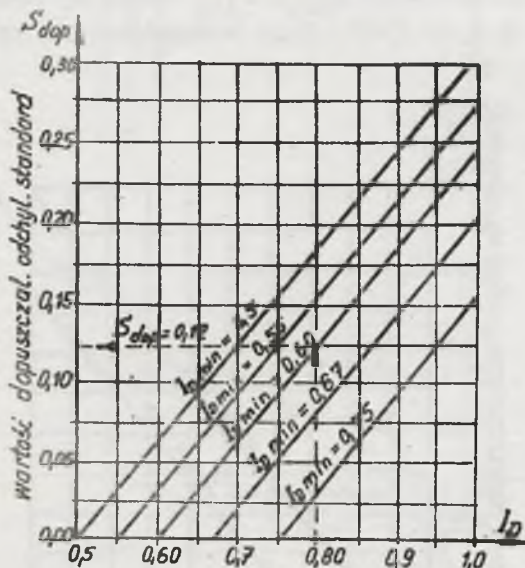


Rys. 8.2. Zależność pomiędzy średnią wartością wskaźnika zagęszczenia  $I_S$  a dopuszczalną wartością odchylenia standardowego [19]

założono, że badany parametr ma rozkład normalny. Ponadto przyjęto poziom istotności  $\alpha = 0,05$  i założono warunek zapisany wzorem /8.1/. Wykorzystując te nomogramy projektant może odpowiednio założyć kilka średnich wartości  $I_S$  lub  $I_D$  oraz odpowiadające im wielkości dopuszczalnych odchylen standardowych. Mini-

malne dopuszczalne wartości wskaźników  $I_D$  lub  $I_S$  projektant może określić na podstawie przyjętych do projektu parametrów wytrzymałościowych.

Pozwala to uelastyczyć wymagania odnośnie jakości zagęszczenia nasypu podane w różnych wytycznych w postaci stałej wartości wskaźnika, niezależnie od parametrów wytrzymałościowych, a wykonawcy na pewną dowolność organizacji procesu produkcyjnego.



Rys. 8.3. Zależność pomiędzy średnią wartością stopnia zagęszczenia  $I_D$  a dopuszczalną wartością odchylenia standardowego [19]

Prace kontrolne polegałyby wówczas na obliczeniu średniej wartości  $I_S$  lub  $I_D$  i odchylenia standardowego  $S$ .

Obliczana wartość odchylenia powinna być mniejsza od dopuszczalnej, odczytanej dla średnich wartości  $I_S$  lub  $I_D$  z nomogramów - rys. 8.2 lub rys. 8.3, aby stosowany przez wykonawcę proces zagęszczenia uznać za prawidłowy.

Po raz trzeci wyniki badań kontrolnych wykorzystane powinny być przy końcowej ocenie jakości wykonanego nasypu. Ocena taka musi opierać się na statystycznie opracowanej analizie poszczególnych wyników badań kontrolnych. Szczegółowy sposób obliczeń podany jest w literaturze [175].

## ZAŁĄCZNIKI

Załączniki numerowane są w sposób ciągły w ramach poszczególnych rozdziałów, które określone są cyfrą pierwszą.

Załączniki znajdują się w Bibliotece Instytutu Dróg i Mostów Wydziału Inżynierii Lądowej, Warszawa, ul. Koszykowa 76 /Gmach Nowej Kreszlarni/ oraz w Bibliotece Głównej Politechniki Warszawskiej, Warszawa, Plac Jedności Robotniczej 1.

- Załącznik 2.1. Orientacyjne grubości warstw zagęszczonych i liczba przejść sprzętu /tabl. 1/
- Załącznik 4.1. Opis aparatu wielkowymiarowego i metodyki badań zagęszczalności /str. 3/
- Załącznik 4.2. Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych w aparacie wielkowymiarowym typu Proctora /tabl. 3/
- Załącznik 4.3. Wyniki badań wpływu zawartości grubej frakcji na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych /tabl. 1, rys. 4/
- Załącznik 4.4. Porównanie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym i frakcji  $d \leq 7$  mm w aparacie normowym /tabl. 2, rys. 2/
- Załącznik 4.5. Metodyka przeprowadzonych badań wstępnych zagęszczalności na stole wibracyjnym oraz wyniki badań /str. 4, tabl. 2, rys. 42/
- Załącznik 4.6. Zestawienie wyników badań  $\gamma_{d \min}$  i  $\gamma_{d \max}$  po 10 min wibracji /tabl. 1, str. 6/
- Załącznik 4.7. Zestawienie wyników badań zagęszczalności metodą wibracyjną gruntów gruboziarnistych o różnej wilgotności /tabl. 6/
- Załącznik 4.8. Metodyka badań zagęszczalności za pomocą wibratora powierzchniowego i wyniki badań /str. 2, tabl. 14/



- Załącznik 4.9. Opis aparatury i metodyki badań zagęszczalności metodą obciążeń statycznych /str. 2/  
Załącznik 5.1. Próbné badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych za pomocą maszyn /str. 5, rys. 4/  
Załącznik 6.1. Zestawienie wyników badań wpływu wielkości wykopu na ciężar objętościowy gruntu gruboziarnistego z Tresnej /tabl. 1/

## BIBLIOGRAFIA

- [1] A m b r o s M., P i e t r a k J.: Je Proctorowa Standardne zkouška z hutňovani zemin skutečne standardni. Inženýrské Stavby 10, 1964  
[2] P r o c t o r R.R.: Fundamental Principles of Soil Compaction. Engineering News - Record, Nr 9, 10, 12 i 13, 1933  
[3] P r a c a z b i o r o w a: Mechanika gruntów dla inżynierów drożników. Awtotransizdat. Moskwa 1957  
[4] S z w e c h Z.: Zagęszczalność i pęcznienie gruntów spoistych pochodzenia fliszowego o naruszonej strukturze. Praca doktorska. Politechnika Warszawska, Warszawa, IX. 1972 r.  
[5] K h a f a j i A., W ę g r z y n W.: Study of Laboratory and field compaction. Archiwum Hdrotechniki t. 16, z. 1, 1969  
[6] K h a f a j i A.: Możliwość zastosowania obrotowego przyrządu ugniatającego dla badań zagęszczalności gruntów. IV Ogólnopolska Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Wrocław V.1967  
[7] Politechnika Warszawska. Katedra Mechaniki Gruntów i Fundamentowania: Sprawozdania dotyczące badań przeprowadzonych w 1957, 1958, 1959 r. w ramach prac "S" /maszynopis/, Warszawa 1958 - 1959  
[8] W i ł u n Z.: Mechanika Gruntów i Gruntoznawstwo Drogowe. WKiŁ, Warszawa 1967

- [9] Wi ężun Z., Pi s a r c z y k S. i inni: Laborato-  
ryjne metody badań właściwości mechanicznych gruntów pocho-  
dzenia fliszowego, zagęszczanych w korpusach zapór. Prace  
IGW. T. VI, Zeszyt 2. WKiŁ, Warszawa 1970
- [10] Wi ężun Z., Pi s a r c z y k S.: Zagęszczalność i  
cechy mechaniczne gruntów nasypowych /otoczkowych i drob-  
noziarnistych/. IGW Konferencja naukowa. Badania naukowe  
i postęp techniczny w dziedzinie gospodarki wodnej. Budow-  
nictwo Wodne. Tom II. Warszawa, 6-7.X.1970 r.
- [11] N o r m a PN-55/B-04494. Grunty budowlane. Badania właś-  
ciwości fizycznych. Oznaczenie stopnia zagęszczania
- [12] M u h s H.: Die Prüfung des Baugrundes und der Boden,  
Springer Berlin 1957
- [13] O r z e c h o w s k i J., P r z y s t a ń s k i J.:  
Badania stanu zagęszczania piasków w laboratorium. Zeszyty  
Naukowe Politechniki Poznańskiej. Budownictwo Lądowe nr 6,  
Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Poznańskiej, Poznań  
1964
- [14] I d z i k J., S m a g a ę a St.: In fluence of silt  
fraction upon the criterion of determining the compaction  
degree of noncohesive soils. Proceedings of the second  
seminar on Soil Mechanics and Foundation Engineering.  
Łódź IX.1970
- [15] M o s i e j K.: Issledowanija po opriedieleniju kriteriew  
ocenki upłotnienija nasypiej ziemlianych sooruzenij iz  
pieszczanych gruntow. Proceedings of the second seminar on  
Soil Mechanics and Foundation Engineering. Łódź IX.1970
- [16] K o l b u s z e w s k i J.: An eksperimental study of  
the maximum and minimum porosities of sands. Proc. 2-nd  
Inst.Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1,  
Rotterdam, 1948
- [17] Politechnika Warszawska. Instytut Dróg i Mostów, Zakład  
Geotechniki: Opinia w sprawie stosowanych metod zagęszcza-  
nia gruntu i określenia niezbędnych środków dla uzyskania  
wskaźnika zagęszczenia  $w_z \geq 0,95$  na budowie zapory ziem-  
nej zbiornika wodnego "Sulejów" na rzece Pilicy w Smardze-  
wicach /maszynopis/, Warszawa 31.V.1971
- [18] K o z ł o w s k i W., K a r a ś M., S t a r o -  
w i c z J.: Technologia wykonywania zapory ziemnej w  
Rybniku. Gospodarka Wodna 1/1972
- [19] R e c z e k J.: Wybrane zagadnienia kontroli zagęszcze-  
nia nasypów wykonywanych z gruntów gruboziarnistych. Gospo-  
darka Wodna nr 6/1971

- [20] United States Department of the Interior Bureau of Reclamation: Development of a maximum density test for cohesionless soil by a vibratory method. Denver, Colorado, May 8, 1961
- [21] Politechnika Warszawska. Instytut Dróg i Mostów, Zakład Geotechniki: Sprawozdanie z wykonania w 1969 i 1970 r. pracy naukowo-badawczej pt. "Opracowanie technologii układania i zagęszczania korpusów zapór ziemnych i narzutowych. Badania dotyczące metody wibracyjnego zagęszczania gruntów oraz badania w aparatach wielkowieściowych" /maszynopis/, Warszawa, X.1974
- [22] K o l b u s z e w s k i J.: Specjalne własności piasków. Porowatość graniczna. Wykład 1. SGGW, Warszawa 1967
- [23] Politechnika Warszawska. Instytut Dróg i Mostów, Zakład Geotechniki: Wyniki z wykonania w 1973 r. badań w ramach problemu węzłowego 10.1.2. temat 02.02.03. Metody wykonawstwa i kontroli robót ziemnych budowli nasypowych /maszynopis", Warszawa, XII.1973
- [24] T e r z a g h i K., P e e k R.: Die Bodenmechanik in der Baupraxis. Springer. Berlin 1961
- [25] K r i z e k R.J., F e r n a n d e z J.I.: Vibratory densification of damp clayey sands. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division Proceedings of the ASCE SMB, VII.1971
- [26] S l ę z a k A.: Określenie zagęszczenia ziemnych zapór wznoszonych metodą hydromechanizacji w świetle doświadczeń budowy Elektrowni Koronowo. Praca doktorska. PAN. IBW-Gdańsk /maszynopis/. Kraków - Gdańsk 1961
- [27] U.S. Department of the interior Bureau of Reclamation: Development of a maximum density test cohesionless soil by a vibratory Method. Office of Asystant Commissioner and Chief Engineer, Denver, Colorado, May 8, 1961
- [28] S z a f r a n Z.: O wpływie wibracji na osiadanie piasków o ziarnach owalnych i ostrokrawędzistych. Archiwum Hydrotechniki. Tom X, zeszyt 4. PWN, Warszawa 1963
- [29] J a k o w l e w a N.J.: Płotność namywnych i nasypnych damb, Gidrotiechniczskoje stroitelstwo 6/1962
- [30] G o r d z i e j c z u k W.: Zagęszczanie nasypów w budownictwie wodnym. Archiwum Hydrotechniki, Tom VI, zeszyt 4, PWN, Warszawa 1959
- [31] S ł u p s k i W.: Badania laboratoryjne zagęszczania piasków przez wibrację. Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Sprawozdanie z tematu TG-44 /maszynopis/, Warszawa XI.1974



- [32] B a r k a n D.D.: Ustrojstwo osnowanij сооруhenij s primienieniem wibrirowanija. Wydawnictwo MCPM, Moskwa 1949
- [33] F a b i a n o w s k i J.: Zagęszczanie gruntów piaszczystych metodą wibrowania. BSiPTBP. Dział Fundamenty nr 211, Warszawa 1956
- [34] O l i n g e r E.: Badania nad zagęszczaniem gruntów wibratorami powierzchniowymi. Nowości w Technice Drogowej, zeszyt 34. Ministerstwo Komunikacji. COBiRTD, Warszawa 1967
- [35] L a m b e T.W., W h i t m a n R.V.: Soil Mechanics. Wyd. John Wiley and Sons. N.Jork, London, Sydney, Toronto 1969
- [36] M a k o w s k i J.: Stateczność kolejowych budowli ziemnych w świetle rozważań teoretycznych oraz analizy charakterystycznych osuwisk na PKP. Prace Naukowo-Badawcze PW nr 32, WPW, Warszawa 1974
- [37] B r u m u n d W.F., L e o n a r d s G.A.: Subsidence of sand due to surface vibration. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. Proceeding of the ASCE SM 1,I.1972
- [38] G o r d o n B., M i l l e r R.: Control of earth and rockfill for Oroville dam. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division SM 3, 1966
- [39] B r e t h H.: Die boden - und felsmechanischen Untersuchungen für das Pumpspeicherwerk Vianden, Die Wasserwirtschaft 7, 1963
- [40] F l o s s R.: Verdichtungs und Verformungseigenuschaften grobkörniger bindiger Mischböden. Strasse und Autobahn 1, 1968
- [41] A k r o y d T.N.: Laboratory testing in soil engineering. London 1957
- [42] M a c L e a n D.I., W i l l i a m s F.H.P.: Research on soil compaction at the Road Research Laboratory. Proceedings of II International Conference on Soil Mechanics and Found. Engineering, vd IV. Rotterdam 1948
- [43] W i l c z y Ń s k i A.: Wykorzystanie wyników badań Proctora przy kontroli zagęszczania. Drogownictwo 4, 1961
- [44] S a w i n o w O.A.: Ob eksperimentalnom issledowanii swojstw nasypnych gruntow pod masziny. Trudy LO N11 Minmaszstroja, I, 1949
- [45] C y t o w i c z N.A.: Mechanika Gruntów. Wyd. Geologiczne. Warszawa 1958

- [46] Ministerstwo Rolnictwa: Warunki techniczne wykonania i odbioru robót ziemnych. WTWiO. Projekt. Warszawa 1972
- [47] G i e r y c h A.: Jaki powinniśmy mieć sprzęt do zagęszczania nasypów, ZBWI Biuletyn Branżowy I-II 1972
- [48] Ż u r e k J.: Nasypy hydrotechniczne wykonywane z gruntów gruboziarnistych. Materiały Badawcze IGW. Seria Budownictwo Wodne nr 2, Warszawa 1972
- [49] M o s i e j K., W o l s k i W.: Tymczasowa instrukcja wykonywania nasypów i wałów przeciwpowodziowych. Melioracje Rolne. Biuletyn Informacyjny, 4/1970
- [50] N o w a k S.: Problemy układania i zagęszczania warstw filtracyjnych pod betonowe ubezpieczenia skarp budowli wodnych. ZBWI, Biuletyn Branżowy nr I/1973
- [51] W e l l e r: Die Verdichtung im Erdbau nach dem ZTVE-St.B.65. Düsseldorf 1968
- [52] M o s i e j K.: W sprawie wyboru efektywnego sprzętu do zagęszczania gruntów piaszczystych. Gospodarka Wodna 1/1972
- [53] O l i n g e r E.: Rozważania na temat zagęszczania gruntów. Nowości w Technice Drogowej Min.Komunikacji. Warszawa z. 51/1972
- [54] V o s s R., F l o s s R.: Die Bodenverdichtung im Strassenbau. Werner - Verlag, Düsseldorf 1968
- [55] N o r m a PN-59/B-04491. Grunty budowlane, oznaczanie wilgotności optymalnej i maksymalnego ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego
- [56] VEB Bau - und Montagekombinat Ost Betrieb Industriebau Schwedt: Überprüfung der Lagerungsdichte von Erdstoffen - Prüfungen in Feld, Schwedt /Oder/, 1975
- [57] L e e K.L., S i n g h A.: Relative Density and Relative Compaction, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers, SM 7, VII.1971
- [58] P i s a r c z y k S.: Zależność między wskaźnikiem zagęszczenia i stopniem zagęszczenia gruntów niespoistych. Inżynieria i Budownictwo 5/1975
- [59] S l ę z a k A.: Określanie zagęszczenia ziemnych zapór wznoszonych metodą hydromechaniczacji w świetle doświadczeń budowy elektrowni Koronowo. Praca doktorska. PAN IBW - Gdańsk /maszynopis/. Kraków - Gdańsk 1961
- [60] J o h n s o n A.W., S a l l b e r g J.R.: Factor that Influence Field Compaction of Soil. Highway Research Board. Washington, D.C. 1960

- [61] K a l a b i ń s k i B.: Wyniki badań laboratoryjnych i terenowych z zakresu zagęszczania nasypów drogowych w 1957 r., Wyd. Komunikacyjne. Prace Instytutu Budownictwa Drogowego nr 3/1958
- [62] K a l a b i ń s k i B.: Badania z zakresu wykonania drogowych robót ziemnych, Wyd. Komunikacyjne. Prace Instytutu Budownictwa Drogowego nr 3/1957
- [63] Politechnika Warszawska. Katedra Mechaniki Gruntów i Fundamentowania: Sprawozdania dotyczące badań przeprowadzonych w latach 1957-1960 w ramach prac "S", /maszynopis/ Warszawa 1957-1960
- [64] M a r s a l R.J.: Large scale testing of rockfill materials, Journal of the Soil Mechanics and Foundations, Division SM 2, 1967
- [65] K a w a l e c B.: Zagęszczalność nasypów z odpadów kopalnianych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Budownictwo, zeszyt 29, 1972
- [66] G r a b o w s k i Z., P i s a r c z y k S.: Aparatura średniowymiarowa do badania gruntów żwirowo-kamienistych. Seminarium "Geotechnika w budownictwie lądowym" Referaty. Inst. Bud. i Inż. Środowiska Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 3-4.XII.1974
- [67] R u c h i n L.B.: Osnovy kitołogii, Gostoptiechizdat. Leningrad 1953
- [68] N a w a r a K.: Analiza kształtu otoczków w górnym biegu Dunajca i jego dopływach na Podhalu, Prace Muzeum Ziemi 1, 1960
- [69] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej: Określenie własności fizyko-mechanicznych gruntu przeznaczonego na nasyp statyczny zapory w Klimkówce /maszynopis/. Warszawa, XII. 1974
- [70] P i s a r c z y k S.: Cechy fizyko-mechaniczne gruntów gruboziarnistych niektórych dolin rzek górskich. Praca doktorska /maszynopis/. Warszawa 1970
- [71] M y z n i k o w J.N.: Upłotniajemość szczeblienisto-drieswianych suglinkow pri otriciatielnych tiempieraturach narużnogo wożducha. Gidrotiechniczieskoje Stroitelstwo 2/1969
- [72] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation: Compaction characteristics of gravelly soils. Commissioner's Office. Denver, Collorado, September 20, 1957
- [73] R e c z e k J.: Wybrane zagadnienia kontroli zagęszczenia nasypów wykonywanych z gruntów gruboziarnistych, Gospodarka Wodna 6/1971



- [74] P i s a r c z y k S.: Badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie Proctora, Drogownictwo 3 i 4, 1973
- [75] Ł u s z n o w N.P.: Wlijanie ziernogo sostava i sposoba upłotnienia krupnoobłomocznego materiała na jego płotnost w nabroskie. Gidrotechničeskoje Stroitelstwo 10/1972
- [76] S i e d e k P., V o s s R.: Bodenprüfverfahren bei Strassenbauten. Werner, Verlag, Düsseldorf 1960/1963
- [77] S t r u k K.: Bodenverdichtung im Strassenbau und ihre Prüfverfahren. Springer, Berlin 1961
- [78] A k r o y d T.N.: Laboratory testing in soil engineering. J. Wiley and Sons. London 1957
- [79] H e m e r k a K. i i n n i: Přiručka pro silnični laboratore. SMTEL, Praha 1958
- [80] M a c L e a n D.J., W i l l i a m s F.H.P.: "Research on soil compaction at the Road Research Laborator" Proceedings of the II International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. IV. Rotterdam 1948
- [81] R e c z e k J.: Wpływ wielkości cylindra na dokładność oznaczenia ciężaru objętościowego gruntu gruboziarnistego. Gospodarka Wodna 4/1966
- [82] A d a m c z y k J.: Zastosowanie fal akustycznych do określenia wskaźnika zagęszczania gruntów nasypowych. Praca doktorska. Politechnika Warszawska. Warszawa II.1974
- [83] N o r m a PN-55/B-04488. Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Oznaczanie ciężaru objętościowego, ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego, porowatości i wskaźnika porowatości
- [84] N o r m a PN/B-04491 /projekt/. Wytyczne pobierania próbek
- [85] N o r m a PN-62/S-04011. Drogi samochodowe. Oznaczenie wskaźnika zagęszczenia gruntu
- [86] A l e k s i e j e w K.W.: Opriedielenije obiemnogo wiesamoriennogo grunta s nienaruszennoj strukturoj. Gidrotechničeskoje Stroitelstwo, 1/1950
- [87] J a n i a k Z.: Metody kontroli zagęszczenia nasypów hydrotechnicznych budowli ziemnych. Górnictwo Odkrywkowe 5-6/1972
- [88] S z m a k o w M.J.: Polewoje opriedelenie płotnosti pieszczanogalecznych gruntow. Gidrotechničeskoje Stroitelstwo 3/1955

- [89] I b r a g i m o w M.J.: Kontrol za pŁotnostju krupno-obŁomocznych gruntow na stroitielstwie Orto-Tokojskoj pŁotiny. Gidrotiechniczskoje Stroitielstwo 10/1956
- [90] G i l g B.: Erdbaumechanische Probleme bei der Projektierung und beim des Standammes Maitmark. Schweizerische Bauzeitung, 11/1965
- [91] B a v e a u x M.: Precision d'une mesure de compacite'en place effecturee au gros denisometre à membrane. Bull. de Liaison des Lab. Rout., 5, 1964
- [92] P i s a r c z y k S.: Kontrola zagęszczania gruntów gruboziarnistych w nasypach. Inżynieria i Budownictwo 2/1974
- [93] R e c z e k J.: Próba określenia optymalnej metody kontroli zagęszczenia nasypów wykonywanych z gruntów gruboziarnistych na przykładzie badań aluwiiów z dolin rzek Soły i Dunajca. Praca doktorska, SGGW. Warszawa 1970
- [94] P à u l O.: Eine Methode zur Ramgewichtsbestimmung des Untergrundes. Bauplanung - Bautechnik 9, 1969
- [95] P i e t r ó w G.N., R i e j f m a n L.S., S i e l i e w i e r s t o w G.G.: Kontrol pŁotnosti gornoj massy. Gidrotechniczskoje Stroitielstwo, 6/1969
- [96] S p e r l i n G.: Ermittlung der Rochdichte grobkörniger Erdstoffe durch Tonsuspension. Bauplanung - Bautechnik 4, 1963
- [97] K a l i s i e w i c z B.: Metody kontroli robót przy wykonawstwie podbudów z kruszyw stabilizowanych. Konferencja naukowo-techniczna. Organizacja i metody kontroli technicznej robót drogowych. Zbiór referatów. Wrocław XI.1970
- [98] S c h o n Ch.: Les picnometres à air, Bulletin de liason des laboratoires routiers 4, 1963
- [99] K o w a l e w N.P.: Poliewyje metody ispytaniya gruntow w wodnoj sriedie. Gosstrojizdat USRR, 1963
- [100] D a n i ł o w A.J.: Sowierszenstwowanie sposoba opriedieleniya pŁotnosti i wŁaźnosti gruntow priborom N.P. Kowalewa, Osnowanija, fundamienty i mechanika gruntow 4, 1969
- [101] O r c z y k o w s k i A., S k r z y Ń s k i E.: Szybki sposób oznaczania niektórych wŁaściwości gruntów. Biuletyn Branżowy, Zjednoczenie Bud. Wodno-Inżynieryjnego, IV, 1973
- [102] M i k u c k i Z., F ü r s t e n b e r g A. i inni: Wykonywanie i kontrola filtrów odwrotnych przy rdzeniach zapór z gruntów fliszowych. Prace IGW. Tom V, z. 2, Warszawa 1968

- [103] P u ł a t o w U.J.: Uskorieńnyj sposob opriedielenija włączności gruntu. Hidrotiechniczskoje Stroitielstwo, 7, 1955
- [104] P i s a r c z y k S.: Metody oznaczania wilgotności gruntów gruboziarnistych. Inżynieria i Budownictwo, 10/1973
- [105] S ł u p s k i W.: Wytyczne wykonywania skróconych badań gruntów oraz określenie ich przydatności do robót drogowych. Prace COBiRTD 2, 1963
- [106] G i e r y c h A.: Metody polowe kontroli zagęszczenia gruntów. Biuletyn Branżowy ZBWI, III, 1968
- [107] N o w a k S.: Nowe metody rozwiązania szybkiej kontroli stanu gruntów nasypowych i zasypek budowlanych. Biuletyn Branżowy ZBWI, I-II. 1972
- [108] N o w a k S.: Ocena przydatności metody karbidowej do pomiaru wilgotności gruntu gruboziarnistego. Drogownictwo, 7-8. IX. 1973
- [109] Z e l l e r J., Z e i d l e r H.: Test fiels with coarce shell materials for Göschenenalp dam. Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. II. London 1957
- [110] K u l c z i c k i j G.B.: Opriedielenije włączności eluwalnych krupnoobłomocznych gruntow. Osnowanija, fundamienty i mechanika gruntów 4/1967
- [111] S z w i e c W.B.: Eliuwalnyje grunty tak osnowanija soorużenii. Strojizdat. Moskwa 1964
- [112] K u l c z y c k i W.: Wodożądność kruszyw do betonów w dwuparametrowej charakterystyce granulometrycznej. Archiwum Inżynierii Lądowej. PAN, Tom X, z. 2, Warszawa 1964
- [113] K a t a l o g "New Products Catalog Rapid Test Methods" Firma Soiltest, Evanston, Illinois USA 1970
- [114] Patent pracowniczy UP PRL nr P.169675 /Wilgotnościomierz pojemnościowy"
- [115] Instrukcja "Elektronnyj włączomietr LEW-3" SSSR, Briańsk 1963
- [116] B o j a n o w s k i W., G n u t e k J., R o s s i ũ s k i B.: Zastosowanie metod izotopowych do pomiaru gęstości i wilgotności pewnego gruntu gruboziarnistego. Gospodarka Wodna, 2/1964
- [117] B o r o w c z y k M., C z u b e k J., D z i u n i k o w s k i B. i inni: Określenie wilgotności i ciężaru objętościowego gruntów sypkich in situ metodami radiometrycznymi. Archiwum Inżynierii Lądowej. Tom VII, z. 2, 1961



- [118] C z y ż e w s k i K., W o l s k i W. i inni: Zapory ziemną. Arkady, Warszawa 1973
- [119] K r z y ż a n o w s k i J.: Zastosowanie izotopowych sond otworowych do badania zagęszczenia nasypów zapór bocznych we Włocławku. Gospodarka Wodna 5/1967
- [120] R e c z e k J.: Wlijanie granulometryczeskogo sostawa grunta na radioizotopnyje izmierienija upłotnienija nasypiej iz krupnoziernistych gruntow. Proceedings of the Second Seminar on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Łódź, September 1970
- [121] S o r o k o w s k i P.: Kontrola zagęszczenia nasypów metodą płyty naciskowej. Nowości w Technice Drogowej. Zeszyt 27. Min.Komunikacji. COBiRTD, Warszawa 1965
- [122] S o r o k o w s k i P.: Porównanie różnych metod zastosowania płyty naciskowej do kontroli zagęszczenia podłoża drogowego. Nowości w Technice Drogowej, Zeszyt 28-29. Min. Komunikacji.. COBiRTD, Warszawa 1966
- [123] S o r o k o w s k i P.: Zagęszczenie gruntu podłoża w związku z typizacją konstrukcji nawierzchni drogowych. Nowości w Technice Drogowej, Zeszyt 32. Min.Komunikacji. COBiRTD, Warszawa 1967
- [124] N o r m a branżowa BN-64/8931-02 Drogi samochodowe. Oznaczenia modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą
- [125] B r o u s e k M.: Hutněni zemniho tělesa hráze na Morávce v Morave. Inženýrské Stavby, 5/1963
- [126] K o ł o d z i ń s k i E., P i s a r c z y k S.: Wstępne badania polowe na terenie budowy zapory w Tresnej. IGW. Materiały Badawcze. Tom III, z. 3, Warszawa 1968
- [127] W i ł u n Z., P i s a r c z y k S.: Wstępne badania ścisłości gruntów gruboziarnistych w wielkowymiarowym edometrze i za pomocą próbných obciążeń w Wiśle-Czarnem. Materiały Badawcze. KGW. Seria Budownictwo Wodne nr 6, IGW, Warszawa 1972
- [128] S o r o k o w s k i P.: Możliwości wprowadzenia u nas nowych metod badania nośności nawierzchni i podłoży drogowych. Prace COBiRTD nr 1, 1963
- [129] B o r k o w s k i H.: Ugięciomierz dynamiczny HB-PG/62 do badania nośności nawierzchni podatnych. Drogownictwo 7, 1965
- [130] R a h n H., S k i e n d z i e l H.: Der Erdstoff als Baugrund und Baustoff, Heft 4, Bestell - Nr A-A 4.4

- [131] R e c z e k J.: Badania mechanicznych właściwości gruntów sypkich za pomocą ugięciomierza uderowego. Konferencja naukowa. Budownictwo wodno-melioracyjne, sekcja III, IMUZ, Falenty 6-7.V.1975
- [132] K o w a l c z u k Z. i inni: Zarys geofizyki stosowanej. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1972
- [133] Instrukcja obsługi urządzenia do sejsmiki młotkowej OC-103B. "Hydrokop", Kraków 1970
- [134] P a ł k a J.: Zastosowanie fal ultradźwiękowych do badania własności fizyko-chemicznych gruntów. Praca habilitacyjna, Warszawa 1960
- [135] W a s i l i e w a A.A., Z o b a c z e w N.M., Ł o b a n o w a G.Ł.: Primienienije ultrazwuka dla opriedielenija płotnosti gruntow. Osnowanija, fundamenty i miechanika gruntow, 2/1969
- [136] G r a b o w s k i Z., P i s a r c z y k S., O b r y c k i M.: Kontrola zagęszczenia nasypów przy zastawianiu sondy uderowej i ręcznego penetrometru. Konferencja naukowa 1975. Budownictwo wodno-melioracyjne. Sekcja III, IMUZ, Falenty 6-7.V.1975
- [137] W o l s k i W., M o s i e j K.: Wyniki badań zagęszczenia nasypów ziemnych sondą wbijaną. Gospodarka Wodna, 8-9, 1970
- [138] B o r o w c z y k M., F r a n k o w s k i Z.: Polowe badania gruntu lekką sondą stożkową. Inżynierie i Budownictwo 3, 1974
- [139] D a h l b e r g R.: Penetration testing in Sweden. Reprint from Proceedings of the European Symposium on Penetration Festing ESOPT Stockholm, June 5-7, 1974, Vol. 1, State of the art reports. Byggeforskningen 1974
- [140] B e r g d a h l U.: Penetration test in cokesionless soils in Sweden. Ram sounding weight sounding static penetrometer test. BORROS AB, Sweden, May 1974
- [141] R o l l a S.: Badania gruntów penetrometrami. Drogownictwo 2, 1964
- [142] B o r k o w s k i H.: Ocena dokładności pomiaru zagęszczenia gruntu. Część I, II, III, Drogownictwo 9, 10, 12, 1974
- [143] A d a m c z y k J.: Wpływ niektórych czynników na wielkość wskazań penetrometru sprężynowego PK-1. Biuletyn Branżowy Zjednoczenia Budownictwa Wodno-Inżynieryjnego, II.1973

- [144] K a ź m i e r c z y k E.: Wstępne próby zastosowania metody penetracyjnej do badania gruntów w budownictwie lotniskowym. Informator ITWL, Numer okolicznościowy 1973
- [145] K a ź m i e r c z y k F.: Określenie zagęszczenia gruntów metodą penetracyjną. Drogownictwo 9, 1973
- [146] P i o t r o w s k i M.: Przyrząd mechaniczny do oznaczania stanu gruntu. Przegląd Geologiczny 6, 1971
- [147] K r u t o w W.J., E j d u k R.P.: Opriedielenije otnositielnoj prosadocznosti grunta staticzeskim zondirowaniem s powierchnosti dna szurfa. Osnowanija, fundamienty i miechanika gruntow 3, 1971
- [148] Politechnika Warszawska, Instytut Dróg i Mostów. Zakład Geotechniki: Wyniki z wykonania w 1973 r. badań w ramach problemu węzłowego 10.1.2, temat 02.02.03. Metody wykonawstwa i kontroli robót ziemnych budowli nasypowych /maszynopis/, Warszawa XII.1973
- [149] B o r o w c z y k M., K r ó l i k o w s k i C.: Sonda uniwersalna do pomiaru właściwości fizycznych gruntów. Archiwum Hydrotechniki, tom XII, 1965
- [150] I g n u t R., K ł ę b e k A., P u c h a l s k i R.: Terenowe badania geologiczno-inżynierskie. Wyd. Geologiczne. Warszawa 1970
- [151] D a d ź i j e w G.Ch.: K mietodikke kontrolnych opriedielenii płotnosti kamiennoj nabroski. Trudy Instituta WODGEO. Wypusk 11. Moskwa 1968
- [152] L a u f f e r H., S c h o b e r W.: The Gepatsch rock-fill dam in the Kauner - Valley. Eighth International Congress on Large Dams, Vol. III. Edinburgh 1964
- [153] P i s a r c z y k S., S z w e c h Z.: Niektóre problemy kontroli zagęszczania nasypów kolejowych jako budowli ziemnych. SITiK NOT. Konferencja naukowo-techniczna pt. "Linie o dużych prędkościach na przykładzie realizacji Centralnej Magistrali Kolejowej Śląsk-Warszawa". Kielce 7-8 listopad 1975
- [154] K l a b l e n a P.: Prepis pre kontrolu stupňa zhutnienia zemin. Vyskumny Ustav Inžinierskych Stavieb, Bratislava I.1972
- [155] B e h r ' a H.: Ein Beitrag zur Erfahrungssammlung im Umgang mit Isotopensonden bei Baugrunduntersuchungen. Strassen und Tiefbau, 10, 1965
- [156] F o r s s b l a d L.: Investigations of Soil Compaction by Vibration. Acta Polytechnica Scandinavica. Stockholm 1965



- [157] F r o ł o w B.K.: Projektowanie i stroitelstwo kamiennonabrosnej płotiny Karters, Gidrotiechničeskoje Stroitelstwo 10, 1968
- [158] G r i s z i n M.M.: Płotiny. Gosstrojizdat. Moskwa 1964
- [159] R o ź d i e s t w i e n s k i j E.D., K o r o t k o w M.E.: Powiedienije galiecznikow pri układkie ich w tieżo sooruženija, Gidrotiechničeskoje Stroitelstwo 2, 1950
- [160] Road Research Laboratory DCJR Soil Mechanics for Road Engineers, Her Majesty's Stationary office. London 1952
- [161] K o ł o d z i ń s k i E., P i s a r c z y k S.: Wstępne badania polowe na terenie budowy zapory w Tresnej, IGW. Materiały badawcze. Tom III, z. 3, Warszawa 1968
- [162] Politechnika Warszawska. Katedra Geotechniki: Sprawozdanie z wykonania badań właściwości gruntów zapory zbiornika w Głębinowie na rzece Nysa Kłodzka /maszynopis/, Warszawa 1968
- [163] Politechnika Warszawska. Katedra Geotechniki: Sprawozdanie z wykonania w 1969 r. badań zagęszczalności pospółek otoczkowatych i rumoszu na poletkach doświadczalnych w Wiśle-Czarnem /maszynopis/, Warszawa 1970
- [164] R e c z e k J., W o l s k i W.: Przykład zastosowania metod statystycznych do opracowania wyników kontroli zagęszczania zapory Tresna, Gospodarka Wodna 8, 1967
- [165] Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej: Opracowanie wyników badań przeprowadzonych na poletku doświadczalnym dla zapory w Dobczycach /maszynopis/, Warszawa IX.1973
- [166] Instytut Techniki Budowlanej. Zakład Geotechniki: Budowa zapór zbiornika w Głębinowie na rzece Nysie Kłodzkiej. Sprawozdanie końcowe z wykonania i kontroli jakości robót /maszynopis/, Warszawa X.1971 - IV.1972
- [167] P i s a r c z y k S.: Próbne badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych za pomocą różnych maszyn. Drogownictwo 7-8, 1973
- [168] Politechnika Warszawska. Instytut Dróg i Mostów: Orzeczenie techniczne dotyczące stanu gruntów wbudowanych w korpus statyczny zapory wodnej w Wiśle-Czarne /maszynopis/, Warszawa X.1973
- [169] Gnieźnieńskie Przedsiębiorstwo Metalowe Przemysłu Terenowego: Stół wibracyjny, typ SW-2. "Dokumentacja techniczno-ruchowa", 1969
- [170] Akademia Rolnicza. Instytut Budownictwa Melioracyjnego i Rolniczego w Warszawie: Sprawozdanie z wykonania w r. 1971-1972 pracy naukowo-badawczej pt. "Opracowanie metod stoso-

wania załilonych gruntów gruboziarnistych do budowy elementów uszczelniających nasypów hydrotechnicznych" /maszynopis/, Warszawa 1972

- [171] M o s i e j K.: Analiza kryteriów oceny zagęszczenia nasypów ziemnych z gruntów drobnoziarnistych w budownictwie wodno-melioracyjnym. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, 8-9, 1975
- [172] F o r s s b l a d L.: New Method for Laboratory Soil Compaction by Vibration. Reprint from Research Record, nr 177. "Symposium on Compaction of Earthwork and Granular Bases", Washington, D.C., 1967
- [173] K i s i e l J.: Dynamika fundamentów pod maszyny. PWN, Warszawa 1957
- [174] N o r m a PN-75/B-04481. Grunty budowlane. Badania laboratoryjne
- [175] U b y s z - B o r u c k a L., T r ę t o w s k i J.: Metoda statystycznego opracowywania wyników kontroli jakości nasypów. Gospodarka Wodna 8, 1967
- [176] T y r a ła J., S t a r o w i c z J.: Kontrolne badania laboratoryjne obwałowań zbiornika górnego elektrowni Porąbka-Żar. Materiały konferencji naukowej nt. "Problematyka geotechniczna w projektowaniu i budowie elektrowni pompowej Porąbka-Żar". Porąbka-Żar, 22-23.XI.1976
- [177] K n a b e W.: Compaction tests on small samples. Archiwum Hydrotechniki. Tom XXI, zeszyt 3, 1974
- [178] K l u z T., E y m a n K.: Projektowanie betonów. Arkady, Warszawa 1969
- [179] G r a b o w s k i Z., S z w e c h Z.: Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych nasypów kolejowych stacji Łosień. XXII Konferencja naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Referaty - tom I, Krynica 1976
- [180] G r a b o w s k i Z., P i s a r c z y k S., W i łą n Z., Ż u r e k J.: Kontrola jakości nasypów hydrotechnicznych z gruntów gruboziarnistych. Materiały badawcze IGW nr 5, Warszawa 1971
- [181] G r a b o w s k i Z., P i s a r c z y k S., W i łą n Z., Ż u r e k J.: Badania własności gruntów gruboziarnistych do celów projektowania nasypów hydrotechnicznych. Materiały badawcze IGW, nr 6, Warszawa 1971
- [182] Ż u r e k J.R.: Nasypy hydrotechniczne wykonywane z gruntów gruboziarnistych. Materiały badawcze IGW, nr 2, Warszawa 1972





## COMPACTIBILITY OF COARSE-GRAINED AND STONY SOILS

### S u m m a r y

The purpose of this work is to elaborate the methodics of compactibility testing and the control of the quality of coarse-grained and stony soils consolidation in the embankments.

At the beginning of this work the analysis has been carried out regarding methods of soil compactibility tests hitherto existing as well as factors influencing the soil consolidation and then the lines of self-investigations have been established.

To accomplish the task put forward it was necessary to design prototypical large-dimension apparatus for laboratory and field investigations of the soils under discussion as well as to elaborate the testing methodics and to carry out the series of tests.

In the further part of this work the methodics of self-investigations has been presented as well as the results of investigations concerning the mentioned soils consolidation obtained by means of compacting, vibrating and static loading in the laboratory and field conditions and results of control tests of the quality of embankment consolidation.

The work finishes with generalization of the results of the carried out tests as well as the methodics suggested by the author for testing those soils consolidations and methodics of control tests of the quality of the embankment consolidation.

## COMPACTAGE DU SOL A GRAINS ET PIERREUX

### R é s u m é

Cet étude a pour objectif d'élaborer la méthodologie de recherche sur le compactage et contrôle de la qualité du compactage du sol à gros grains et pierreux dans les remblais.

Au commencement de cet étude on a fait l'analyse des méthodes connues de recherche sur le compactage du sol et les facteurs ayant une influence au compactage, ensuite on a déterminé les tendances de la propre étude. Il était nécessaire, pour réaliser ce devoir de faire construire les appareils prototypes de grands dimensions pour les expériences au laboratoire et en plein air sur le sol discuté, élaboration d'une méthodologie de recherche, faire plusieurs expériences.

Dans la suite, on a présenté la méthodologie de propres expériences et les résultats reçus dans les expériences avec le sol mentionné ci-dessus par une méthode de pilonnement, de vibration et de charge permanente, dans les conditions laboratoires et en plein air, aussi bien que des examens de contrôle de la qualité du compactage des remblais.

La fin de cet étude est consacrée à la généralisation des résultats qui ont été menés par l'auteur et aussi par la proposition de la méthodologie des expériences sur le compactage de ce sol et par les examens de contrôle de la qualité du compactage de remblais construits.

## УПЛОТНЯЕМОСТЬ КРУПНОЗЕРНИСТЫХ И КРУПНООБЛОМОЧНЫХ ГРУНТОВ

### К р а т к о е   с о д е р ж а н и е

Целью работы является составление методики исследований уплотняемости и контроля качества уплотнения насыпных, крупнозернистых и крупнообломочных грунтов.

В начале работы проведен анализ существующих методов исследований уплотняемости грунтов и факторов влияющих на их уплотнение, после чего определено направление собственных исследований.

Для реализации поставленного задания необходимым было сконструировать прототипы аппаратов для исследований грунтов в лабораторийных и натурных условиях, а также разработать методику исследований и провести ряд исследований.

В дальнейшей части работы представлена методика исследований и получены результаты исследований вышеуказанных грунтов трамбованием, вибрацией и статической нагрузкой в лабораторийных и натурных условиях, также контрольных исследований качества уплотнения насыпных грунтов.

Работа кончается обобщением проведенных исследований и предложенной автором методикой исследований уплотняемости этих грунтов и методикой контрольных исследований качества уплотнения поднимавшихся насыпных грунтов.



## VERDICHBARKEIT VON GROBKÖRNIGEN UND STEINIGEN BÖDEN

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Das Ziel dieser Arbeit ist die Bearbeitung von Methodik der Verdichtbarkeitsprüfungen und Qualitätskontrollen der Verdichtung bei grobkörnigen und steinigen Böden in Dämmen.

Am Anfang vorliegender Arbeit wurde die Analyse der bisherigen Prüfverfahren der Verdichtbarkeit von Böden sowie der diese Verdichtung beeinflussenden Faktoren durchgeführt, und anschliessend sind die Richtlinien der eigenen Untersuchungen bestimmt worden.

Für die Verwirklichung der aufgestellten Aufgabe war es notwendig, die massigen Prototyp-Prüfgeräte für Labor- und Geländeuntersuchungen zu bearbeiten. Es wurden ebenfalls zahlreiche Prüfungen durchgeführt.

Im weiteren Teil der Arbeit wurde die Methodik der Eigenprüfungen und die erhaltenen Ergebnisse aus Prüfungen der o.g. Böden bei ihrer Verdichtung mittels Einstampfen, Rütteln und statischer Beanspruchungen unter Labor- und Geländebedingungen sowie die Ergebnisse der Kontrolluntersuchungen der Verdichtungsqualität von Dämmen dargestellt.

Die Arbeit endet mit einer Verallgemeinerung der gewonnenen Prüfergebnisse sowie mit der vom Verfasser vorgeschlagenen Methodik von Verdichtungsprüfungen der besprochenen Böden und Kontrolluntersuchungen der Verdichtungsqualität der zu errichtenden Dämme.





**BIBLIOTEKA GŁÓWNA**

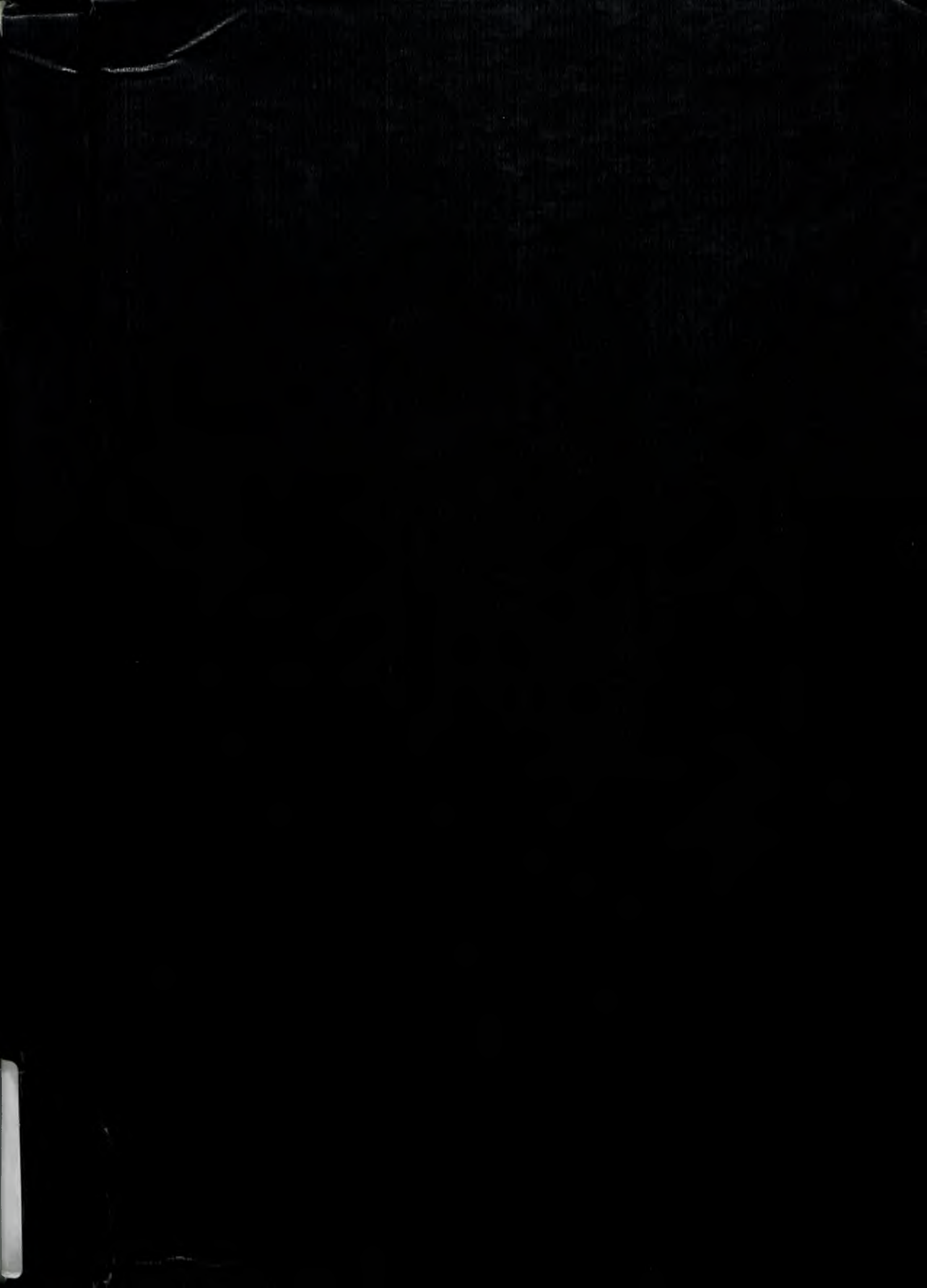
Politechniki Warszawskiej

**C.069360/01**



400000000283995

**BG Magazyn  
Podstawowy**





C. 69 360



WYDZIAŁ HISTORII I SOCJOLOGII  
KATEDRA HISTORII  
KRAJÓW SŁOWIAŃSKICH

WYDZIAŁ HISTORII I SOCJOLOGII

WYDZIAŁ HISTORII I SOCJOLOGII  
KATEDRA HISTORII



108-1-78-D

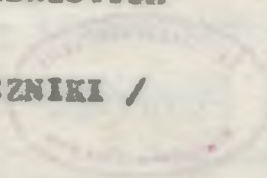
624.138

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA**  
**Instytut Dróg i Mostów**  
**Zakład Geotechniki**

**Dr inż. Stanisław J. PISARCZYK**

**ZAGĘSZCZALNOŚĆ GRUNTÓW GRUBOZIARNISTYCH  
I KAMIENISTYCH**

**/ZALACZNIKI /**



**Warszawa , 1977 r.**



Zak. 21

Wykaz załączników

- Załącznik 2.1. Orientacyjne grubości warstw zagęszczonych i ilości przejść sprzętu
- Załącznik 4.1. Opis aparatu wielkowymiarowego i metodyki badań zagęszczalności
- Załącznik 4.2. Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych w aparacie wielkowymiarowym typu Proctora
- Załącznik 4.3. Wyniki badań wpływu zawartości grubej frakcji na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych
- Załącznik 4.4. Porównanie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym i frakcji  $d \leq 7$  mm w aparacie normowym
- Załącznik 4.5. Metodyka przeprowadzonych badań wstępnych zagęszczalności na stole wibracyjnym oraz wyniki badań.
- Załącznik 4.6. Zestawienie wyników badań  $\gamma_{dmin}$  i  $\gamma_{dmax}$  po 10 min wibracji
- Załącznik 4.7. Zestawienie wyników badań zagęszczalności metodą wibracyjną gruntów gruboziarnistych o różnej wilgotności
- Załącznik 4.8. Metodyka badań zagęszczalności za pomocą wibratora powierzchniowego i wyniki badań
- Załącznik 4.9. Opis aparatury i metodyki badań zagęszczalności metodą obciążeń statycznych
- Załącznik 5.1. Próbne badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych za pomocą maszyn
- Załącznik 6.1. Zestawienie wyników badań wpływu wielkości wykopu na ciężar objętościowy gruntu gruboziarnistego z Tresnej.









