

**INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW**  
**LABORATORIUM GEOTECHNIKI**  
**03-302 Warszawa, ul. Gołędzinowska 10**  
tel. (0 22) 811 14 46, tel. / fax. (0 22) 814 53 16

---

**BADANIE I USTALENIE**  
**ZALEŻNOŚCI KORELACYJNYCH**  
**DLA OCENY STANU ZAGĘSZCZENIA I NOŚNOŚCI**  
**GRUNTÓW NIESPOISTYCH**  
**PŁYTĄ DYNAMICZNĄ**

Kierownik tematu:

**mgr inż. Mirosław Szpikowski**

Opracował zespół:

**mgr inż. Marcin Dreger**  
**inż. Tomasz Kapica**  
**inż. Mieczysław Przygoda**  
**mgr inż. Mirosław Szpikowski**

Kierownik Zakładu

**mgr inż. Cezary Kraszewski**

**techn. Rafał Drózdź**

**techn. Marcin Dąbrowski**  
**techn. Tadeusz Tokarczyk**  
**techn. Marzenna Har**  
**techn. Michał Mitrut**  
**techn. Piotr Żuławnik**

Współpraca i konsultacje naukowe:

**prof. dr hab. inż. Leszek Rafalski**

Warszawa, listopad 2005 r.

# ZADANIE I

STYCZEŃ – GRUDZIEŃ 2004 r.

## Spis treści

	Strona
1. Wstęp .....	3
2. Cel i zakres pracy .....	4
3. Analiza istniejących metod badawczych określania nośności gruntów i zagęszczenia podłoża gruntów wbudowywanych warstwowo	5
3.1 Badanie zagęszczenia metodą oznaczania wskaźnika zagęszczenia $I_s$ .....	5
3.1.1 Oznaczanie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej wg Proctora .....	5
3.1.1a Przygotowanie próbek do oznaczenia .....	7
3.1.1b Wykonanie oznaczenia .....	8
3.1.1c Obliczanie wyników .....	10
3.1.2 Metody badań wskaźnika zagęszczenia i zakres ich stosowania .....	12
3.1.2a Oznaczenie gęstości objętościowej przy użyciu wciskanego cylindra lub pierścienia .....	13
3.1.2b Oznaczenie gęstości objętościowej przy użyciu objętościomierza wodnego .....	14
3.1.2c Oznaczenie gęstości objętościowej przy użyciu objętościomierza piaskowego .....	15
3.1.3 Obliczenie wskaźnika zagęszczenia .....	17
3.2 Badanie płytą naciskową .....	17
3.2.1 Wykonanie oznaczenia .....	19
3.2.1a Oznaczenie pierwotnego modułu odkształcenia $E_1$ .....	19
3.2.1b Oznaczenie wartości wtórnego modułu odkształcenia $E_2$ .....	20
3.2.1c Obliczanie wyników .....	20
3.2.1d Wskaźnika zagęszczenia $I_s$ a wtórny moduł odkształcenia .....	22
3.3 Sondowanie dynamiczne .....	24
3.3.1 Sposób przeprowadzania badania .....	24
3.3.2a Interpretacja wyników sondowań w przypadku kontroli nasypów zasypek gruntowych .....	25