## Opis aparatu wielkowymiarowego typu Proctora i metodyki badań zagęszczalności

### 1. Opia aparatu wielkowymiarowego

Aparat /rys.4.1/ składa się z cylindra o średnicy 100 cm i wysokości 130 cm /wysokość próbki 100 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 porusza się ubijak. Pierścień obrotowy prowadnicy zawieszony jest na trójnogu. Ubijak jest podnoszony za pomocą ręcznej lub mechanicznej windy, a opuszczony jest przez uchylenie hała, 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 zaznaczyć, że tego typu zostało wykonanych w Polsce 2 aparaty. W ślad za tymi aparatami zostały wykonane w Polsce aparaty o mniejszej średnicy, w Politechnice Śląskiej aparat o średnicy 52 cm [65], w Politechnice Warszawskiej wg projektu autora o średnicy 49 cm [66] i w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej o średnicy 26 cm [69].

Aparaty średniowymiarowe wymagają mniejszego nakładu pracy przy wykonywaniu badań niż aparaty wielkowymiarowe oraz nie wymagają specjalnych pomieszczeń.

## 2. Metodyka badań zagęszczalności w aparacie wielkowymiarowym

### 2.1. Metoda normalna

Grunt według metody normalnej zagęszcza się w 3 warstwach o grubości około 33 cm każda, ubijakiem o ciężarze 109 kG. Liczba uderzeń na warstwę - 119. Wysokość opadania ubijaka - 121 cm. Grubość całkowita ubitych 3 warstw wynosi około 100 cm. Energia jednostkowa zagęszczania -  $6 \text{ kGcm/cm}^3$ . Zagęszczenie gruntu przeprowadza się, rozpoczynając od wilgotności w stanie powietrzno suchym, a następnie grunt zawilgaca się, zwiększając wilgotność stopniami o około 1-2%. Po zagęszczeniu gruntu określa się jego objętość, ciężar oraz wilgotność. Objętość zagęszczonego gruntu ustala się na podstawie pomiarów wysokości próbki w kilkudziesięciu punktach. Ciężar zagęszczonego gruntu w cylindrze określa się przez ważenie na wadze dziesiętnej z dokładnością 0,1 kG. Wilgotność gruntu oznacza się na 3 wysokościach próbki. Do oznaczenia wilgotności pobiera się z 10 punktów na danej wysokości 5-10 kG gruntu, a następnie suszy do stałego ciężaru.

W aparacie wykonywano badania gruntu o uziarnieniu do 200 mm.

### 2.2. Metoda zmodyfikowana

Grunt według metody zmodyfikowanej zagęszcza się w 5 warstwach o grubości około 20 cm każda ubijakiem 320 kG. Liczba uderzeń na warstwę 107. Wysokość opadania ubijaka - 124 cm.

Grubość całkowita ubitych warstw wynosi około 100 cm. Energia jednostkowa zagęszczania -  $27 \text{ kG/cm/cm}^3$ . Dalsze postępowanie jak w metodzie normalnej.



**2.3.**

Zagęszczenie gruntu przy zużyciu energii równej połowie normalnej. Grunt według tej metody zagęszcza się jak według metody normalnej, w 3 warstwach, stosując liczbę uderzeń na warstwy 59,59,60.

Energia jednostkowa zagęszczenia -  $3 \text{ kGcm/cm}^3$ .

**2.4. Zagęszczenie się gruntu luźno nasypanego**

Grunt według tej metody sypano grunt z wysokości ok. 30 cm do cylindra aparatu bez zagęszczenia uderowego. Badanie rozpoczyna się od wilgotności gruntu w stanie powietrzno suchym, a następnie grunt się zawilgaca, zwiększając wilgotność stopniami.

Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów  
gruboziarnistych i kamienistych w aparacie wielkowymiarowym typu Proctora

1. Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym typu Proctora wg metody normalnej /tablica 1/
2. Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym typu Proctora wg metody zmodyfikowanej /tablica 2/.
3. Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym typu Proctora wg metody <sup>energii równej 1/2 energii normalnej</sup> ~~zmodyfikowanej~~ /tablica 3/
4. Zestawienie wyników badań ciężaru objętościowego gruntu luzem nasypanego dą aparatu wielkowymiarowego typu Proctora (tablica 4).



Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowiarymowym typu Proctora według metody normalnej

Miejsce pobrania próby	Uziarnienie	V m <sup>3</sup>	G T	$\gamma$ T/m <sup>3</sup>	w %	$\gamma_d$ T/m <sup>3</sup>	d <sub>max</sub> T/m <sup>3</sup>	W <sub>opt</sub> %	d <sub>gr</sub> mm	S <sub>r</sub> przy W <sub>opt</sub> i d <sub>max</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bromowce Wyższe /S-2/ 1966	ϕ < 80 mm, bez zastępowania ϕ > 80 mm frakcja ϕ 60-80 mm rys.	0,773	1,600	2,07	1,5	2,039				
Kamieniec Dunajca		0,7838	1,758	2,24	3,9	2,156				
		0,770	1,800	2,34	5,4	2,229	2,245	5,9	22,51	0,87
		0,798	1,880	2,35	5,5	2,230				
		0,784	1,8718	2,38	6,2	2,240				
Frydman /F/ Kamieniec Białki	- " -	0,7847	1,615	2,058	1,9	2,019				
		0,7844	1,728	2,203	3,8	2,120				
		0,785	1,8095	2,300	5,4	2,180	2,23	6,2	14,89	0,87
		0,781	1,903	2,370	6,2	2,230				
	rys.	0,784	1,835	2,340	6,8	2,190				
Jażowsko /J/ Kamieniec Dunajca	- " -	0,776	1,6943	2,17	4,5	2,07				
		0,775	1,715	2,21	5,5	2,10				
		0,775	1,7672	2,28	6,3	2,14	2,162	6,9	19,36	0,81
		0,780	1,8058	2,31	7,1	2,16				
	rys.	0,785	1,793	2,28	7,8	2,11				
Kojsówka /K/ Kamieniec Czarne Dunajca	- " -	0,775	1,695	2,18	1,3	2,16				
		0,780	1,7628	2,26	3,5	2,18				
		0,772	1,779	2,30	4,5	2,20	2,21	5,5	19,29	0,73
		0,771	1,8018	2,33	5,5	2,21				
	rys.	0,770	1,8159	2,36	8,0	2,18				
Niedzica /N/ Kamieniec Niedziczanka	- " -	0,7765	1,6983	2,187	6,6	2,05				
		0,7799	1,7600	2,250	7,6	2,09				
		0,7885	1,7870	2,270	9,2	2,08	2,11	8,4	19,31	0,87
		0,8050	1,825	2,270	9,4	2,07				
	rys.	0,7979	1,8000	2,255	9,6	2,05				
Wisła-Czarne W.Cz. I Kamieniec Białej Wisielki	ϕ < 80 mm, ϕ > 80 mm za- stąpiono ϕ 60-80 mm rys.	0,765	1,6470	2,15	3,4	2,08				
		0,790	1,776	2,25	5,7	2,13	2,22	6,6	31,00	0,90
		0,790	1,848	2,34	6,6	2,22				
		0,781	1,847	2,36	6,9	2,21				
Wisła-Czarne W.Cz. III Kamieniec Białej Wisielki	- " -	0,769	1,647	2,14	3,7	2,07				
		0,774	1,709	2,21	5,5	2,10				
		0,774	1,713	2,21	5,8	2,09	2,13	6,7	31,22	0,73
		0,779	1,772	2,27	6,8	2,13				
	rys.	0,778	1,732	2,23	8,7	2,07				
Wisła-Czarne W.Cz. II taras wysoki Ciałej Wisielki	- " -	0,775	1,704	2,20	5,2	2,09				
		0,765	1,716	2,24	5,9	2,12				
		0,782	1,788	2,29	5,8	2,14	2,15	7,3	26,01	0,83
		0,768	1,777	2,31	7,7	2,145				
	rys.	0,784	1,742	2,22	10,6	2,01				
		0,775	1,704	2,20	5,2	2,09				
		0,765	1,716	2,24	5,9	2,12	2,15	7		



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Wisła-Czarne W.Cz.IV taras wysoki Białej Wisielki	$\phi < 80$ mm, $\phi > 80$ mm zas- tapiono $\phi$ 60-80 mm  Rys.	0,770 0,797 0,752 0,776 0,789	1,719 1,820 1,701 1,718 1,752	2,23 2,28 2,26 2,21 2,22	5,5 7,0 8,6 10,1 10,9	2,11 2,13 2,08 2,01 2,00	2,135	6,7	27,62	0,74
Wisła-Czarne W.Cz.III Kamieńiec Białej Wisielki	naturalne uziarnienie /dmax $\leq 200$ mm/ / $\phi > 80=33,6\%$ /  rys.	0,771 0,785 0,741 0,776 0,787 0,807 0,778 0,780	1,742 1,818 1,737 1,818 1,862 1,873 1,835 1,826	2,26 2,32 2,34 2,34 2,37 2,32 2,36 2,34	4,5 5,0 5,8 6,0 6,6 6,6 6,8 6,8	2,16 2,21 2,21 2,21 2,22 2,18 2,21 2,19	2,22	6,0	51,18	0,82
Wisła-Czarne W.Cz.IV taras wysoki Białej Wisielki	naturalne uziarnienie $\phi \leq 200$ mm / $\phi > 80=37,9\%$ /  rys.	0,794 0,765 0,778 0,780 0,815 0,802	1,787 1,745 1,747 1,814 1,864 1,847	2,25 2,28 2,24 2,32 2,29 2,30	5,3 5,8 6,0 6,5 6,5 7,0	2,14 2,16 2,11 2,18 2,15 2,15	2,165	6,5	49,29	0,78
Wisła-Czarne W.Cz.V taras wysoki Białej Wisielki	naturalne uziarnienie $\phi \leq 200$ mm / $\phi > 80=26,6\%$ /  rys.	0,800 0,785 0,794 0,753	1,7670 1,7570 1,7960 1,6925	2,20 2,24 2,25 2,25	5,1 5,4 6,5 7,2	2,09 2,12 2,11 2,10	2,13	5,7	47,81	0,62
Głębinów złoże Nr 1 taras Nysy Kłodzkiej	naturalne uziarnienie $\phi < 60$  rys.	0,77668 0,78390 0,78000 0,77817 0,77676	1,6619 1,7137 1,7002 1,6932 1,6721	2,14 2,19 2,18 2,16 2,15	7,9 9,3 10,3 11,1 11,6	1,98 2,00 1,98 1,95 1,93	2,01	9,7	6,89	0,81
Głębinów złoże Nr 2 taras Nysy Kłodzkiej	naturalne uziarnienie $\phi < 100$ mm  rys.	0,77866 0,78000 0,7772 0,78000	1,6767 1,7489 1,7682 1,7775	2,15 2,24 2,275 2,28	5,3 6,6 7,8 9,6	2,04 2,10 2,11 2,07	2,12	7,3	15,45	0,77
Głębinów złoże nr 5 taras Nysy Kłodzkiej	naturalne uziarnienie $\phi < 40$ mm  rys.	0,76145 0,76224 0,78814 0,77913 0,78406 0,7750	1,5269 1,5384 1,6290 1,6797 1,7228 1,6900	2,00 2,02 2,07 2,16 2,19 2,18	4,6 5,8 7,7 9,5 9,7 10,8	1,91 1,91 1,92 1,97 1,99 1,96	1,99	9,7	4,39	0,78
Wisła-Czarne W.Cz.II taras wysoki	uziarnienie $\phi < 60$ mm zagęszczenie w cylindrze CBR $\phi = 135,72$ mm i h = 177,85 mm	5,3 8,1		5,3 8,1	5,3 8,1	2,05 2,11 2,06 1,955	2,11	8,2	7,83	0,85
Bobczyce D-1 /taras niższy/ Kamieńiec	$\phi \leq 200$ mm $\phi > 200$ zast. 120-200 /aparat wielkowym./  rys.				2,9 3,5 4,6 5,9 6,1 6,3 7,5 8,4	2,023 2,049 2,074 2,105 2,116 2,166 2,160 2,150	2,16	7,5	61,46	0,88



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Dobczyce D-2 /taras wyższy/ rys.	$\phi < 100$ /aparat wielkowym./ rys.				4,1 5,0 5,9 7,1 8,2 9,2 10,3	2,023 2,040 2,060 2,100 2,140 2,120 2,064	2,140 8,3 22,23 0,92			
Słup S III	uziarnienie naturalne $\phi < 50$ mm /aparat wielkowym./ rys.				2,4 4,4 6,4 7,8 9,2 10,3	1,910 2,016 2,116 2,113 2,055 1,985		2,12 7,0 7,86 0,74		
Słup /S I/ /szybik Nr 3/	$d_{\max} = 60$ mm /aparat wielkowym./	0,770 0,719 0,704 0,691 0,684 0,708 0,817	1,530 1,545 1,560 1,578 1,590 1,628 1,640	2,04 2,15 2,22 2,28 2,32 2,31 2,28	2,60 2,72 4,58 5,02 5,76 7,23 8,02	1,98 2,07 2,12 2,17 2,20 2,15 2,11		2,20 5,8 8,39 0,75		
Słup /S II/ szybik Nr 3	$d_{\max} = 60$ mm aparat wielkowym.	0,752 0,723 0,701 0,685 0,678 0,684 0,710	1,536 1,548 1,563 1,577 1,584 1,593 1,613	2,04 2,15 2,23 2,29 2,34 2,33 2,27	2,49 3,16 4,18 4,63 5,29 6,37 7,78	1,99 2,08 2,14 2,20 2,22 2,18 2,11		2,22 5,3 8,39 0,73		
Klimkowska Mieszanka I /K I/	$d_{\max} = 60$ mm aparat $\phi = 26$ cm	0,015178 0,015019 0,014913 0,014488 0,014170 0,014488	0,030 0,0306 0,0312 0,0318 0,0324 0,0330	1,98 2,04 2,09 2,19 2,28 2,28	0 2 4 6 8 10	1,978 1,997 2,010 2,075 2,120 2,075		2,2 8,0 16,51 0,85		
Klimkowska Mieszanka II /K II/	- " -	0,014632 0,014438 0,014276 0,013586 0,013220 0,013480	0,0276 0,0282 0,0288 0,0296 0,0300 0,0306	1,89 1,95 2,02 2,17 2,27 2,27	0 2,18 4,38 6,54 8,72 10,90	1,886 1,912 1,935 2,035 2,084 2,047		2,09 8,8 22,77 0,87		
Dobczyce Kamioniec D-1	$d_{\max} = 60$ mm aparat $\phi 49$ cm	0,092367 0,092367 - " - - " - - " - - " -	0,1934 0,2074 0,2128 0,2163 0,2147 0,2123	2,093 2,245 2,304 2,342 2,324 2,293	0,7 2,98 4,76 6,23 7,59 9,01	2,079 2,180 2,199 2,205 2,160 2,108		2,205 5,2 17,11 0,68		



Tablica 2

Zestawienie wyników badań zagęszczenia gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowiarymowym typu Proctora wg metody zmodyfikowanej

Miejsce pobrania próby	Uziarnienie		V m <sup>3</sup>	G T	$\gamma$ T/m <sup>3</sup>	w %	$\gamma_d$ T/m <sup>3</sup>	$\gamma_{d\ max}$ T/m <sup>3</sup>	W <sub>opt</sub> %	Uwagi
	d <sub>max</sub> mm	d <sub>sr</sub> mm								
Wisła-Czarne w.cz. III	naturalne		0,840	1,983	2,36	2,6	2,30			
	d <sub>max</sub> 200 mm		0,848	2,019	2,38	3,3	2,304			
kamienio B. Wiselki		51,18	0,794	1,868	2,35	3,9	2,265	2,31	3,0	
			0,816	1,892	2,32	5,2	2,205			
Wisła-Czarne w.cz. I /baras średni B. Wiselki/	naturalne		0,853	1,8849	2,21	2,5	2,156			
	d <sub>max</sub> 200 mm	47,81	0,820	1,8693	2,28	3,3	2,207	2,26	4,5	<del>ubijamp</del> tylko dwie warstwy
			0,670	1,5775	2,35	5,8	2,221			



Tablica 3

Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowięmiarowym typu Proctora wg energii równej 1/2 normalnej energii

Miejsce pobrania próby	Uziarnienie		V m <sup>3</sup>	G T	$\gamma$ T/m <sup>3</sup>	w %	$\gamma_d$ T/m <sup>3</sup>	$\gamma_{dmax}$ T/m <sup>3</sup>	V <sub>opt</sub> %
	d <sub>max</sub> mm	d <sub>sr</sub> mm							
Wiała-Czarne w. cz. III Kamieniec B. Wisielki	$\phi < 80$ mm		0,580	1,233	2,12	4,2	2,04		
	$\phi > 80$ mm za-		0,770	1,700	2,21	6,5	2,07		
	stępiono	31,22	0,772	1,746	2,27	8,4	2,08	2,08	8,0
	$\phi 60-80$ mm rys.		0,775	1,758	2,27	8,5	2,08		
			0,793	1,800	2,27	10,3	2,06		

Zestawienie wyników badań ciężaru objętościowego gruntu luzem nasypanego do aparatu wielkowymiarowego typu Proctora

Miejsce pobrania próby	Uziarnienie		V m <sup>3</sup>	G T	$\gamma$ T/m <sup>3</sup>	w %	$\gamma_d$ T/m <sup>3</sup>	$\gamma_{dmax}$	w <sub>opt</sub> %
	d <sub>max</sub> mm	d <sub>śr</sub> mm							
Wisła-Czarne w.cz.I Kamieniec Białej Wisielki	d <sub>max</sub> mm ϕ < 80 mm ϕ > 80 zastąpio- no ϕ 60-80 mm rys.	31,22	0,781	1,391	1,78	3,4	1,72		
			0,809	1,613	1,99	6,9	1,85		
Wisła-Czarne w.cz.III Kamieniec Białej Wisielki	- " - rys.	31,22	0,792	1,521	1,92	4,8	1,83		
			0,780	1,532	1,96	5,8	1,85	1,85	6,0
Wisła-Czarne w.cz.II taras średni Białej Wisielki	- " - rys.	26,01	0,781	1,339	1,70	5,2	1,62		
			0,780	1,293	1,66	5,9	1,59	1,83	11,0
			0,774	1,343	1,73	6,8	1,62		
			0,774	1,454	1,83	7,7	1,70		
			0,792	1,654	2,09	10,6	1,83		



**Wyniki badań wpływu zawartości grubej frakcji  
na zagęszczalność gruntów gruboziarnistych**

Załącznik zawiera:

1. Tablica Nr 1 - Zestawienie wyników badań wpływu grubych ziarn na zagęszczalność gruntów
2. Rys.1 i 2. Wykresy zagęszczalności gruntu
3. Rys.3 i 4. Wykresy uziarnienia gruntu

Wielkość pomiarowa	Zawartość wodorostów $\sigma_{\text{w}}$ w %				
	0	10,9	2,07	9,5	7,10
Wielkość pomiarowa	1,00	10,9	2,07	9,5	7,10
Wielkość pomiarowa	1,00	9,5	2,07	8,7	2,00
Wielkość pomiarowa	1,00	15,2	1,28	2,3	2,00

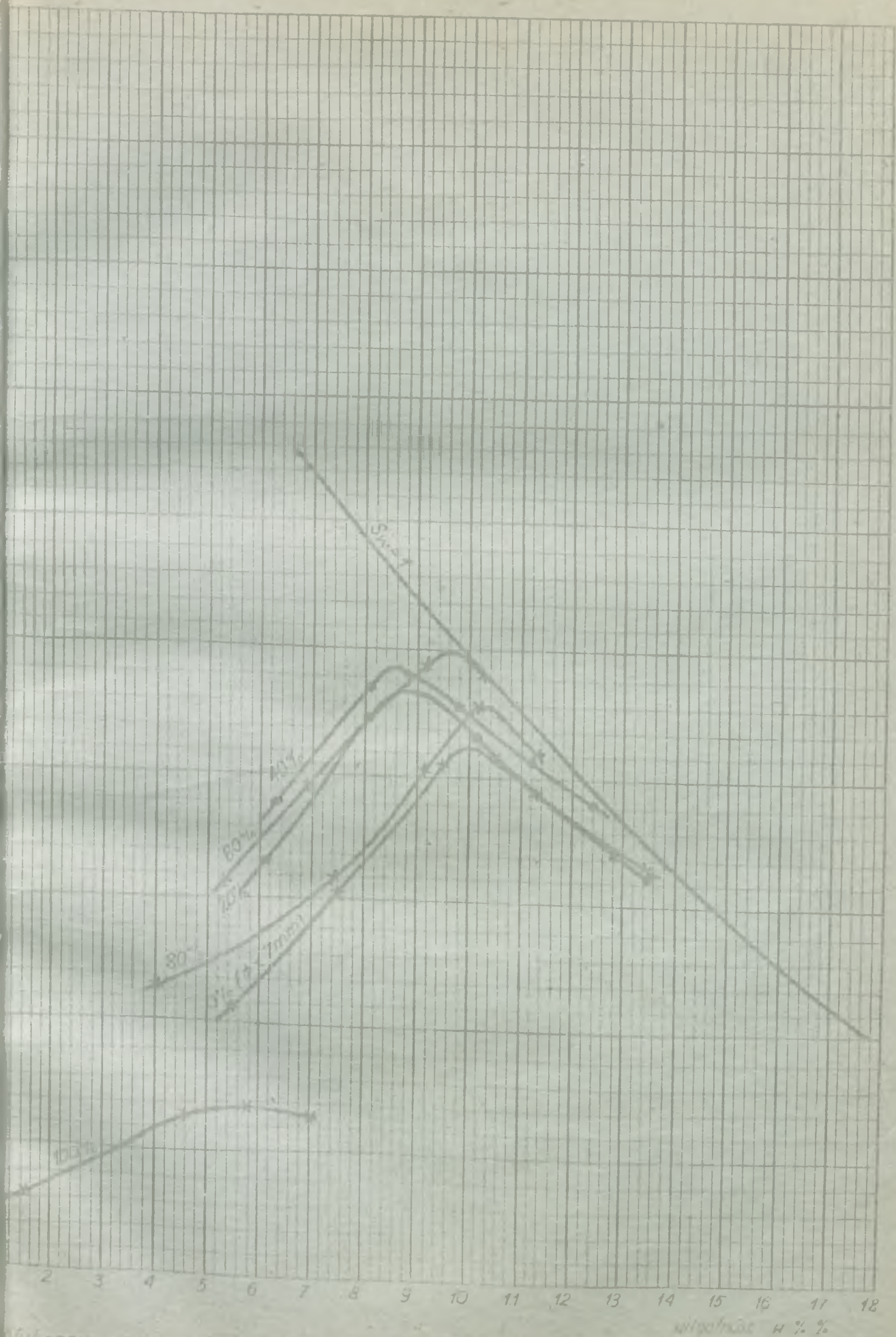


Tablica 1

Zestawienie wyników badań wpływu grubych ziarn na zagęszczalność gruntów

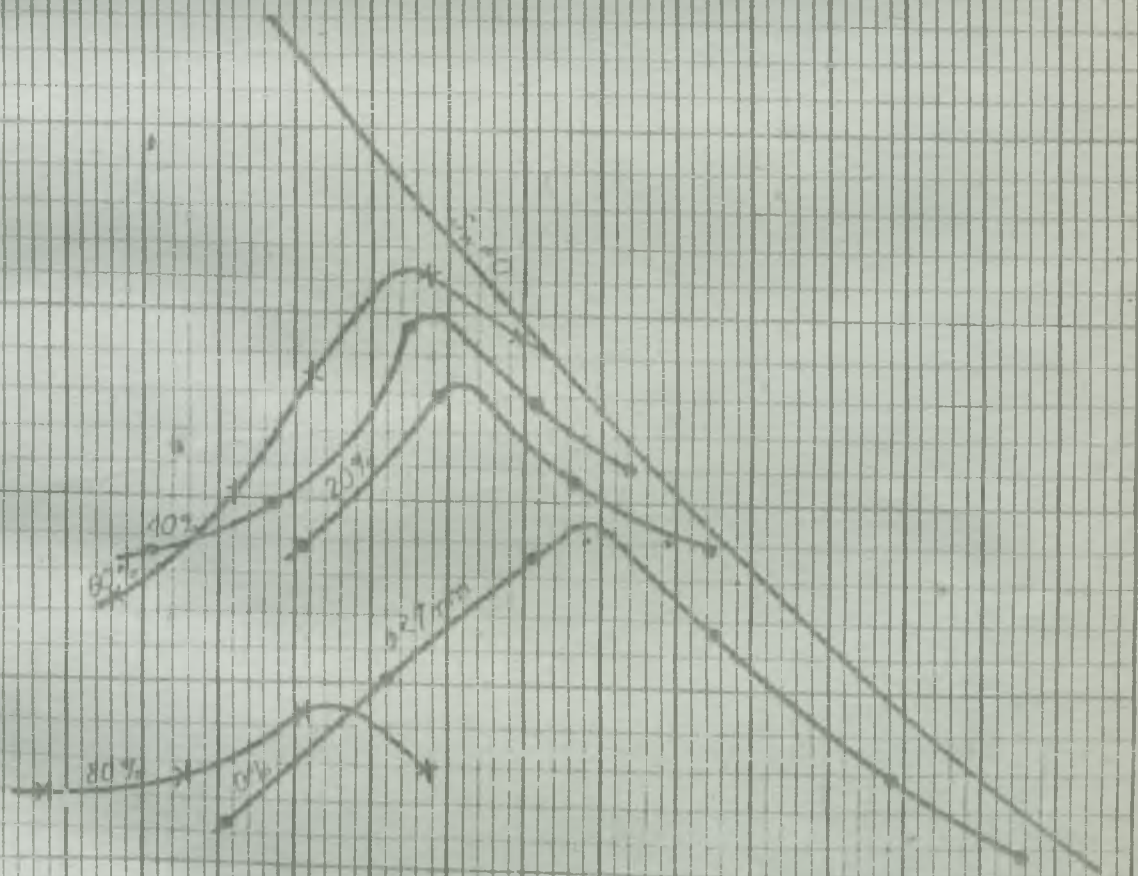
Miejsce pobrania próby	Zawartość nadzienna $\phi$ 7-20 mm w stosunku do ciężaru całej próby											
	$\gamma_{dmax}$ G/cm <sup>3</sup>	W <sub>opt</sub> %	$\gamma_{dmax}$ G/cm <sup>3</sup>	W <sub>opt</sub> %	$\gamma_{dmax}$ G/cm <sup>3</sup>	W <sub>opt</sub> %	$\gamma_{dmax}$ G/cm <sup>3</sup>	W <sub>opt</sub> %	$\gamma_{dmax}$ G/cm <sup>3</sup>	W <sub>opt</sub> %	$\gamma_{dmax}$ G/cm <sup>3</sup>	W <sub>opt</sub> %
	0%	20%	40%	60%	80%	100%						
Sromowce Wyższe- kamieniec Dunajca	1,99	10,9	2,07	9,2	2,10	8,7	2,13	8,4	1,89	7,4	1,67	5,0
Wisła-Czerne /tares śred. B. Wiselki/	2,03	9,9	2,07	8,7	2,09	8,6	2,10	9,6	2,06	10,2	1,74	5,2
Niedzica /kamienioo Niedziczarki/	1,84	15,2	1,92	12,5	2,00	10,5			1,87	12,5	1,71	9,2





Wykresy zagęszczenia gruntu przy różnej zawartości nadziarnia  $\phi 7-20$  mm  
 grunt z torasu średniego B Wisetki





2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18  
 wilgotność w %

Wykresy zagęszczalności gruntu przy różnej zawartości nadziarna  $\phi 7-20\text{mm}$   
 Grunt z kamienica Dunajca w Sromowcach Wyżnych.

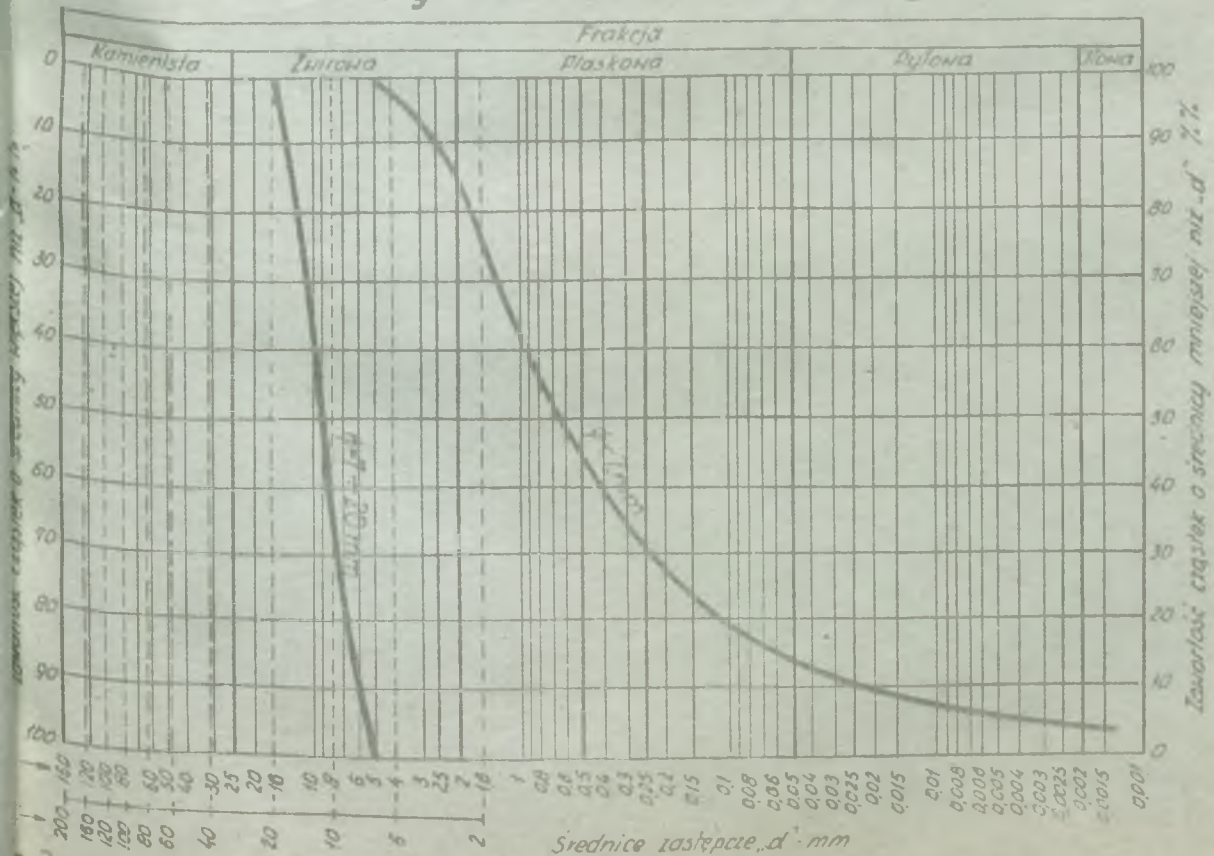


## Badanie uziarnienia gruntu

Nr tematu ..... Nr badania ..... Nr otworu .....  
 Miejsce budowy ..... Głębokość ..... m  
 Próbkę pobrano z .....

Badanie makroskopowe								Wyniki badań laboratoryjnych																				
Rodzaj gruntu .....				Zawartość CaCO <sub>3</sub> % .....				Rodzaj gruntu wg badań laboratoryjnych .....																				
Dmieszki .....				Wilgotność .....				Skład uziarnienia																				
Barwa gruntu .....				Stan gruntu .....				<table border="1"> <tr> <th>φ ziarn</th> <th>&gt;2 mm</th> <th>2-0,05 mm</th> <th>0,05-0,002 mm</th> <th>&lt;0,002 mm</th> </tr> <tr> <td>%% zawart.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">%% zawartość ziarn o φ &lt; 2 mm</td> </tr> </table>					φ ziarn	>2 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	<0,002 mm	%% zawart.					%% zawartość ziarn o φ < 2 mm					
φ ziarn	>2 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	<0,002 mm																								
%% zawart.																												
%% zawartość ziarn o φ < 2 mm																												
Pomiary areometryczne								Ciężar właściwy		Wilgotność		Straty wagowe																
Rozpoczęcie pomiarów dn .....				godz. ....				γ <sub>s</sub> .....		W: .....		..... %																
Areometr Nr .....				cylinder Nr .....				δ <sub>s</sub> .....		..... g/cm <sup>3</sup>		..... %																
Dodany stabilizator								Badanie wykonał .....		H dn .....		.....																
<table border="1"> <tr> <th>czas osadzenia</th> <th>temperatura</th> <th>skrótowy wskaźnik areometru</th> <th>R<sub>1</sub></th> <th>R<sub>2</sub></th> <th>R<sub>3</sub></th> <th>średnica zastępcza</th> <th>ilość cząstek o φ &gt; d mm</th> </tr> <tr> <td>T</td> <td>t°C</td> <td>R<sub>0</sub></td> <td>R<sub>1</sub></td> <td>R<sub>2</sub></td> <td>R</td> <td>d mm</td> <td>x %</td> </tr> </table>								czas osadzenia	temperatura	skrótowy wskaźnik areometru	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	średnica zastępcza	ilość cząstek o φ > d mm	T	t°C	R <sub>0</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R	d mm	x %	Badanie sprawdził .....		H dn .....		.....
czas osadzenia	temperatura	skrótowy wskaźnik areometru	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	średnica zastępcza	ilość cząstek o φ > d mm																					
T	t°C	R <sub>0</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R	d mm	x %																					
								Analiza sitowa																				
								Wymiar oczek mm	Ciężar g	Zawartość %	Suma %	Pozostałość z sita o φ .....																
												mm																
												I waga .....																
												g																
												II waga .....																
												g																
												Tara .....																
												g																
												Przesiew .....																
												g																
												Kształt ziarn																
Charakterystyka roztworu												Domieszki																
$x = \frac{R}{-1} \cdot 100 = R$												L =																

## Wykres uziarnienia



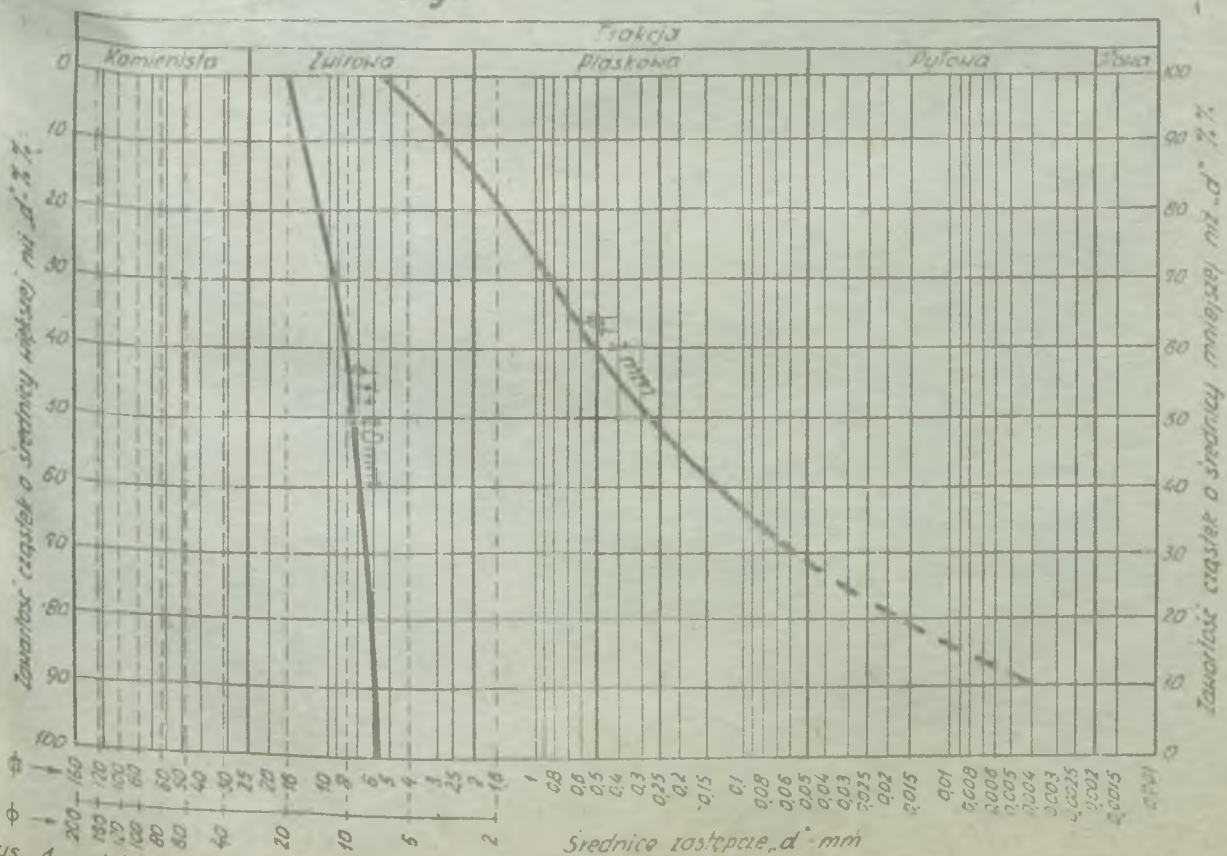
3. Wykresy uziarnienia wypełniacza  $\phi < 7$  mm i nadziarna  $\phi 7-20$  mm  
 Grunt z kamieńca Dunajca w Sromowcach Wyznych.

# Badanie uziarnienia gruntu

Nr tematu ..... Nr badania ..... Nr otworu .....  
 Miejsce budowy ..... Głębokość ..... m  
 Próbkę pobrano z .....

Badanie makroskopowe							Wyniki badań laboratoryjnych									
Rodzaj gruntu .....							Rodzaj gruntu wg badań laboratoryjnych									
Domieszki ..... Zawartość CaCO <sub>3</sub> .....							Skład uziarnienia									
Barwa gruntu ..... Wilgotność .....							φ ziarn	> 2 mm	2-0,05 mm	0,05-0,002 mm	< 0,002 mm					
Ilość wateczkowań ..... Stan gruntu .....							%% zawart									
Pomiary areometryczne							%% zawartość ziarn o φ < 2 mm									
Rozpoczęcie pomiarów dn ..... godz. ....							Ciężar właściwy		Wilgotność		Straty wagowe					
Areometr Nr ..... C= ..... cylinder Nr. ....							γ = ..... g/cm <sup>3</sup>		H = ..... %		* ..... %					
Dodany stabilizator .....							Badanie wykonał ..... w dn .....									
Czas odkleju							Badanie sprawdził ..... w dn .....									
Temp zawiesiny							Analiza sitowa									
Skrócony wskaźnik areometru							Wymiar oczek mm		Ciężar g		Zawartość %%		Suma %%		Pozostałość z sita o φ ..... mm	
R <sub>2</sub> m													I waga ..... g			
Srednice zastępcze cząstek d mm													sl. waga ..... g			
Ilość cząstek o d > d mm x %%													Tara ..... g			
T													Przesiew ..... g			
Charakterystyka roztworu													Kształt ziarn			
x = ..... R ..... 100 ..... R													Domieszki .....			
- t							Σ =									

## Wykres uziarnienia



Rys. 4. Wykresy uziarnienia wypelniacza φ < 7 mm i nadziarna φ 7-20 mm. Grunt z tarasu średniego B. Wisetki.



Załącznik 4.4

**Porównanie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych w aparacie wielkowymiarowym i frakcji  $d < 7$  mm w aparacie normowym**

1. Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych wg energii normalnej w aparacie wielkowymiarowym i normowym oraz wyników obliczonych wg wzorów teoretycznych /tabl.1/
2. Wykresy uziarnienia frakcji  $d < 7$  mm /Rys.1/
3. Zestawienie wyników badań zagęszczalności frakcji  $d < 7$  mm /rys.2/
4. Obliczenia statyczne /tabl.2/



Tablica 1

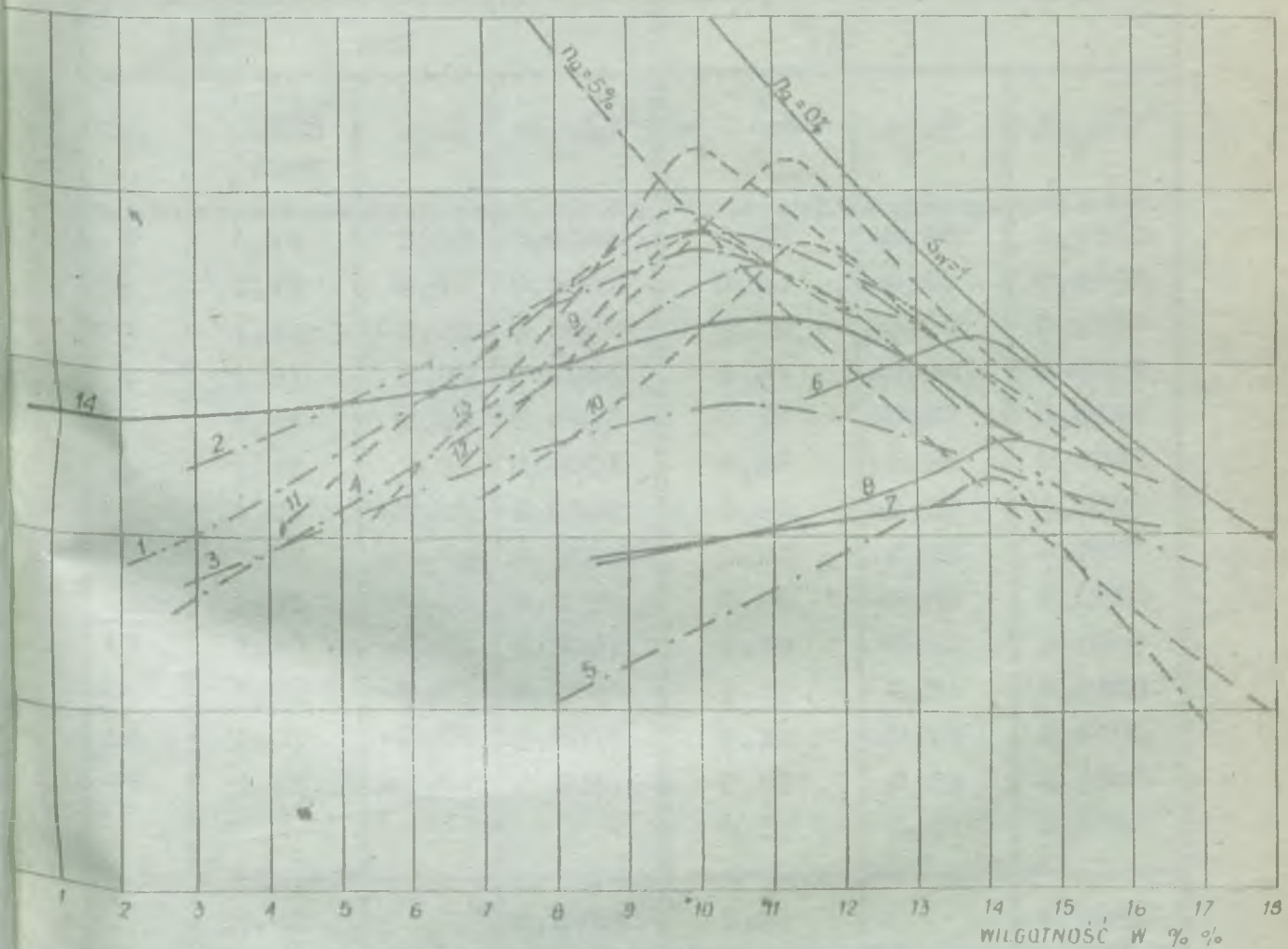
Zestawienie wyników badań zagęszczalności gruntów gruboziarnistych wg energii normalnej w aparacie wielkowymiarowym i normowym oraz wyników obliczeniowych wg wzorów teoretycznych

Parametry	Normowy		Wielkowymiarowy				Porównanie wyników						Zawartość $d > 75 \mu$ /% $\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	Obliczenie wg wzorów teoretycznych		Porównanie wyników				
	$d < 75 \mu$		$d < 80 \mu$	naturalne $d < 200 \mu$			$\sigma'_{os \max}$	$w_{opt}$	$\sigma''_{os \max}$	$w_{opt}$	$\sigma'''_{os \max}$	$w_{opt}$		$\sigma_{os \max}^{IV}$	$w_{opt}^{IV}$	$\frac{\sigma_{os \max}^{IV}}{\sigma''_{os \max}}$	$\frac{w_{opt}^{IV}}{w_{opt}}$			
Opis próbek	G/cm <sup>3</sup>	%	G/cm <sup>3</sup>	%	G/cm <sup>3</sup>	%	G/cm <sup>3</sup>	%	G/cm <sup>3</sup>	%	G/cm <sup>3</sup>	%	G/cm <sup>3</sup>	%	G/cm <sup>3</sup>	%	G/cm <sup>3</sup>	%		
Wycinek 1966/	1,98	10,2	2,25	5,9	-	-	1,14	0,58	-	-	-	-	68,0	2,68	2,40	3,3	1,07	0,56		
Dunaj	1,97	10,4	2,23	6,2	-	-	1,13	0,60	-	-	-	-	55,0	2,68	2,29	4,7	1,03	0,76		
Wódka	1,96	10,8	2,21	5,3	-	-	1,13	0,49	-	-	-	-	59,0	2,68	2,35	4,4	1,06	0,83		
Łowisko	1,88	10,8	2,16	6,9	-	-	1,15	0,64	-	-	-	-	67,0	2,68	2,33	3,6	1,08	0,52		
Wódka	1,84	14,2	2,11	8,4	-	-	1,15	0,59	-	-	-	-	65,0	2,69	2,30	5,0	1,09	0,60		
Wartości średnie dla gruntu z doliny Dunajca							1,14	0,58	-	-	-	-								
Odchylenie standardowe							0,01	0,055												
Ła Czarne E.I	1,98	10,0	2,22	6,6	-	-	1,12	0,66	-	-	-	-	3,0	2,67	2,42	2,7	1,09	0,41		
Ła Czarne E.II	1,99	9,8	2,15	7,3	-	-	1,08	0,74	-	-	-	-	58,0	2,67	2,31	4,1	1,07	0,56		
Ła Czarne E.III	1,97	11,6	2,13	6,7	2,22	6,0	1,08	0,58	1,12	0,47	1,035	0,90	80,0	2,67	2,46	2,3	1,15	0,34		
Ła Czarne E.IV	2,02	11,3	2,135	6,7	2,165	6,5	1,05	0,59	1,07	0,58	1,015	0,97	60,0	2,67	2,40	4,5	1,12	0,67		
Ła Czarne E.V	2,03	9,9	-	-	2,13	5,7	-	-	1,05	0,58			55,0	2,67	2,35	4,4	-	-		
Wartości średnie dla gruntu z Wisły Czarne							1,08	0,64	1,08	0,54	1,025	0,935								
Odchylenie standardowe							0,09	0,1	0,04	0,01	-	-								
Próbki N-1	1,82	14,0	2,01	9,7			1,10	0,69					31,0	2,69	2,01	9,7	1,00	1,00		
Próbki N-2	1,92	14,0	2,12	7,3			1,10	0,52					42,0	2,69	2,19	8,1	1,03	1,11		
Próbki N-5	1,86	14,3	1,99	9,7			1,07	0,68					22,0	2,69	2,00	10,3	1,00	1,06		
Wartości średnie dla gruntu w głębinowa							1,09	0,63												
Odchylenie standardowe							0,017	0,096												
Wartości średnie dla zbadanych gruntów							1,10	0,60												
Odchylenie standardowe							0,032	0,15												
Próbki B-1	1,925	11,2			2,16	7,5	1,12	0,67												

1/ Przy obliczaniu  $w_{opt}^{IV}$  przyjęto wilgot, frakcji  $d > 75 \mu$  równą zero







rys. 2. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI FRAKCJI  $\phi < 7 \text{ mm}$  W APARACIE NORMOWYM

- |     |       |    |                |                  |       |
|-----|-------|----|----------------|------------------|-------|
| 1.  | GRUNT | ZE | ZŁOŻA          | SROMOWCE         | WYZNE |
| 2.  | GRUNT | ZE | ZŁOŻA          | FRYDMAN          |       |
| 3.  | GRUNT | ZE | ZŁOŻA          | JAZOWSKO         |       |
| 4.  | GRUNT | ZE | ZŁOŻA          | KOJSÓWKA         |       |
| 5.  | GRUNT | ZE | ZŁOŻA          | NIEDZICA         |       |
| 6.  | GRUNT | Z  | GLĘBINOWA      | (N-2)            |       |
| 7.  | GRUNT | Z  | GLĘBINOWA      | (N-1)            |       |
| 8.  | GRUNT | Z  | GLĘBINOWA      | (N-5)            |       |
| 9.  | GRUNT | Z  | WISŁY - CZARNE | PRÓBA W.Cz - I   |       |
| 10. | GRUNT | Z  | WISŁY - CZARNE | PRÓBA W.Cz - III |       |
| 11. | GRUNT | Z  | WISŁY - CZARNE | PRÓBA W.Cz - II  |       |
| 12. | GRUNT | Z  | WISŁY - CZARNE | PRÓBA W.Cz - IV  |       |
| 13. | GRUNT | Z  | WISŁY - CZARNE | PRÓBA W.Cz - V   |       |
| 14. | GRUNT | Z  | DOBCZYC        | PRÓBA (D-1)      |       |



Obliczenia statystyczne

Lp.	$\hat{d}_{max}$			$W_{opt}$			
	$x_i$	$\frac{\hat{d}_{max}''}{\hat{d}_{max}'}$	$x_i - \bar{x}$	$\frac{W_{opt}}{W_{opt}}$	$x_i - \bar{x}$	$\frac{W_{opt}}{W_{opt}}$	
1	1,14		0,03	0,0009	0,58	-0,08	0,0064
2	1,13		0,02	0,0004	0,60	-0,06	0,0036
3	1,13		0,02	0,0004	0,49	-0,17	0,0289
4	1,15		0,04	0,0016	0,64	-0,02	0,0004
5	1,15		0,04	0,0016	0,59	-0,07	0,0049
6	1,12		0,01	0,0001	0,58	-0,08	0,0064
7	1,08		-0,03	0,0009	0,66	-0,00	0,0000
8	1,08		-0,03	0,0009	0,74	0,08	0,0064
9	1,05		-0,06	0,0036	0,58	-0,08	0,0064
10	1,10		-0,01	0,0001	0,59	-0,07	0,0049
11	1,10		-0,01	0,0001	0,69	0,01	0,0001
12	1,07		-0,04	0,0016	0,52	-0,14	0,0196
13	1,12		0,01	0,0001	0,68	0,02	0,0004
					0,67	0,01	0,0001
$\Sigma$	14,42			0,0123	8,61		0,0885
$\bar{x}$	1,11				0,66		

$$\hat{\sigma}_{(\hat{d})} = \left[ \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \right]^{0,5} = \left[ \frac{0,0123}{12} \right]^{0,5} = \left[ 0,001025 \right]^{0,5} = 0,032$$

$$\hat{\sigma}_{(W)} = \left[ \frac{0,0885}{12} \right]^{0,5} = \left[ 0,007375 \right]^{0,5} = 0,086$$

Przedział ufności dla prawdopodobieństwa  $p = 0,95$  wynosi:

$$1/ \text{ dla } \hat{d}_{max} ; \pm \Delta \hat{d}_{max} = \frac{t_{\alpha,5}}{\sqrt{N}} = \frac{2,179 \cdot 0,032}{\sqrt{13}} = \frac{0,070}{3,606} = 0,019$$

$$2/ \text{ dla } W_{opt} ; \pm \Delta W_{opt} = \frac{2,179 \cdot 0,086}{3,606} = 0,052$$

## Metodyka przeprowadzonych badań wstępnych zagęszczalności na stole wibracyjnym oraz wyniki badań

### 1. Metodyka badań

Badania wstępne zagęszczalności wykonano dla dwóch próbek gruntu D-1 i D-2 pobranych ze złoża gruntów /aluwia/ przeznaczonych na budowę korpusu zapory ziemnej w Dobozycach.

Uziarnienie badanych próbek gruntu /D-1 i D-2/ przedstawione jest na rys4.16.

Dla próbki D-1 wykonano następujące badania:

- a/ badania zagęszczalności gruntu w stanie suchym, o wysokościach próbek przed zagęszczeniem wynoszących ok. 30, 60 i 80 cm, pod obciążeniem pionowym próbek  $\sigma = 0; 0,02 \text{ i } 0,1 \text{ kg/cm}^2$ ,
- b/ badania zagęszczalności gruntu w stanie nasyconym wodą, o wysokościach próbek przed zagęszczeniem wynoszących ok. 30, 60 i 80 cm, pod obciążeniem pionowym próbek  $\sigma = 0; 0,02 \text{ i } 0,1 \text{ kg/cm}^2$ ,
- c/ badania zagęszczalności gruntu w stanie suchym w 5 warstwach, o wysokościach próbek wynoszących ok. 30, 60 i 80 cm, pod obciążeniem pionowym próbek  $\sigma = 0 \text{ i } 0,02 \text{ kg/cm}^2$ ,
- d/ badania zagęszczalności gruntu w stanie nasyconym wodą w 5 warstwach, o wysokościach próbek wynoszących ok. 30, 60 i 80 cm, pod obciążeniem pionowym próbek  $\sigma = 0,0 \text{ i } 0,02 \text{ kg/cm}^2$ ,
- e/ badania zagęszczalności gruntu o wilgotności  $W = 4,3\%$  i wysokościach próbek ok. 80 cm.



ad. a/ Badania wymienione w punkcie "a" wykonywano według  
nżej opisanej metody.

Grunt w stanie suchym o znanym ciężarze do zbiornika ustawio-  
nego na stole wibracyjnym, sypano bardzo ostrożnie łopatą z wy-  
sokości ok. 30 cm do założonej wysokości próbki. Następnie wy-  
równano dokładnie powierzchnię gruntu. Na wyrównaną powierzchnię  
położono płytę obciążającą o ciężarze 10,1 kG i zmierzono z  
dokładnością do 0,1 mm wysokość próbki w ustalonych 4 miejscach  
na obwodzie zbiornika. Następnie wibrowano grunt przez 1 min.  
Po tym czasie mierzono w ustalonych punktach wysokość próbki.  
Po zmierzeniu wysokości ponownie włączono na 1 min wibrator  
i mierzono po tym czasie wysokość próbki. Czynności te powta-  
rzano do łącznego czasu wibracji 10 min.

Badania wykonano pod obciążeniem samą płytą obciążającą przy-  
jmując w tym przypadku  $\bar{\sigma} = 0$  /  $\bar{\sigma} = 0,003 \text{ kG/cm}^2$  / oraz pod obciąż-  
niami gruntu  $\bar{\sigma} = 0,02 \text{ kG/cm}^2$  i  $\bar{\sigma} = 0,1 \text{ kG/cm}^2$ . Pod obciążeniem  
 $\bar{\sigma} = 0$  i  $\bar{\sigma} = 0,02 \text{ kG/cm}^2$  wykonano badania próbek o wysokościach  
30, 60 i 80 cm, a pod obciążeniem  $\bar{\sigma} = 0,1 \text{ kG/cm}^2$  wykonano tylko  
przy wysokości próbki 60 cm. Dla każdej wysokości i obciążenia  
próbki badania powtarzano 3 razy.

ad. d/ Badania wymienione w punkcie "b" wykonano podobnie  
jak w punkcie "a" tylko, że grunt suchy sypano bez-  
pośrednio do wody. Przez cały czas badania grunt znajdo-  
wał się pod wodą.

ad. c/ Badania wymienione w punkcie "c" wykonano według nżej  
opisanej metody.



Do zbiornika ustawionego na stole wibracyjnym nasypano 1 warstwę gruntu w stanie suchym wagowo równą  $1/5$  ciężaru gruntu założonej wysokości całej próbki.

Po wyrównaniu powierzchni próbki ustawiono na niej płytę obciążającą i wibrowano grunt 1 min następnie wibrację przerwano i po dosypaniu 2 warstwy gruntu ponownie wibrowano 1 min.

Tak postępowano aż do nasypania 5 warstw.

Następnie całość gruntu wibrowano jeszcze 5 min określając po każdej następnej minucie wibracji wysokość próbki.

Badania wykonano przy oszkowitej wysokości próbki wynoszącej ok. 30, 60 i 80 cm pod obciążeniem  $\bar{\sigma} = 0$  i  $\bar{\sigma} = 0,02 \text{ kg/cm}^2$ .

Dla każdej wysokości i obciążenia badania powtarzano 3 razy.

ad. d/ Badania wymienione w punkcie "d" wykonano podobnie jak w punkcie "c" tylko, że grunt suchy sypano bezpośrednio do wody. Przez cały czas badania grunt znajdował się pod wodą.

ad. e/ Badania wymienione w punkcie "e" wykonano podobnie jak w punkcie "a" z tą różnicą, że do badań używano grunt o wilgotności  $w = 4,3\%$ .

Badania wykonano tylko przy wysokości próbki  $h = 80 \text{ cm}$  i obciążeniu  $\bar{\sigma} = 0$ .

Dla próbki D-2 wykonano takie same badania jak dla próbki D-1 wymienione w punkcie 1a,c i e.

Obciążenia we wszystkich wyżej wymienionych badaniach zadawano, za pomocą obciążników położonych na płycie.

## 2. Wyniki badań

Wyniki badań podano w tablicy 1 i 2 oraz na rys. 1÷42.



Zestawienie wyników badań  $\tau_{dmin}$  i  $\tau_{dmax}$  po 10 minutach wibracji  
 Próbką D-1

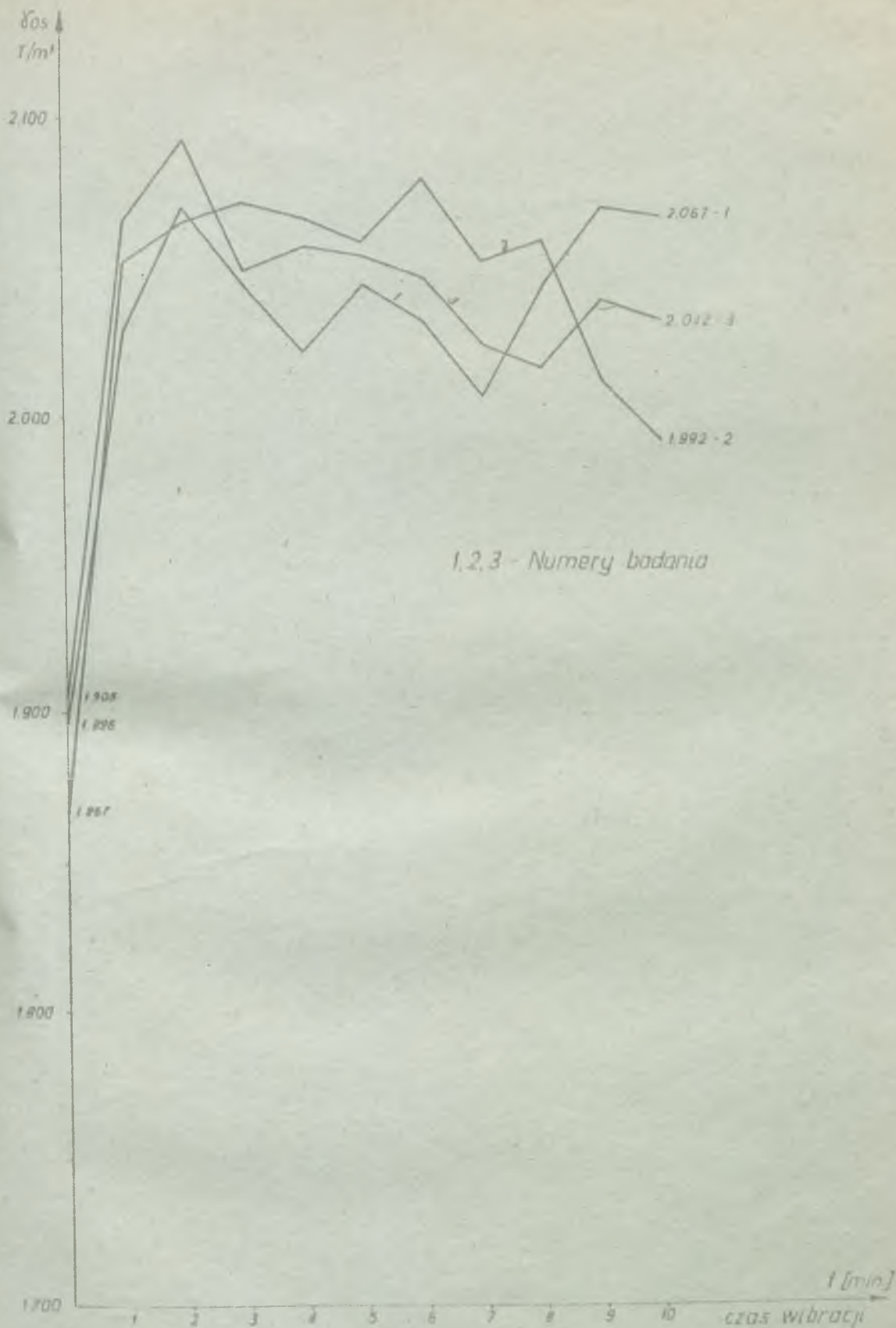
Wilgot- ność %	Metoda badań	Zagęsz- czenie	Obciążenie, $kg/cm^2$								
			$\delta = 0$			$\delta = 0,02$			$\delta = 0,1$		
			wysokość próbki, h, cm								
			30	60	80	30	60	80	60		
0	jedna warstwa	$\tau_{dmin}$		1,896	1,812	1,790	1,919	1,868	1,819	1,663	
				1,867	1,799	1,814	1,805	1,832	1,892	1,622	
			średnie	1,905	1,772	1,802	1,796	1,800	1,862	1,622	
		średnie		1,889	1,794	1,802	1,838	1,833	1,846	1,636	
				2,067	2,101	2,024	2,065	2,128	2,047	2,054	
			$\tau_{dmax}$	1,991	2,088	2,080	2,105	2,128	2,108	2,098	
	pełne nasyce- nie	jedna warstwa	średnie		2,032	2,096	2,045	2,079	2,141	2,118	2,022
					2,030	2,086	2,049	2,083	2,132	2,091	2,058
				$\tau_{dmin}$	1,611	1,652	1,865	1,568	1,643	1,798	1,724
		średnie		1,532	1,666	1,806	1,548	1,700	1,777	1,737	
				1,584	1,642	1,793	1,664	1,665	1,795	1,652	
			$\tau_{dmax}$	1,576	1,653	1,821	1,593	1,669	1,790	1,704	
6	pięć warstw	średnie		2,048	2,083	2,183	1,097	2,099	2,194	2,006	
				2,097	2,131	2,228	2,103	2,174	2,220	2,074	
			$\tau_{dmax}$	2,063	2,086	2,200	2,154	2,257	2,290	2,155	
		średnie		2,069	2,099	2,204	2,118	2,176	2,238	2,078	
				1,995	2,098	2,086	2,138	2,178	2,187	-	
			$\tau_{dmax}$	2,002	2,091	2,134	2,159	2,176	2,193	-	
	pełne nasyce- nie	jedna warstwa	średnie		1,987	2,087	2,105	2,086	2,187	2,195	-
					1,994	2,092	2,108	2,127	2,180	2,191	-
				$\tau_{dmin}$	2,101	2,098	1,968	2,131	2,081	2,071	-
		średnie		2,087	2,087	1,972	2,020	2,091	2,058	-	
				2,095	2,097	2,005	2,047	2,144	2,111	-	
			$\tau_{dmax}$	2,094	2,064	1,981	2,066	2,105	2,080	-	
4,3	jedna warstwa	$\tau_{dmin}$		1,734							
				1,728							
			średnie	1,719							
		średnie		1,727							
				1,981							
			$\tau_{dmax}$	1,939							
średnie		1,983									
		1,967									
	$\tau_{dmax}$										



Tablica 2

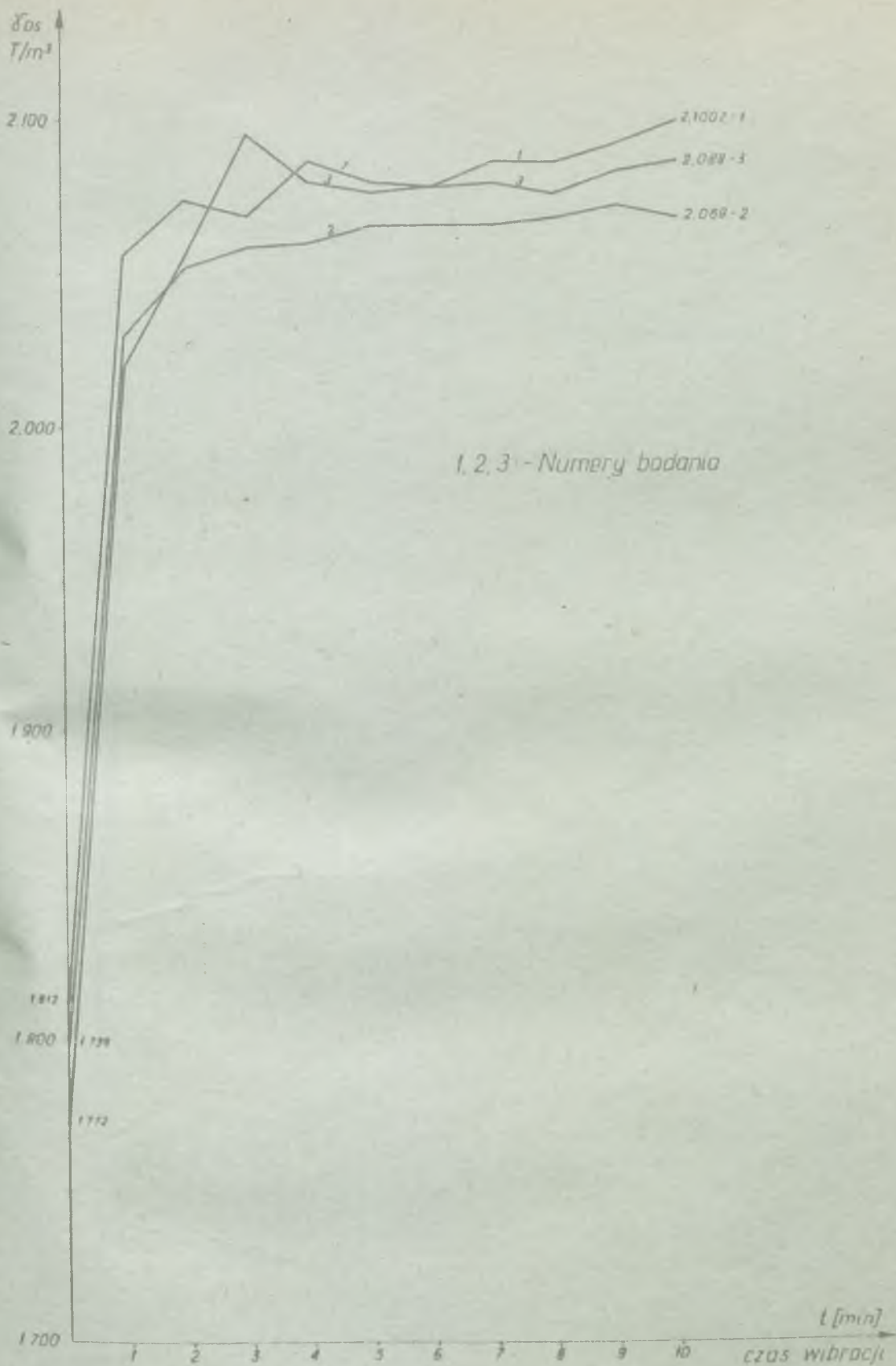
Zestawienie wyników badań  $\gamma_{dmin}$  i  $\gamma_{dmax}$  po 10 minutach  
wibracji

Wilgotność	Metoda badań	Zagęszczenie	$\sigma$ - obciążenie, $\text{kg/cm}^2$					
			$\sigma = 0$			$\sigma = 0,02$		
			wysokość próbki h, cm					
			30	60	80	30	60	80
0	jedna warstwa	$\gamma_{dmin}$	1,737	1,834	1,797	1,758	1,799	1,803
			1,758	1,800	1,792	1,803	1,815	1,803
			1,772	1,813	1,813	1,849	1,827	1,794
		średn.	1,756	1,816	1,801	1,803	1,814	1,800
		$\gamma_{dmax}$	1,958	2,070	2,044	2,099	2,123	2,078
			1,965	2,064	2,039	2,108	2,126	2,081
	1,948		2,071	2,141	2,139	2,130	2,075	
	średn.	1,964	2,068	2,061	2,116	2,129	2,078	
	pięć warstw	$\gamma_{dmax}$	1,907	2,060	2,050	2,080	2,106	2,054
			1,880	2,051	2,077	2,040	2,090	2,054
			1,939	2,051	2,029	2,012	2,101	2,092
	średn.	1,908	2,054	2,052	2,044	2,099	2,066	
3,1	jedna warstwa	$\gamma_{dmin}$				1,763		
						1,762		
						1,763		
	$\gamma_{dmax}$				2,002			
					2,002			
					2,032			
średn.				2,032				



Rys. 1. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu vibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D1 z Dobczyc.  
 h próbki = 30 cm, w = 0%, obciążenie próbki  $\sigma = 0$ .



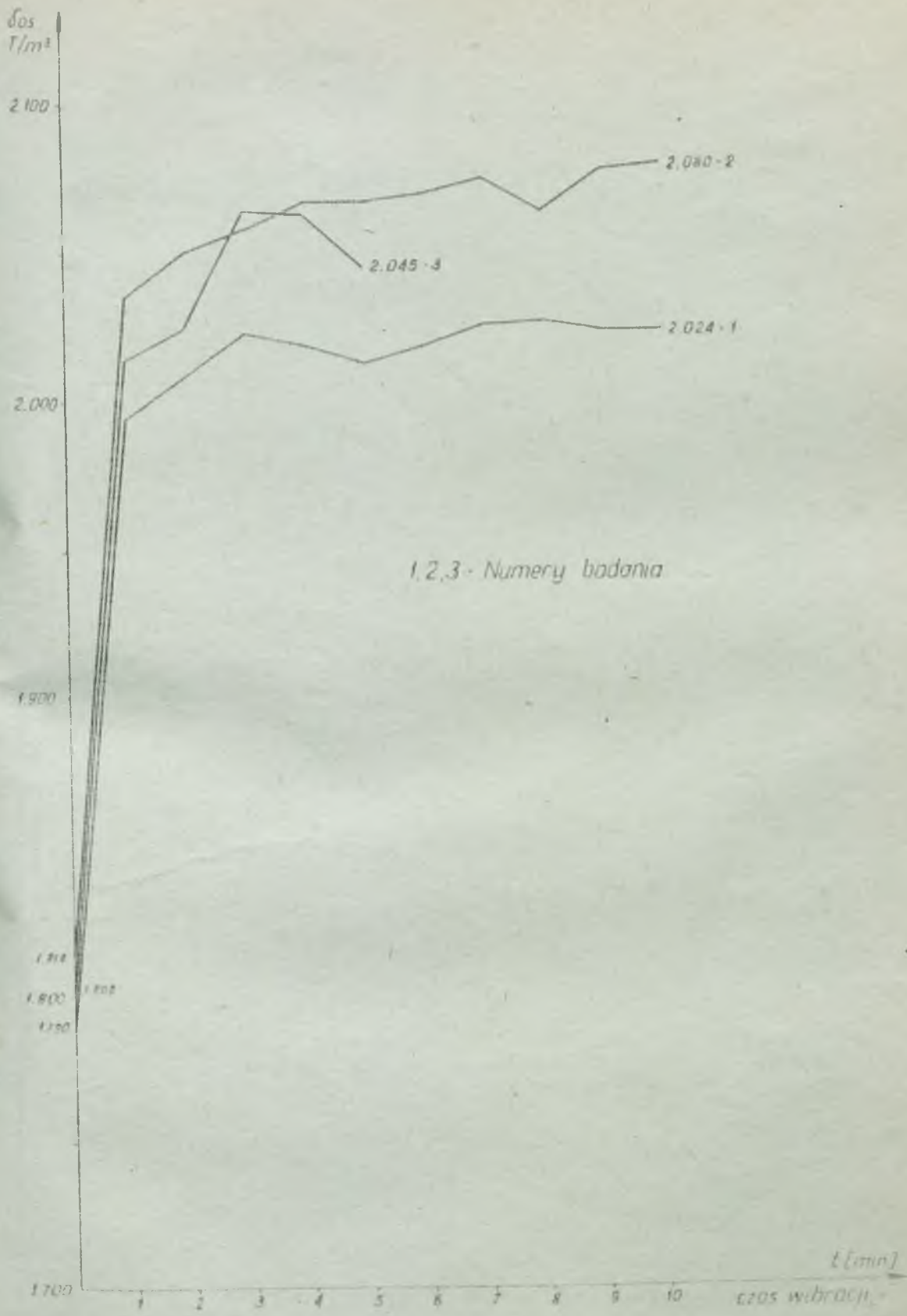


Rys. 2 . Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.

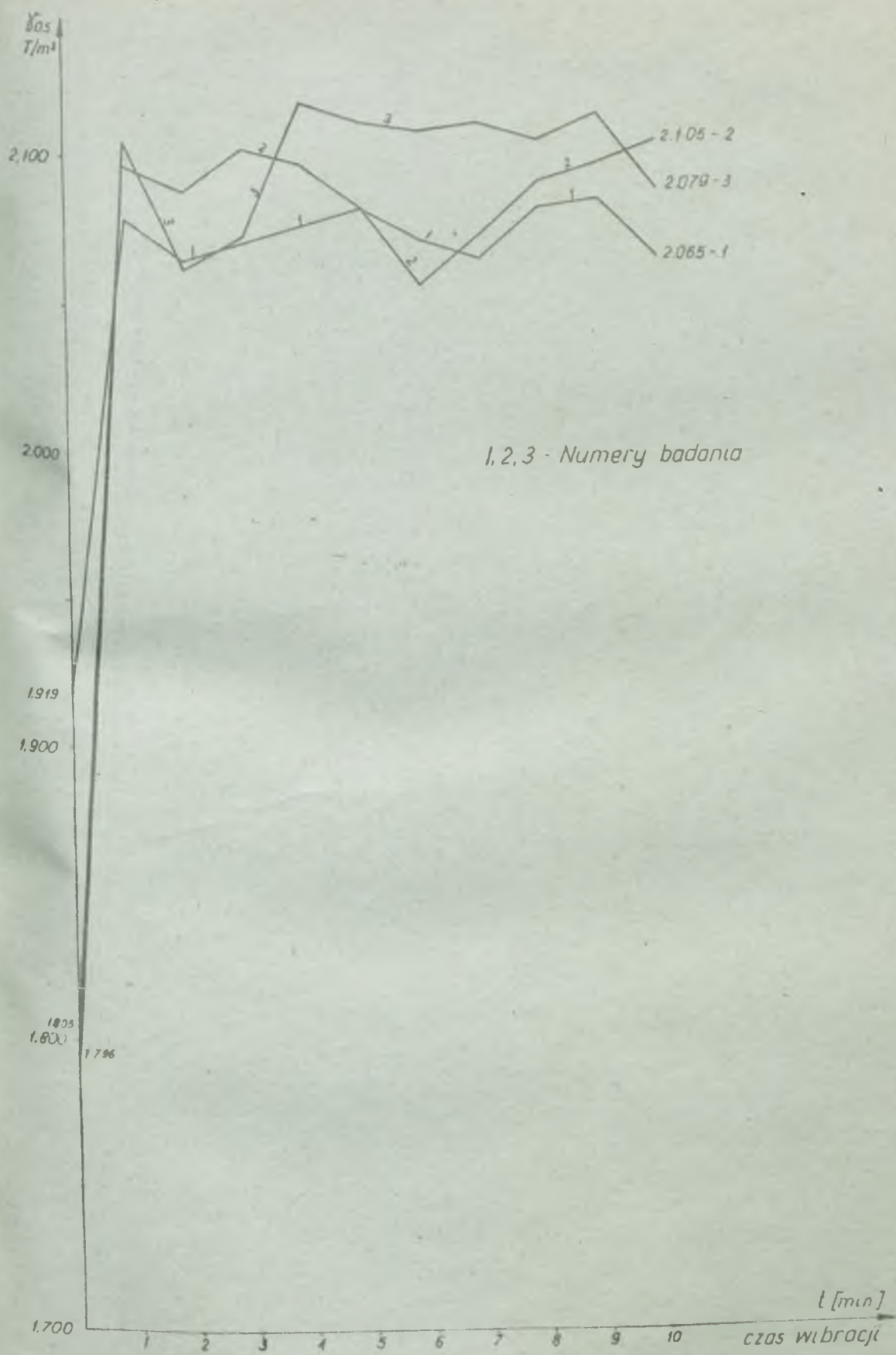
Próba D-1 z Dobczyc.

$h$  próbki - 60cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0$

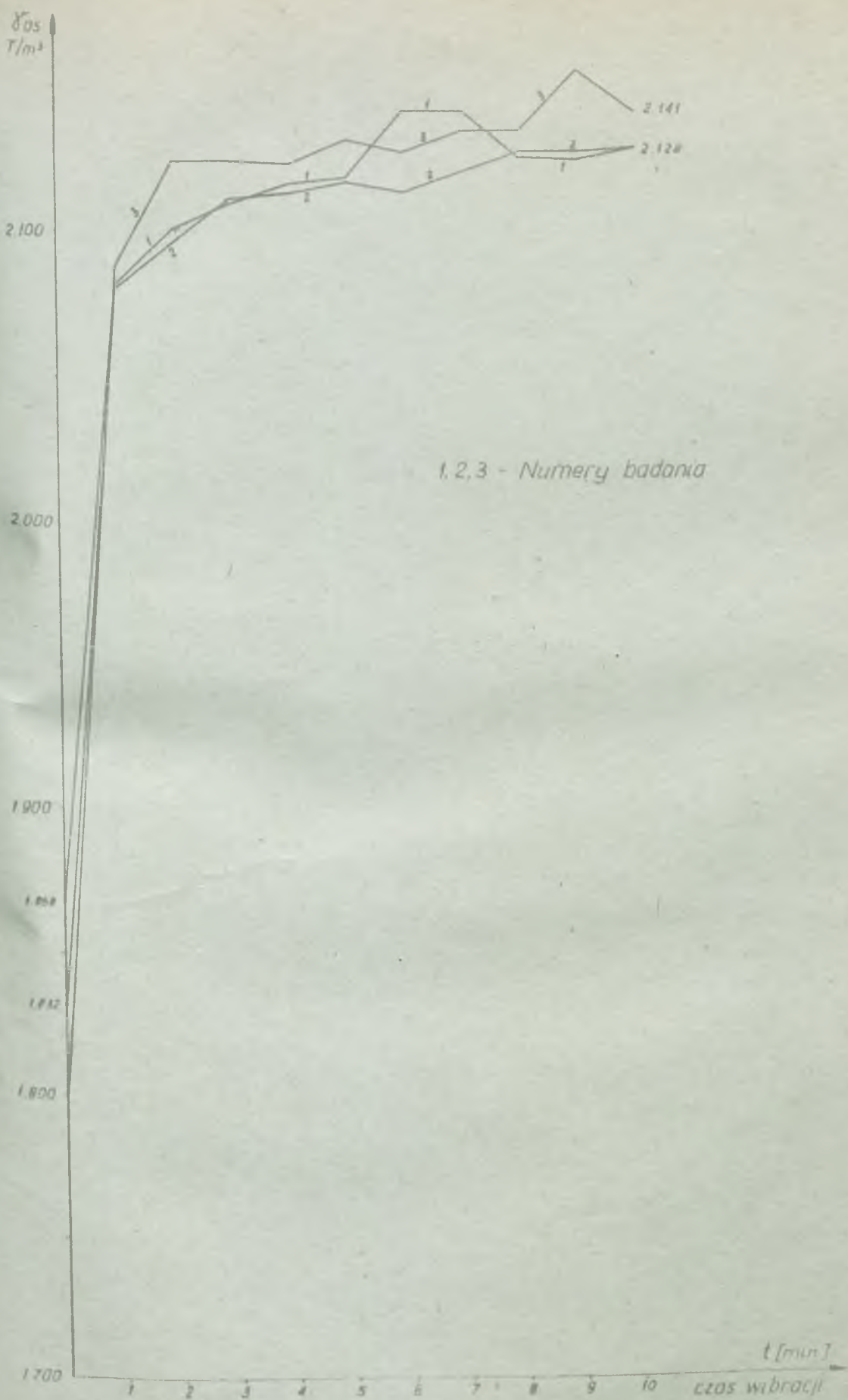




Rys. 3. Zależność  $G_{dyn}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dabczyc.  
 h próbki = 80cm, w = 0%, obciążenie próbki  $\sigma = 0$

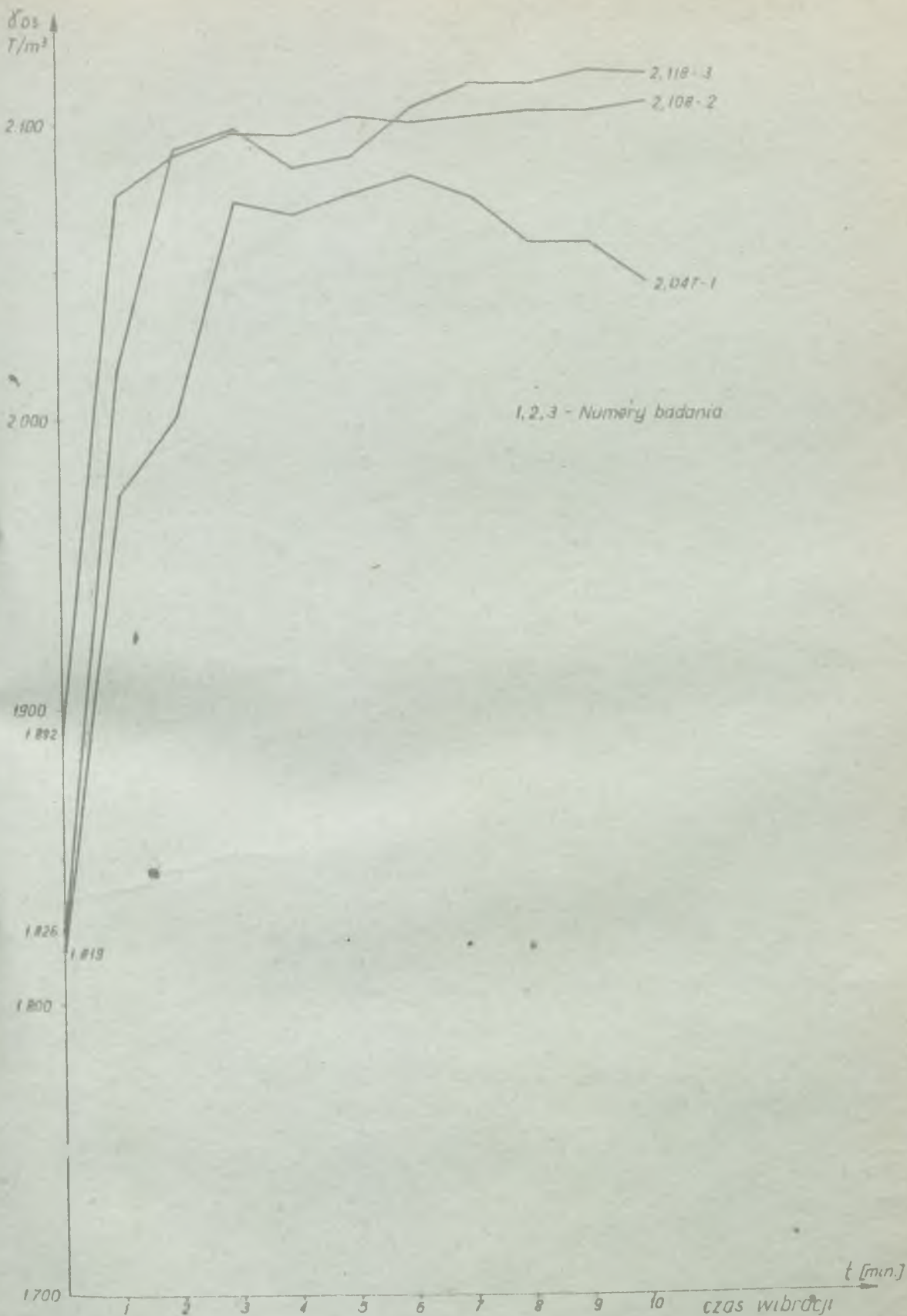


Rys.4. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dobczyc.  
 $h$  próbki = 30cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki = 0,02 kG/cm<sup>2</sup>

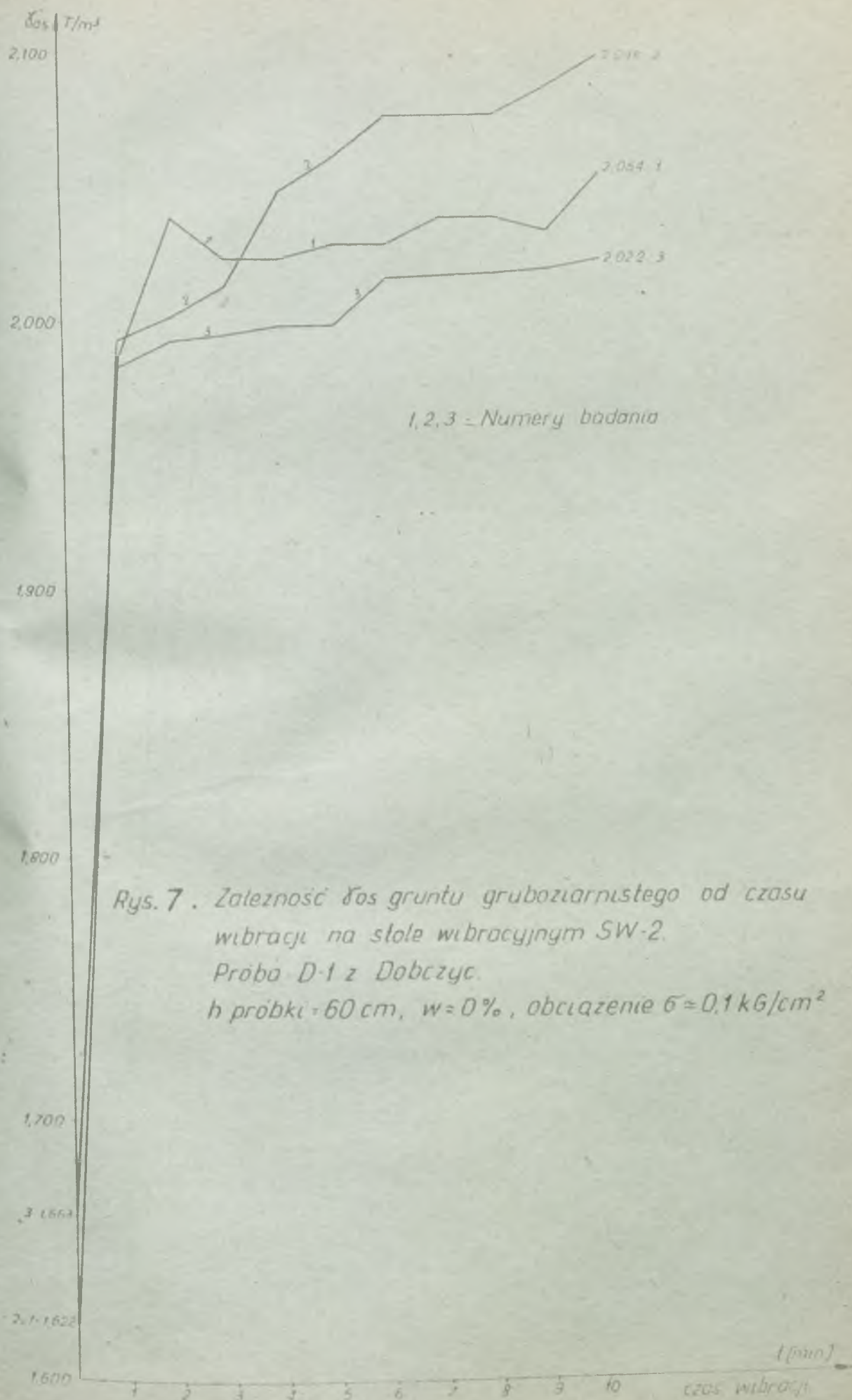


Rys. 5. Zależność  $\gamma_{0s}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dobczyc.  
 $h$  próbki = 60 cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki = 0,02 kG/cm<sup>2</sup>

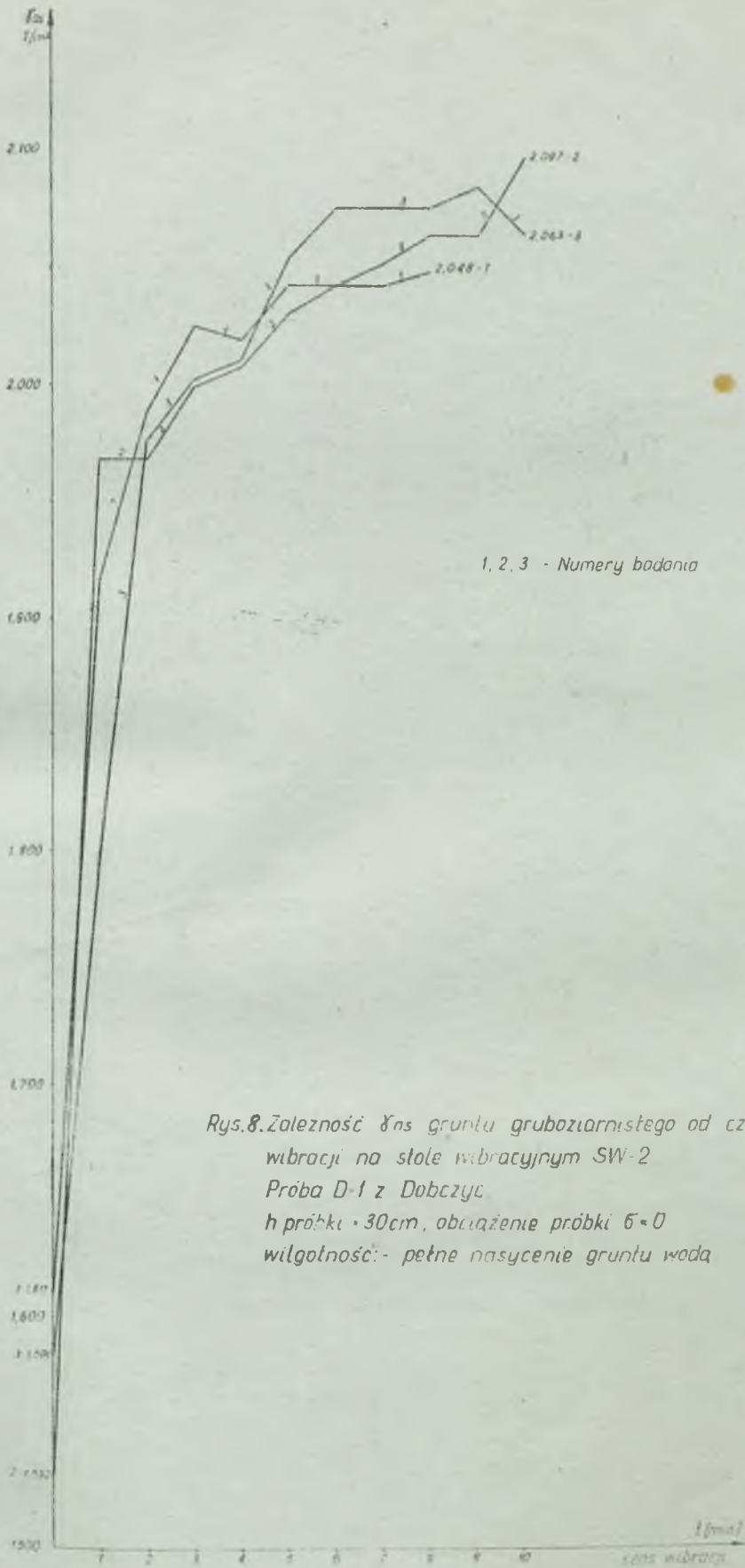




Rys. 6. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dobczyc.  
 $h$  próbki = 80 cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $6 \cdot 0.02$  kg/cm<sup>2</sup>

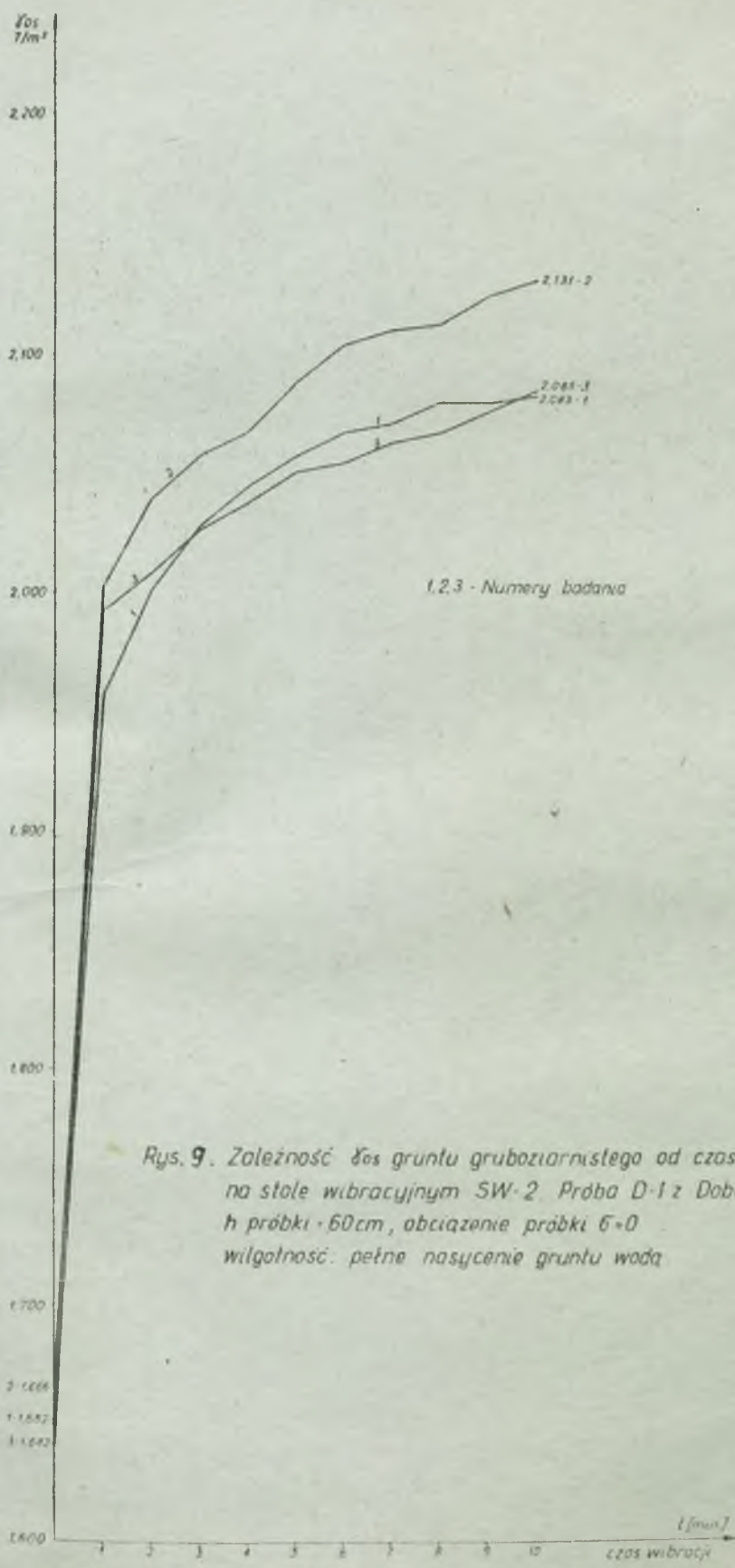


Rys. 7. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dobczyc.  
 $h$  próbki = 60 cm,  $w = 0\%$ , obciążenie  $\sigma \approx 0,1 \text{ kG/cm}^2$