---

3.4	Kontrola zagęszczenia metodą badania dynamicznego modułu nośności .....	26
3.4.1	Elementy płyty dynamicznej .....	27
3.4.2	Przeprowadzenie badania i wyznaczenie wartości .....	30
3.4.3	Wykonanie oznaczenia w trybie pomiaru .....	32
3.4.4	Zastosowanie urządzenia .....	34
4.	Dane zbiorcze dotyczące przeprowadzonych badań terenowych .....	37
4.1	Badania wbudowanej mieszanki z kruszywa łamanego dolomitowego o uziarnieniu 0 / 31,5 .....	37
4.2	Badania wbudowanego w nasyp kruszywa z łupka przywęglowego przepalonego i nie przepalonego .....	39
4.3	Analiza wyników badań zależności między wynikami uzyskanymi z płyty dynamicznej i statycznej .....	43
5.	Program i plan badań dla określenia zależności korelacyjnych pomiędzy metodą statyczną (VSS) a metodą dynamiczną .....	44
5.1	Program badań .....	44
5.2	Plan realizacji badań .....	48
6.	Terenowe stanowisko badawcze .....	49
6.1	Założenia ogólne .....	49
6.2	Lokalizacja i opis stanowiska badawczego .....	49
6.3	Wbudowanie badanego gruntu .....	51
6.4	Weryfikacja poletka badawczego .....	53
7.	Rodzaje gruntów podlegające badaniu .....	55
8.	Badania wykonane dla wybranych rodzajów gruntów niespoistych na wykonanych poletkach doświadczalnych .....	60
8.1	Raport z pierwszej grupy badań .....	60
8.2	Wyniki przeprowadzonych badań .....	62
9.	Wnioski .....	71
10.	Bibliografia .....	72
11.	Załącznik nr1 Zestawienie wyników badań	

---

## **1. Wstęp**

W związku ze wzrostem tempa budowy dróg i infrastruktury drogowej powstało zapotrzebowanie na nowsze i bardziej uniwersalne metody kontroli robót.

Od kilku lat niektóre laboratoria drogowe w Polsce oceniają stan zagęszczenia z zastosowaniem płyty dynamicznej. Ze względu na krótki czas trwania badania (około 3 minuty) urządzenie pozwala na szybką kontrolę zagęszczenia dużych powierzchni. Obecnie powszechnie stosowane metody kontroli zagęszczenia posiadają wiele wad. Przykładem jest lekka sonda udarowa, za pomocą której nie można badać cienkich warstw lub aparat VSS, którego stosowanie wymaga dużego nakładu czasu oraz angażowania samochodu ciężarowego jako przeciwwagi. Płyta dynamiczna z uwagi na liczne zalety: niewielki ciężar, krótki czas badania, samowystarczalność urządzenia jest coraz częściej stosowanym urządzeniem na polskich budowach. Kontrola zagęszczenia płytą dynamiczną opiera się na pewnej zależności pomiędzy zagęszczeniem lub nośnością warstwy, a jej ugięciem. W tym celu konieczne jest ustalenie odpowiednich współczynników korelacji, umożliwiających określenie nośności badanej warstwy lub jej wskaźnika zagęszczenia na podstawie wyniku uzyskanego z badania płytą dynamiczną. Współczynniki korelacji mają charakter regionalny i zależne są od rodzaju wykorzystywanych materiałów.

W dzisiejszych czasach wykonawcom stawia się bardzo wysokie wymagania odnośnie jakości robót przy jednoczesnym zapewnieniu ich tempa, co determinuje rozwój także w dziedzinie technik badawczych. Płyta dynamiczna ma szansę stać się powszechnym urządzeniem kontrolnym pod warunkiem opracowania wytycznych stosowania oraz interpretacji wyników w polskich warunkach.

## **2. Cel i zakres pracy**

Bezpośrednie badanie zagęszczenia podłoża gruntowego bądź warstw konstrukcyjnych jest zbyt czasochłonne. Z tego względu w ostatnim czasie kontynuowane są prace mające na celu znalezienie szybkich i stosunkowo dokładnych metod bieżącej kontroli zagęszczenia gruntów. Jednym z kierunków jest wykorzystanie do tego celu lekkiego ugięciomierza dynamicznego czyli płyty dynamicznej. Zasada działania lekkiego ugięciomierza dynamicznego polega na wywołaniu krótkotrwałego impulsu siłowego, spowodowanego uderzeniem obciążnika spadającego z określonej wysokości. Jest to pewnego rodzaju symulacja warunków obciążenia podłoża kołami poruszającego się pojazdu.