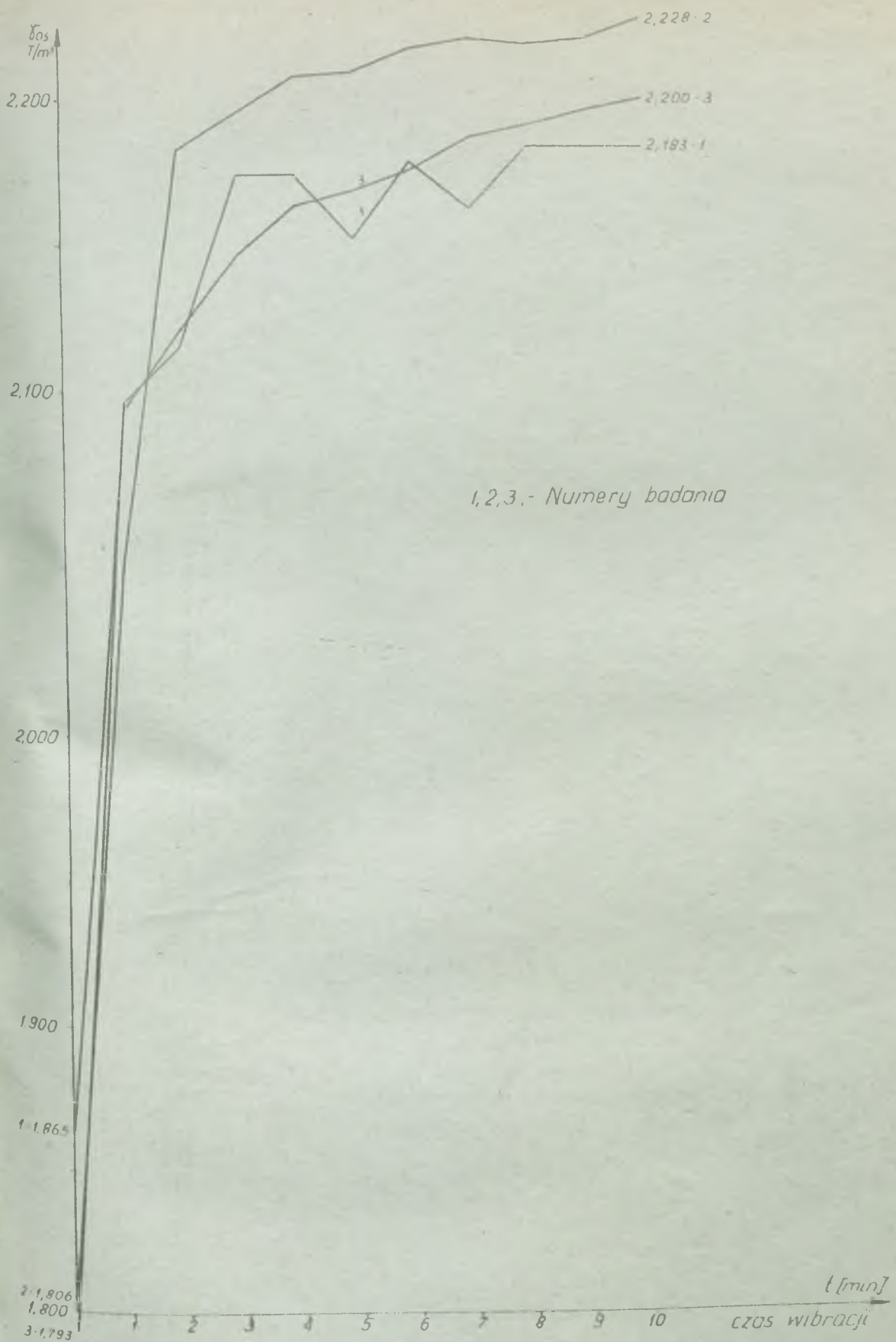


Rys.8. Zależność  $G_d$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2  
 Próba D-1 z Dobczyca  
 $h$  próbki - 30cm, obciążenie próbki  $\sigma = 0$   
 wilgotność: - pełne nasycenie gruntu wodą

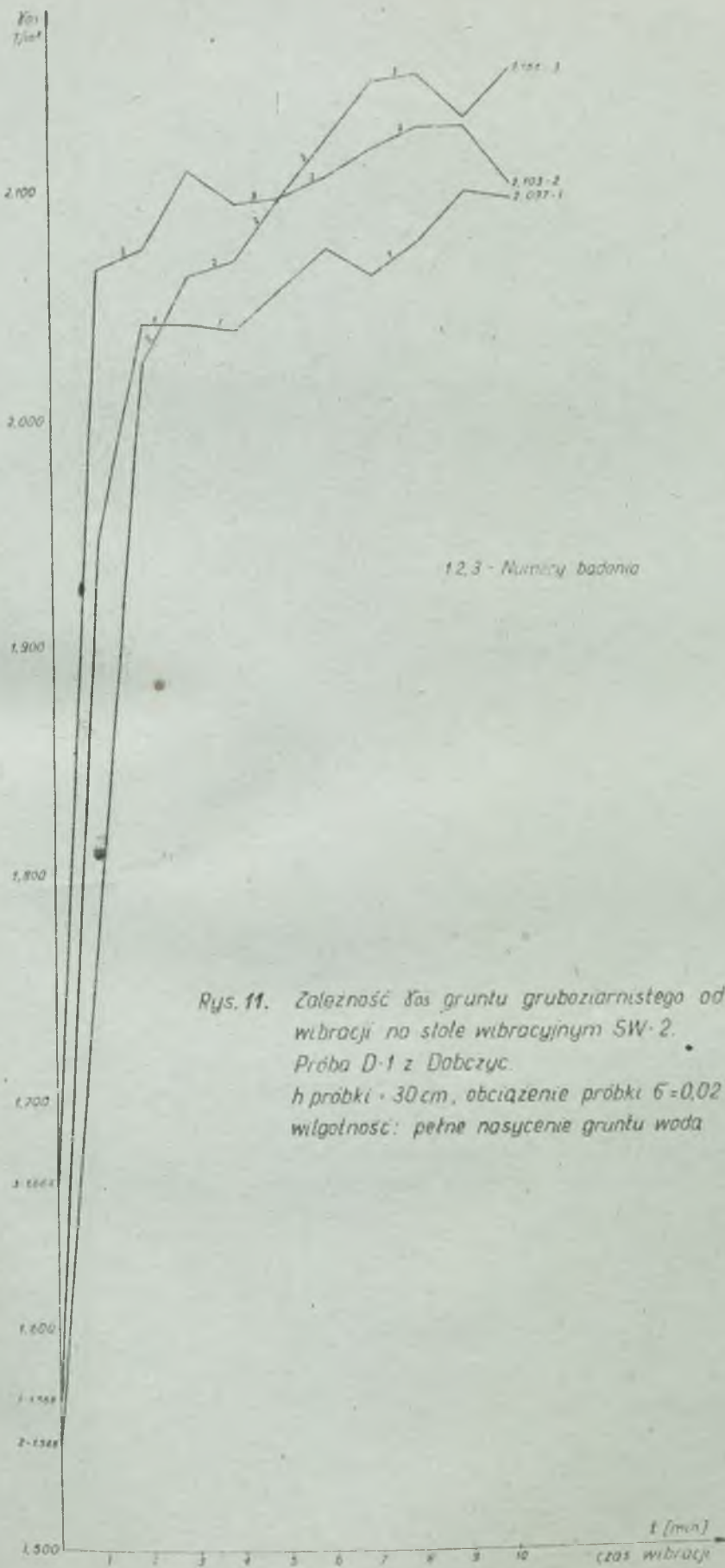




Rys. 9. Zależność  $\gamma_s$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-1 z Dobczyc. h próbki - 60cm, obciążenie próbki 6=0 wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą



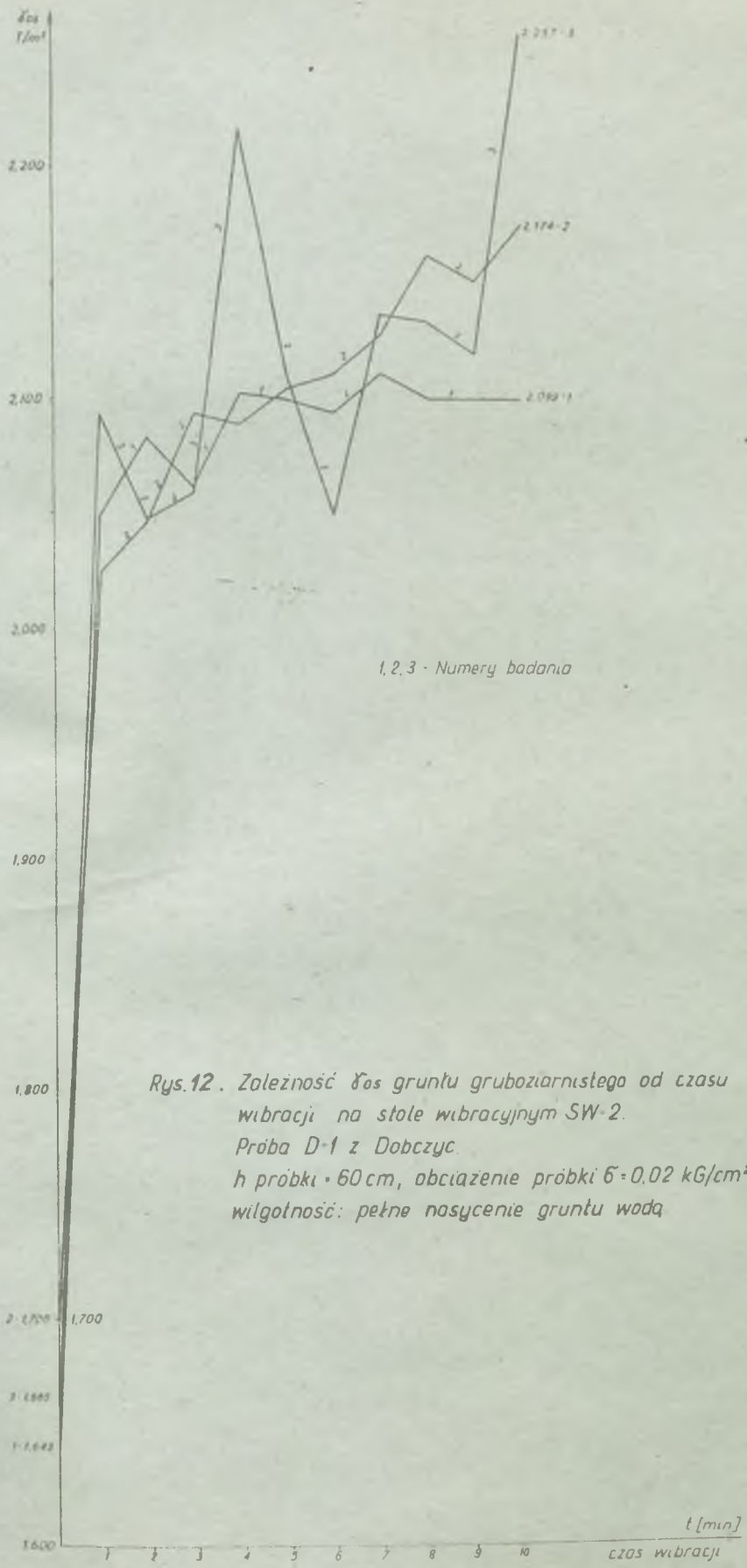
Rys.10. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2 Proba D-1 z Dobczyc  $h$  próbki = 80 cm, obciążenie  $\bar{\sigma} = 0$  wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą



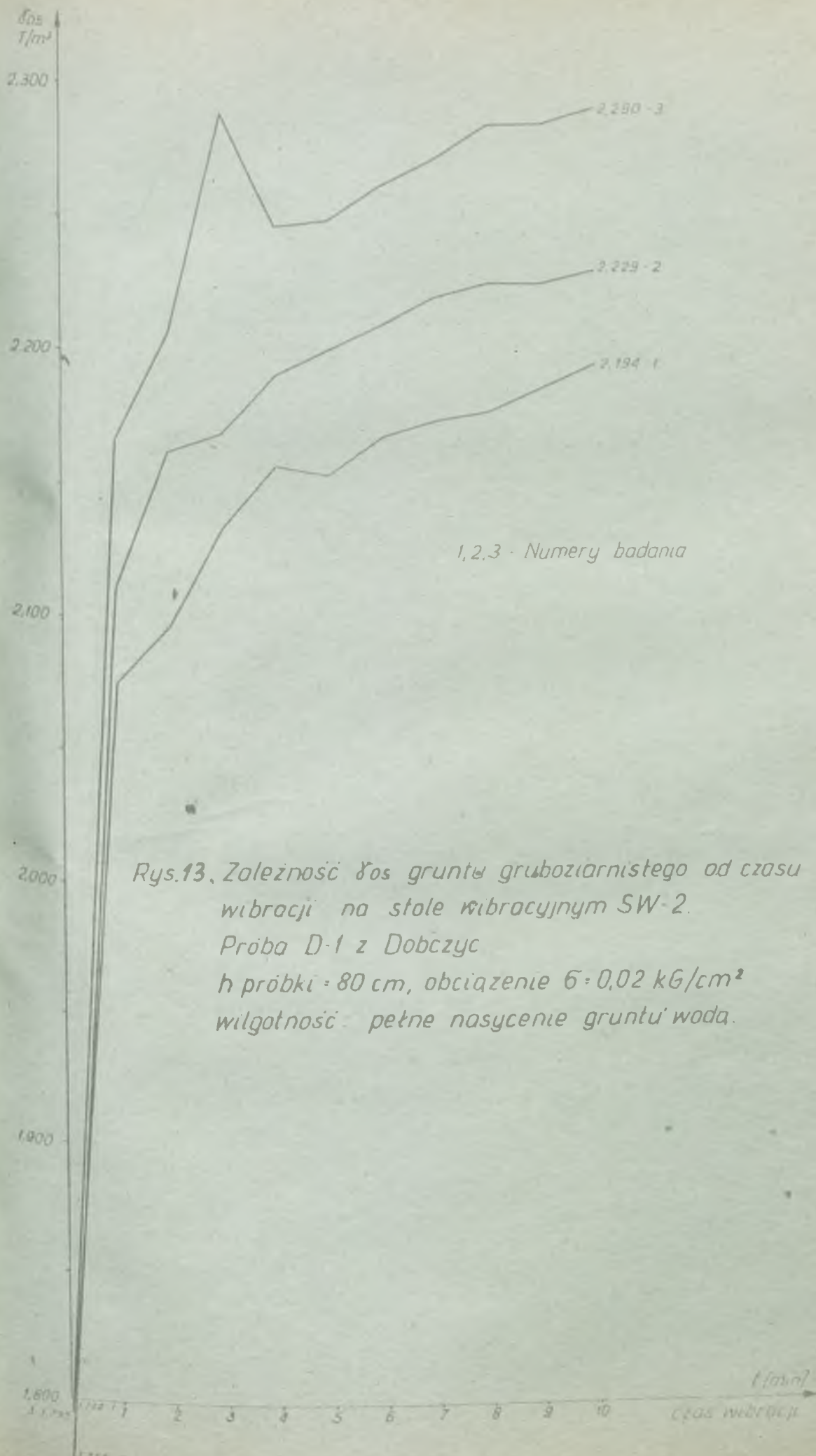
1, 2, 3 - Numery badania

Rys. 11. Zależność  $\rho_s$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dabzyc.  
 $h$  próbki - 30 cm, obciążenie próbki  $\sigma = 0,02 \text{ kg/cm}^2$   
 wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą



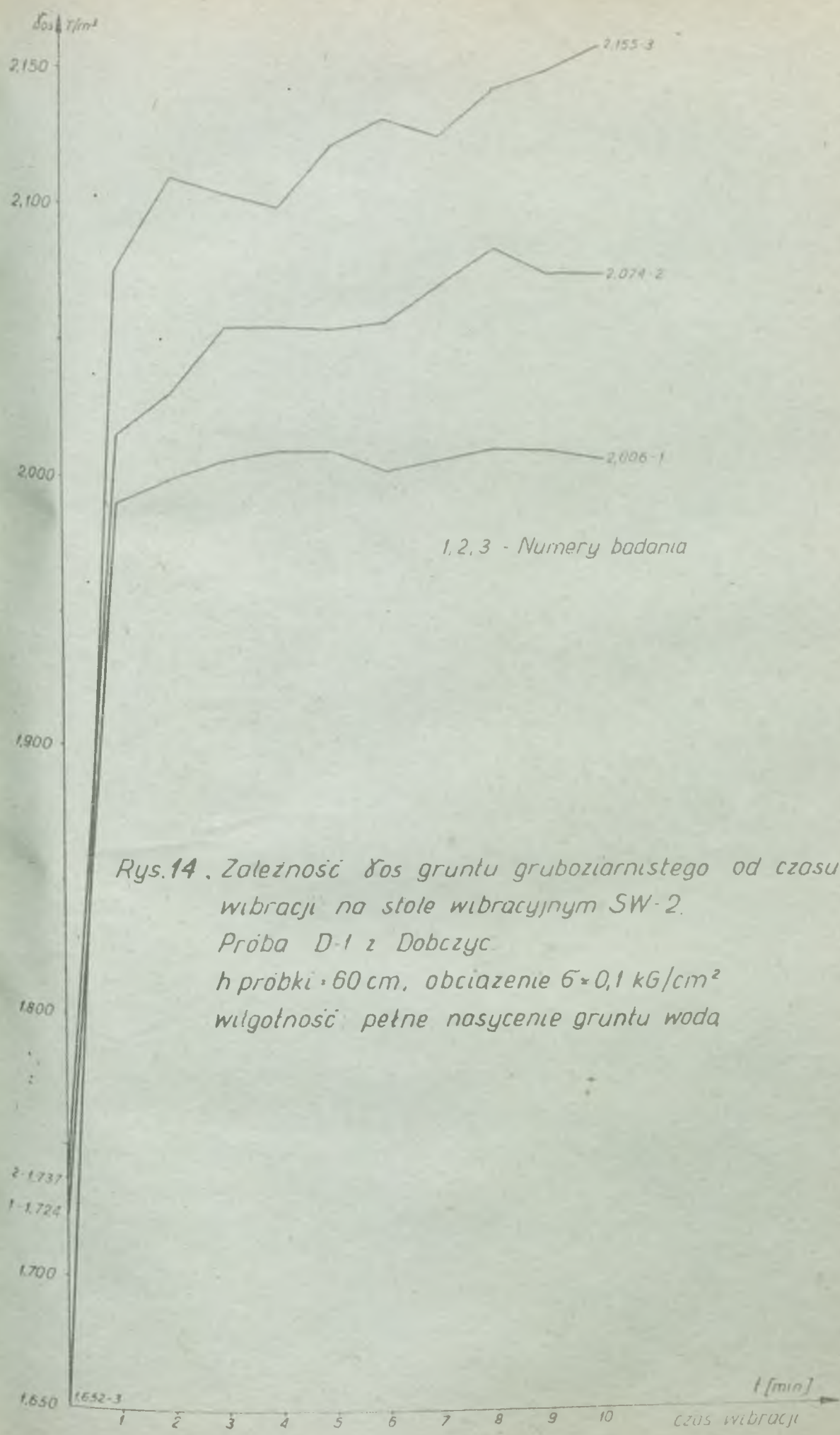


Rys.12. Zależność  $\delta_{cs}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dobczyc.  
 h próbki = 60 cm, obciążenie próbki  $\bar{\sigma} = 0.02 \text{ kG/cm}^2$   
 wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą



1,2,3 - Numery badania

Rys.13. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dobczyc  
 $h$  próbki = 80 cm, obciążenie  $\sigma = 0,02 \text{ kg/cm}^2$   
 wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą.



1, 2, 3 - Numery badania

Rys.14. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dobczyc  
 $h$  próbki = 60 cm, obciążenie  $\sigma = 0,1 \text{ kg/cm}^2$   
 wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą

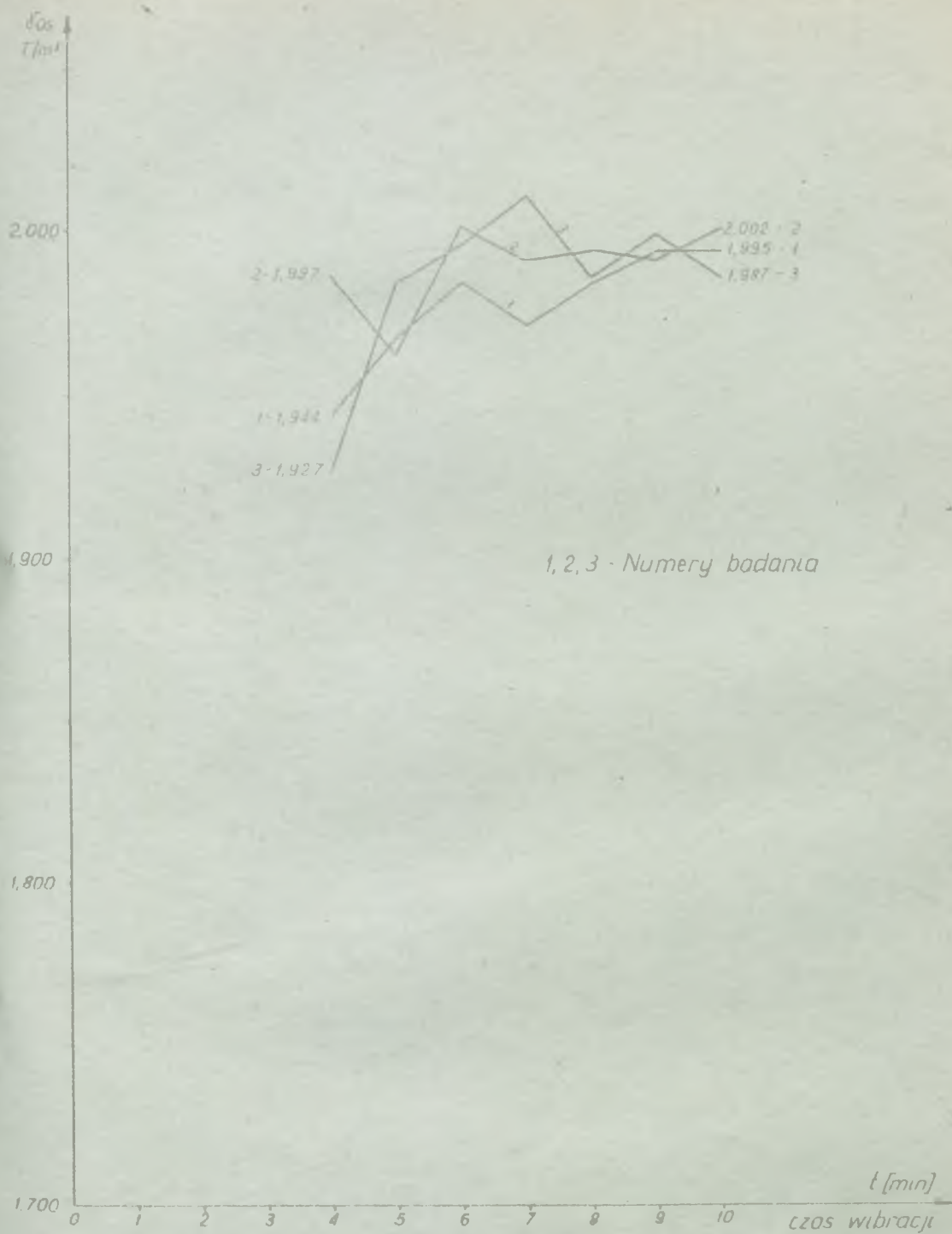
2-1737  
 1-1724

1.700

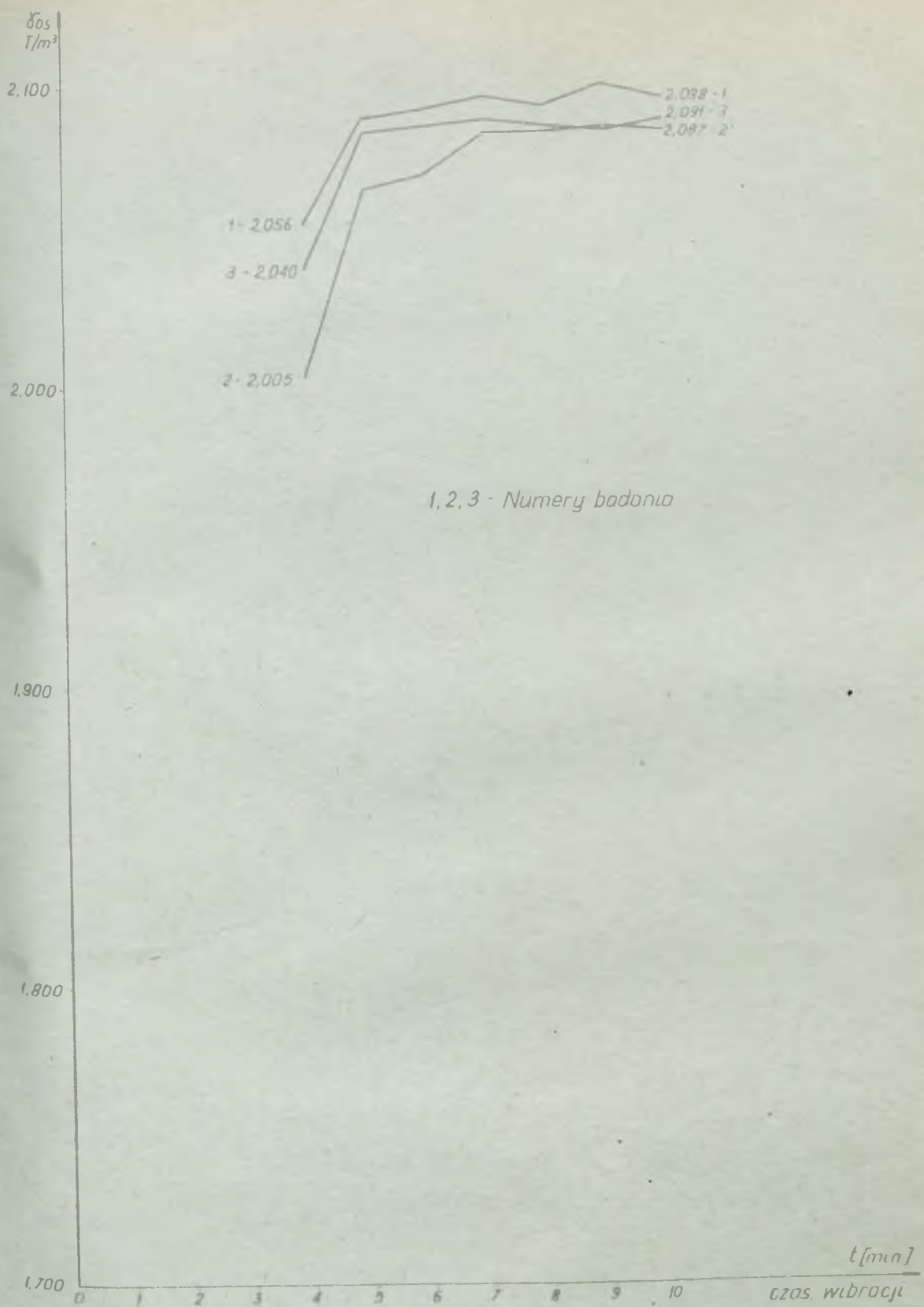
1.650

t [min]  
 czas wibracji

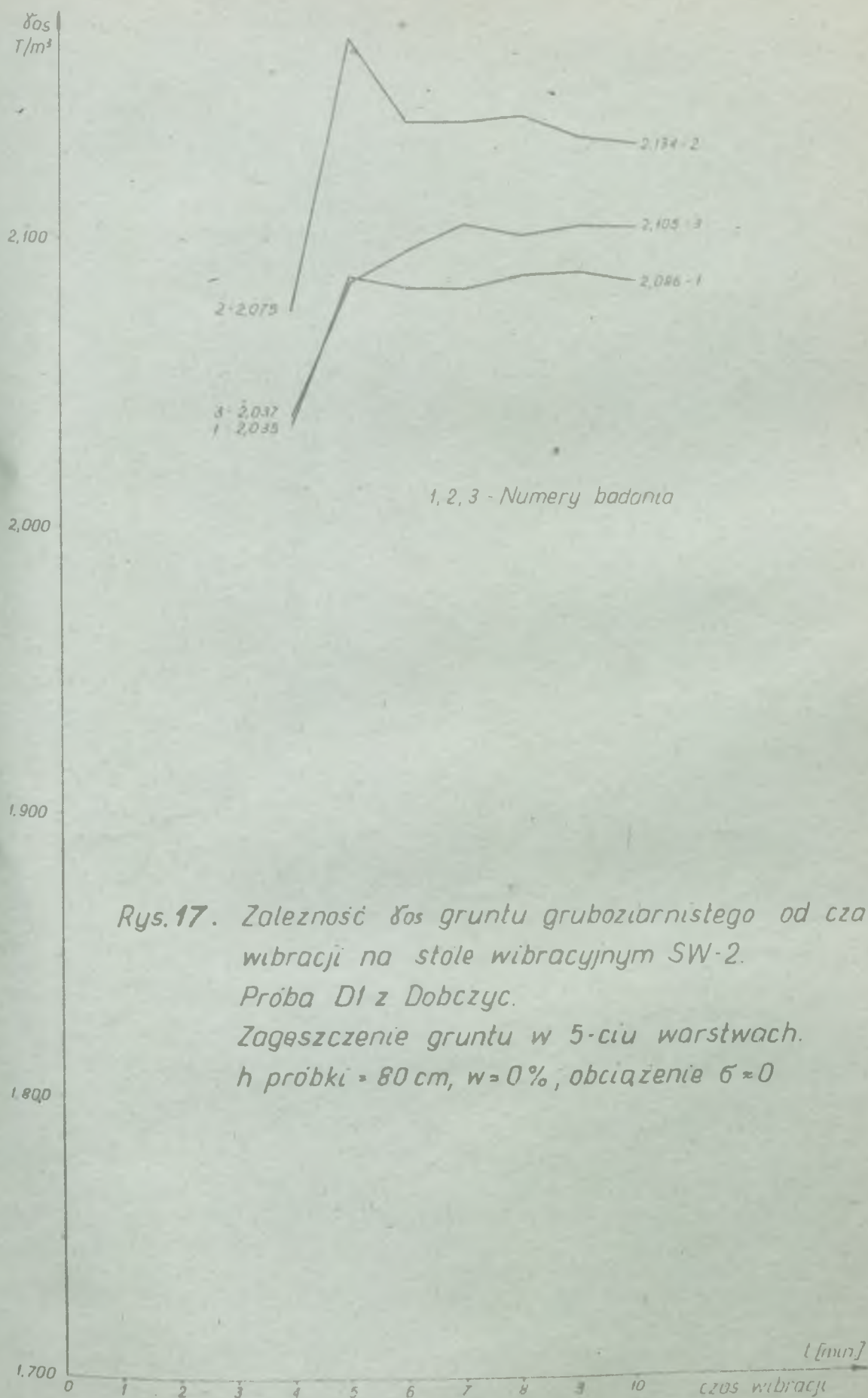




Rys.15. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 30 cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0$ .

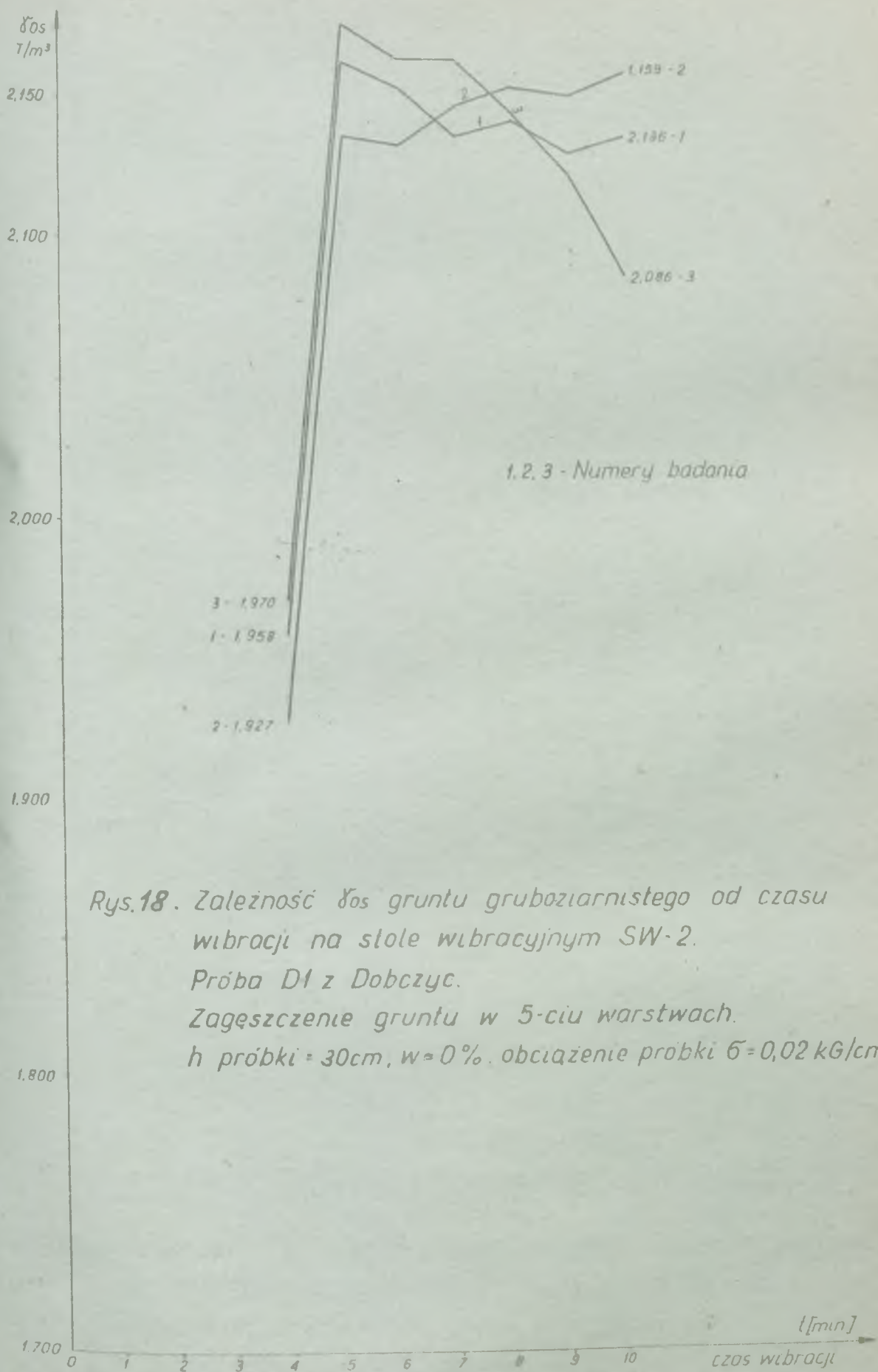


Rys. 16 . Zależność  $\delta_{0s}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 60 cm,  $w \approx 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0$

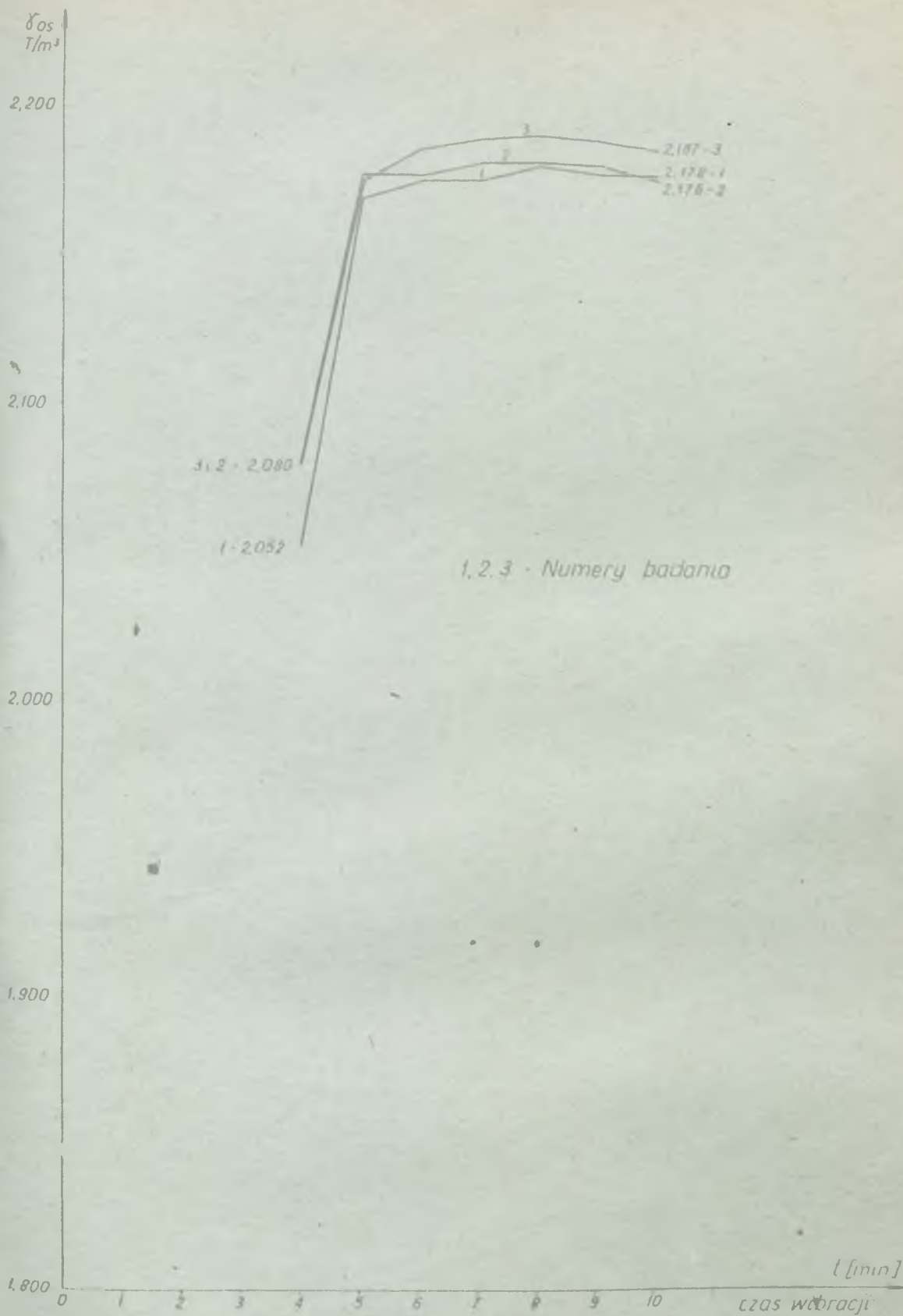


Rys.17. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 80 cm,  $w=0\%$ , obciążenie  $\sigma=0$

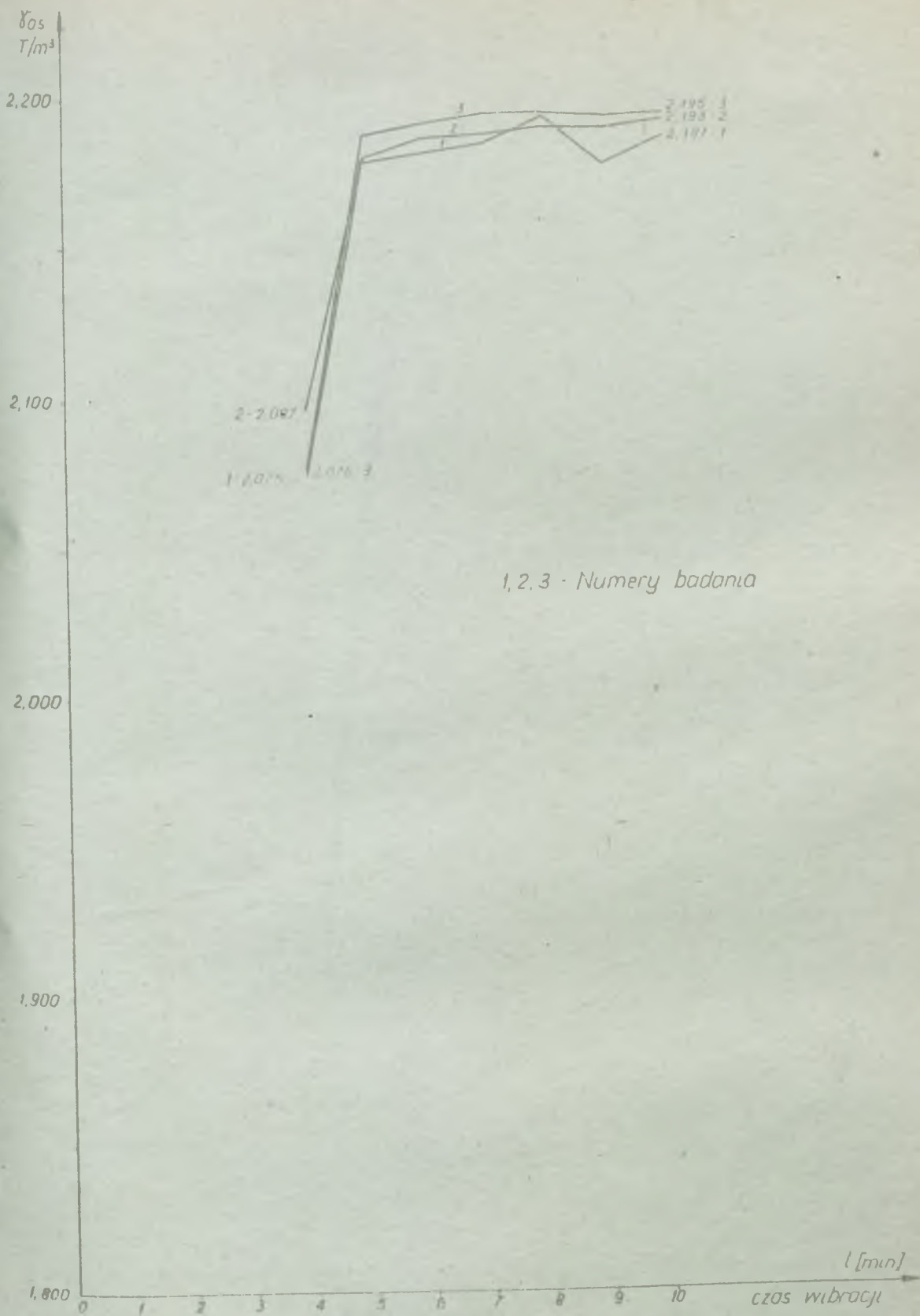




Rys.18. Zależność  $\gamma_{0s}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D1 z Dobczyc.  
 Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  
 $h$  próbki = 30cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0,02 \text{ kG/cm}^2$



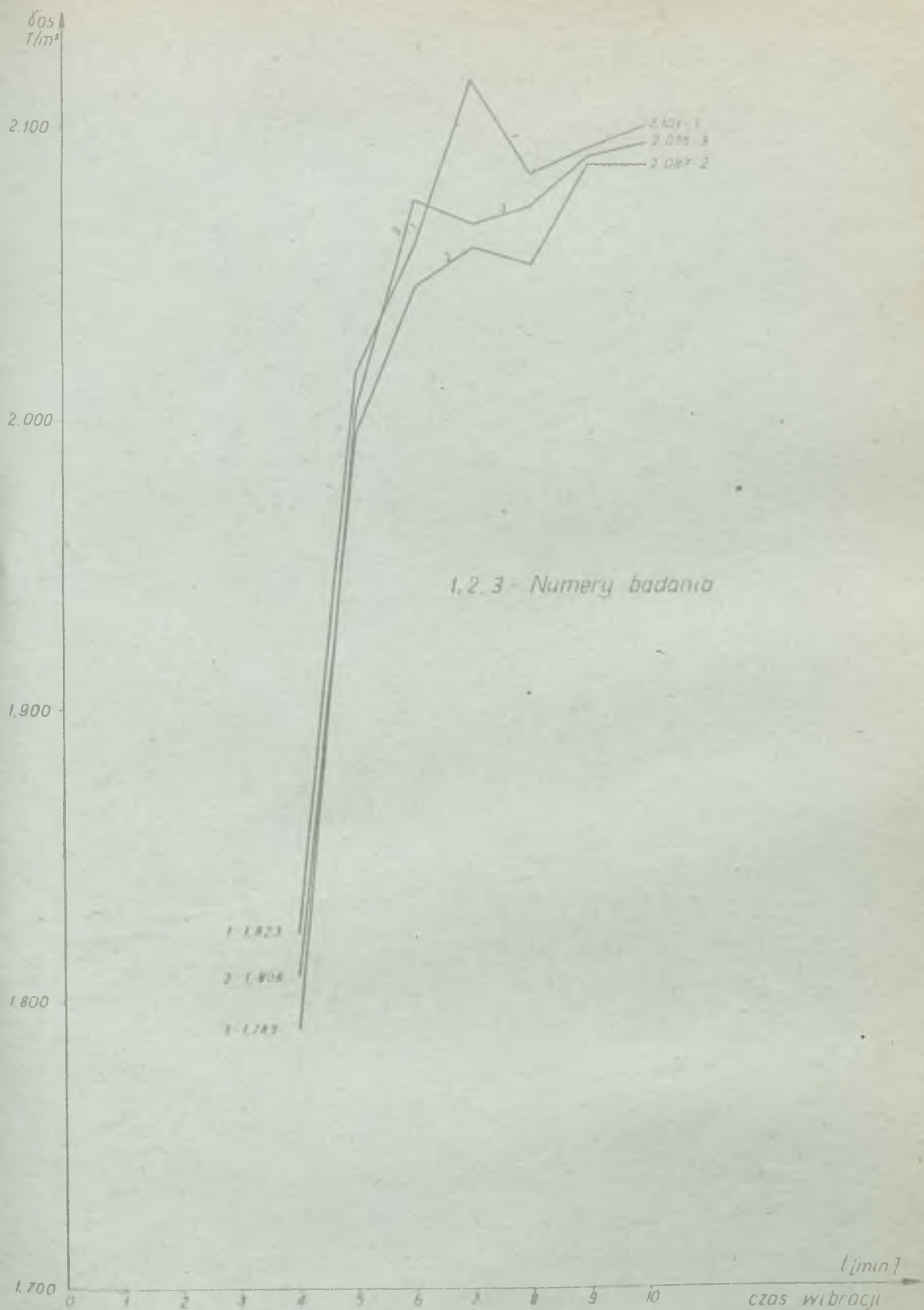
Rys.19. Zależność  $\chi_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-tu warstwach.  $h$  próbki - 60 cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0,02 \text{ kG/cm}^2$



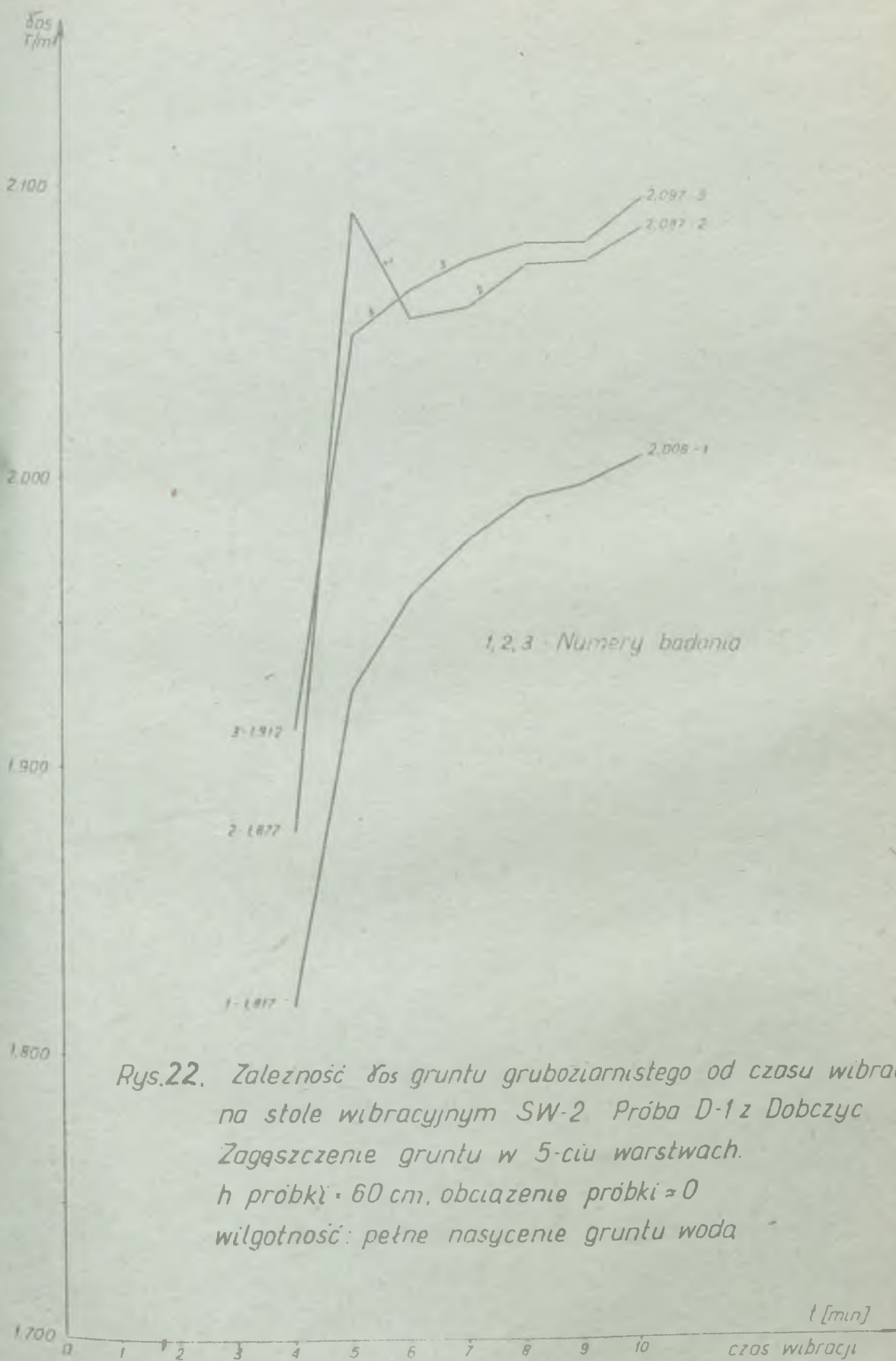
1, 2, 3 - Numery badania

Rys.20. Zależność  $\gamma_{05}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 80 cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0,02 \text{ kg/cm}^2$

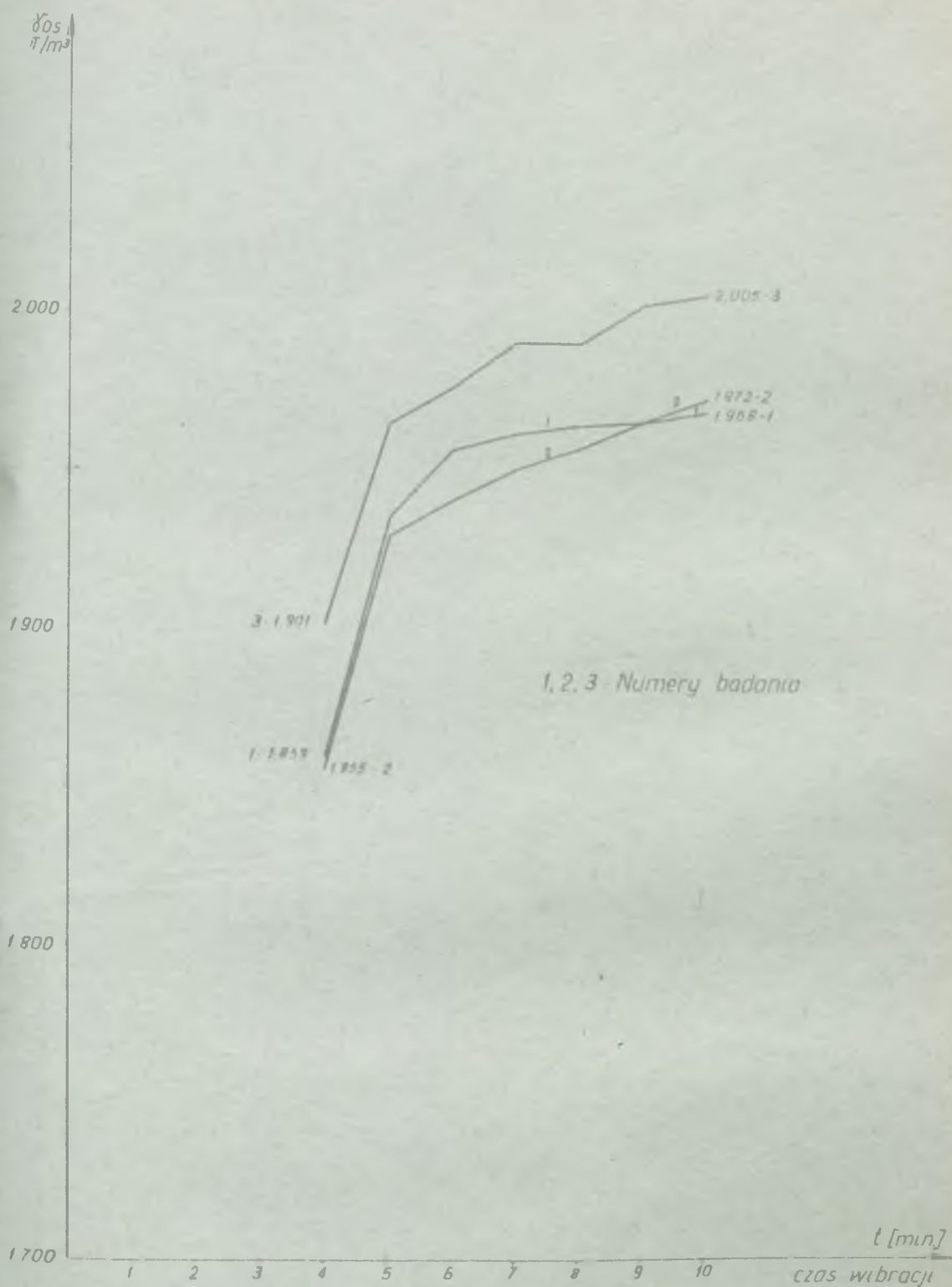




Rys.21. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach  $h$  próbki = 30cm, obciążenie próbki  $\bar{\sigma} = 0$  wilgotność; pełne nasycenie gruntu wodą.