Ponieważ istnieje współzależność pomiędzy zagęszczeniem a odkształcalnością gruntu, na podstawie parametrów charakteryzujących odkształcalność można ustalić stan zagęszczenia. Celem pierwszego i drugiego etapu pracy jest zbadanie korelacji między wynikami badań uzyskanymi z płyty dynamicznej, a wynikami badań z oznaczenia modułu odkształcenia lub wskaźnika zagęszczenia, a następnie opracowanie w drugim etapie instrukcji stosowania płyty dynamicznej w budownictwie drogowym. Brak tych korelacji uniemożliwia obecnie stosowania płyty dynamicznej na szeroką skalę, ponieważ wymagania odnośnie zagęszczenia odnoszą się do badania wskaźnika zagęszczenia lub odkształcenia. Pracę zrealizowano na podstawie studiów literatury i badań własnych.

W etapie pierwszym zrealizowano następujące zadania:

- dokonano analizy istniejących metod badawczych określania nośności i zagęszczania podłoża gruntów wbudowywanych warstwowo,
- zebrano dane z dotychczas przeprowadzonych badań terenowych,
- opracowano program badań umożliwiających opracowanie zależności korelacyjnych pomiędzy metodą statyczną a metodą dynamiczną,
- zaprojektowano i wykonano terenowe stanowisko badawcze, wyspecyfikowano rodzaje gruntów niespoistych podlegających badaniu,
- na poletku doświadczalnym przeprowadzono badania dla dwóch z dwunastu zaplanowanych do badań gruntów.

### **3. Analiza istniejących metod badawczych określania nośności i zagęszczenia podłoża gruntów wbudowywanych warstwowo**

W świetle normatywów europejskich zagęszczenie bada się poprzez określenie wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  lub stopnia zagęszczenia  $I_D$ . Alternatywnie, zagęszczenie można określać na podstawie wskaźnika odkształcenia  $I_o$  równego stosunkowi modułów odkształcenia wtórnego  $E_2$  do pierwotnego  $E_1$  [1]. Badanie to jest zalecane zwłaszcza w przypadku badania warstw wykonanych z materiałów gruboziarnistych oraz tam, gdzie wymagane jest określenie nośności warstwy.

#### **3.1 Badanie zagęszczenia metodą oznaczania wskaźnika zagęszczenia $I_s$**

Wskaźnik zagęszczenia jest stosunkiem gęstości objętościowej szkieletu gruntowego materiału w zagęszczonej warstwie do maksymalnej gęstości objętościowej tego materiału oznaczonej metodą Proctora. Wskaźnik zagęszczenia oznaczany jest jako liczba niemianowana lub wartość procentowa.

Podstawą do oznaczenia wskaźnika zagęszczenia jest określenie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego oraz wilgotności optymalnej dla danego materiału. Maksymalna gęstość objętościowa  $\rho_{d \max}$  jest to gęstość, którą materiał uzyskuje przy optymalnym „ułożeniu” ziaren gruntu, czyli w stanie najmniejszej objętości przy przekazaniu na grunt określonej energii podczas zagęszczania.

Wilgotność optymalna  $w_{opt}$  jest to wilgotność, przy której grunt uzyskuje maksymalną gęstość szkieletu gruntowego w procesie zagęszczania. Wilgotność optymalna stanowi dla wykonawcy informację odnośnie warunków zagęszczania. Ponieważ warunki laboratoryjne nie zawsze są adekwatne do warunków budowy, zaleca się wykonanie poletka doświadczalnego z zastosowaniem używanego sprzętu zagęszczającego w celu określenia wilgotności technologicznej w granicach  $0,8 \div 1,2 w_{opt}$ .