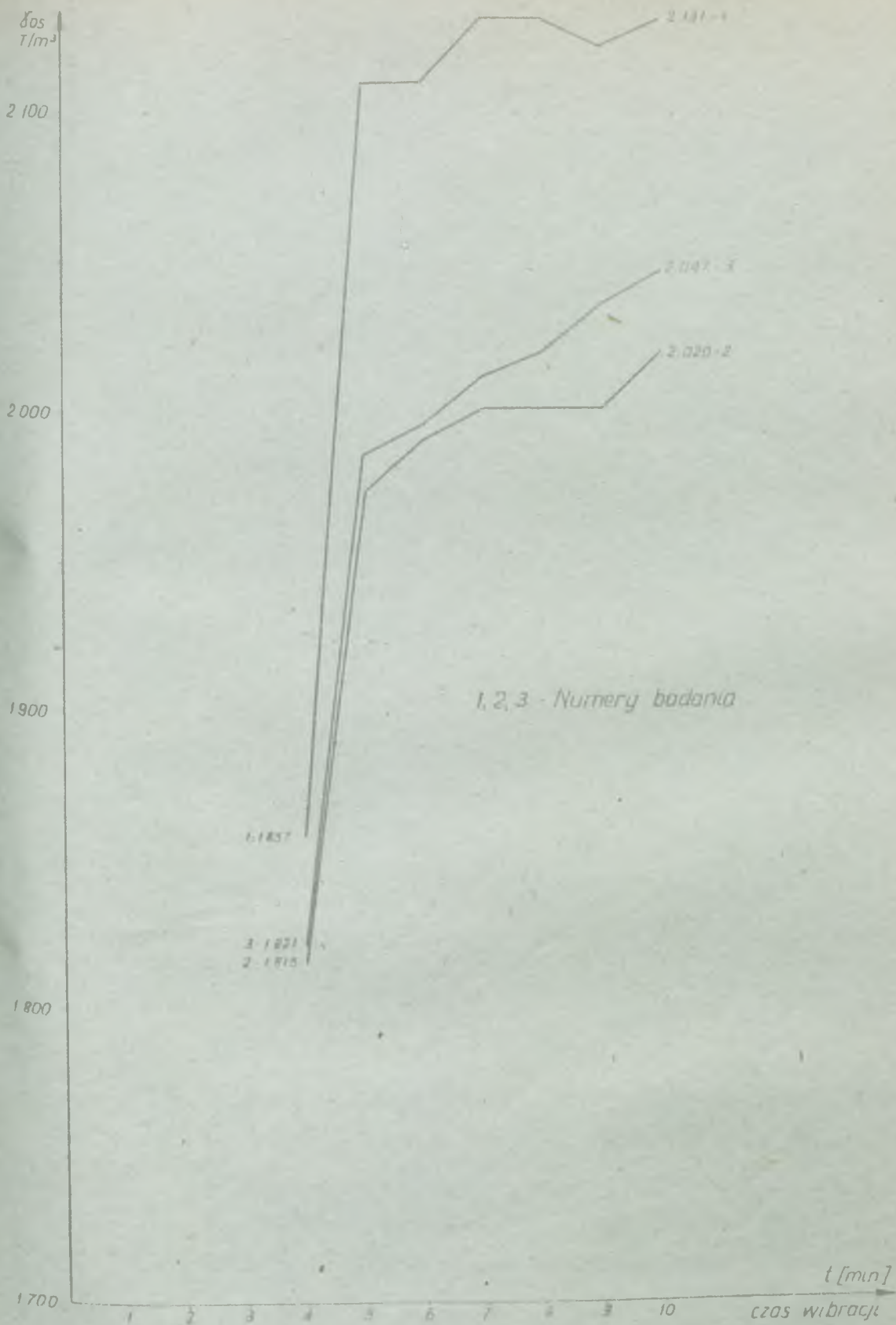


Rys.22. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 60 cm, obciążenie próbki = 0, wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą

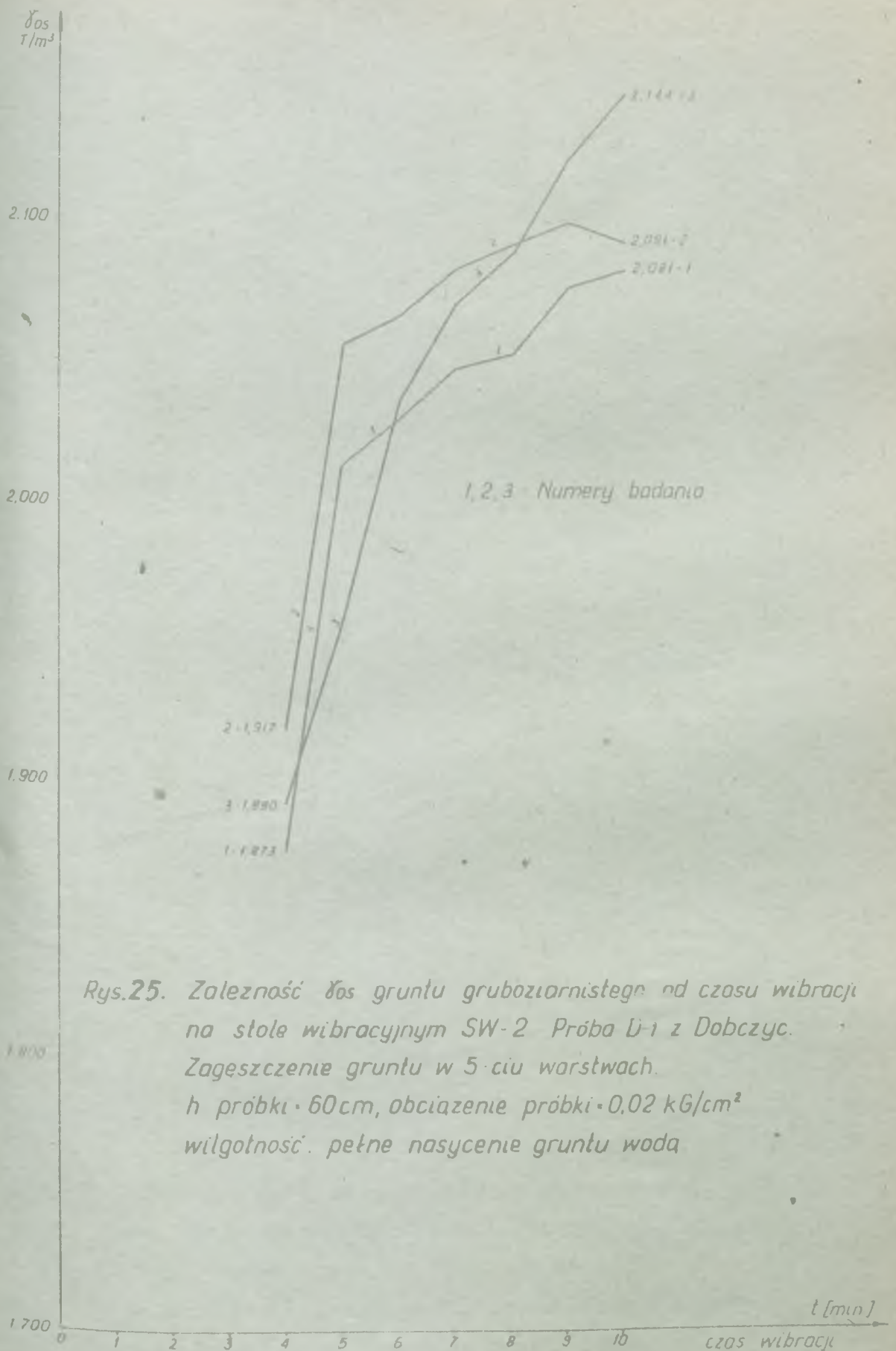


Rys.23. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach h próbki - 80 cm, obciążenie próbki 6-0 wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą.

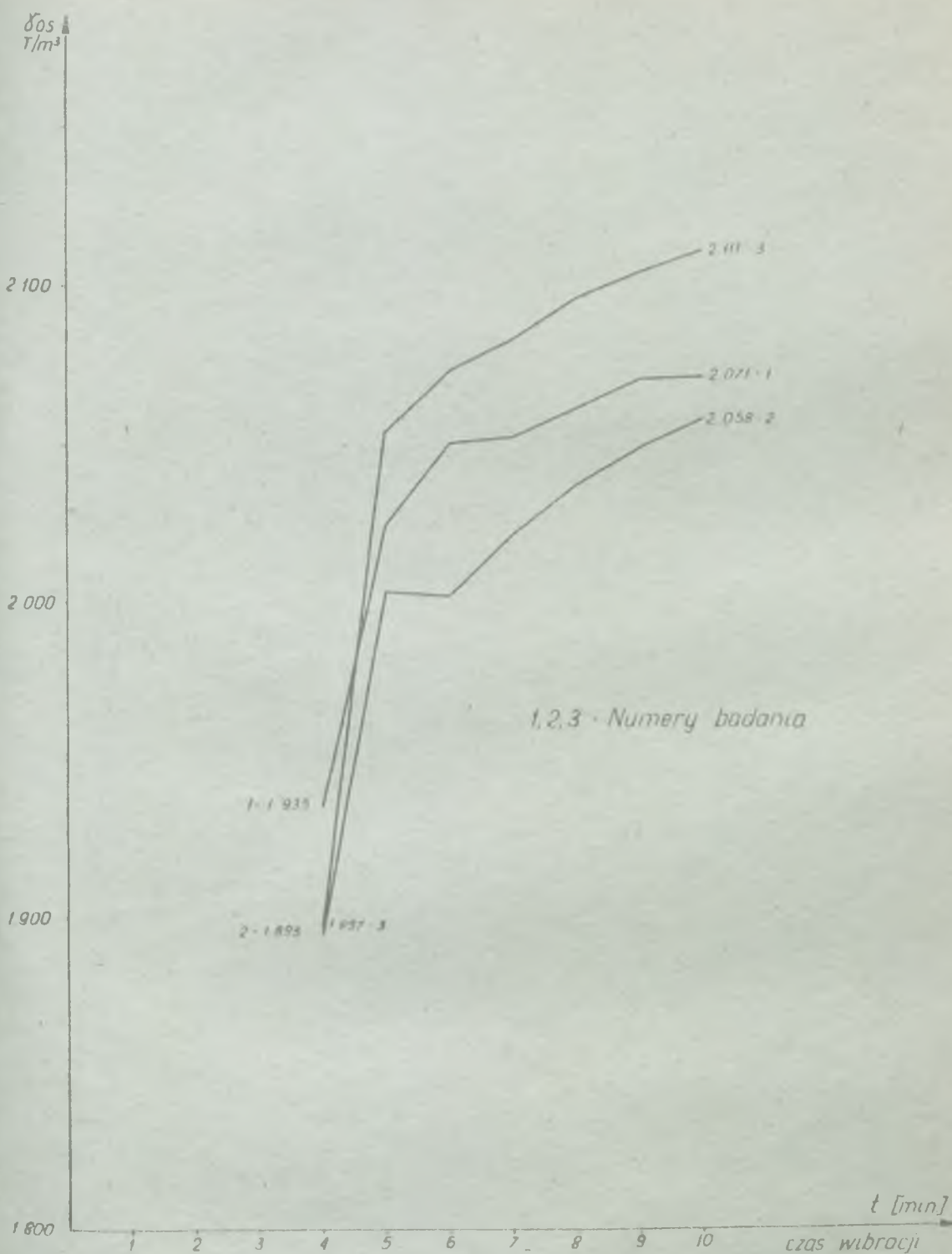




Rys.24. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach  $h$  próbki = 30 cm, obciążenie próbki  $\sigma = 0,02 \text{ kg/cm}^2$  wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą

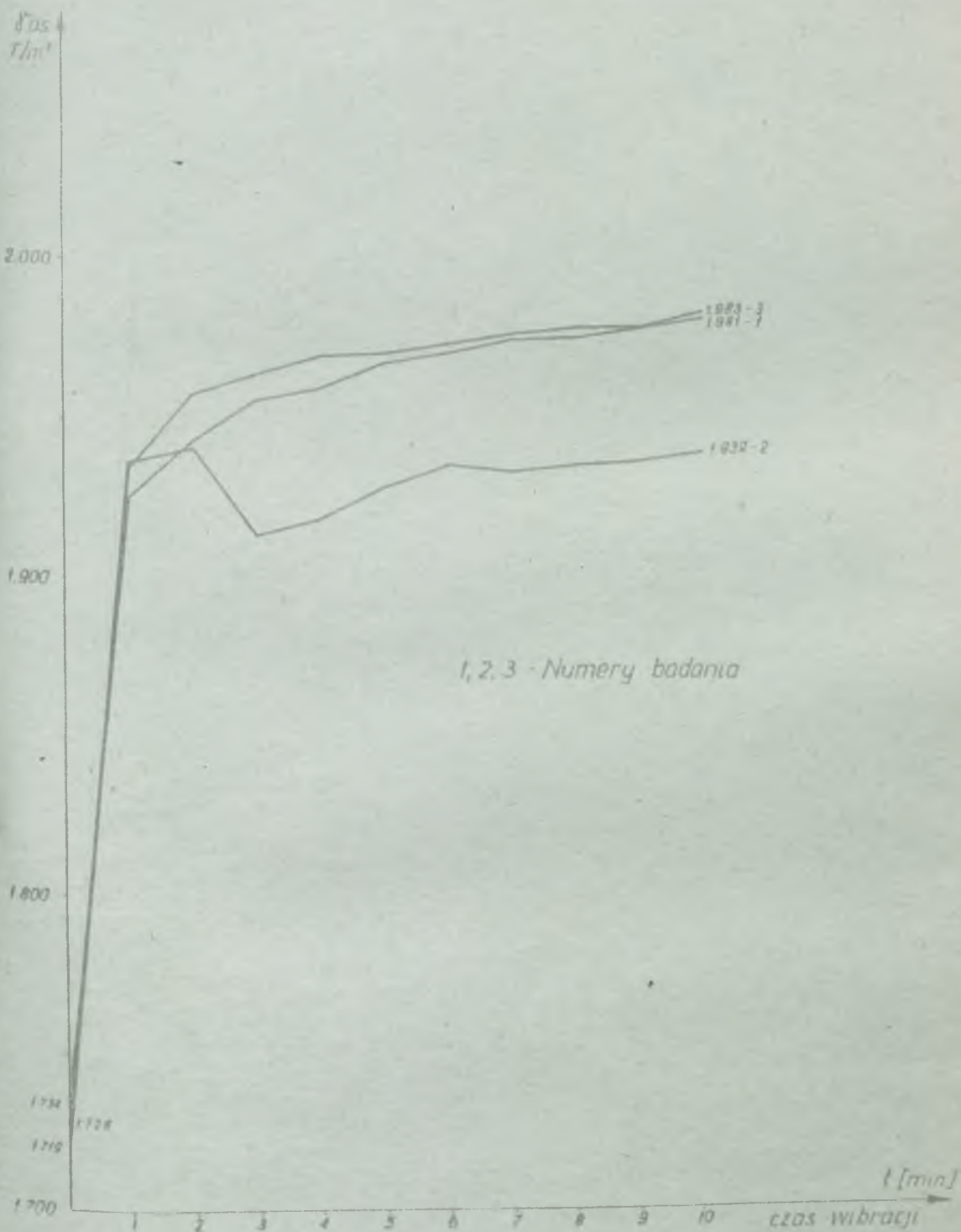


Rys.25. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2 Próba D-1 z Dobczyc. Zageszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki - 60cm, obciążenie próbki - 0,02 kG/cm<sup>2</sup> wilgotność: pełne nasycenie gruntu wodą

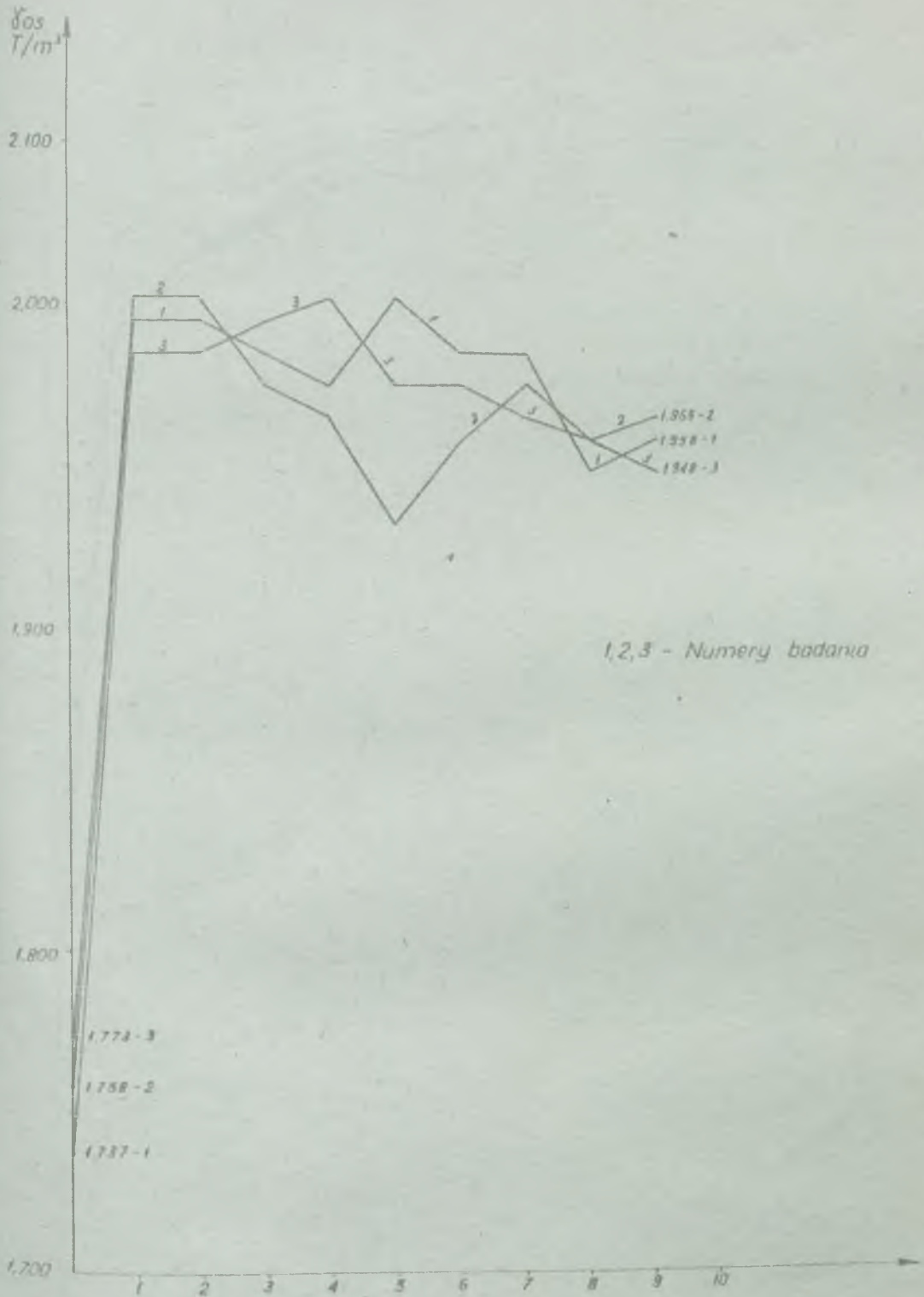


Rys.26. Zależność  $\delta_{0s}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2 Próba D-1 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5 ciu warstwach.  $h$  próbki = 80 cm, obciążenie próbki =  $5 \cdot 0,02$  kg/cm<sup>2</sup> wilgotność pełne nasycenie gruntu wodą.

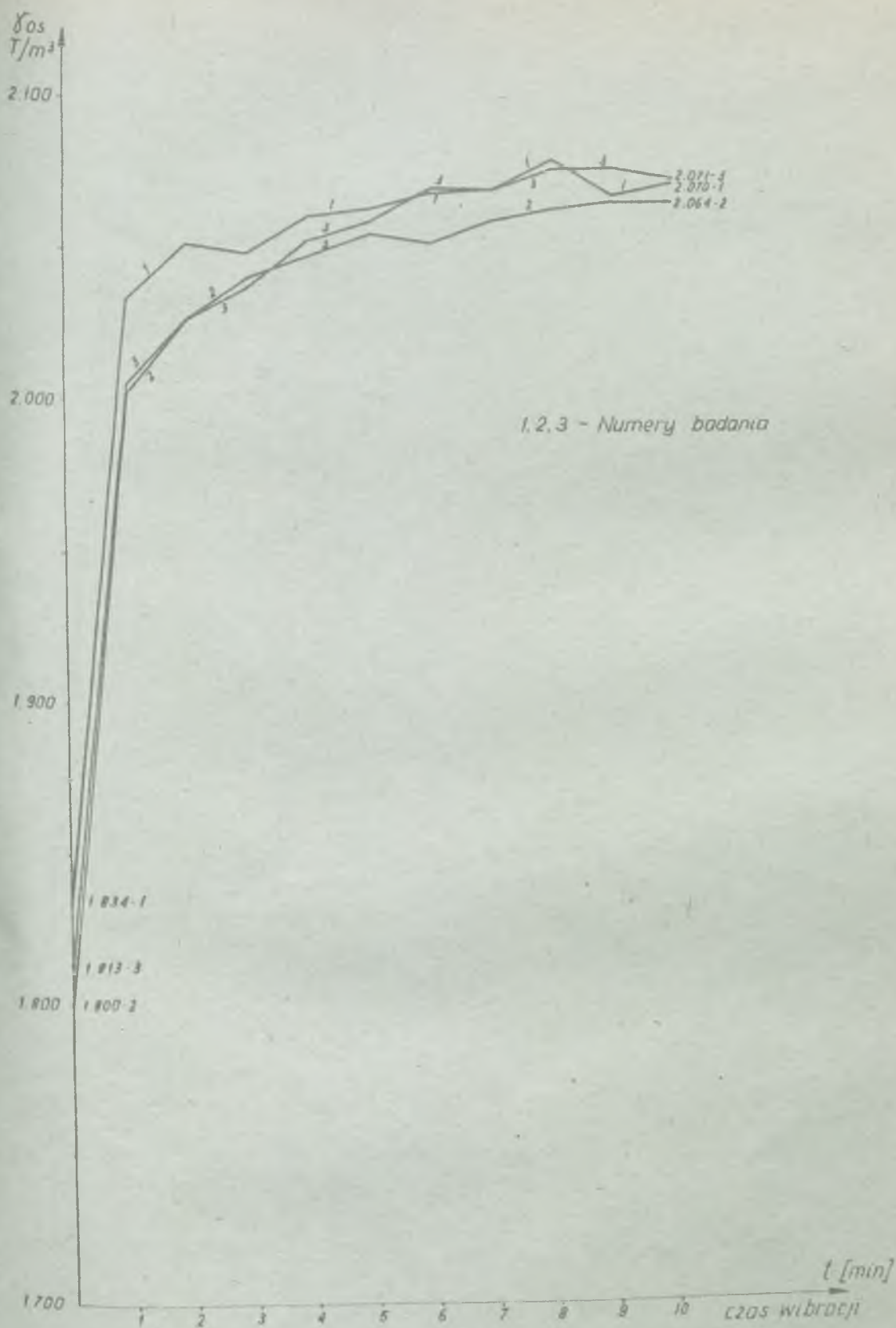




Rys.27. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-1 z Dobczyc. •  
 $h$  próbki = 80cm,  $w$  = 4,3%, obciążenie próbki  $\sigma = 0$

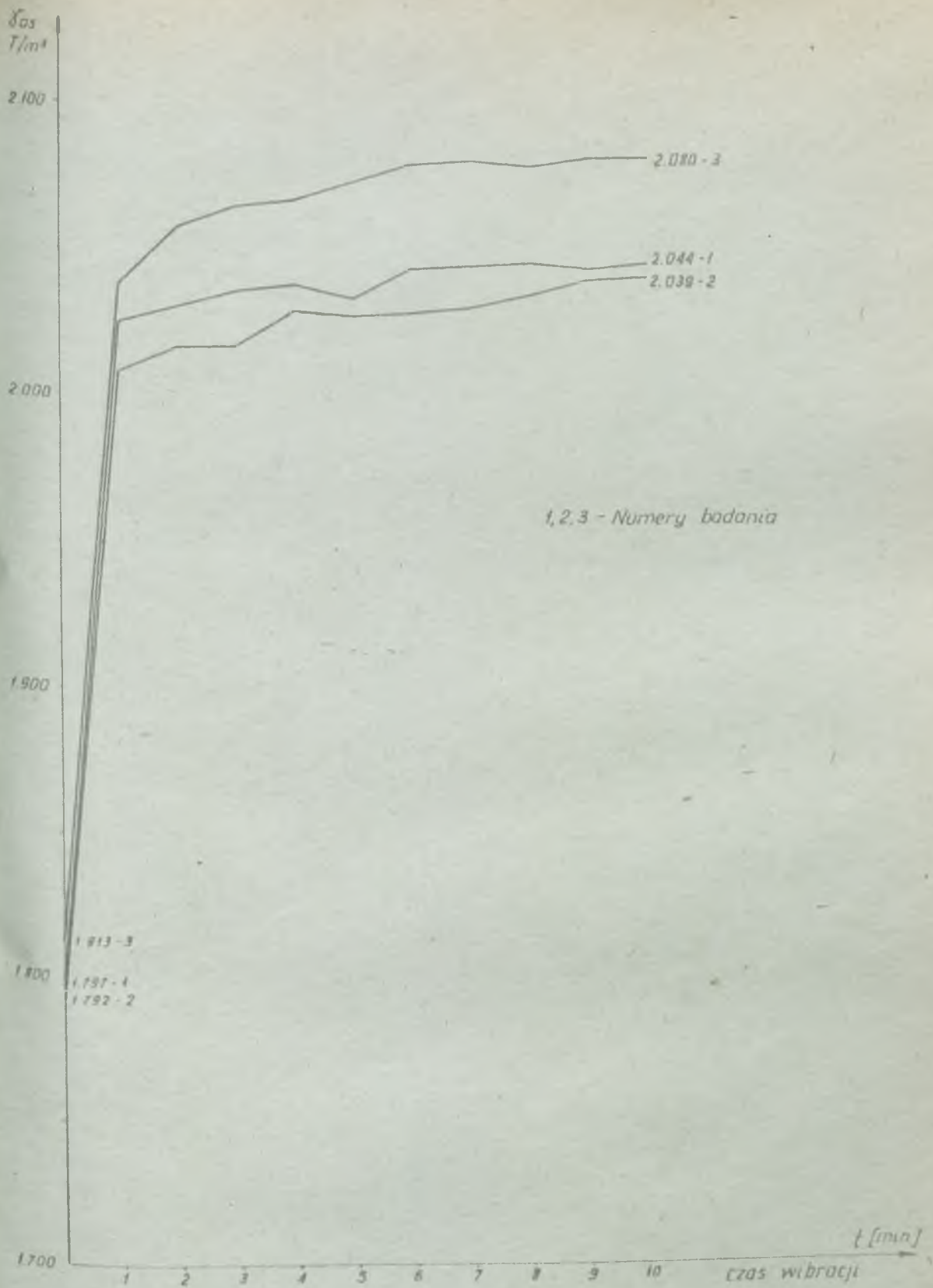


Rys.28. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-2 z Dobczyc.  
 $h$  próbki = 30cm, obciążenie próbki  $\sigma = 0$ ,  $w = 0\%$

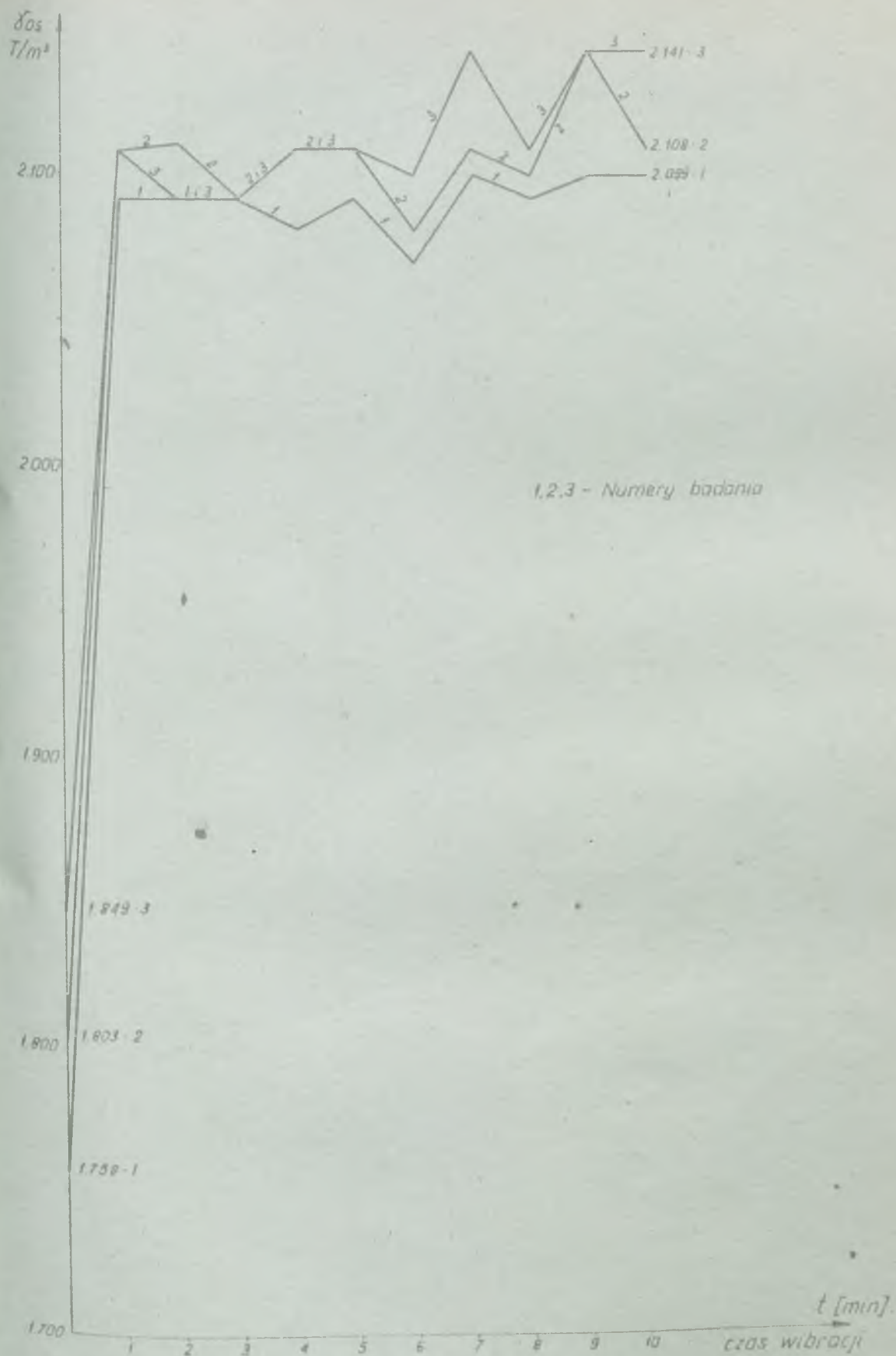


Rys.29. Zależność  $\gamma_{0s}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-2 z Dobczyc.  
 h próbki = 60cm, obciążenie próbki  $\sigma = 0$ ,  $w = 0\%$

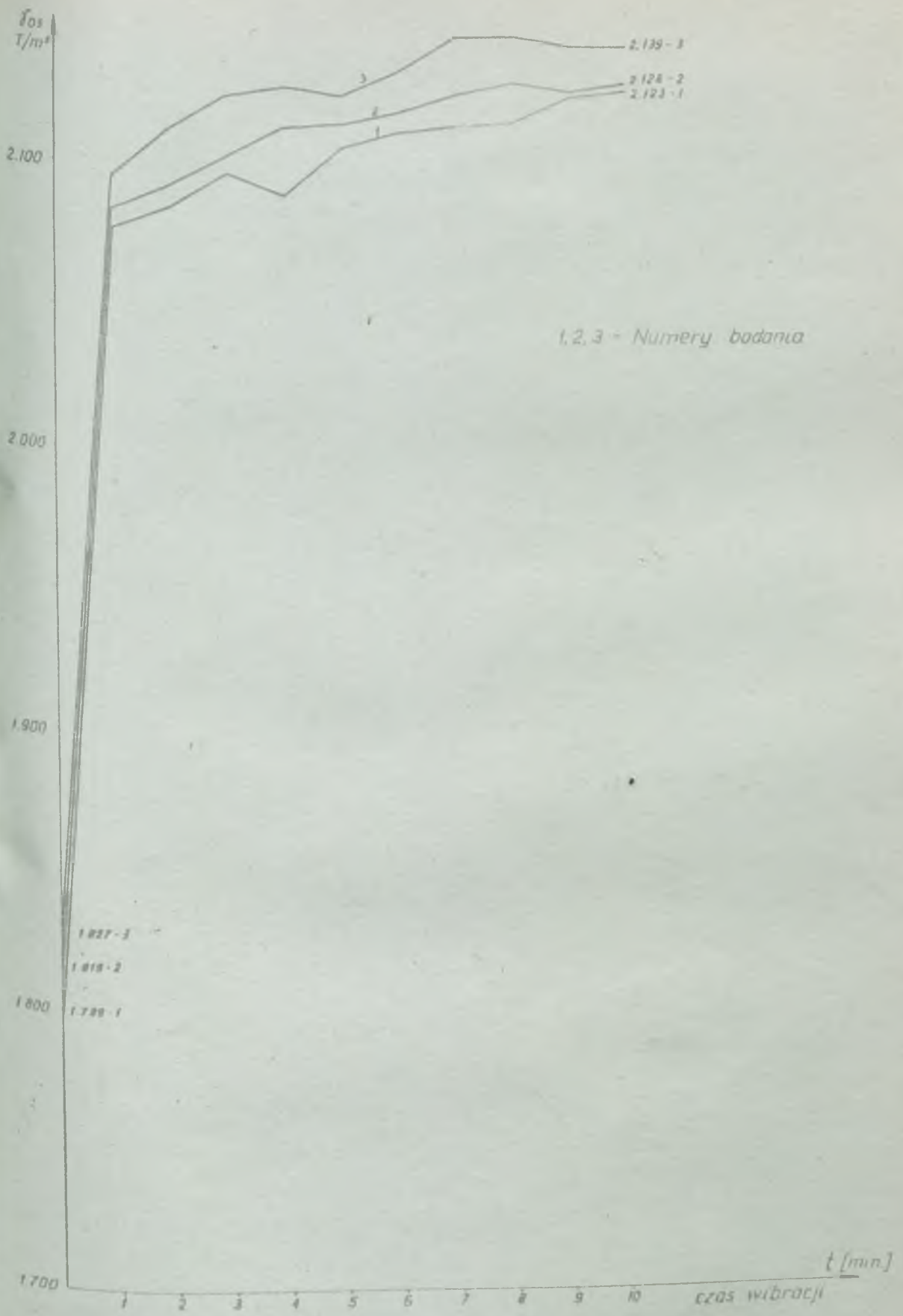




Rys. 30. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-2 z Dobczyc  
 $h$  próbki  $\cdot$  80cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0$

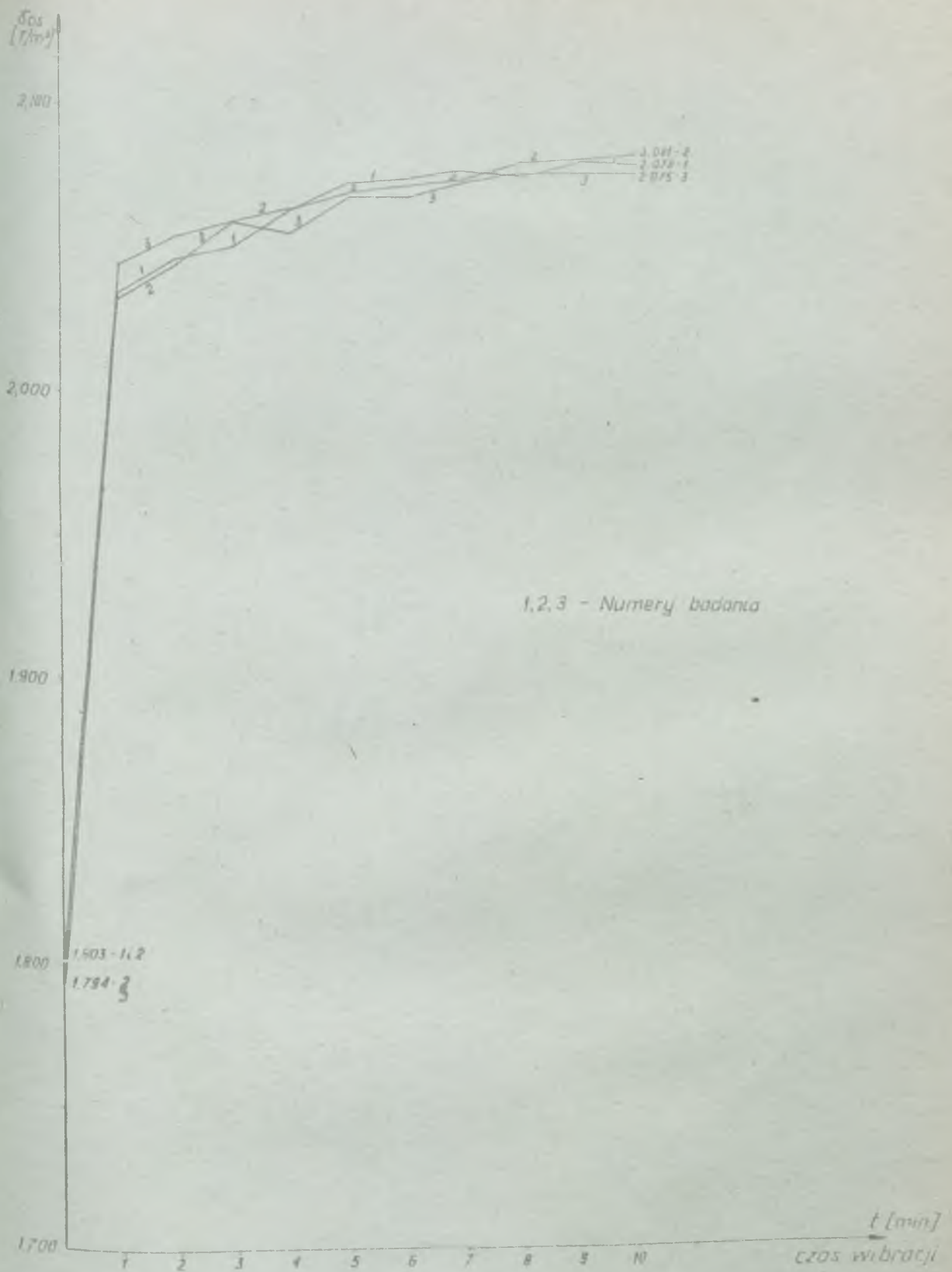


Rys.31. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-2 z Dobczyc.  
 $h$  próbki = 30cm, obciążenie próbki  $\sigma = 0,02 \text{ kg/cm}^2$   $w = 0\%$

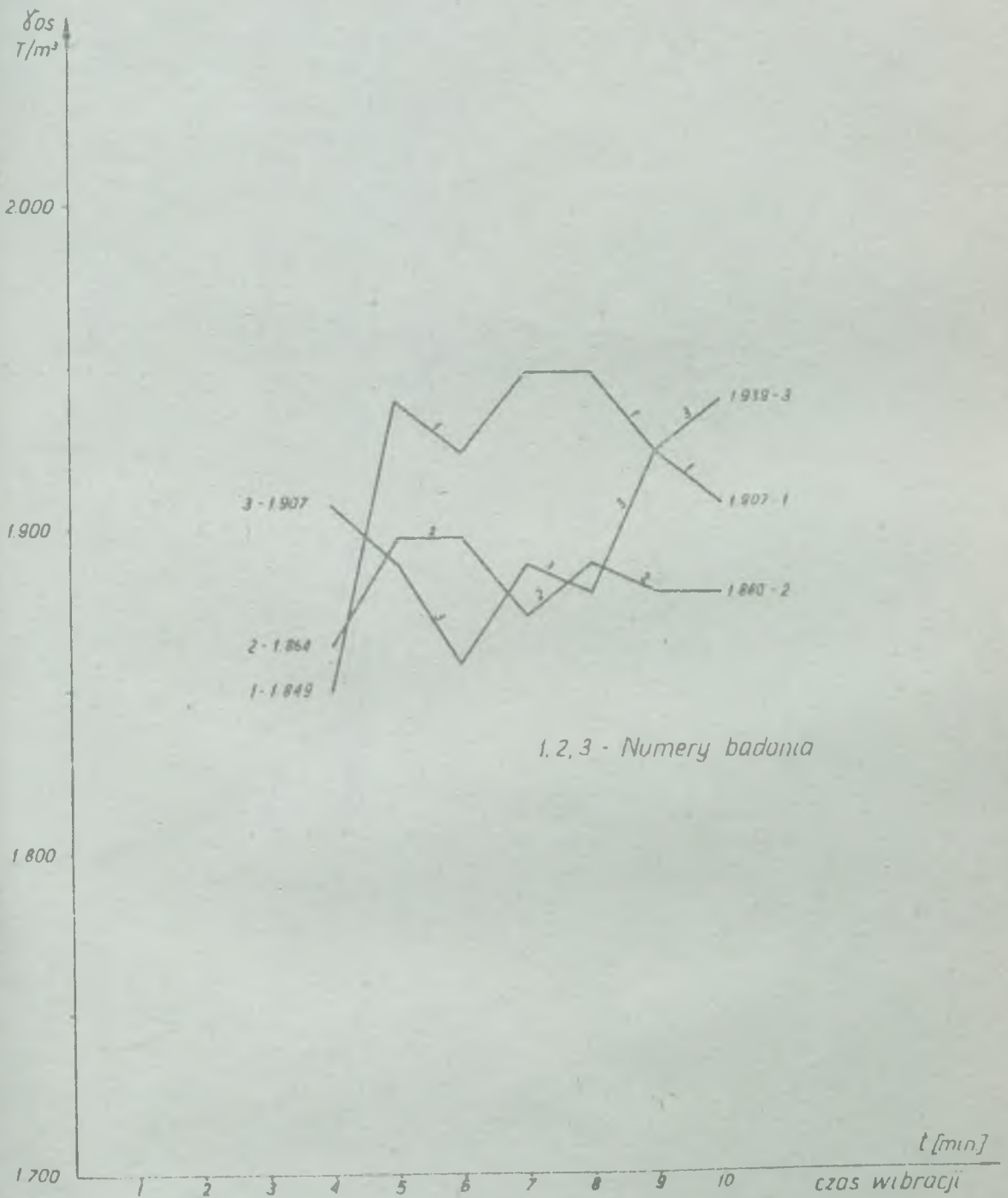


Rys.32. Zależność  $G_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-2 z Dobczyc.  $h$  próbki - 60cm, obciążenie próbki  $\sigma = 0.02 \text{ kg/cm}^2$ ,  $w = 0\%$

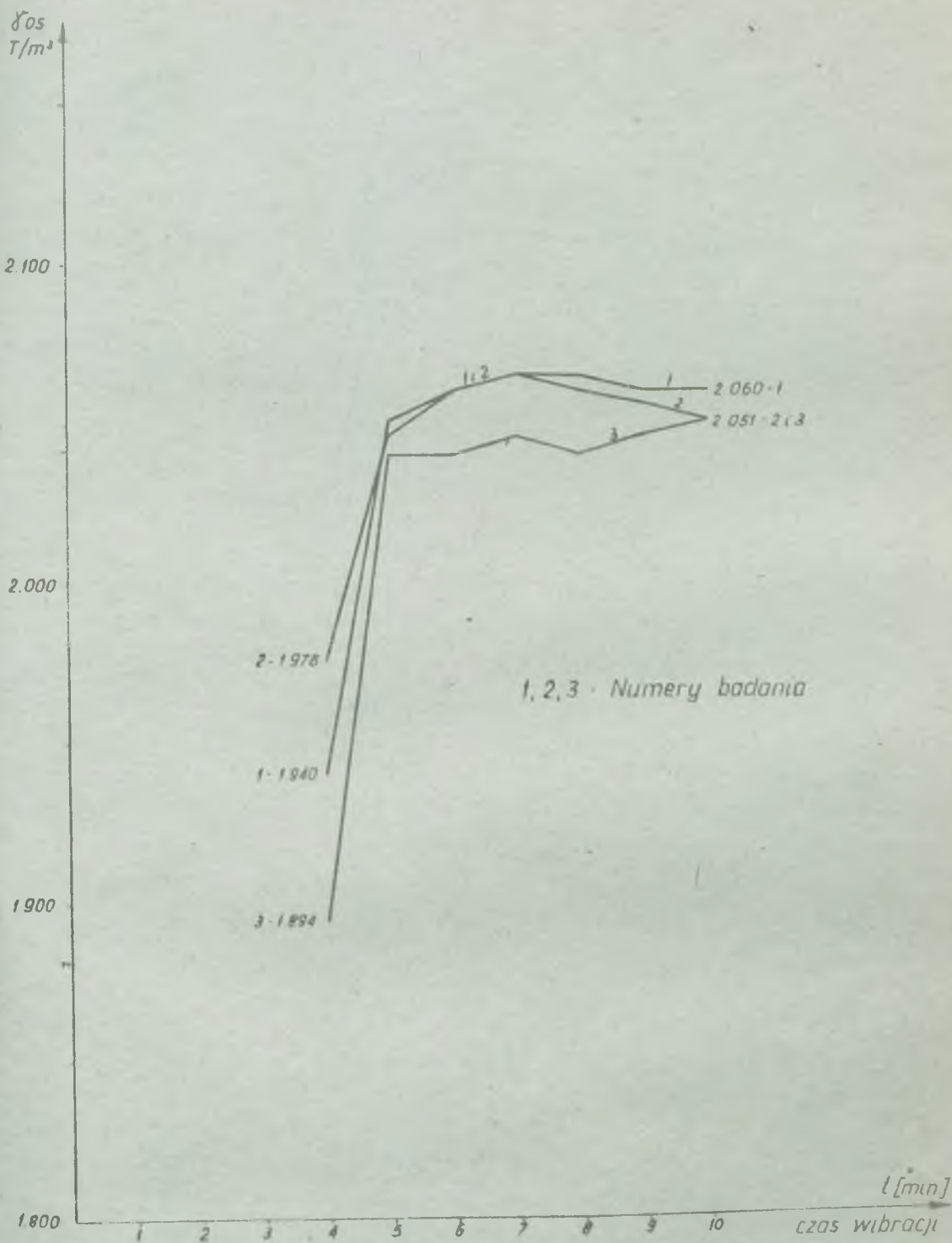




Rys.33. Zależność  $G_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-2 z Dobczyc.  
 $h$  próbki = 80cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0.02 \text{ kg/cm}^2$

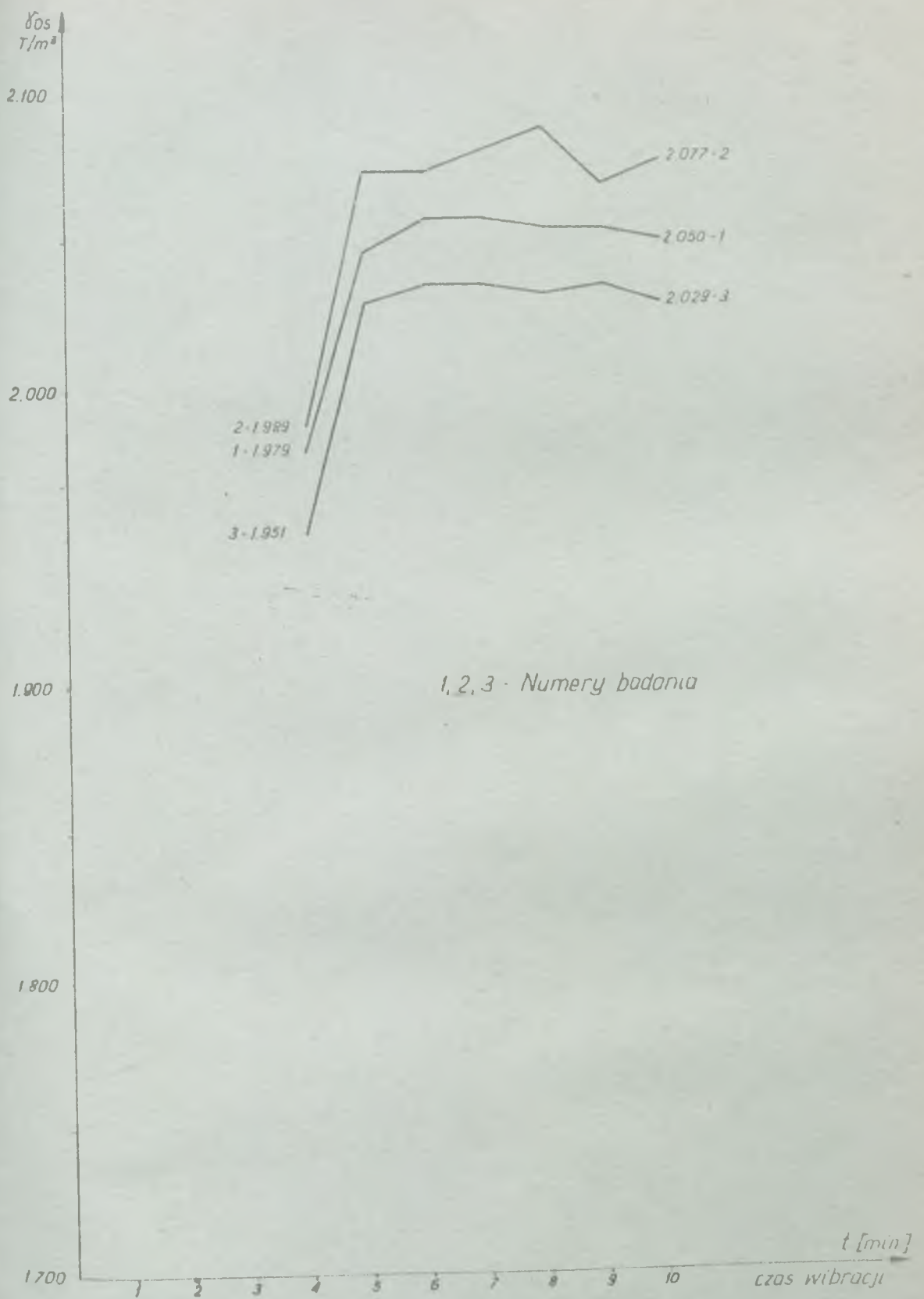


Rys. 34. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-2 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 30cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $G = 0$

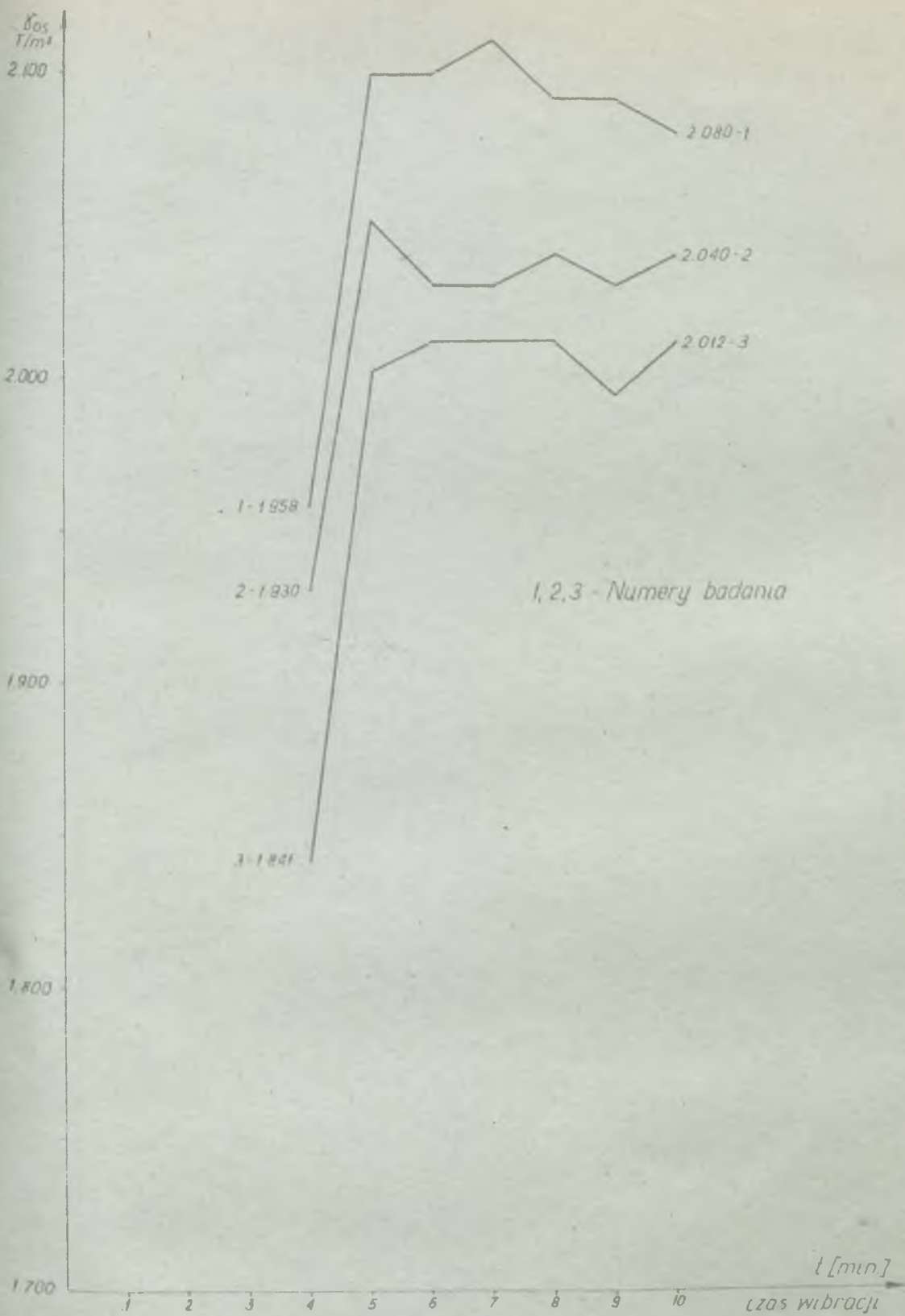


Rys. 35. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2.  
 Próba D-2 z Dobczyc.  
 Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  
 $h$  próbki = 60 cm,  $w \approx 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma \approx 0$

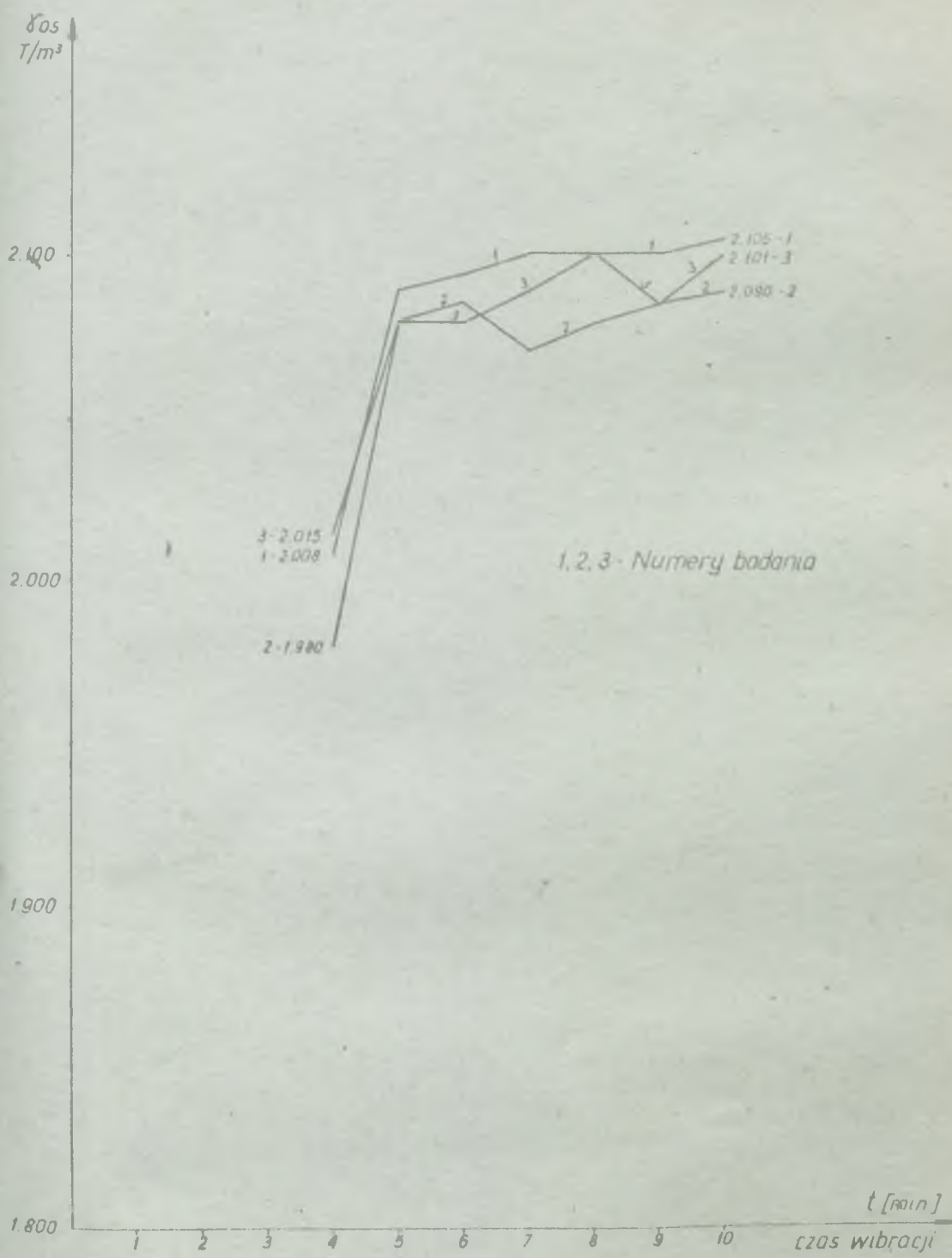




Rys. 36. Zależność  $\gamma_{0.5}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Proba D-2 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 80 cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0$ .

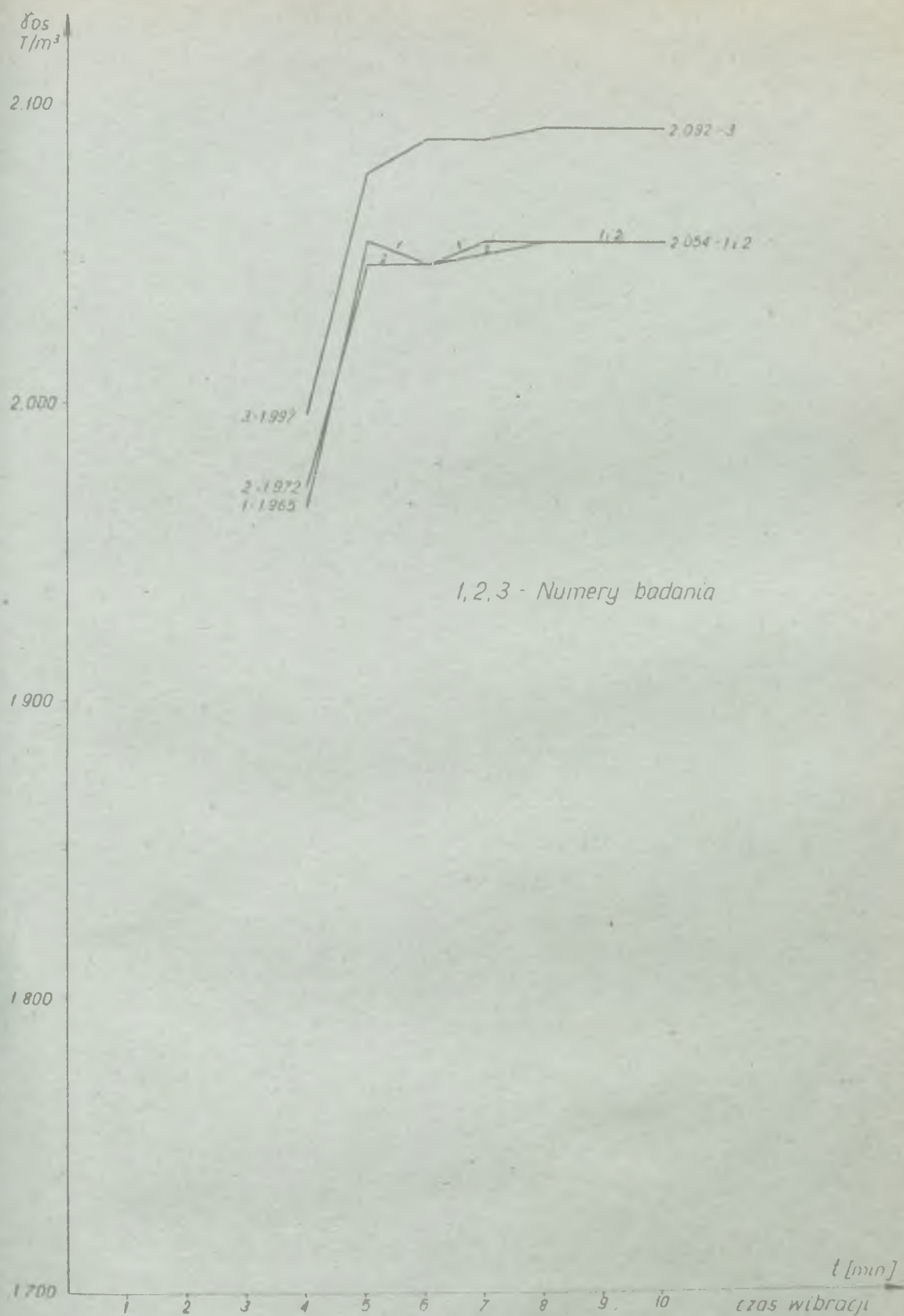


Rys. 37. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-2 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 30 cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki = 0,02 kG/cm<sup>2</sup>

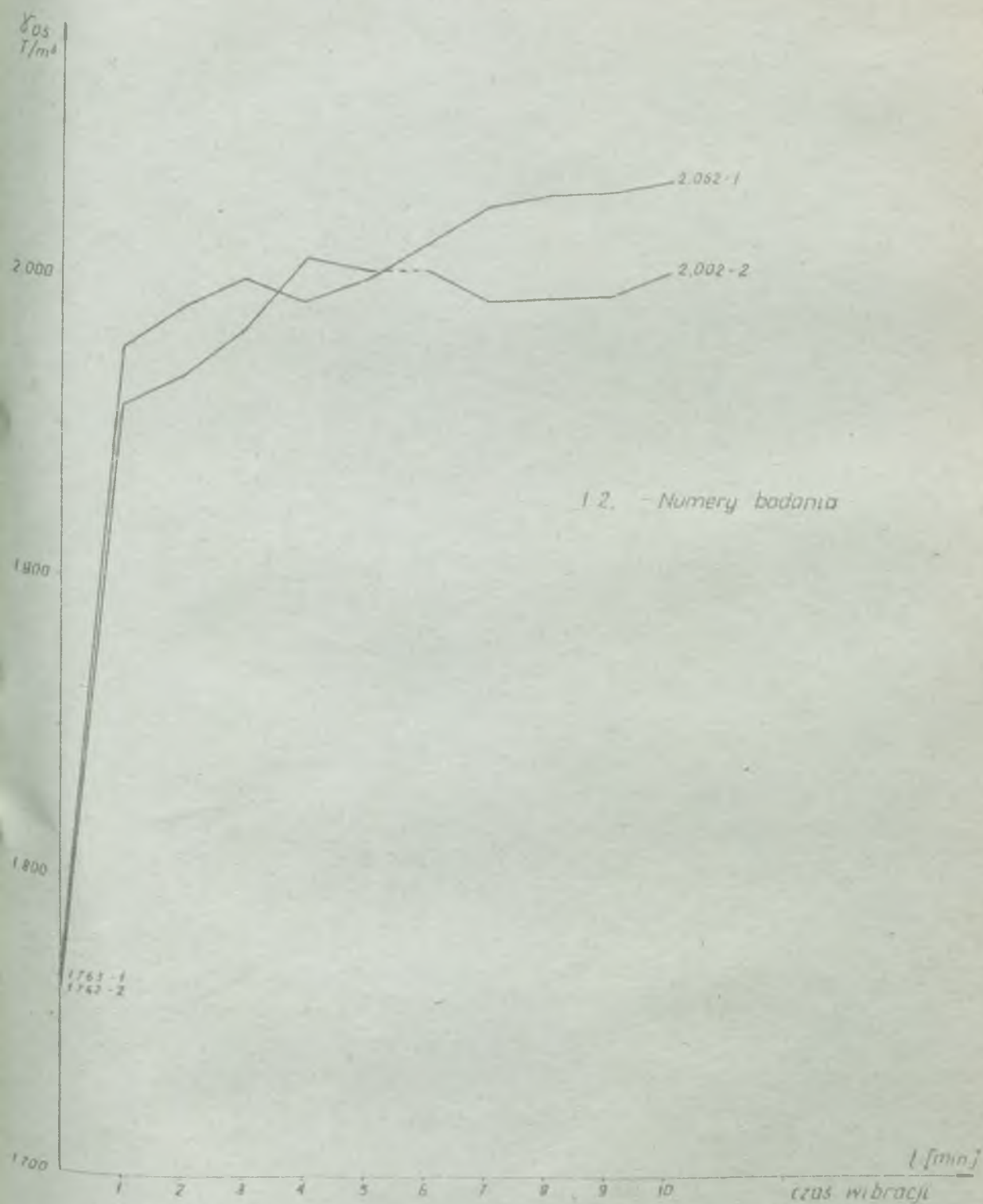


Rys. 38. Zależność  $\gamma_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-2 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 60cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki = 0,02 kG/cm<sup>2</sup>

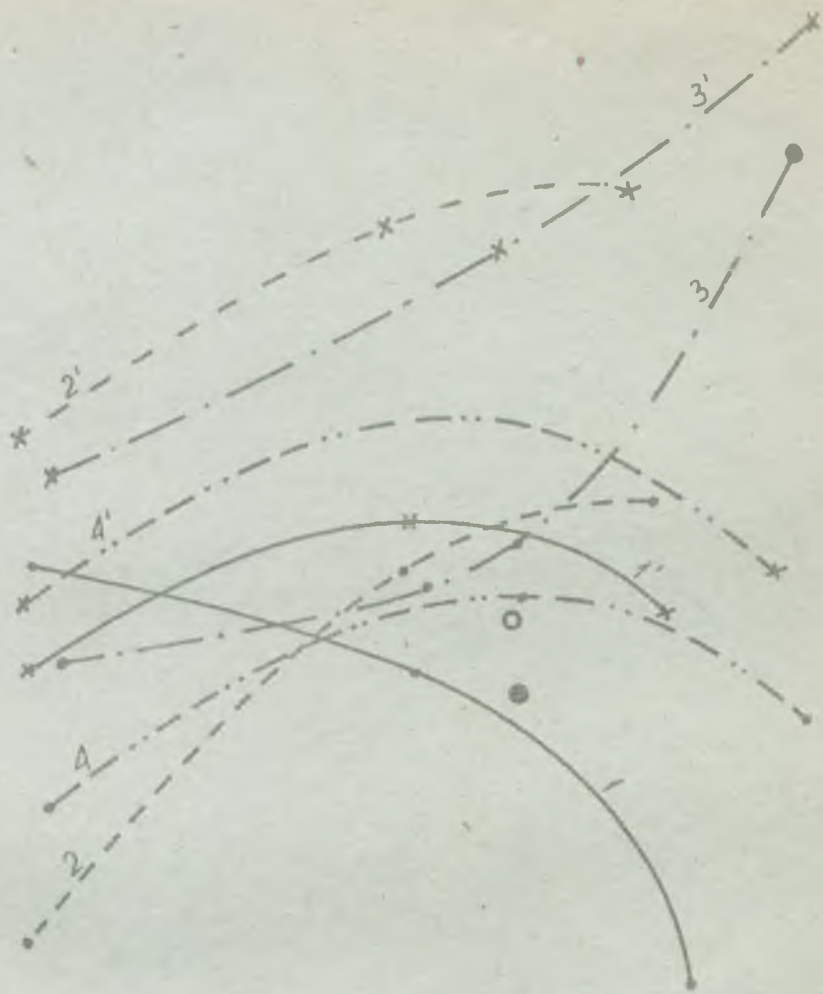




Rys. 39. Zależność  $\delta_{os}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-2 z Dobczyc. Zagęszczenie gruntu w 5-ciu warstwach.  $h$  próbki = 80 cm,  $w = 0\%$ , obciążenie próbki = 0,02 kg/cm<sup>2</sup>



Rys. 40. Zależność  $\gamma_{0s}$  gruntu gruboziarnistego od czasu wibracji na stole wibracyjnym SW-2. Próba D-2 z Dobczyc.  $h$  próbki = 80cm,  $w = 3,1\%$ , obciążenie próbki  $\sigma = 0$



——— 1,1' — 5 warstw, pełne nasycenie  
 - - - 2,2' - 5 warstw,  $w=0\%$   
 - · - 3,3' - bez warstw, pełne nasycenie  
 - · - 4,4' - bez warstw,  $w=0\%$

1,2,3,4 • badanie bez obciążenia

1',2',3',4' x badanie z obciążeniem  $0,02 \text{ kg/cm}^2$

○ badanie z obciąż  $0,1 \text{ kg/cm}^2$  (bez warstw, pełne nasycenie)

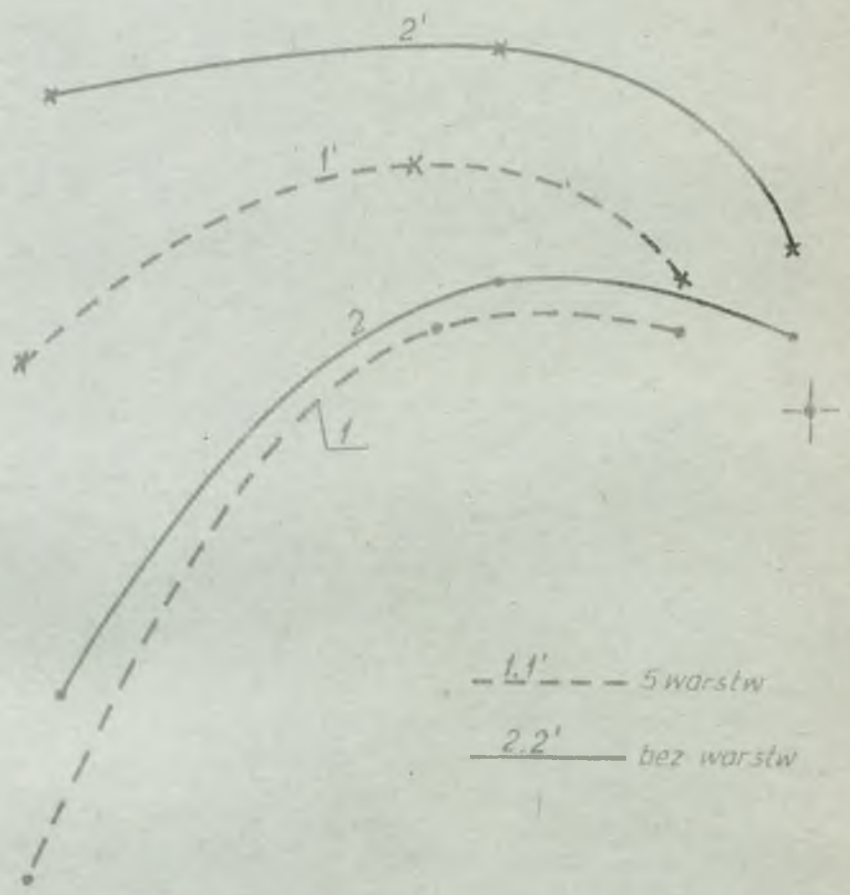
● badanie z obciąż  $0,1 \text{ kg/cm}^2$  (bez warstw,  $w=0\%$ )

⊥ badanie bez obciążenia (bez warstw,  $w=4,3\%$ )

10 20 30 40 50 60 70 80 cm  
Grubosc warstw (wysokosc próby)

Rys. 41. Zależność  $\delta_{os}$  od grubości warstwy i obciążenia gruntu wibrowanego na stole wibracyjnym SW-2 po czasie wibracji 10 min  
Próba D-1 z Dobczyc.





1, 2 • badanie bez obciążenia  
 1', 2' × badanie z obciążeniem 0,02 kg/cm<sup>2</sup> } w = 0%  
 + - badanie bez obciążenia, w = 3,1%

10 20 30 40 50 60 70 80 cm

Grubość warstw (wysokość próby)

Rys. 42. Zależność  $\delta$  od grubości warstwy i obciążenia gruntu wibrowanego na stole wibracyjnym SW-2 po czasie wibracji 10 min. Próba D-2 z Dobczyc



silnik - 1456 obrotów/min.

Lp.	$\tau$ d min				$\delta$ max				Obciążenie kg/cm <sup>2</sup>	Mimo- śród	Ampl. $\mu$ m	Częst. Hz	Pręż. cm/sok	
	a		c		b		o							
	średni	śr.	średni	śr.	średni	śr.	średni	śr.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,673	1,654	1,645	1,657	1,888	1,870	1,863	1,870	1,863	0=0,00	0-1	980	34	4608
2	1,686	1,638	1,643	1,654	1,863	1,827	1,870	1,870	1,853	(6=0,01)	0-3	800	34	3762
3	1,664	1,654	1,633	1,650	1,896	1,892	1,917	1,917	1,902		0-2	920	34	4326
4	1,656	1,641	1,641	1,646	1,810	1,814	1,794	1,794	1,806		0-4	590	34	2774
5	1,656	1,665	1,765	1,695	1,789	1,795	1,809	1,809	1,798	0,05	0-4	590	34	
6	1,644	1,701	1,732	1,692	1,863	1,884	1,897	1,897	1,881		0-3	800	34	
7	1,720	1,663	1,665	1,683	1,899	1,936	1,904	1,904	1,913		0-2	920	34	
8	1,684	1,683	1,764	1,710	1,892	1,904	1,903	1,903	1,900		0-1	980	34	
9	1,657	1,671	1,687	1,672	1,881	1,890	1,886	1,886	1,886	0,10	0-1	980	34	
10	1,660	1,644	1,646	1,650	1,853	1,816	1,833	1,833	1,834		0-2	920	34	
11	1,652	1,692	1,705	1,683	1,801	1,822	1,850	1,850	1,824		0-3	800	34	
12	1,706	1,704	1,696	1,702	1,791	1,782	1,783	1,783	1,852		0-4	590	34	
13	1,693	1,714	1,713	1,707	1,769	1,787	1,787	1,787	1,781	0,15	0-4	590	34	2774
14	1,686	1,713	1,713	1,704	1,828	1,813	1,809	1,809	1,817		0-3	800	34	3762
15	1,722	1,723	1,692	1,712	1,909	1,902	1,924	1,924	1,912		0-2	920	34	4326
16	1,708	1,697	1,814	1,740	1,946	1,947	1,950	1,950	1,948		0-1	980	34	4608
17	1,720	1,732	1,729	1,727	1,903	1,903	1,903	1,903	1,902	0,50	0-1	980	34	
18	1,695	1,719	1,809	1,708	1,883	1,889	1,895	1,895	1,889		0-2	920	34	
19	1,710	1,706	1,697	1,704	1,832	1,860	1,859	1,859	1,850		0-3	800	34	
20	1,728	1,700	1,713	1,714	1,826	1,806	1,809	1,809	1,814		0-3	590	34	
21	1,700	1,704	1,699	1,701	1,792	1,806	1,795	1,795	1,798	0,05	0-4	590	34	
22	1,714	1,728	1,707	1,717	1,850	1,868	1,849	1,849	1,856		0-3	800	34	
23	1,712	1,713	1,712	1,712	1,908	1,930	1,914	1,914	1,917		0-2	920	34	
24	1,701	1,727	1,716	1,715	1,913	1,950	1,927	1,927	1,930		0-1	980	34	
25	1,691	1,632	1,699	1,635	1,825	1,812	1,831	1,831	1,823	0,0	0-0	1030	34	
26	1,669	1,672	1,672	1,671	1,764	1,785	1,807	1,807	1,785	0,05	0-0	1030	34	
27	1,677	1,694	1,696	1,689	1,790	1,801	1,789	1,789	1,793	0,10	0-0	1030	34	
28	1,694	1,699	1,686	1,691	1,754	1,761	1,726	1,726	1,747	0,15	0-0	1030	34	
29	1,708	1,704	1,720	1,811	1,740	1,734	1,788	1,788	1,754	0,50	0-0	1030	34	
30	1,604	1,607	1,604	1,605	1,924	1,895	1,861	1,861	1,893	0,00	0-1	980	34	
31	1,561	1,559	1,560	1,560	1,836	1,803	1,808	1,808	1,816	0,00	0-2	920	34	
32	1,558	1,571	1,559	1,563	1,752	1,711	1,741	1,741	1,735	0,00	0-3	800	34	
33	1,557	1,568	1,559	1,561	1,741	1,741	1,680	1,680	1,719	0,00	0-4	590	34	
34	1,547	1,560	1,561	1,556	1,693	1,696	1,694	1,694	1,694	0,10	0-4	590	34	
35	1,562	1,568	1,563	1,564	1,763	1,761	1,760	1,760	1,761	0,10	0-3	800	34	
36	1,572	1,544	1,558	1,558	1,797	1,780	1,786	1,786	1,788	0,10	0-2	920	34	
37	1,551	1,548	1,542	1,547	1,814	1,807	1,791	1,791	1,804	0,10	0-1	980	34	
38	1,542	1,547	1,540	1,543	1,794	1,800	1,792	1,792	1,795	0,05	0-1	980	34	
39	1,515	1,527	1,528	1,523	1,727	1,735	1,735	1,735	1,732	0,05	0-2	920	34	
40	1,524	1,529	1,524	1,526	1,685	1,692	1,681	1,681	1,686	0,05	0-3	800	34	
41	1,554	1,542	1,552	1,549	1,676	1,659	1,656	1,656	1,664	0,05	0-4	590	34	

$\delta$  - 0,1

$\tau$  - 0,1



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
42		1,550	1,554	1,551	1,552	1,822	1,818	1,821	1,820	0,50	0-1	980	34	
43		1,536	1,545	1,540	1,540	1,792	1,792	1,788	1,791	0,50	0-2	920	34	
44		1,533	1,539	1,540	1,537	1,792	1,746	1,758	1,745	0,50	0-3	800	34	
45	을	1,535	1,534	1,534	1,534	1,677	1,669	1,672	1,673	0,50	0-4	590	34	
46	ㅁ	1,550	1,552	1,557	1,553	1,683	1,656	1,665	1,668	0,15	0-4	590	34	
47	ㅁ	1,559	1,538	1,539	1,545	1,719	1,707	1,701	1,809	0,15	0-3	800	34	
48		1,555	1,541	1,538	1,545	1,759	1,788	1,762	1,770	0,15	0-2	920	34	
49		1,557	1,543	1,547	1,549	1,821	1,827	1,822	1,823	0,15	0-1	980	34	
50		1,648	1,643	1,645	1,645	1,772	1,770	1,780	1,774	0,00	0-4	590	34	
51		1,659	1,669	1,667	1,665	1,910	1,876	1,860	1,882	0,00	0-3	800	34	
52		1,651	1,655	1,653	1,653	1,971	1,989	1,982	1,981	0,00	0-2	920	34	
53		1,659	1,656	1,733	1,682	1,990	2,009	2,004	2,001	0,00	0-1	980	34	
54		1,657	1,657	1,662	1,659	1,948	1,921	1,912	1,927	0,15	0-1	980	34	
55		1,637	1,712	1,722	1,690	1,919	1,844	1,862	1,875	0,15	0-2	920	34	
56		1,714	1,688	1,678	1,693	1,803	1,756	1,738	1,766	0,15	0-3	800	34	
57		1,657	1,727	1,771	1,718	1,705	1,754	1,786	1,748	0,15	0-4	590	34	
58		1,713	1,728	1,739	1,727	1,729	1,755	1,751	1,745	0,10	0-4	590	34	
59		1,699	1,713	1,695	1,702	1,780	1,785	1,800	1,788	0,10	0-3	800	34	
60		1,701	1,780	1,706	1,729	1,869	1,848	1,825	1,847	0,10	0-2	920	34	
61		1,724	1,727	1,716	1,722	1,834	1,870	1,871	1,858	0,10	0-1	980	34	
62		1,701	1,690	1,687	1,693	1,888	1,844	1,844	1,859	0,05	0-1	980	34	
63		1,657	1,647	1,744	1,683	1,819	1,926	1,974	1,906	0,05	0-2	920	34	
64		1,754	1,724	1,718	1,732	1,809	1,790	1,766	1,788	0,05	0-3	800	34	
65		1,726	1,719	1,686	1,710	1,767	1,764	1,722	1,751	0,05	0-4	590	34	
66		1,726	1,743	1,735	1,731	1,739	1,756	1,749	1,748	0,50	0-4	890	34	
67		1,689	1,725	1,723	1,712	1,913	1,743	1,753	1,803	0,50	0-3	800	34	
68		1,702	1,715	1,742	1,720	1,745	1,760	1,923	1,809	0,50	0-2	920	34	
69		1,699	1,704	1,701	1,701	1,756	1,807	1,768	1,777	0,50	0-3	980	34	



Lp	$\tau_{dmin}$				$\tau_{dmax}$				Średni	Obciążenie kg/cm <sup>2</sup>	Mimo- śród	Ampl. $\mu m$	Częst. Hz	Przysp. cm/s <sup>2</sup>
	a	b	c	średni	a	b	c	średni						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1,772	1,767	1,773	1,771	2,009	2,009	1,988	2,002	0,50	0-4	280	74	6237	
2	1,783	1,777	1,777	1,779	2,033	2,033	2,051	2,036	0,50	0-3	370	74	8242	
3	1,789	1,784	1,812	1,795	2,052	2,044	2,000	2,032	0	0-2	470	74	10470	
4	1,707	1,707	1,707	1,707	1,820	1,820	1,820	1,820	0	0-1	510	74	11361	
5	1,725	-	-	1,725	1,874	1,874	-	1,874	0,05	0-1	510	74	11361	
6	1,718	-	-	1,718	1,933	1,933	-	1,933	0,10	0-1	510	74	11361	
7	1,750	-	-	1,750	2,039	2,039	-	2,039	0,15	0-1	510	74	11361	
8	1,757	-	-	1,757	1,846	1,846	-	1,847	0	0-2	470	74	11361	
9	1,730	-	-	1,730	1,945	1,945	-	1,940	0,05	0-2	470	74	11361	
10	1,743	-	-	1,743	1,998	1,998	-	1,994	0,10	0-2	470	74	11361	
11	1,753	-	-	1,753	2,000	2,000	-	2,000	0,15	0-2	470	74	11361	
12	1,771	1,738	1,756	1,755	1,864	1,854	1,854	1,857	0,00	0-3	370	74	11361	
13	1,749	1,777	1,772	1,766	1,946	1,975	1,982	1,968	0,05	0-3	370	74	11361	
14	1,744	1,779	1,774	1,766	2,029	2,016	2,011	2,019	0,10	0-3	370	74	11361	
15	1,744	1,744	1,725	1,738	2,028	2,007	2,008	2,014	0,15	0-3	370	74	11361	
16	1,768	1,742	1,784	1,765	1,867	1,861	1,910	1,879	0,00	0-4	280	74	11361	
17	1,744	1,727	1,784	1,752	1,960	1,954	1,996	1,970	0,05	0-4	280	74	11361	
18	1,734	1,748	1,744	1,742	1,987	1,996	1,984	1,989	0,10	0-4	280	74	11361	
19	1,729	1,748	1,789	1,755	2,017	2,030	2,021	2,023	0,15	0-4	280	74	11361	

Zestawienie  $\tau_{dmin}$  i  $\tau_{dmax}$  po 10 min  
silnik - 930 obrotów/min.

1	1,722	1,729	1,738	1,730	1,849	1,851	1,807	1,836	0,00	0-4	330	22	649
2	1,760	1,739	1,748	1,749	1,817	1,807	1,804	1,809	0,05	0-4	330	22	649
3	1,733	1,746	1,746	1,740	1,801	1,833	1,817	1,817	0,10	0-4	330	22	649
4	1,743	1,748	1,730	1,740	1,798	1,801	1,794	1,831	0,15	0-4	330	22	649
5	1,754	1,759	1,735	1,749	1,850	1,911	1,906	1,889	0,00	0-3	475	22	935
6	1,777	1,737	1,745	1,753	1,876	1,850	1,862	1,863	0,05	0-3	475	22	935
7	1,748	1,756	1,732	1,745	1,839	1,850	1,831	1,840	0,10	0-3	475	22	935
8	1,744	1,745	1,753	1,747	1,833	1,850	1,853	1,845	0,15	0-3	475	22	935
9	1,776	1,786	1,779	1,780	1,917	1,912	1,937	1,922	0,00	0-2	590	22	1161
10	1,742	1,746	1,751	1,746	1,878	1,893	1,897	1,889	0,05	0-2	590	22	1161
11	1,755	1,742	1,780	1,759	1,898	1,900	1,941	1,913	0,10	0-2	590	22	1161
12	1,758	1,795	1,777	1,777	1,853	1,882	1,868	1,868	0,15	0-2	590	22	1161
13	1,751	1,735	1,727	1,738	1,887	1,888	1,874	1,883	0,00	0-1	685	22	1348
14	1,729	1,759	1,767	1,745	1,908	1,936	1,897	1,914	0,05	0-1	685	22	1348
15	1,765	1,794	1,763	1,774	1,890	1,901	1,891	1,894	0,10	0-1	685	22	1348
16	1,761	1,753	1,767	1,760	1,901	1,875	1,903	1,893	0,15	0-1	685	22	1348
17	1,818	1,789	1,798	1,800	1,867	1,896	1,892	1,885	0,50	0-1	685	22	1348
18	1,792	1,803	1,773	1,789	1,849	1,998	1,826	1,891	0,50	0-2	590	22	1348
19	1,792	1,802	1,770	1,788	1,849	1,865	1,827	1,847	0,50	0-3	475	22	1348
20	1,774	1,772	1,774	1,773	1,799	1,783	1,825	1,803	0,50	0-4	330	22	1348



Załącznik 4.7

Zestawienie wyników badań zagęszczenia metodą wibracyjną gruntów gruboziarnistych o różnej wilgotności

1. Zestawienie wyników badań  $\gamma_{dmin}$  i  $\gamma_{dmax}$  po 12 min. wibracji przy  $w = 0,61\%$  /tablica 1/
2. Jak wyżej przy  $w = 2,24\%$  /tablica 2/
3. Jak wyżej przy  $w = 5,53\%$  /tablica 3/
4. Jak wyżej przy  $w = 6,03\%$  /tablica 4/
5. Jak wyżej przy  $w = 6,86\%$  /tablica 5/
6. Jak wyżej przy  $w = 9,27\%$  /tablica 6/



čas = 1,751 G/cm<sup>3</sup>

Lp.	Czas w min.	Odczyty wysokości w cm				Odczyt średni w cm	Wysok. próbki w cm	Obj. próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	γ G/cm <sup>3</sup>	Wilgot. %	γ <sub>d</sub> G/cm <sup>3</sup>	Obciąż. kG/cm <sup>2</sup>	φ
		1	2	3	4									
1	0	-1,79	-1,50	-1,46	-1,75	-1,63	46,23	87,144	150	1,721	0,61	1,711	0,00	90
	1	2,47	2,02	2,77	3,54	2,70	41,90	78,982	-	1,899	-	1,887	-	-
	2	3,26	2,75	2,55	3,39	2,99	41,61	78,435	-	1,912	-	1,900	-	-
	5	3,62	2,94	3,12	2,92	3,15	41,45	78,133	-	1,920	-	1,908	-	-
	8	4,24	3,86	2,23	2,68	3,25	41,35	77,945	-	1,924	-	1,912	-	-
	10	4,40	4,48	3,70	3,34	3,98	40,62	76,569	-	1,959	-	1,947	-	-
	12	5,25	6,22	2,84	2,26	4,14	40,46	76,267	-	1,967	-	1,955	-	-
	0	-0,25	-0,88	-0,79	-0,07	-0,50	45,10	85,014	150	1,764	0,61	1,753	0,05	-
	1	3,71	3,76	4,08	4,16	3,93	40,67	76,663	-	1,957	-	1,945	-	-
	2	4,92	5,31	5,13	4,96	5,08	39,52	74,495	-	2,014	-	2,002	-	-
	5	5,14	5,91	5,78	5,28	5,53	39,07	73,647	-	2,037	-	2,025	-	-
	8	5,45	6,24	6,31	5,67	5,92	38,68	72,912	-	2,057	-	2,045	-	-
10	5,58	6,36	6,44	5,77	6,04	38,56	72,686	-	2,064	-	2,051	-	-	
11	5,58	6,49	6,46	5,91	6,11	38,49	72,554	-	2,067	-	2,054	-	-	
0	-0,08	-0,65	-0,20	+0,50	-0,11	44,71	84,278	150	1,780	0,61	1,769	0,10	90	
1	4,38	4,42	3,98	4,18	4,24	40,36	76,079	-	1,972	-	1,960	-	-	
2	5,88	6,14	5,52	5,58	5,78	38,82	73,176	-	2,050	-	2,038	-	-	
5	6,09	7,00	6,25	5,56	6,23	38,37	72,327	-	2,074	-	2,061	-	-	
8	6,04	7,12	6,65	5,72	6,38	38,22	72,045	-	2,082	-	2,069	-	-	
10	6,35	7,49	6,69	5,75	6,57	38,03	71,687	-	2,092	-	2,079	-	-	
12	6,45	7,58	6,72	5,76	6,63	37,97	71,573	-	2,096	-	2,083	-	-	
0	0,00	0,00	-0,16	-0,08	-0,06	44,66	84,184	150	1,782	0,61	1,771	0,15	-	
1	4,22	4,26	4,27	4,43	4,29	40,31	75,984	-	1,970	-	1,958	-	-	
2	5,76	6,35	6,08	5,66	5,96	38,64	72,836	-	2,059	-	2,047	-	-	
5	6,50	7,14	6,41	6,04	6,52	38,08	71,781	-	2,090	-	2,077	-	-	
8	6,60	7,26	6,62	6,04	6,63	37,97	71,573	-	2,096	-	2,083	-	-	
10	6,58	7,45	6,71	6,10	6,71	37,89	71,423	-	2,100	-	2,087	-	-	
12	6,55	7,44	6,81	6,10	6,72	37,88	71,404	-	2,101	-	2,088	-	-	



Zestawienie wyników badań  $\delta_{\min}$  i  $\delta_{\max}$  po 12 min. wibracji przy wilgotności 2,24%

$\delta_{\min} \text{ śr.} = 1,678 \text{ G/cm}^3$

Lp.	Czas w min.	Odczyty wysokości w cm				Odczyt średni w cm	Wysok. próbki w cm	Obj. próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\delta$ G/cm <sup>3</sup>	Wilgot. %	$\delta_d$ G/cm <sup>3</sup>	Obciąż. kg/cm <sup>2</sup>	$\varphi$
		1	2	3	4									
1	0	-2,12	-1,99	-2,71	-2,81	-2,41	47,01	88.614	150	1,693	2,24	1,656	0,00	90°
	1	2,56	3,16	2,86	2,59	2,79	41,81	78.812	"	1,903	"	1,861	"	"
	2	3,93	4,50	3,89	3,60	3,98	40,62	76.569	"	1,959	"	1,916	"	"
	5	3,91	5,36	3,96	3,06	4,07	40,53	76.399	"	1,963	"	1,920	"	"
	8	5,20	5,45	3,37	3,56	4,39	40,21	75.796	"	1,979	"	1,936	"	"
	10	5,32	5,75	3,22	3,16	4,36	40,24	75.852	"	1,978	"	1,935	"	"
	12	4,73	5,03	3,84	3,85	4,36	40,24	75.852	"	1,978	"	1,935	"	"
	0	-2,20	-1,90	-1,56	-1,73	-1,85	46,45	87.558	150	1,713	2,24	1,675	0,05	"
	1	2,78	3,08	3,09	3,10	3,01	41,59	78.397	"	1,913	"	1,871	"	"
	2	3,73	3,87	4,08	4,10	3,95	40,65	76.625	"	1,958	"	1,915	"	"
	5	4,24	4,74	5,07	4,77	4,71	39,89	75.193	"	1,995	"	1,951	"	"
	8	4,62	4,96	5,29	5,28	5,04	39,56	74.570	"	2,012	"	1,968	"	"
10	4,89	5,05	5,68	5,59	5,30	39,30	74.081	"	2,025	"	1,981	"	"	
12	4,96	4,77	5,96	6,20	5,47	39,13	73.760	"	2,034	"	1,989	"	"	
0	-2,28	-1,89	-1,39	-1,67	-1,81	46,41	87.483	150	1,715	2,24	1,677	0,10	"	
1	2,73	3,73	3,46	2,71	3,16	41,44	78.114	"	1,920	"	1,878	"	"	
2	4,22	5,26	4,69	3,93	4,52	50,08	75.554	"	1,983	"	1,942	"	"	
5	4,66	5,81	5,20	4,48	5,02	39,58	74.608	"	2,011	"	1,967	"	"	
8	4,97	5,99	5,47	4,70	5,28	39,32	74.118	"	2,024	"	1,978	"	"	
10	5,08	6,18	5,66	4,74	5,41	39,19	73.873	"	2,031	"	1,987	"	"	
12	5,01	6,15	5,61	4,80	5,39	39,21	73.911	"	2,029	"	1,985	"	"	
0	-1,54	-1,36	-0,65	-0,65	-1,05	45,65	86.050	150	1,743	2,24	1,795	0,15	"	
1	2,85	3,81	4,56	3,65	3,72	40,88	77.059	"	1,947	"	1,904	"	"	
2	4,84	5,56	5,82	5,39	5,40	39,20	73.892	"	2,030	"	1,986	"	"	
5	5,42	5,84	6,05	5,55	5,72	38,88	73.289	"	2,047	"	2,002	"	"	
8	5,73	6,38	6,60	6,14	6,21	38,39	72.365	"	2,073	"	2,028	"	"	
10	5,95	6,30	6,71	6,34	6,32	38,28	72.158	"	2,079	"	2,033	"	"	
12	5,99	6,50	6,78	6,41	6,42	38,18	71.969	"	2,084	"	2,038	"	"	



Zestawienie wyników badań  $\gamma_{min}$  i  $\gamma_{max}$  po 12 min. wirowości przy wilgotności 5,53%

$\gamma_{min}$  śr. = 1,633 G/cm<sup>3</sup>

Lp	Czas w min.	Odosyty wysokości w cm				Odosyt średni w cm	Wysok. próbki w cm	Obj. próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\gamma$ G/cm <sup>3</sup>	Wilgot. %	$\gamma_d$ G/cm <sup>3</sup>	Obciąż. kg/cm <sup>2</sup>
		1	2	3	4								
1	0	-0,45	-0,77	-0,30	+0,08	-0,36	44,98	84,750	147	1,735	5,53	1,644	0,00
	1	4,85	4,31	5,29	5,88	5,08	39,52	74,495	-"	1,973	-"	1,870	-"
	2	5,76	5,56	6,98	7,30	6,40	36,20	72,007	-"	2,041	-"	1,934	-"
	5	5,74	6,70	8,24	7,40	7,02	37,58	70,898	-"	2,075	-"	1,966	-"
	8	5,80	6,32	7,81	7,32	6,81	37,79	71,294	-"	2,064	-"	1,956	-"
	10	5,58	6,84	8,62	7,41	7,11	37,49	70,669	-"	2,080	-"	1,971	-"
	12	5,69	6,88	8,93	7,64	7,28	37,32	70,348	-"	2,090	-"	1,980	-"
	0	-1,40	-1,77	-1,29	-0,77	-1,31	45,91	86,540	147	1,699	5,53	1,610	0,05
	1	4,32	5,03	6,17	5,15	5,32	39,28	74,043	-"	1,985	-"	1,881	-"
	2	5,15	6,10	7,18	6,44	6,22	38,98	72,346	-"	2,032	-"	1,926	-"
	5	5,53	6,75	8,06	7,16	6,88	39,72	71,102	-"	2,067	-"	1,959	-"
	8	6,08	7,24	8,80	7,67	7,45	37,15	70,028	-"	2,099	-"	1,989	-"
10	6,00	7,52	9,11	7,89	7,63	36,97	69,688	-"	2,109	-"	1,998	-"	
12	6,09	7,78	9,30	7,87	7,76	36,84	69,443	-"	2,117	-"	2,006	-"	
2	0	0,74	-1,17	0,59	-0,05	-0,64	45,24	85,277	147	1,724	5,53	1,694	0,10
	1	4,68	5,40	6,76	5,93	5,69	38,91	73,345	-"	2,004	-"	1,899	-"
	2	5,46	6,54	7,94	6,93	6,72	37,88	71,404	-"	2,059	-"	1,951	-"
	5	5,94	7,28	8,68	7,48	7,34	37,26	70,235	-"	2,093	-"	1,983	-"
	8	6,58	7,80	9,26	8,06	7,92	36,68	69,142	-"	2,126	-"	2,043	-"
	10	6,60	7,94	9,43	8,15	8,03	36,57	68,994	-"	2,132	-"	2,020	-"
	12	6,56	8,06	9,65	8,32	8,15	36,45	68,708	-"	2,139	-"	2,027	-"
	0	-0,77	-0,42	-0,03	0,00	-0,31	44,91	84,655	147	1,796	5,53	1,645	0,15
	1	4,90	5,86	6,48	5,75	5,75	38,85	73,232	-"	2,007	-"	1,902	-"
	2	5,64	7,13	7,94	6,72	6,86	37,74	71,140	-"	2,066	-"	1,958	-"
	5	6,66	8,09	8,63	7,54	7,73	36,87	69,500	-"	2,115	-"	2,004	-"
	8	6,85	8,30	9,03	7,81	7,99	36,61	69,010	-"	2,130	-"	2,018	-"
10	6,84	8,54	9,22	7,98	8,14	36,46	68,727	-"	2,139	-"	2,027	-"	
12	6,98	8,72	9,35	8,04	8,27	36,33	68,482	-"	2,147	-"	2,034	-"	
3	0	0,74	-1,17	0,59	-0,05	-0,64	45,24	85,277	147	1,724	5,53	1,694	0,10
	1	4,68	5,40	6,76	5,93	5,69	38,91	73,345	-"	2,004	-"	1,899	-"
	2	5,46	6,54	7,94	6,93	6,72	37,88	71,404	-"	2,059	-"	1,951	-"
	5	5,94	7,28	8,68	7,48	7,34	37,26	70,235	-"	2,093	-"	1,983	-"
	8	6,58	7,80	9,26	8,06	7,92	36,68	69,142	-"	2,126	-"	2,043	-"
	10	6,60	7,94	9,43	8,15	8,03	36,57	68,994	-"	2,132	-"	2,020	-"
	12	6,56	8,06	9,65	8,32	8,15	36,45	68,708	-"	2,139	-"	2,027	-"
	0	-0,77	-0,42	-0,03	0,00	-0,31	44,91	84,655	147	1,796	5,53	1,645	0,15
	1	4,90	5,86	6,48	5,75	5,75	38,85	73,232	-"	2,007	-"	1,902	-"
	2	5,64	7,13	7,94	6,72	6,86	37,74	71,140	-"	2,066	-"	1,958	-"
	5	6,66	8,09	8,63	7,54	7,73	36,87	69,500	-"	2,115	-"	2,004	-"
	8	6,85	8,30	9,03	7,81	7,99	36,61	69,010	-"	2,130	-"	2,018	-"
10	6,84	8,54	9,22	7,98	8,14	36,46	68,727	-"	2,139	-"	2,027	-"	
12	6,98	8,72	9,35	8,04	8,27	36,33	68,482	-"	2,147	-"	2,034	-"	
4	0	0,74	-1,17	0,59	-0,05	-0,64	45,24	85,277	147	1,724	5,53	1,694	0,10
	1	4,68	5,40	6,76	5,93	5,69	38,91	73,345	-"	2,004	-"	1,899	-"
	2	5,46	6,54	7,94	6,93	6,72	37,88	71,404	-"	2,059	-"	1,951	-"
	5	5,94	7,28	8,68	7,48	7,34	37,26	70,235	-"	2,093	-"	1,983	-"
	8	6,58	7,80	9,26	8,06	7,92	36,68	69,142	-"	2,126	-"	2,043	-"
	10	6,60	7,94	9,43	8,15	8,03	36,57	68,994	-"	2,132	-"	2,020	-"
	12	6,56	8,06	9,65	8,32	8,15	36,45	68,708	-"	2,139	-"	2,027	-"
	0	-0,77	-0,42	-0,03	0,00	-0,31	44,91	84,655	147	1,796	5,53	1,645	0,15
	1	4,90	5,86	6,48	5,75	5,75	38,85	73,232	-"	2,007	-"	1,902	-"
	2	5,64	7,13	7,94	6,72	6,86	37,74	71,140	-"	2,066	-"	1,958	-"
	5	6,66	8,09	8,63	7,54	7,73	36,87	69,500	-"	2,115	-"	2,004	-"
	8	6,85	8,30	9,03	7,81	7,99	36,61	69,010	-"	2,130	-"	2,018	-"
10	6,84	8,54	9,22	7,98	8,14	36,46	68,727	-"	2,139	-"	2,027	-"	
12	6,98	8,72	9,35	8,04	8,27	36,33	68,482	-"	2,147	-"	2,034	-"	

9

90

90



Zestawienie wyników badań  $\tau_{dmin}$  i  $\tau_{dmax}$  po 12 min. wibracji przy wilgotności 6,03%

$\tau_{dmin}$  śr. = 1,590 G/cm<sup>3</sup>

Lp	Odczyty wysokości w cm				Odczyt średni w cm	Wysok. próbki w cm	Obj. próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\tau$ G/cm <sup>3</sup>	Wilgot. %	$\tau_d$ G/cm <sup>3</sup>	Obciąż. kg/cm <sup>2</sup>
	1	2	3	4								
1	0	-2,37	-2,87	-2,97	-2,50	47,28	89,123	151	1,694	6,03	1,598	0,00
	1	4,00	4,51	5,92	5,43	39,64	74,721	-	1,943	-	1,833	-
	2	4,26	5,06	6,53	5,74	39,20	73,892	-	2,043	-	1,927	-
	5	4,61	5,55	7,05	6,13	38,69	72,931	-	2,000	-	1,952	-
	8	4,68	5,82	7,49	6,43	38,49	72,554	-	2,081	-	1,963	-
	10	4,80	6,02	7,83	6,74	38,25	72,101	-	2,094	-	1,975	-
	12	4,88	6,10	7,95	6,77	38,17	71,950	-	2,099	-	1,980	-
	0	-2,05	-2,90	-2,50	-2,21	47,02	88,633	151	1,704	6,03	1,607	0,05
	1	4,39	4,40	5,12	5,10	4,75	75,117	-	2,010	-	1,896	-
	2	4,90	5,71	6,33	5,68	5,67	73,38	-	2,058	-	1,941	-
	5	5,53	6,44	7,38	6,60	6,49	71,837	-	2,102	-	1,982	-
	8	5,83	6,88	8,04	7,20	6,99	70,895	-	2,130	-	2,009	-
10	6,10	7,21	8,27	7,35	7,23	70,895	-	2,130	-	2,009	-	
12	6,17	7,34	8,42	7,43	7,34	70,235	-	2,150	-	2,028	-	
2	0	-3,32	-3,67	-3,10	-2,63	47,78	90,065	151	1,677	6,03	1,582	0,10
	1	3,64	4,55	5,56	5,01	4,69	75,230	-	2,007	-	1,893	-
	2	4,35	6,06	7,08	5,69	5,79	73,157	-	2,064	-	1,947	-
	5	5,05	7,04	8,09	6,42	6,65	71,536	-	2,111	-	1,991	-
	8	5,55	7,51	8,55	6,85	7,09	70,706	-	2,136	-	2,015	-
	10	5,62	7,85	8,98	7,14	7,40	70,122	-	2,153	-	2,031	-
	12	5,76	8,08	9,22	7,38	7,61	69,726	-	2,166	-	2,043	-
	0	-3,80	-3,59	-3,23	-3,32	48,08	90,631	151	1,666	6,03	1,571	0,15
	1	3,62	4,50	5,50	4,83	4,61	75,381	-	2,003	-	1,889	-
	2	4,91	6,21	6,98	5,99	6,02	72,723	-	2,076	-	1,958	-
	5	5,64	7,14	7,86	6,70	6,83	71,196	-	2,121	-	2,000	-
	8	6,05	7,51	8,26	7,05	7,22	70,461	-	2,143	-	2,021	-
10	6,15	7,75	8,40	7,27	7,39	90,141	-	2,153	-	2,031	-	
12	6,41	7,97	8,62	7,33	7,58	69,783	-	2,164	-	2,041	-	

♀



Zestawienie wyników badań  $\gamma_{dmin}$  i  $\gamma_{dmax}$  po 12 min. wibracji przy wilgotności 6,86%

$\gamma_{dmin}$  śr. = 1,620 G/cm<sup>3</sup>

Lp	Czas w min.	Odczyty wysokości w cm				Odczyt średni w cm	Wysok. próbki w cm	Objet. próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	Wład. $\gamma$ G/cm <sup>3</sup>	Wilgotn. %	$\gamma_d$ G/cm <sup>3</sup>	Obciąż. kg/cm <sup>2</sup>	$\gamma$
		1	2	3	4									
1	0	-1,98	-1,31	-0,98	-1,37	46,01	86,729	150	1,729	6,86	1,618	0,00	90°	♀
	1,5	6,64	7,56	8,66	7,42	37,18	70,084	"	2,140	"	2,003	"	"	
	2	7,10	7,90	8,62	8,00	36,69	69,161	"	2,169	"	2,030	"	"	
	5	8,35	8,25	9,42	9,49	35,72	67,332	"	2,228	"	2,085	"	"	
	8	9,41	10,04	10,85	10,32	34,45	64,938	"	2,310	"	2,162	"	"	
	10	10,21	10,62	10,62	10,37	34,15	64,373	"	2,330	"	2,180	"	"	
	12	10,60	10,84	10,73	10,66	33,89	63,883	"	2,348	"	2,197	"	"	
	0	-1,85	-1,55	-1,77	-1,74	46,33	87,332	150	1,718	6,86	1,609	0,05	90°	
	1	6,24	7,65	8,44	7,35	37,18	70,084	"	2,140	"	2,003	"	"	
	2	7,07	8,90	9,78	8,41	36,06	67,973	"	2,207	"	2,065	"	"	
	5	8,32	9,70	10,75	9,96	34,92	65,824	"	2,279	"	2,133	"	"	
	8	9,33	10,03	10,83	10,56	34,41	64,863	"	2,313	"	2,165	"	"	
2	10	9,86	10,20	10,87	10,85	34,15	64,373	"	2,330	"	2,180	"	"	
	12	10,10	10,72	11,21	10,74	33,91	63,920	"	2,347	"	2,196	"	"	
	0	-1,74	-1,68	-0,90	-0,55	45,82	86,371	150	1,737	6,86	1,625	0,10	90°	
	1	5,72	6,09	7,34	6,87	38,09	71,800	"	2,089	"	1,955	"	"	
	3	7,14	8,38	9,20	8,26	36,08	68,011	"	2,206	"	2,064	"	"	
	5	8,20	9,51	9,52	8,60	35,64	67,181	"	2,233	"	2,090	"	"	
	8	8,87	9,96	10,13	9,05	35,17	66,295	"	2,263	"	2,118	"	"	
	10	8,70	10,31	10,42	9,26	34,93	65,843	"	2,278	"	2,132	"	"	
	12	8,89	10,68	10,72	9,41	34,67	65,353	"	2,295	"	2,148	"	"	
	0	-1,74	-0,98	-0,70	-1,02	45,71	86,163	150	1,741	6,86	1,629	0,15	90°	
	2	6,19	8,02	8,59	7,13	37,12	69,971	"	2,144	"	2,006	"	"	
	3	3	7,18	9,24	10,64	8,50	35,86	67,596	"	2,219	"	2,077	"	"
5		8,06	9,77	11,12	9,74	34,93	65,843	"	2,278	"	2,132	"	"	
8		8,33	10,06	11,49	10,23	34,57	65,164	"	2,302	"	2,154	"	"	
10		8,43	10,22	11,76	10,36	34,41	64,863	"	2,313	"	2,165	"	"	
12		8,83	10,29	11,90	10,50	34,22	64,505	"	2,325	"	2,176	"	"	



Zestawienie wyników badań  $\gamma_{dmin}$  i  $\gamma_{dmax}$  po 12 min. wibracji przy wilgotności 9,27%

$$\gamma_{dmin} \text{ sz.} = 1,565 \text{ G/cm}^3$$

Lp.	Czas w min.	Odczyty wysokości w cm				Odczyt średni w cm	Wysok. próbki w cm	Objet. próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\gamma$ G/cm <sup>3</sup>	Wilgot. %	$\gamma_d$ G/cm <sup>3</sup>	Obciąż. kg/cm <sup>2</sup>	$\varphi$
		1	2	3	4									
1	0	-2,59	-2,41	-2,41	-2,37	-2,44	97,04	88,670	150	1,692	9,27	1,548	0,00	90°
	1	7,48	7,95	8,30	7,97	7,92	36,68	69,142	150	2,169	-	1,985	-	-
	2	8,35	7,70	8,26	8,90	8,30	36,30	68,426	150	2,192	-	2,006	-	-
	5	8,72	7,55	8,46	9,63	8,59	36,01	67,879	150	2,210	-	2,023	-	-
	8	9,17	8,15	8,61	9,51	8,86	35,74	67,370	150	2,227	-	2,038	-	-
	10	9,14	8,44	8,64	9,47	8,92	35,68	67,257	150	2,230	-	2,041	-	-
	12	9,35	8,55	8,80	9,66	9,10	35,50	66,918	150	2,242	-	2,052	-	-
	0	-2,52	-2,24	-1,80	-1,02	-1,89	46,49	87,694	150	1,712	9,27	1,567	0,05	90°
	1	7,15	7,07	8,34	8,30	7,71	36,89	69,538	150	2,157	-	1,974	-	-
	2	8,10	8,10	8,54	8,62	8,94	36,26	68,350	150	2,195	-	2,009	-	-
	5	8,64	8,66	9,23	9,24	8,94	36,66	67,219	150	2,232	-	2,043	-	-
	8	9,32	8,85	9,25	9,68	9,27	35,33	66,597	150	2,262	-	2,061	-	-
10	9,44	9,48	9,55	9,79	9,56	35,04	66,050	150	2,271	-	2,078	-	-	
12	9,71	9,48	9,80	9,89	9,72	34,88	65,749	150	2,281	-	2,087	-	-	
2	0	-1,49	-2,09	-2,03	-1,21	-1,70	46,30	87,276	150	1,719	9,27	1,573	0,10	90°
	1	6,83	7,48	6,02	7,40	7,43	37,17	70,065	150	2,141	-	1,959	-	-
	2	7,67	8,60	8,89	8,00	8,29	36,31	68,444	150	2,192	-	2,006	-	-
	5	8,64	9,22	9,49	8,90	9,06	35,54	66,993	150	2,239	-	2,049	-	-
	8	8,98	9,60	10,02	9,24	9,46	35,14	66,239	150	2,265	-	2,073	-	-
	10	9,16	9,90	10,31	9,48	9,71	34,89	65,768	150	2,281	-	2,087	-	-
	12	9,92	10,12	10,61	9,68	10,08	34,52	65,070	150	2,305	-	2,109	-	-
	0	-1,36	-1,85	-1,85	-1,85	-1,73	46,33	87,332	150	1,718	9,27	1,572	0,150	90°
	1x	6,17	6,64	7,46	7,09	6,84	37,76	71,178	150	2,107	-	1,928	-	-
	2	7,01	8,06	8,80	7,82	7,92	36,68	69,142	150	2,169	-	1,985	-	-
	5	7,61	9,13	10,04	8,56	8,83	35,77	67,426	150	2,225	-	2,036	-	-
	8	8,20	9,64	10,52	9,22	9,39	35,21	66,371	150	2,260	-	2,068	-	-
10	8,93	9,85	10,76	9,90	9,86	34,74	65,485	150	2,291	-	2,097	-	-	
12	9,38	10,15	10,78	10,05	10,09	34,51	65,051	150	2,306	-	2,110	-	-	



## Metodyka badań zagęszczalności za pomocą wibratora powierzchniowego i wyniki badań

### 1. Metodyka badań

Badania wykonano w dwóch cyklach:

- a/ Cykl pierwszy miał na celu ustalenie ilości warstw i ich grubości przy których stabilizuje się zagęszczenie.
- b/ Cykl drugi miał na celu ustalenie wilgotności optymalnej przy ustalonej grubości warstwy.

ad. a/ Do badań użyto gruntu gruboziarnistego /Próbka D-1/ w stanie powietrzno-suchym o uziarnieniu podanym na rys.6.22. Wykonywano zagęszczenie gruntu w 5, 3, 2 i 1 warstwie. Grubość wibrowanych warstw gruntu wynosiła odpowiednio 10, 17, 25 i 50 cm. Łączna grubość warstw wynosiła ok.50 cm. Po nasypaniu odpowiedniej porcji gruntu na warstwę i wyrównaniu jej powierzchni ustawiono na niej płytę z przymocowanym elektrowibratorem. Następnie mierzono z dokładnością do 1 mm wysokości próbki w ustalonych czterech punktach na górnej krawędzi zbiornika. Po czym włączono elektrowibrator i wibrowano grunt przez 0,5 min, a po tym czasie wyłączono elektrowibrator i mierzono wysokość próbki.

Po zmierzeniu wysokości, włączono ponownie elektrowibrator na 0,5 min. i mierzono po tym czasie wysokość próbki. Czynności te powtarzano po: 0,5 1,0 1,5 2,0 3,0 4,0 5,0 6,0 7,0 8,0 9,0 10,0 11,0 i 12,0 minutach.

Po zakończeniu każdego badania określano objętość próbki gruntu w cylindrze i jej ciężar oraz w dalszej kolejności ciężar objętościowy.



**ad. b/ Badania zagęszczalności gruntu przy różnej jego wilgotności.**

Do badań użyte ten sam grunt co w punkcie a/, Metodyka badań pozostała też taka sama. Badania wykonywano przy wysokości próbki ok. 50 cm. Łączny czas vibracji wynosił 12 minut. Po każdej serii badań grunt dowilżano w granicach od 1,3% i badania powtórzone w takiej samej kolejności jak poprzednio.

Po zakończeniu każdego badania pobierano próbkę gruntu o ciężarze ok. 5 kg w celu ustalenia jego wilgotności.

Wilgotność badanych próbek kolejno wynosiła: 0,63%; 1,94%; 3,90%; 4,59%; 6,16%; 7,41% i 10,45%.

Wyniki badań podano w tablicach 1+14.

**Wyniki:**

Lp.	Ciężar próbki g	Ciężary próbki				Ciężar próbki g
		1	2	3	4	
1	0,0	388	348	375	314	366,25
2	0,5	397	356	380	300	368,25
3	1,0	400	360	375	305	368,50
4	1,5	400	352	376	309	362,10
5	2,0	400	365	380	300	363,75
6	2,0	400	366	380	300	364,00
7	4,0	400	367	380	305	384,25
8	5,0	400	358	385	305	374,50
9	6,0	401	359	388	305	375,25
10	7,0	403	350	388	307	384,50
11	8,0	403	356	394	307	384,50
12	9,0	403	369	387	309	384,75
13	10,0	405	370	388	307	385,25
14	11,0	405	372	389	306	386,50
15	12,0	405	372	390	306	386,50

Zestawienie wyników badań. Piasek i żd po 12 minutach wibracji  
 Badanie w 5 warstwach po ok. 10 cm grubości każda

Tablica nr 1.

Badanie I

Lp.	Czas wibracji min	Pomiary osiadań mm							Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	γ g/cm <sup>3</sup>	Wilgotność %	γd g/cm <sup>3</sup>
		1	2	3	4	5	6	7						
1	2,0	388	349	375	316	356,25	13,450	25366,7	40,0	1,577	0,63	1,567		
2	0,5	397	358	380	386	380,25	11,050	20240,3	-	1,919	-	1,907		
3	1,0	400	360	378	386	381,00	10,975	20699,8	-	1,932	-	1,920		
4	1,5	400	362	376	389	382,00	10,825	20416,0	-	1,959	-	1,947		
5	2,0	400	365	380	390	383,75	10,700	20180,2	-	1,982	-	1,970		
6	3,0	400	366	380	390	384,00	10,767	20133,1	-	1,988	-	1,975		
7	4,0	400	367	385	385	384,25	10,650	20035,9	-	1,991	-	1,978		
8	5,0	400	368	385	385	384,50	10,625	20038,8	-	1,996	-	1,983		
9	6,0	401	368	388	366	385,25	10,550	19897,3	-	2,010	-	1,997		
10	7,0	403	368	388	387	384,50	10,625	20038,8	-	1,996	-	1,983		
11	8,0	403	368	388	387	384,50	10,525	20038,8	-	1,996	-	1,983		
12	9,0	403	369	387	389	384,75	10,600	19991,6	-	2,001	-	1,988		
13	10,0	405	370	388	387	385,25	10,550	19897,3	-	2,010	-	1,997		
14	11,0	406	372	389	386	386,00	10,475	19755,9	-	2,025	-	2,012		
15	12,0	406	372	393	385	386,50	10,425	19661,6	-	2,034	-	2,021		



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	261	265	259	260	261,25	22,950	43283,7	80,0	1,848	0,53	1,833
17	0,5	288	290	310	276	283,50	20,725	39087,4	--	2,047	--	2,034
18	1,0	260	294	309	277	285,00	20,575	38804,5	--	2,062	--	2,049
19	1,5	250	287	316	284	284,25	20,650	38945,9	--	2,054	--	2,041
20	2,0	255	290	316	287	287,00	20,425	38521,6	--	2,077	--	2,064
21	3,0	257	292	316	287	286,25	20,450	38568,7	--	2,074	--	2,051
22	4,0	250	289	309	287	282,50	20,825	39275,0	--	2,036	--	2,024
23	5,0	292	307	207	286	283,25	20,750	39134,5	--	2,044	--	2,031
24	6,0	263	295	310	289	285,50	20,525	38710,2	--	2,067	--	2,054
25	7,0	253	293	312	289	285,50	20,525	38710,2	--	2,063	--	2,050
26	8,0	252	294	311	289	285,75	20,500	38663,0	--	2,069	--	2,055
27	9,0	248	291	308	290	283,25	20,750	39134,5	--	2,044	--	2,031
28	10,0	247	288	309	289	282,50	20,825	39275,0	--	2,036	--	2,024
29	11,0	252	292	308	287	284,25	20,650	38945,9	--	2,054	--	2,041
30	12,0	257	293	311	288	286,75	20,400	38474,4	--	2,079	--	2,066

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
31	0,0	160	145	130	152	146,75	34,400	64878,4	120	1,850	0,63	1,836
32	0,5	158	188	203	177	182,75	30,925	56324,6	--	2,051	--	2,045
33	1,0	164	194	203	182	185,75	30,500	57253,0	--	2,086	--	2,073
34	1,5	165	193	204	181	185,75	30,500	57523,0	--	2,036	--	2,073
35	2,0	166	194	206	180	186,75	30,400	57334,4	--	2,032	--	2,080
36	3,0	165	193	205	179	185,75	30,500	57523,0	--	2,086	--	2,073
37	4,0	166	195	206	180	187,00	30,375	57267,3	--	2,095	--	2,082
38	5,0	166	195	206	181	187,25	30,350	57240,1	--	2,056	--	2,083
39	6,0	167	194	205	181	187,75	30,300	57145,8	--	2,100	--	2,087
40	7,0	166	195	205	182	188,75	30,200	56957,2	--	2,107	--	2,094
41	8,0	166	194	206	181	188,75	30,200	56957,2	--	2,107	--	2,094
42	9,0	168	192	205	182	188,75	30,200	56957,2	--	2,107	--	2,094
43	10,0	168	194	203	182	188,75	30,200	56957,2	--	2,107	--	2,094
44	11,0	169	195	202	182	189,00	30,175	56910,1	--	2,108	--	2,095
45	12,0	170	195	203	155	189,75	30,100	56768,6	--	2,114	--	2,100



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
46	0,0	58	52	37	50	49,25	44,150	53256,9	160	1,921	0,63	1,909
47	0,5	70	98	80	65	78,25	41,250	77797,5	--	2,057	--	2,044
48	1,0	70	99	80	66	78,75	41,200	77703,2	--	2,059	--	2,046
49	1,5	66	103	89	64	80,50	41,025	77373,2	--	2,068	--	2,055
50	2,0	69	105	87	65	81,50	77184,6	77184,6	--	2,073	--	2,060
51	3,0	73	107	89	66	83,75	40,700	76760,2	--	2,084	--	2,071
52	4,0	72	106	89	65	83,00	40,775	76901,7	--	2,080	--	2,067
53	5,0	73	107	88	64	83,00	40,775	76901,7	--	2,080	--	2,067
54	6,0	72	105	86	63	81,75	40,900	77137,4	--	2,074	--	2,061
55	7,0	71	106	85	64	81,75	40,900	77137,4	--	2,074	--	2,061
56	8,0	72	106	85	65	82,25	40,850	77043,1	--	2,077	--	2,064
57	9,0	73	105	84	66	82,25	40,850	77043,1	--	2,077	--	2,064
58	10,0	72	103	62	65	81,00	40,575	77278,9	--	2,070	--	2,057
59	11,0	76	105	65	66	83,50	40,725	76307,4	--	2,083	--	2,070
60	12,0	77	105	65	67	84,00	40,675	76713,1	--	2,086	--	2,073

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
61	0,0	43	43	54	52	48,00	54,525	102834,2	200	1,945	0,63	1,933
62	0,5	49	75	107	72	75,75	51,750	97600,5	--	2,049	--	2,036
63	1,0	52	71	108	84	78,75	51,450	97034,7	--	2,061	--	2,048
64	1,5	56	70	108	84	79,50	51,375	96893,3	--	2,064	--	2,051
65	2,0	56	68	107	88	79,75	51,350	96846,1	--	2,065	--	2,052
66	3,0	54	70	105	85	78,75	51,450	97034,7	--	2,061	--	2,048
67	4,0	56	68	107	88	78,75	51,425	96987,6	--	2,062	--	2,049
68	5,0	58	70	105	86	79,75	51,350	96846,1	--	2,065	--	2,052
69	6,0	56	68	103	88	79,75	51,350	96846,1	--	2,065	--	2,052
70	7,0	58	70	105	90	81,75	51,150	96468,9	--	2,073	--	2,050
71	8,0	58	70	103	90	81,25	51,200	96563,2	--	2,071	--	2,058
72	9,0	56	68	103	90	79,25	51,400	96940,4	--	2,063	--	2,050
73	10,0	58	66	105	88	79,25	51,400	96940,4	--	2,063	--	2,050
74	11,0	60	66	103	90	79,75	51,350	96846,1	--	2,065	--	2,052
75	12,0	65	66	104	90	82,25	51,100	96374,6	--	2,075	--	2,052



Badanie II

Lp	Czas wibracji min	Pomiary osiedań mm						Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	γ	Wilgotność	γ <sub>d</sub>
		1	2	3	4	5	6						
1	0,0	465	455	455	445	455	455,00	13,925	25262,5	40,0	1,523	0,60	1,513
2	0,5	494	435	455	474	455	479,75	11,450	21594,7	--	1,852	--	1,840
3	1,0	492	437	458	473	458	480,00	11,425	21547,5	--	1,855	--	1,844
4	1,5	492	486	436	472	436	479,00	11,525	21736,1	--	1,840	--	1,823
5	2,0	493	485	457	474	457	480,00	11,425	21547,5	--	1,856	--	1,844
6	3,0	492	485	470	474	470	480,25	11,400	21500,4	--	1,860	--	1,848
7	4,0	489	478	458	478	458	478,25	11,600	21877,6	--	1,828	--	1,816
8	5,0	493	482	465	475	465	478,75	11,550	21783,3	--	1,835	--	1,824
9	6,0	495	494	464	475	464	479,50	11,475	21541,8	--	1,848	--	1,835
10	7,0	495	483	464	475	464	479,25	11,500	21689,0	--	1,844	--	1,832
11	8,0	495	483	463	474	463	478,75	11,550	21783,3	--	1,836	--	1,824
12	9,0	495	485	463	474	463	479,25	11,500	21689,0	--	1,844	--	1,832
13	10,0	494	485	464	473	464	479,00	11,525	21736,1	--	1,840	--	1,825
14	11,0	495	486	465	474	465	480,00	11,425	21547,5	--	1,855	--	1,844
15	12,0	496	488	465	473	465	480,50	11,375	21453,2	--	1,855	--	1,853

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	370	372	364	363	357,25	22,700	42812,2	80,0	1,859	0,53	1,857
17	0,5	400	407	376	374	389,25	20,500	38663,0	--	2,059	--	2,056
18	1,0	401	401	374	376	388,00	20,625	38998,7	--	2,057	--	2,044
19	1,5	390	405	372	372	384,75	20,950	39511,7	--	2,025	--	2,012
20	2,0	400	406	373	372	387,75	20,650	38945,9	--	2,054	--	2,041
21	3,0	400	409	372	370	387,75	20,550	38945,9	--	2,054	--	2,041
22	4,0	400	410	366	360	384,00	21,025	39553,1	--	2,017	--	2,004
23	5,0	400	412	362	365	384,75	20,950	39511,7	--	2,024	--	2,010
24	6,0	401	412	369	366	396,75	20,750	39134,5	--	2,044	--	2,031
25	7,0	401	413	370	366	387,25	20,700	39040,2	--	2,049	--	2,035
26	8,0	400	413	366	370	387,25	20,700	39040,2	--	2,049	--	2,035
27	9,0	391	413	371	364	384,75	20,950	39511,7	--	2,025	--	2,012
28	10,0	390	413	370	364	384,00	21,025	39553,1	--	2,017	--	2,004
29	11,0	390	409	370	364	383,25	21,100	39794,6	--	2,010	--	1,997
30	12,0	390	404	371	366	382,75	21,150	39858,9	--	2,006	--	1,993



1	2	3	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13
31	0,0	267	256	264	273	265,00	32,925	62096,5	120,0	1,932	0,63	1,920	
32	0,5	290	291	287	286	288,50	30,575	57564,4	--	2,091	--	2,099	
33	1,0	291	293	287	285	289,00	30,525	57570,1	--	2,094	--	2,071	
34	1,5	292	295	287	284	285,50	30,475	57475,6	--	2,089	--	2,075	
35	2,0	298	296	287	284	291,25	30,300	57145,8	--	2,100	--	2,097	
36	2,0	296	295	284	284	289,75	30,450	57428,7	--	2,099	--	2,076	
37	4,0	298	297	284	284	290,75	30,350	57240,1	--	2,095	--	2,083	
38	5,0	300	297	283	284	291,00	30,325	57192,9	--	2,099	--	2,082	
39	6,0	300	297	283	285	291,25	30,300	57145,8	--	2,100	--	2,087	
40	7,0	301	297	285	286	292,25	30,200	56957,2	--	2,107	--	2,094	
41	8,0	301	297	285	287	292,50	30,175	56910,0	--	2,109	--	2,096	
42	9,0	300	298	285	287	292,50	30,175	56910,0	--	2,109	--	2,096	
43	10,0	300	299	285	286	295,50	30,175	56910,0	--	2,109	--	2,096	
44	11,0	300	300	285	286	292,75	30,150	56862,9	--	2,110	--	2,097	
45	12,0	301	300	285	286	293,00	30,125	56815,7	--	2,112	--	2,099	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
46	0,0	174	180	180	176	177,50	41,675	78599,0	160,0	2,036	0,63	2,023
47	0,5	205	203	195	200	200,75	39,350	74214,1	--	2,156	--	2,143
48	1,0	204	198	196	201	193,75	39,450	74402,7	--	2,151	--	2,138
49	1,5	205	190	194	205	193,50	39,575	74538,5	--	2,144	--	2,131
50	2,0	205	193	193	205	199,00	39,525	74544,2	--	2,146	--	2,133
51	2,0	205	189	196	213	200,75	39,350	74214,1	--	2,156	--	2,143
52	4,0	205	185	195	214	199,75	39,450	74402,7	--	2,151	--	2,138
53	5,0	204	184	195	216	199,75	39,450	74402,7	--	2,151	--	2,133
54	6,0	205	184	192	214	193,75	39,550	74591,3	--	2,145	--	2,132
55	7,0	205	184	192	216	199,25	39,500	74497,0	--	2,148	--	2,135
56	8,0	205	182	192	218	193,25	39,500	74497,0	--	2,148	--	2,135
57	9,0	203	182	192	218	193,75	39,550	74591,3	--	2,142	--	2,129
58	10,0	203	181	190	219	198,25	39,600	74635,6	--	2,142	--	2,129
59	11,0	205	181	192	219	199,25	39,500	74497,0	--	2,148	--	2,135
60	12,0	205	179	196	224	201,00	29,325	74166,9	--	2,157	--	2,144



C.D. tablicy nr 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
61	6,0	80	72	76	85	78,25	51,600	97317,6	200	2,055	0,63	2,042
62	0,5	112	80	90	127	102,25	49,200	97791,2	-	2,155	-	2,142
63	1,0	109	80	94	124	101,75	49,250	92085,5	-	2,153	-	2,140
64	1,5	107	80	105	128	105,0	48,925	92272,6	-	2,167	-	2,154
65	2,0	106	81	105	129	105,25	48,900	92225,4	-	2,169	-	2,155
66	3,0	105	95	103	114	104,25	49,000	92414,0	-	2,164	-	2,151
67	4,0	105	104	104	106	104,75	48,950	92319,6	-	2,166	-	2,153
68	5,0	108	108	103	101	105,00	49,925	92272,6	-	2,168	-	2,154
69	6,0	110	110	101	109	105,00	48,975	92272,6	-	2,168	-	2,154
70	7,0	110	111	101	109	105,25	48,900	92225,4	-	2,168	-	2,154
71	8,0	110	113	104	98	106,25	48,800	92036,8	-	2,173	-	2,159
72	9,0	110	113	101	97	105,25	48,900	92225,4	-	2,168	-	2,154
73	10,0	109	115	100	95	104,75	48,950	92319,7	-	2,166	-	2,152
74	11,0	110	118	102	95	106,25	48,800	92036,8	-	2,173	-	2,159
75	12,0	111	120	103	95	107,25	48,700	91848,2	-	2,177	-	2,163

Badanie w 3 warstwach po ok. 17 cm grubości każda

Tablica 3.

Badanie I

Lp	Czas wibracji min	Pomiary osiadań							Wysokość próbk. cm	Objętość próbk. cm <sup>3</sup>	Ciężar próbk. kg	γ g/cm <sup>3</sup>	Wilgotność %	γ <sub>d</sub> g/cm <sup>3</sup>
		1	2	3	4	5	6	7						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	0,0	387	378	378	394	334,25	20,500	32317,0	67,0	1,700	0,63	1,689		
2	0,5	410	385	423	452	417,50	17,575	33146,0	-	2,021	-	2,008		
3	1,0	409	384	427	453	418,25	17,500	33005,0	-	2,030	-	2,017		
4	1,5	408	385	427	453	418,25	17,500	33005,0	-	2,030	-	2,017		
5	2,0	410	387	429	455	420,25	17,300	32527,8	-	2,053	-	2,040		
6	3,0	412	388	431	457	422,00	17,125	32297,8	-	2,072	-	2,061		
7	4,0	412	390	432	457	422,75	17,050	32156,3	-	2,083	-	2,070		
8	9,0	412	392	430	457	422,75	17,050	32156,3	-	2,033	-	2,070		
9	6,0	412	392	430	456	422,50	17,075	32203,4	-	2,080	-	2,067		
10	7,0	412	393	433	456	423,50	16,975	32014,8	-	2,093	-	2,080		
11	8,0	413	395	431	456	423,75	16,950	31957,7	-	2,096	-	2,083		
12	9,0	410	395	430	453	422,25	17,100	32250,6	-	2,077	-	2,064		
13	10,0	412	395	428	453	422,25	17,100	32250,6	-	2,077	-	2,064		
14	11,0	412	395	428	454	422,50	17,075	32203,4	-	2,080	-	2,067		
15	12,0	415	395	430	456	424,25	16,900	31873,4	-	2,102	-	2,089		



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	209	203	188	197	199,25	36,925	74308,0	134,0	1,803	0,63	1,792
17	0,5	244	246	250	247	246,75	65350,0	65350,0	-	2,050	-	2,037
18	1,0	245	249	254	253	250,25	34,300	64690,0	-	2,071	-	2,058
19	1,5	247	251	255	254	251,75	34,150	64407,0	-	2,080	-	2,067
20	2,0	245	251	257	254	251,75	34,150	64407,0	-	2,080	-	2,067
21	3,0	245	250	260	258	253,25	34,000	64124,0	-	2,090	-	2,077
22	4,0	245	251	251	258	253,75	33,950	64030,0	-	2,093	-	2,080
23	5,0	244	250	262	258	253,50	33,975	64077,0	-	2,091	-	2,078
24	6,0	244	250	262	258	253,50	33,975	64077,0	-	2,091	-	2,078
25	7,0	245	251	262	258	254,00	33,925	63982,0	-	2,094	-	2,081
26	8,0	250	292	258	255	253,75	33,950	64030,0	-	2,093	-	2,080
27	9,0	250	255	255	255	253,75	33,950	64030,0	-	2,093	-	2,080
28	10,0	250	255	255	253	253,25	34,000	64124,0	-	2,090	-	2,077
29	11,0	250	255	255	253	253,25	34,000	64124,0	-	2,090	-	2,077
30	12,0	250	255	255	254,	254,25	33,900	63935,0	-	2,096	-	2,083

c.d. tablicy 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
31	0,0	68	41	44	54	51,75	54,150	102127,0	201,0	1,968	0,63	1,956
32	0,5	85	85	87	90	86,75	50,650	95526,0	-	2,104	-	2,091
33	1,0	85	83	88	90	86,50	50,675	95579,0	-	2,103	-	2,090
34	1,5	87	85	88	90	87,50	50,575	96484,0	-	2,107	-	2,094
35	2,0	98	85	87	90	87,50	50,575	95384,0	-	2,107	-	2,094
36	3,0	88	82	87	90	86,75	50,650	95525,9	-	2,104	-	2,091
37	4,0	90	82	87	90	87,25	50,600	95431,6	-	2,016	-	2,093
38	5,0	90	82	88	91	87,75	50,550	95337,3	-	2,108	-	2,095
39	6,0	90	83	89	92	88,50	50,475	95195,8	-	2,111	-	2,098
40	7,0	88	83	85	91	87,00	50,625	95478,7	-	2,105	-	2,092
41	8,0	88	83	85	91	87,00	50,625	95478,7	-	2,105	-	2,092
42	9,0	90	84	85	93	88,25	50,500	95243,0	-	2,110	-	2,097
43	10,0	90	84	85	93	88,25	50,500	95243,0	-	2,110	-	2,097
44	11,0	85	82	85	91	85,75	50,750	95714,5	-	2,100	-	2,097
45	12,0	85	85	85	96	87,75	50,550	95714,5	-	2,100	-	2,097



Tablica nr .4.

Zestawienie wyników badań  $\gamma_d$  po 12 minutach wibracji i  $\gamma_d$   
 Badanie w 3 warstwach po ok. 17 cm grubości każda

## Badanie II

Lp.	Czas wibracji min	Pomiary osiadań mm				Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\gamma$ Gcm <sup>3</sup>	Wilgotność %	$\gamma_{ol}$ Gcm <sup>3</sup>	
		1	2	3	4							średni
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,0	369	377	390	382	379,50	21,475	40501,8	67,0	1,654	0,63	1,644
2	0,5	388	410	428	404	407,50	18,675	35221,1	-	1,902	-	1,890
3	1,0	384	402	432	413	407,75	18,650	35174,0	-	1,905	-	1,893
4	1,5	386	403	432	410	407,75	18,650	35174,0	-	1,905	-	1,893
5	2,0	387	407	434	412	410,00	18,425	34749,6	-	1,928	-	1,916
6	3,0	391	414	433	408	411,50	18,275	34456,6	-	1,944	-	1,932
7	4,0	390	413	434	413	412,50	18,175	34278,0	-	1,955	-	1,943
8	5,0	389	414	436	411	412,50	18,175	34278,0	-	1,955	-	1,943
9	6,0	390	418	437	404	412,25	18,200	34325,2	-	1,952	-	1,940
10	7,0	392	420	437	404	413,25	18,100	34136,6	-	1,963	-	1,951
11	8,0	392	423	436	404	413,75	18,050	34042,3	-	1,968	-	1,956
12	9,0	391	420	436	403	412,50	18,175	34278,0	-	1,955	-	1,943
13	10,0	391	417	437	403	412,00	18,225	34372,3	-	1,949	-	1,937
14	11,0	392	418	437	403	412,50	18,175	34278,0	-	1,955	-	1,943
15	12,0	392	419	435	410	414,00	18,025	33995,1	-	1,971	-	1,959



c.d. tablicy nr .4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	203	217	224	215	214,75	37,950	71573,7	134,0	1,872	0,63	1,860
17	0,5	251	265	256	244	254,00	34,025	64171,1	--	2,088	--	2,075
18	1,0	253	272	258	238	255,25	33,900	63935,4	--	2,096	--	2,083
19	1,5	253	272	259	240	256,00	33,825	63794,0	--	2,100	--	2,087
20	2,0	253	272	259	240	256,00	33,825	63794,0	--	2,100	--	2,086
21	3,0	254	272	257	236	254,75	33,950	64029,7	--	2,093	--	2,080
22	4,0	257	270	257	240	256,00	33,825	63794,0	--	2,100	--	2,087
23	5,0	256	273	257	241	255,25	33,900	63935,4	--	2,096	--	2,083
24	6,0	257	270	254	241	255,50	33,375	63868,3	--	2,097	--	2,084
25	7,0	257	271	254	241	255,75	33,850	63841,1	--	2,099	--	2,086
26	8,0	257	271	254	241	255,75	33,850	63841,1	--	2,099	--	2,086
27	9,0	258	272	254	241	256,25	33,800	63746,8	--	2,102	--	2,089
28	10,0	258	273	254	241	256,50	33,775	63699,6	--	2,104	--	2,091
29	11,0	258	272	254	241	256,25	33,800	63746,8	--	2,102	--	2,089
30	12,0	259	275	249	240	255,75	33,850	63841,1	--	2,099	--	2,086



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
31	0,0	60	56	55	61	58,00	53,625	101136,7	201,0	1,987	0,63	1,975
32	0,5	109	101	86	99	98,75	49,550	93451,3	-	2,151	-	2,138
33	1,0	111	104	83	95	98,25	49,600	93545,6	-	2,149	-	2,136
34	1,5	113	105	85	92	98,75	49,550	93451,3	-	2,151	-	2,138
35	2,0	113	100	84	95	98,75	49,550	93451,3	-	2,151	-	2,138
36	3,0	116	100	82	94	98,00	49,625	93592,8	-	2,148	-	2,135
37	4,0	115	103	83	93	98,50	49,575	93498,4	-	2,150	-	2,137
38	5,0	116	102	84	94	99,75	49,450	93262,7	-	2,155	-	2,142
39	6,0	116	101	84	97	99,50	49,475	93309,8	-	2,154	-	2,141
40	7,0	116	100	83	97	99,00	49,525	93404,1	-	2,152	-	2,139
41	8,0	118	100	82	93	98,25	49,600	93545,6	-	2,149	-	2,136
42	9,0	119	100	82	94	98,75	49,550	93451,3	-	2,151	-	2,198
43	10,0	119	100	80	98	99,25	49,500	93357,0	-	2,153	-	2,140
44	11,0	121	102	80	98	100,25	49,400	93168,4	-	2,157	-	2,144
45	12,0	125	107	76	100	102,00	49,225	92838,4	-	2,144	-	2,131

Badanie w 2 warstwach po ok. 25 cm grubości każda

Tablica nr 5.

Lp	Czas wibra- cji min	Pomiary osiadań mm							Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	Wilgot- ność %	$\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>
		1	2	3	4	średni	5	6						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	0,0	300	305	275	274	288,50	30,575	57664,4	100,0	1,734	0,63	1,723		
2	0,5	347	339	332	342	340,00	25,425	47951,5	"	2,085	"	2,072		
3	1,0	347	340	332	342	340,25	25,400	47904,4	"	2,087	"	2,074		
4	1,5	347	337	328	339	337,75	25,650	43375,9	"	2,067	"	2,054		
5	2,0	362	335	320	337	336,00	25,825	48705,9	"	2,053	"	2,040		
6	3,0	360	337	320	337	338,50	25,575	48234,4	"	2,073	"	2,060		
7	4,0	365	340	319	341	341,75	25,250	47621,5	"	2,100	"	2,087		
8	5,0	365	340	319	339	321,25	25,250	47621,5	"	2,100	"	2,087		
9	6,0	365	340	320	342	341,25	25,250	47621,5	"	2,100	"	2,087		
10	7,0	367	338	329	342	341,25	25,250	47621,5	"	2,100	"	2,087		
11	8,0	367	335	325	344	342,75	25,150	47432,9	"	2,108	"	2,095		
12	9,0	365	335	325	344	342,50	25,175	47480,0	"	2,106	"	2,093		
13	10,0	345	337	336	348	341,50	25,275	47668,6	"	2,098	"	2,085		
14	11,0	343	337	335	349	341,25	25,250	47621,5	"	2,100	"	2,087		
15	12,0	337	341	349	348	343,75	25,050	47244,3	"	2,117	"	2,104		



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	96	94	97	87	93,50	50,075	94441,4	200,0	2,118	0,63	2,105
17	0,5	140	147	143	137	141,75	45,250	85341,5	--	2,343	--	2,328
18	1,0	141	147	147	143	144,50	44,975	84822,8	--	2,358	--	2,343
19	1,5	141	147	150	145	146,25	44,800	84492,8	--	2,367	--	2,354
20	2,0	141	147	151	146	146,25	44,800	84492,8	--	2,367	--	2,354
21	3,0	130	147	160	148	146,25	44,800	84492,8	--	2,367	--	2,354
22	4,0	130	147	160	145	145,75	44,850	84587,1	--	2,354	--	2,349
23	5,0	128	151	162	145	146,75	44,750	84398,5	--	2,370	--	2,355
24	6,0	128	152	166	145	147,75	44,650	84209,9	--	2,375	--	2,360
25	7,0	127	153	169	145	148,75	44,550	84021,3	--	2,380	--	2,365
26	8,0	127	153	170	143	150,00	44,425	83785,5	--	2,387	--	2,372
27	9,0	126	152	170	145	148,50	44,575	84068,4	--	2,379	--	2,364
28	10,0	126	152	173	147	149,50	44,475	83879,8	--	2,384	--	2,369
29	11,0	126	152	174	146	149,50	44,475	83879,8	--	2,384	--	2,369
30	12,0	126	155	174	147	150,50	44,375	83691,2	--	2,390	--	2,375

Tablica nr .6.

Lp.	Czas wibracji min	Pomiary osiadań mm				średni	Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	γ g/cm <sup>3</sup>	Wilgotność %	γ <sub>d</sub> g/cm <sup>3</sup>
		1	2	3	4							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,0	278	284	286	278	281,50	31,275	59984,6	100,0	1,695	0,63	1,684
2	0,5	325	338	324	312	324,75	26,950	50827,7	-	1,957	-	1,955
3	1,0	328	340	324	312	326,00	26,825	50591,9	-	1,977	-	1,965
4	1,5	328	343	325	310	326,50	26,775	50497,7	-	1,960	-	1,968
5	2,0	328	347	324	308	326,75	26,750	50450,5	-	1,982	-	1,990
6	3,0	330	347	324	308	327,25	26,700	50356,2	-	1,985	-	1,993
7	4,0	332	350	324	306	328,00	26,625	50214,8	-	1,991	-	1,978
8	5,0	334	348	324	306	328,00	26,625	50214,8	-	1,991	-	1,978
9	6,0	335	351	318	308	328,00	26,625	50214,8	-	1,991	-	1,978
10	7,0	335	350	321	310	329,00	26,525	50026,1	-	1,000	-	1,987
11	8,0	335	349	323	315	330,50	26,375	49743,2	-	2,010	-	1,997
12	9,0	334	348	323	315	329,00	26,525	50026,1	-	2,000	-	1,987
13	10,0	332	345	325	314	329,00	26,525	50026,1	-	2,000	-	1,987
14	11,0	330	345	327	314	329,00	26,525	50026,1	-	2,000	-	1,987
	12,0	330	339	328	322	329,75	26,450	49884,7	-	2,005	-	1,992



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	47	37	38	42	41,00	55,325	104342,5	200,0	1,917	0,63	1,905
17	0,5	92	74	83	100	87,25	50,700	95620,2	--	2,092	--	2,079
18	1,0	97	77	92	106	93,00	50,125	94535,8	--	2,116	--	2,103
19	1,5	96	74	92	109	92,75	50,150	94582,9	--	2,120	--	2,107
20	2,0	94	67	92	113	91,50	50,275	94818,6	--	2,109	--	2,096
21	3,0	94	67	92	119	92,25	50,200	94677,2	--	2,112	--	2,099
22	4,0	91	66	92	122	92,75	50,150	94582,9	--	2,115	--	2,102
23	5,0	96	66	95	122	94,75	49,950	94205,7	--	2,123	--	2,110
24	6,0	97	69	99	124	97,25	49,700	93734,2	--	2,134	--	2,121
25	7,0	98	68	99	124	97,25	49,700	93734,2	--	2,134	--	2,121
26	8,0	98	66	99	126	97,25	49,700	93734,2	--	2,134	--	2,121
27	9,0	99	65	98	127	97,25	49,700	93734,2	--	2,134	--	2,121
28	10,0	99	65	96	130	97,50	49,675	93687,0	--	2,152	--	2,139
29	11,0	101	65	97	130	98,25	49,600	93545,6	--	2,138	--	2,125
30	12,0	101	64	99	133	99,25	49,500	93357,0	--	2,142	--	2,129



Tablica 7

Badania I

Lp	Czas wibracji	Rozmiary osiadań					Średnia	Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	d		Włgot- ność %	d <sub>d</sub>
		1	2	3	4	6					G/cm <sup>3</sup>	%		
1	2		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	0,0	74	70	67	67	69,50	52,475	98967,8	180	1,818	0,63	1,807		
2	0,5	120	130	132	119	98,25	49,600	93543,6	180	1,924	-	1,912		
3	1,0	127	140	137	124	132,00	46,225	87180,3	180	2,064	-	2,051		
4	1,5	132	145	140	125	135,50	45,875	86520,2	180	2,080	-	2,067		
5	2,0	132	150	140	120	135,50	45,875	86520,2	180	2,080	-	2,067		
6	3,0	138	152	140	122	138,00	45,625	86048,7	180	2,092	-	2,079		
7	4,0	139	155	140	126	140,00	45,425	85671,5	180	2,101	-	2,088		
8	5,0	141	156	144	129	142,75	45,150	85152,9	180	2,113	-	2,100		
9	6,0	141	157	145	127	142,75	45,150	85152,9	180	2,113	-	2,100		
10	7,0	143	157	145	127	143,25	45,100	85058,6	180	2,116	-	2,103		
11	8,0	148	160	144	129	145,25	44,900	84681,4	180	2,126	-	2,113		
12	9,0	147	161	145	128	145,26	44,900	84681,4	180	2,126	-	2,113		
13	10,0	147	161	145	129	145,50	44,875	84634,2	180	2,127	-	2,114		
14	11,0	146	161	145	130	145,50	44,875	84634,2	180	2,127	-	2,114		
15	12,0	146	161	145	128	145,00	44,925	84728,5	180	2,124	-	2,111		



Lp	Czas wibracji		Pomiary osiadań				Średni	Wysokość próbek cm	Objętość próbek cm <sup>3</sup>	Ciężar próbek kg	γ G/cm <sup>3</sup>	Wilgotność %	γ <sub>d</sub> G/cm <sup>3</sup>
	1	2	3	4	5	6							
1	2						8	9	10	11	12	13	
1	0,0	67	57	67	74	66,25	52,800	103352,8	180,0	1,742	0,63	1,731	
2	0,5	122	121	126	124	123,25	47,100	88830,6	-"	2,026	-"	2,013	
3	1,0	127	128	127	127	127,25	46,700	88076,2	-"	2,044	-"	2,031	
4	1,5	126	132	132	125	128,75	46,550	87793,3	-"	2,050	-"	2,037	
5	2,0	126	135	135	123	131,75	46,250	87227,5	-"	2,064	-"	2,051	
6	3,0	130	137	136	122	133,25	46,100	86944,6	-"	2,076	-"	2,063	
7	4,0	134	136	126	125	134,50	45,975	86708,8	-"	2,076	-"	2,063	
8	5,0	134	133	137	121	133,25	46,100	86944,6	-"	2,070	-"	2,057	
9	6,0	135	127	138	126	131,50	46,275	87274,6	-"	2,062	-"	2,049	
10	7,0	135	129	138	123	133,25	46,100	86944,6	-"	2,070	-"	2,057	
11	8,0	138	151	138	126	137,75	45,650	86095,9	-"	2,091	-"	2,078	
12	9,0	140	153	138	124	139,25	45,500	85813,0	-"	2,096	-"	2,083	
13	10,0	140	154	138	124	139,00	45,525	85860,1	-"	2,096	-"	2,083	
14	11,0	140	156	138	124	139,50	45,475	85765,8	-"	2,099	-"	2,086	
15	12,0	140	157	140	123	140,00	45,425	85671,5	-"	2,101	-"	2,087	



## BADANIE I

LP	Czas wibracji min	Pomiary osiadań						Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\gamma$ gcm <sup>3</sup>	Wilgotność %	$\gamma_d$ gcm <sup>3</sup>
		1	2	3	4	5	6						
1	0,0	16	16	8	5	11,25	58,300	109953,8	180,0	1,637	1,94	1,606	
2	0,5	91	86	70	75	80,50	51,375	101152,3	--	1,858	--	1,623	
3	1,0	99	94	78	84	88,75	50,550	95337,0	--	1,888	--	1,852	
4	1,5	102	96	82	85	91,25	50,300	94865,8	--	1,894	--	1,858	
5	2,0	100	98	84	88	92,50	50,175	94630,0	--	1,902	--	1,866	
6	3,0	102	102	88	88	95,00	49,925	94159,6	--	1,912	--	1,876	
7	4,0	108	107	92	91	99,50	49,475	93309,8	--	1,929	--	1,892	
8	5,0	112	112	94	93	102,75	49,150	92696,9	--	1,942	--	1,905	
9	5,0	114	116	95	94	104,75	48,950	92319,7	--	1,950	--	1,913	
10	7,0	117	117	95	95	106,00	48,825	92083,9	--	1,955	--	1,918	
11	8,0	118	119	95	96	107,00	48,725	91865,3	--	1,959	--	1,922	
12	9,0	119	119	96	96	107,50	48,675	91801,0	--	1,961	--	1,924	
13	10,0	119	120	96	97	108,00	48,625	91706,2	--	1,963	--	1,926	
14	11,0	119	121	96	97	108,00	48,625	91706,2	--	1,963	--	1,926	
15	12,0	119	121	96	98	108,50	48,575	91612,4	--	1,965	--	1,928	



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	28	37	37	32	33,50	56,075	105757,4	180,0	1,702	1,94	1,670
17	0,5	88	102	95	81	91,50	50,275	94818,6	--	1,898	--	1,862
18	1,0	87	106	100	88	95,25	49,900	94111,4	--	1,913	--	1,677
19	1,5	102	110	103	93	102,00	49,225	92838,3	--	1,939	--	1,902
20	2,0	105	114	103	93	103,75	49,050	92508,3	--	1,946	--	1,902
21	3,0	107	120	101	107	108,75	48,550	91555,3	--	1,966	--	1,928
22	4,0	112	122	106	98	109,50	48,475	91423,8	--	1,959	--	1,931
23	5,0	112	125	108	92	109,25	48,500	91471,0	--	1,968	--	1,930
24	6,0	112	127	109	94	110,50	48,375	91235,2	--	1,973	--	1,935
25	7,0	113	131	103	94	110,25	43,400	91282,4	--	1,972	--	1,934
26	8,0	113	133	108	94	112,00	48,225	90952,3	--	1,979	--	1,941
27	9,0	114	135	102	90	110,25	48,400	91282,4	--	1,972	--	1,934
28	10,0	114	137	104	92	111,75	48,250	90999,5	--	1,978	--	1,940
29	11,0	115	139	111	91	114,00	48,025	90575,1	--	1,987	--	1,949
30	12,0	114	141	112	82	113,50	48,075	90669,4	--	1,985	--	1,947

Tablica nr 10.

BADANIE I

Lp.	Czas wibracji min	Pomiary osiadań				średni	Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	γ g/cm <sup>3</sup>	Wilgotność %	ρ g/cm <sup>3</sup>
		1	2	3	4							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,0	25	20	20	26	22,75	57,150	107784,9	180,0	1,670	3,90	1,607
2	0,5	86	87	82	80	83,75	51,050	96280,3	-"	1,859	-"	1,799
3	1,0	94	92	97	86	92,25	50,200	94677,2	-"	1,901	-"	1,830
4	1,5	97	96	89	88	92,50	50,175	94630,1	-"	1,902	-"	1,831
5	2,0	99	97	92	91	94,75	49,950	94205,7	-"	1,914	-"	1,939
6	3,0	103	98	95	95	97,75	49,650	93639,9	-"	1,922	-"	1,850
7	4,0	103	98	97	97	98,75	49,550	93451,3	-"	1,926	-"	1,854
8	5,0	105	98	97	100	100,00	49,425	93215,6	-"	1,931	-"	1,859
9	6,0	105	97	97	103	100,00	49,375	93121,3	-"	1,933	-"	1,861
10	7,0	107	98	97	105	101,75	49,250	92865,5	-"	1,938	-"	1,865
11	8,0	106	97	98	106	101,75	49,250	92885,5	-"	1,938	-"	1,865
12	9,0	106	97	98	108	102,25	49,200	92791,2	-"	1,940	-"	1,867
13	10,0	106	96	101	109	103,00	49,125	92649,8	-"	1,943	-"	1,870
14	11,0	106	97	101	110	103,50	49,075	92555,4	-"	1,945	-"	1,872
15	12,0	108	97	101	112	104,50	48,975	92366,8	-"	1,949	-"	1,876



## BADANJE II

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	0,0	25	28	31	34	29,50	55,475	106511,8	150,0	1,690	3,90	1,626
17	0,5	85	84	91	91	87,75	50,650	95525,9	--	1,884	--	1,813
18	1,0	92	93	99	99	95,75	49,850	94017,1	--	1,914	--	1,842
19	1,5	97	94	102	102	98,75	49,550	93451,3	--	1,926	--	1,854
20	2,0	99	98	104	104	101,25	49,300	92979,8	--	1,936	--	1,863
21	3,0	99	99	107	107	103,00	49,125	92649,8	--	1,943	--	1,870
22	4,0	99	98	108	108	103,25	49,100	92602,6	--	1,944	--	1,871
23	5,0	100	102	110	110	105,50	48,875	92178,2	--	1,953	--	1,880
24	6,0	102	104	115	115	109,00	48,525	91518,2	--	1,967	--	1,893
25	7,0	103	107	114	114	109,50	48,475	91423,8	--	1,969	--	1,895
26	8,0	104	108	116	116	111,00	48,325	91141,0	--	1,975	--	1,901
27	9,0	106	108	117	117	112,00	48,225	90952,4	--	1,979	--	1,905
28	10,0	107	107	118	118	112,50	48,175	90858,1	--	1,981	--	1,907
29	11,0	108	109	117	117	112,75	48,150	90810,9	--	1,982	--	1,908
30	12,0	108	109	118	118	113,25	48,100	90716,6	--	1,984	--	1,910

Tablice nr .11.

## BADANIE I

Lp.	Czas wibracji min	Pomiary osiadań						średni	Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	Wilgotność %	$\rho_{cm^3}$
		1	2	3	4	5	6							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	
1	0,0	22	16	16	23	19,25	57,500	108445,0	180,0	1,660	4,59	1,587		
2	0,5	113	108	103	104	107,00	48,725	91895,4	-	1,959	-	1,873		
3	1,0	123	117	111	114	116,25	47,600	90150,8	-	1,997	-	1,909		
4	1,5	129	122	115	119	121,25	47,300	89207,8	-	2,018	-	1,929		
5	2,0	132	127	118	122	124,75	45,950	88547,7	-	2,033	-	1,944		
6	3,0	135	129	122	126	128,00	45,625	87934,8	-	2,047	-	1,957		
7	4,0	137	130	125	127	129,75	45,450	87604,7	-	2,055	-	1,965		
8	5,0	139	132	127	130	132,00	46,225	87180,4	-	2,065	-	1,974		
9	6,0	141	133	129	132	133,75	46,050	86850,3	-	2,072	-	1,981		
10	7,0	142	134	129	133	134,50	45,575	87702,8	-	2,076	-	1,985		
11	8,0	143	135	130	133	135,25	45,900	86567,4	-	2,079	-	1,988		
12	9,0	144	137	131	135	136,75	45,750	86284,5	-	2,086	-	1,994		
13	10,0	145	137	132	136	137,50	45,675	86143,1	-	2,089	-	1,997		
14	11,0	146	138	132	137	138,25	45,600	86001,6	-	2,093	-	2,001		
15	12,0	147	138	133	138		45,525	85860,2	-	2,096	-	2,004		

przy wilgotności 4,59 %



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	16	14	16	16	15,25	57,900	109199,4	--	1,648	--	1,575
17	0,5	95	81	82	95	88,25	50,600	94431,6	--	1,886	--	1,803
18	1,0	104	89	90	102	96,25	49,600	93922,6	--	1,916	--	1,832
19	1,5	107	94	94	106	100,25	49,400	93158,4	--	1,932	--	1,847
20	2,0	110	96	97	109	103,00	49,125	92649,8	--	1,943	--	1,857
21	3,0	114	100	100	111	106,25	48,800	92036,8	--	1,956	--	1,870
22	4,0	117	101	101	113	108,00	48,625	91706,8	--	1,963	--	1,877
23	5,0	119	104	103	115	110,25	48,400	91282,4	--	1,972	--	1,885
24	6,0	120	104	104	116	111,00	48,325	91100,9	--	1,975	--	1,888
25	7,0	122	105	104	119	112,50	48,175	90358,1	--	1,981	--	1,894
26	8,0	124	105	105	120	113,50	48,075	90569,8	--	1,985	--	1,898
27	9,0	125	106	105	121	114,25	48,000	90528,0	--	1,988	--	1,901
28	10,0	126	107	106	122	115,25	47,900	90339,4	--	1,992	--	1,904
29	11,0	127	109	106	124	116,50	47,775	90103,6	--	1,998	--	1,910
30	12,0	128	108	107	124	116,75	47,750	90056,5	--	1,999	--	1,911

## BADANIE I

Lp.	Czas wibracji min	Pomiary osiadań mm						średni	Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	Wilgotność %	
		1	2	3	4	5	6						11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	0,0	17	17	15	16	16,00	57,825	103057,9	200,0	1,534	6,16	1,728		
2	0,5	90	82	82	81	83,75	51,050	96280,3	-	2,077	-	1,956		
3	1,0	102	95	80	90	91,75	50,250	94771,5	-	2,110	-	1,988		
4	1,5	120	109	83	92	101,00	49,325	93027,0	-	2,150	-	2,025		
5	2,0	140	131	80	90	110,25	48,400	91282,4	-	2,191	-	2,064		
6	3,0	135	120	70	93	104,50	48,975	92365,8	-	2,165	-	2,039		
7	4,0	110	102	105	114	107,75	48,650	91753,9	-	2,180	-	2,053		
8	5,0	103	103	111	115	108,00	48,625	91706,8	-	2,181	-	2,054		
9	6,0	107	108	105	110	107,50	48,675	91801,0	-	2,179	-	2,052		
10	7,0	112	105	108	117	110,50	48,375	91235,2	-	2,192	-	2,065		
11	8,0	120	124	104	101	112,25	48,200	90905,2	-	2,200	-	2,072		
12	9,0	120	130	111	99	115,00	47,925	90386,6	-	2,213	-	2,085		
13	10,0	118	133	97	97	111,25	48,300	91093,8	-	2,196	-	2,068		
14	11,0	120	118	105	105	112,00	48,225	90952,4	-	2,200	-	2,072		
15	12,0	120	119	106	110	113,75	48,050	90622,3	-	2,207	-	2,079		



BADANIE II

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	7	6	40	11	8,50	58,575	110472,5	200,0	1,810	6,16	1,705
17	0,5	92	67	50	67	69,00	52,525	99062,2	-	2,019	-	1,902
18	1,0	107	82	55	73	79,25	51,500	97129,0	-	2,059	-	1,939
19	1,5	116	93	55	73	84,25	51,000	95186,0	-	2,079	-	1,958
20	2,0	120	92	54	76	85,50	50,875	95950,3	-	2,084	-	1,963
21	3,0	112	97	65	78	88,00	50,625	95478,8	-	2,095	-	1,973
22	4,0	127	118	53	64	90,50	50,375	95007,3	-	2,105	-	1,983
23	5,0	127	110	57	66	90,00	50,425	95101,6	-	2,103	-	1,981
24	6,0	140	119	54	67	95,00	49,925	94158,6	-	2,124	-	2,001
25	7,0	133	125	56	67	95,25	49,900	94111,4	-	2,125	-	2,002
26	8,0	121	127	74	63	96,25	49,800	93922,8	-	2,129	-	2,006
27	9,0	132	137	76	66	102,75	49,150	92696,9	-	2,158	-	2,033
28	10,0	120	110	87	96	103,25	49,100	92502,6	-	2,160	-	2,035
29	11,0	132	120	80	90	105,50	48,875	92178,3	-	2,170	-	2,044
30	12,0	152	116	69	85	110,50	48,375	91235,3	-	2,192	-	2,065

Tablica nr .13.

## BADANIE I

przy wilgotności 7,41 %

Lp.	Czas wibracji min	Pomiary osiadań mm				średni	Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	Gcm <sup>-3</sup>	Wilgotność %	Gcm <sup>-3</sup>
		1	2	3	4							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,0	40	35	45	48	42,00	55,225	1 04154,4	180,0	1,728	7,41	1,609
2	0,5	130	120	125	133	127,00	46,725	88123,4	-	2,043	-	1,902
3	1,0	139	132	133	139	135,75	45,850	86473,1	-	2,082	-	1,938
4	1,5	145	140	138	140	140,75	45,350	85530,1	-	2,104	-	1,959
5	2,0	149	149	140	137	143,75	45,050	84964,3	-	2,118	-	1,972
6	3,0	153	160	143	135	147,75	44,650	84209,9	-	2,137	-	1,990
7	4,0	153	160	150	139	150,50	44,375	83691,3	-	2,151	-	2,003
8	5,0	156	171	155	136	154,50	43,975	82936,8	-	2,170	-	2,020
9	6,0	158	180	154	128	155,00	43,925	82642,6	-	2,173	-	2,023
10	7,0	159	180	155	135	157,25	43,700	82418,2	-	2,184	-	2,033
11	8,0	152	173	161	143	156,50	43,775	82559,6	-	2,180	-	2,030
12	9,0	152	182	170	135	159,75	43,450	81949,7	-	2,196	-	2,044
13	10,0	145	185	175	130	158,75	43,550	82135,3	-	2,191	-	2,040
14	11,0	138	195	179	125	159,25	43,500	82041,0	-	2,194	-	2,043
15	12,0	139	209	185	120	163,25	43,100	81286,6	-	2,214	-	2,061





## BADANIE I

Lp.	Czas wibracji min	Pomiary osiadań mm						Wysokość próbki cm	Objętość próbki cm <sup>3</sup>	Ciężar próbki kg	$\gamma$ Gcm <sup>-3</sup>	Wilgotność %	$\gamma_d$ Gcm <sup>-3</sup>
		1	2	3	4	5	6						
1	2	34	35	25	20	28,50	56,575	106700,4	180,0	1,687	10,45	1,527	
2	0,0	124	125	139	136	131,00	45,325	87368,9	-	2,050	-	1,865	
3	0,5	125	114	149	160	137,00	45,725	86237,3	-	2,087	-	1,889	
4	1,0	120	120	155	155	137,50	45,675	86143,0	-	2,089	-	1,891	
5	1,5	115	119	170	165	142,25	45,200	85247,2	-	2,111	-	1,911	
6	2,0	156	178	123	103	141,25	45,300	85435,8	-	2,107	-	1,908	
7	3,0	140	135	150	154	144,75	44,950	84775,7	-	2,123	-	1,922	
8	4,0	160	144	121	145	142,50	45,175	85200,0	-	2,113	-	1,913	
9	5,0	170	165	124	130	147,25	44,700	84304,2	-	2,135	-	1,933	
10	6,0	142	138	160	160	150,00	44,425	83785,5	-	2,148	-	1,945	
11	7,0	138	161	160	135	148,50	44,575	84068,4	-	2,141	-	1,938	
12	8,0	146	140	156	150	148,00	44,625	84162,7	-	2,140	-	1,937	
13	9,0	151	140	147	160	149,50	44,475	83879,8	-	2,145	-	1,943	
14	10,0	150	140	150	150	147,50	44,675	84257,0	-	2,136	-	1,934	
15	11,0	160	150	140	149	149,75	44,450	83832,7	-	2,147	-	1,944	



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
16	0,0	27	28	17	15	21,75	57,250	107973,5	180,0	1,667	10,45	1,509
17	0,5	120	119	130	134	125,50	46,875	88406,2	--	2,036	--	1,843
18	1,0	130	124	134	136	131,00	46,325	87368,9	--	2,060	--	1,865
19	1,5	133	130	142	143	136,75	45,750	86284,5	--	2,086	--	1,889
20	2,0	133	138	142	148	140,00	45,425	85671,5	--	2,101	--	1,902
21	3,0	134	139	143	147	140,50	45,375	85577,2	--	2,103	--	1,904
22	4,0	133	142	141	152	141,75	45,250	85341,1	--	2,109	--	1,910
23	5,0	135	145	140	153	143,00	45,125	85105,7	--	2,115	--	1,915
24	6,0	135	150	140	154	144,75	44,950	84775,7	--	2,123	--	1,922
25	7,0	135	150	140	148	143,00	45,125	85105,7	--	2,115	--	1,915
26	8,0	146	156	140	150	148,00	44,625	84162,7	--	2,140	--	1,937
27	9,0	142	152	140	149	145,75	44,875	84634,2	--	2,127	--	1,925
28	10,0	140	149	140	144	143,25	45,100	85058,5	--	2,103	--	1,904
29	11,0	146	155	144	151	149,00	44,525	83974,1	--	2,143	--	1,941
30	12,0	150	160	146	153	152,50	44,175	83314,0	--	2,160	--	1,956

## Opis aparatury i metodyki badań zagęszczalności metodą obciążeń statycznych

### 1. Opis aparatury

#### 1.1. Opis edometru wielkowymiarowego

Edometr /rys.4.34/, zaprojektowany przez autora składa się z metalowego cylindra o średnicy wewnętrznej 98,6 cm /1/, w którym umieszcza się próbkę gruntu o wysokości ok.100 cm, ramy /2/ pozwalającej obciążyć grunt pionowo na pomocą podnośnika hydraulicznego /3/ i płyty obciążającej /4/ o średnicy równej wewnętrznej średnicy cylindra, przekazującej obciążenie na grunt.

Cylinder edometru przymocowany jest do płyty dolnej /5/, która równocześnie przymocowana jest do rygla dolnego ramy. Do cylindra edometru zamocowane są uchwyty na czujniki /6/. Cylinder edometru opasany jest dwoma pierścieniami obwodowymi /7/, mającymi na celu zapobieganie odkształceniom bocznym. W celu ułatwienia wydobycia gruntu ze środka cylindra, wykonane są w nim drzwiczki /8/.

W edometrze tym przeprowadzono badania ścisłości gruntu używanego do budowy zapory Wiała-Czarne.

#### 1.2. Opis edometru średniowymiarowego

Edometr średniowymiarowy /rys.4.35/, zaprojektowany przez autora, składa się z metalowego cylindra o średnicy wewnętrznej 49 cm /1/, w którym umieszcza się próbkę gruntu o wysokości ok.50 cm, ramy /2/ pozwalającej obciążyć grunt pionowo na pomocą podnośnika hydraulicznego /3/ przekazującego obciążenie



przez sprężyny /4/ i płytę /5/ na grunt. Cylinder edometru przymocowany jest do płyty dolnej, która spoczywa na krzysaku ramy.

Do cylindra edometru zamocowane są uchwyty na czujniki /6/. W edometrze tym przeprowadzono badania gruntu używanego do budowy zapory w Debozycach.

## 2. Metodyka przeprowadzonych badań

Badania zagęszczalności /ściśliwości/ przeprowadzono dla gruntu luźno nasypanego do cylindra aparatu.

Po wyrównaniu powierzchni gruntu położono płytę górną, następnie zamocowano czujniki i przystąpiono do obciążenia.

Obciążenie gruntu przeprowadzono stopniami, zaczynając od obciążenia 0,125 kg/cm<sup>2</sup>, następnie 0,25; 0,5; 1,0 i 2,0 lub 2,5 kg/cm<sup>2</sup>. Każdy stopień obciążenia utrzymywano tak długo, aż przyrost osiadań był mniejszy od 0,01 mm na 10 min.

Po zakończeniu obciążania /do założonego/, przeprowadzano stopniami odciążanie gruntu, a następnie wtórne obciążanie.

Średnica wewnętrzna "Dobra"	2,0	20,5	+	3,0 <sup>IV</sup>	30	Z/ Obciążenie w osiach
Średnica wewnętrzna "Płytko"	2,5	21,5	+	3,5 <sup>IV</sup>	30	
Wzrost wielko- ściowy "Dobra"	3,8	19,0	-	1,2 <sup>IV</sup>	25	

## Załącznik 5.1

Próbné badania zagęszczalności gruntów gruboziarnistych i kamienistych za pomocą maszyn

## 1. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Tresnej

Charakterystykę sprzętu podaje tablica 1

Tablica 1

Charakterystyka sprzętu używanego do próbných zagęszczeń na budowie zapory w Tresnej

Nazwa sprzętu	Ciężar własny	Ciężar razem z balastem	Gęstość uderzeń na min.	Nacisk jednostk. $\text{kg/cm}^2$	Prędkość jazdy na poletku	Uwagi
Spycharka gąsienicowa D-157	14,24	14,24	-	0,8	25	
Zagęszczarka wibracyjna BCM-2	3,5	3,5	600-900	0,36 <sup>1/</sup>	18	1/ Nacisk statyczny
Samochód wywrotka "Tatra"	8,0	20,5	-	5,0 <sup>2/</sup>	50	2/ Ciśnienie w oponach
Samochód wywrotka "Praž"	6,5	11,5	-	3,5 <sup>2/</sup>	50	
Walec wielokołowy "Madro"	3,8	19,0	-	1,8 <sup>2/</sup>	25	



Do badań użyto gruntu z tarasu zalewanego rzeki Soły. Grunt do badań jak i do budowy zapory wydobywano przeważnie spod wody.

Badania wykonano na poletkach doświadczalnych o wymiarach w planie ok. 20 x 20 m i 20 x 40 m oraz grubości warstw przed zagęszczeniem ok. 55-90 cm.

Grunt na poletkach rozgarniano za pomocą spycharki do założonej grubości warstwy. Po rozgarnięciu gruntu przeprowadzono właściwe zagęszczenie, pokrywając poletka odpowiednio ślad po śladzie założoną ilością przejazdów maszyny.

Po zagęszczeniu poletka założoną ilością przejazdów maszyny określono ciężar objętościowy i wilgotność gruntu w nasypie. Następnie po zakończeniu badań kontrolnych zwiększono ilość przejazdów maszyny i ponownie powtórzono badania.

Ciężar objętościowy gruntu oznaczono metodą wykopów o objętości ok. 1,3-3,3 m<sup>3</sup>, a wilgotność metodą suszenia.

Grubość zagęszczonych warstw określono metodą niwelacji powierzchni poletka w siatce kwadratów 2 x 2 mm.

## 2. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Wiśle Czarnem

Do badań użyto grunt z głównego złoza materiału ziemnego przeznaczonego na budowę nasypu zapory, zlokalizowanego na lewym zboczu doliny potoku Białej Wisielki /taras średni i wysoki/.

Grunt na poletku rozgarnięto warstwą o zmiennej grubości /rys.1/. Grubości warstw w przekrojach, w których przeprowadzono badania kontrolne wynosiły ok. 20, 40 i 60 cm.

Zagęszczenie przeprowadzono na trzech pasach. Każdy pas zagęszczano inną ilością przejazdów maszyny, a mianowicie: 2, 4 i 8.



Charakterystykę używanego sprzętu podaje tablica 2.

Tablica 2

Charakterystyka sprzętu używanego do próbnych zagęszczeń na budowie zapory w Wiśle - Czarnem

Lp	Nazwa sprzętu	Ciężar własny T	Ciężar razem z balastrem T	Częstość drgań 1/min	Nacisk jednostkowy kG/cm <sup>2</sup>	Prędkość jazdy na poletku m/min	Uwagi
1	Spycharka SM-100	14,5	14,5	-	0,8	25	
2	Samochód "Kraz"	12,5	24,5	-	5,5 <sup>1/</sup>	50	1/ Ciężkie w oponach
3	Walce wibracyjne WDJ-06	0,5	0,6	4500	-	25	

Po zagęszczeniu każdego pasa odpowiednią ilością przejazdów maszyny wykonywano w każdym pasie i przekroju badania kontrolne zagęszczenia. Ciężar objętościowy gruntu oznaczono metodą wykopów z pomiarem objętości wykopu wielkowymiarowym aparatem przeponowym, folią i wodą lub bezpośrednio calówką. Wilgotność gruntu określono metodą suszenia [163].

### 3. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Głębinowie

Na poligonie doświadczalnym w Głębinowie wykonano badania zagęszczalności za pomocą przyczepnego walca wibracyjnego SVAW-25 produkcji NRD, używanego do zagęszczania nasypu zapory.

Walec charakteryzuje się następującymi danymi technicznymi:



- ciężar walca	3900 kg
- szerokość walca	1200 mm,
- częstotliwość drgań	$33 \frac{1}{2}$ - 20 Hz

Badania zagęszczenia wykonano przy szybkości jazdy ok.

17 m/min i średniej częstotliwości drgań.

Do badań użyto grunt ze złoża nr 2 o uziarnieniu jak na rys.1.

Grunt na poletko przepychano spycharkami spod taśmociągu, usypując warstwę o zmiennej grubości. Wymiary poletka w planie oraz przekrój podano na rys.2. Zagęszczenie przeprowadzono na trzech pasach przy 2, 4 i 8 przejazdach na pasie walca ciągnionego spycharką "Mazur2".

Badania kontrolne zagęszczenia wykonano w każdym pasie i przekroju. Ciężar objętościowy gruntu oznaczono metodą wykopów z pomiarem objętości wykopu wielkowymiarowym aparatem przeponowym oraz folią i wodą. Wilgotność gruntu określano metodą suszenia [163].

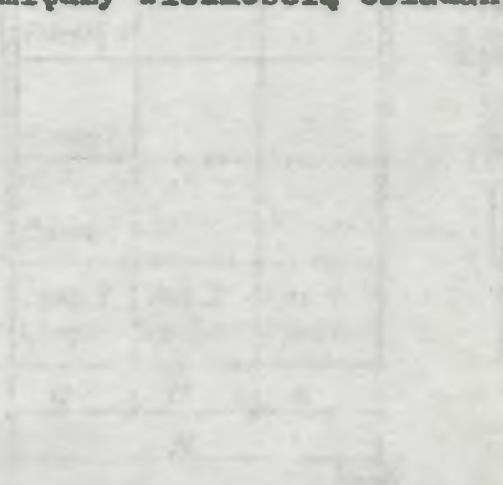
#### 4. Badania przeprowadzone na budowie zapory w Dobczycach

Badania wykonano na poletku doświadczalnym /rys.3/ usypanym z gruntu za pomocą samochodów wywrotek i wyrównanym spycharką; powierzchnia poletka z jednostajnym spadkiem od 1,20-0,40 m. Zagęszczenie gruntu o uziarnieniu podanym na rys.4 przeprowadzono walcem wibracyjnym o ciężarze 12 T produkcji NRD przy średnim zakresie częstości drgań. Zagęszczono 3 pasy poletka o szerokości 5 m każdy, dając odpowiednio na każdy pas 2, 4 i 8 przejazdów walca ciągnionego spycharką.

Kontrolę zagęszczenia przeprowadzono metodą niwelacyjną i

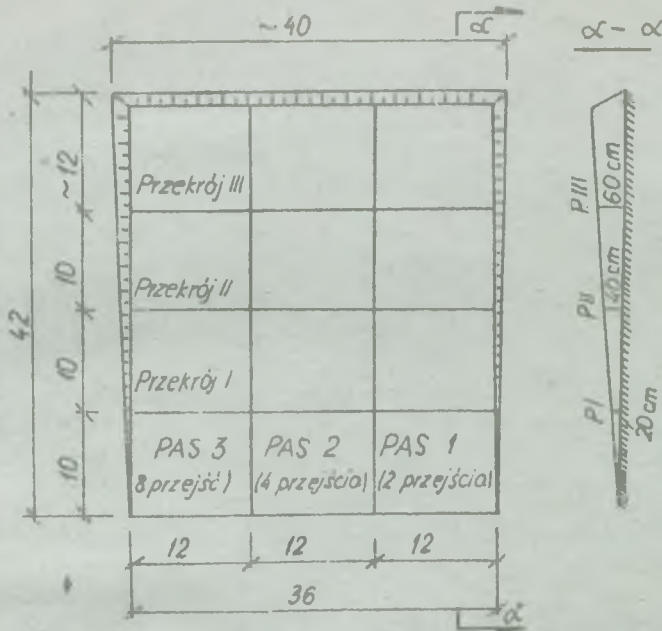
metodą wykopów z zastosowaniem do pomiaru objętości wykopu folii i wody.

Pomiary niwelacyjne osiadań gruntu usypanego na poletku nie dały pozytywnych rezultatów, gdyż nie otrzymano logicznych zależności pomiędzy wielkością osiadań, a ilością przejeżdżającego walca.

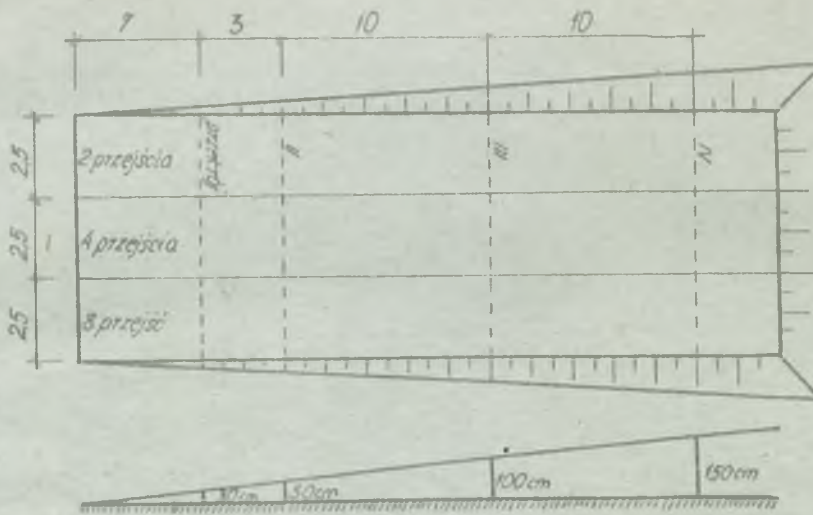


Rys. 1. Wymiary i przekrój walca doświadczalnego w Wałku - Czerwień.



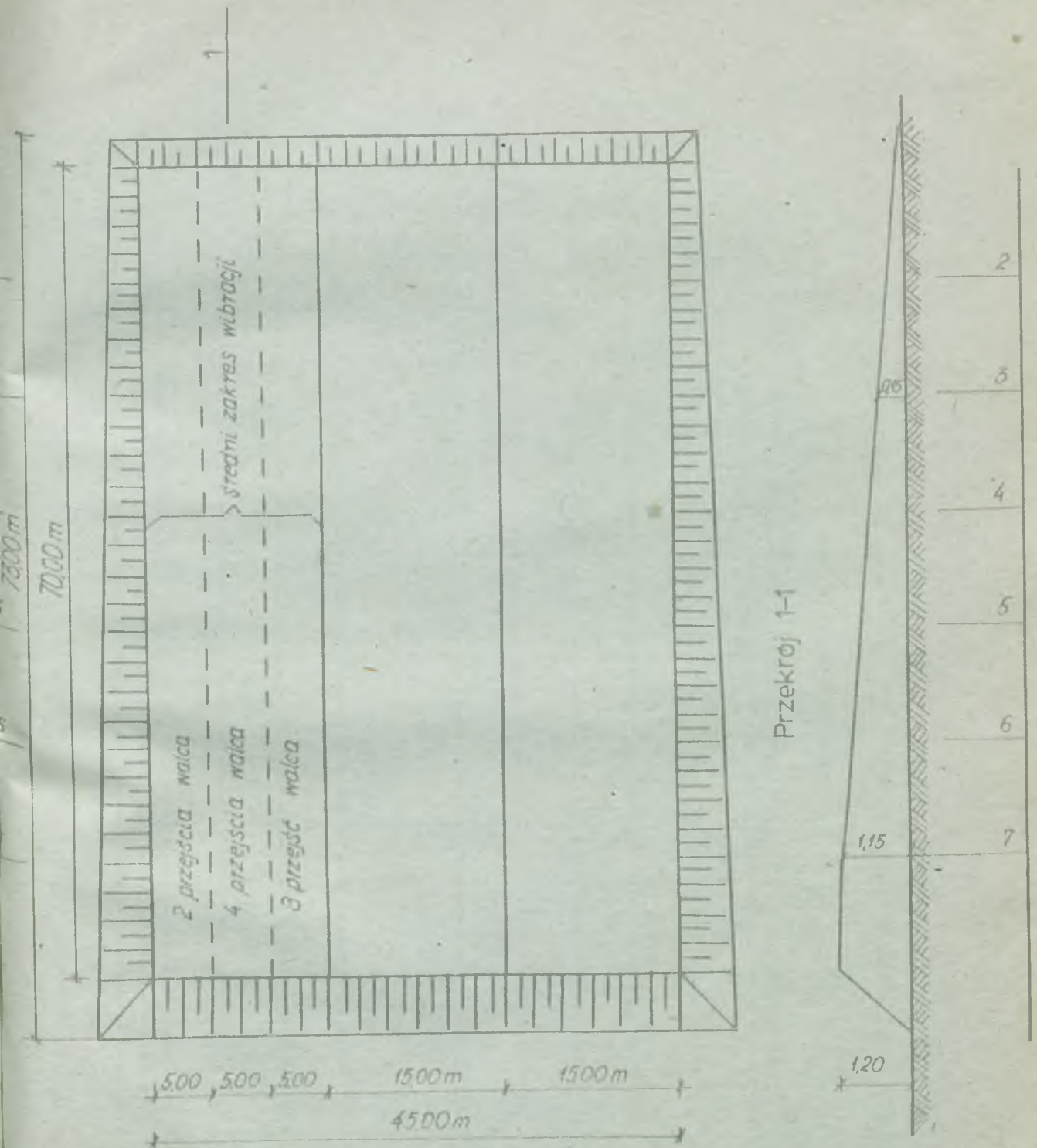


Rys. 1. Wymiary i przekrój poletek doświadczalnych w Wisle—Czarnem.

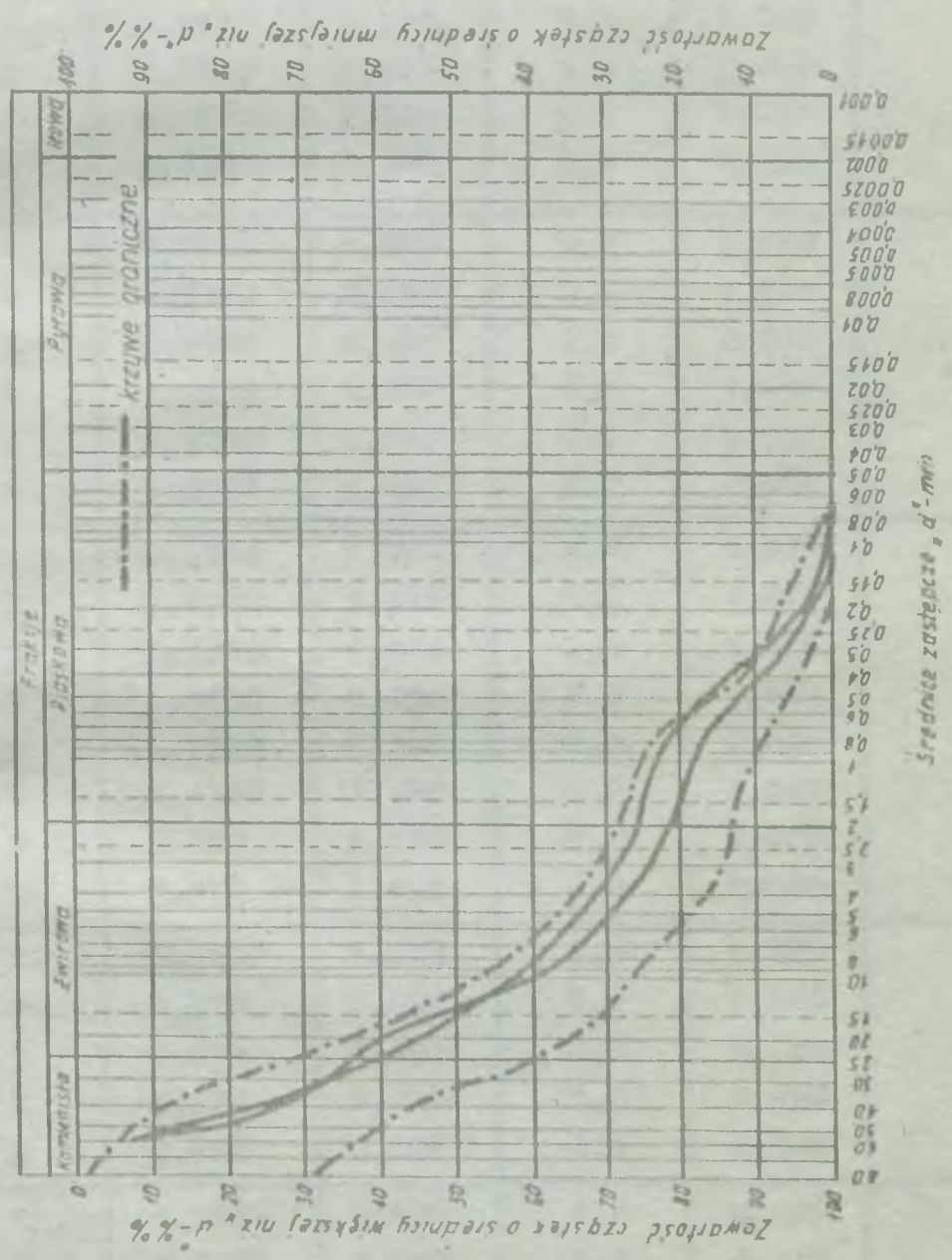


Rys. 2. Plan i przekrój poletka doświadczalnego wykonanego na korpusie zapory w Głębinowie.





rys. 3. Plan i przekrój poletka doświadczalnego w Dobczycach.



Rys. 4. Krzywe uziarnienia gruntu z poletka doświadczalnego w Dobczycach.



## Załącznik 6.1

Zestawienie wyników badań wpływu wielkości wykopu na ciężar objętościowy gruntu gruboklastycznego z Tresnej

Lp. w serii	Objętość wykopu m <sup>3</sup>	$\gamma$ T/m <sup>3</sup>	Wilgot- ność %	$\gamma_d$ T/m <sup>3</sup>	Oznaczenia na rys. 6.9.
1	0,1125	1,990	5,4	1,889	
2	0,2495	2,170	5,9	2,048	
3	0,5640	2,160	5,1	2,055	x
4	1,2360	2,160	6,7	2,024	
1	0,2840	1,980	5,9	1,870	
2	0,5250	2,060	5,9	1,945	
3	0,9486	2,147	6,7	2,012	
4	1,5000	2,181	6,7	2,044	□
5	2,4075	2,263	6,7	2,121	
6	3,3048	2,185	6,7	2,048	
1	0,1315	1,950	5,4	1,850	
2	0,2722	1,910	6,0	1,800	
3	0,5980	1,970	6,0	1,860	
4	1,3500	2,030	6,0	1,915	○
5	1,7700	2,150	6,0	2,030	
6	2,1350	2,140	6,0	2,020	
7	3,320	2,130	6,0	2,010	
8	3,570	2,130	6,0	2,010	
1	0,1240	1,923	6,6	1,805	
2	0,543	2,038	6,6	1,910	
3	1,014	2,291	6,6	2,150	△
4	1,972	2,224	6,6	2,090	
5	3,768	2,239	6,6	2,100	
1	1,3250	2,240	6,2	2,109	
2	1,3290	2,250	6,2	2,119	
3	1,3670	2,199	6,2	2,071	.
4	1,8766	2,200	6,7	2,060	
5	2,2280	2,110	6,4	1,983	



**BIBLIOTEKA GŁÓWNA**

Politechniki Warszawskiej

**C.069360/02**



400000000283996

**BG Magazyn  
Podstawowy**