##### **3.1.1 Oznaczanie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej wg Proctora.**

Wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego oznacza się w warunkach laboratoryjnych. Badanie polega na zagęszczeniu gruntów w znormalizowany sposób przy różnych jego wilgotnościach. Zagęszczalność gruntów to zdolność do uzyskiwania maksymalnych możliwych gęstości objętościowych szkieletu gruntowego w zależności od użytej energii

zagęszczenia i sposobu jej użycia, oraz rodzaju gruntu i jego wilgotności. Aparat Proctora (rys. 3.1) pozwala nam ustalić maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego  $\rho_{d \max}$  oraz wilgotność optymalną  $w_{opt}$  dla każdego rodzaju gruntu, który spełnia warunek  $5 d_{max} < \text{średnica cylindra w aparacie Proctora}$ . Dla gruntów o większym uziarnieniu zaleca się stosowanie aparatów wielkowymiarowych.



Rys. 3.1 Widok aparatu Proctora

Wartości:  $w_{opt}$  i  $\rho_{d \max}$  uzyskane dla określonego gruntu określone są według jednej z następujących metod.

Metody oznaczania: w zależności od wielkości energii użytej do zagęszczenia, która dla metody normalnej wynosi  $0,59 \text{ [J/cm}^3\text{]}$  natomiast dla metody zmodyfikowanej  $2,65 \text{ [J/cm}^3\text{]}$ , wielkości cylindra, ilości ubijanych warstw, ilości uderzeń ubijaka oraz wysokości jego spadania rozróżnia się cztery (I, II, III i IV) metody. Metoda I i II, to



metody normalne, metoda III i IV to metody zmodyfikowane. Wybór metody zależy od wielkości ziaren badanego materiału oraz przyjętego programu badań.

### **3.1.1.a Przygotowanie próbek do oznaczenia**

Masa próbki gruntu przeznaczonego do oznaczenia wynosi w stanie powietrzno suchym  $2,5 \div 3 \text{ kg}$  na  $1 \text{ dm}^3$  objętości cylindra użytego do oznaczenia. Przygotowuje się trzy takie próbki, a grunt z każdej z nich rozdrabnia i przesiewa przez sito o boku oczka kwadratowego 6 mm, w przypadku stosowania do oznaczenia małego cylindra, a przez sito o boku oczka kwadratowego 10 mm w przypadku dużego cylindra. Pozostałości na sicie waży się i oznacza ich procentową zawartość w próbce. Następnie przesianą część próbki miesza się z wodą destylowaną lub pitną w ilości  $60 \text{ cm}^3$  dla gruntów niespoistych (sympkich) lub w ilości  $100 \div 150 \text{ cm}^3$  dla gruntów spoistych, licząc na  $1 \text{ dm}^3$  objętości użytego cylindra. Po dokładnym wymieszaniu próbki gruntu z wodą umieszcza się ją w szczelnie zamkniętym naczyniu, na co najmniej 15 h [ 2 ].



Rys. 3.2 Ubijana próbka

### **3.1.1.b Wykonanie oznaczenia**

Przygotowaną próbkę gruntu ubija się stosując liczbę uderzeń i liczbę układanych warstw gruntu w zależności od rodzaju przyjętej metody oznaczenia [ 2 ]. Ilość gruntu przypadającego na poszczególne warstwy dobiera się tak, aby po ubiciu ostatniej warstwy ubity grunt wystawał  $5 \div 10$  mm ponad górną krawędź cylindra. Przed ułożeniem kolejnej warstwy gruntu do cylindra powierzchnię poprzednio ubitej warstwy zdrapuje się (rysuje) ostrzem noża. Po ułożeniu każdej warstwy gruntu powierzchnię wyrównuje się i przed przystąpieniem do ubijania lekko ugniata. Każda warstwa gruntu powinna być równomiernie zagęszczona taką liczbą uderzeń ubijaka i opadającego z takiej wysokości, jaka jest przewidziana dla danej metody. W czasie ubijania (rys. 3.2) gruntu cylinder powinien stać na sztywnym podłożu.



Rys. 3.3 Ważenie cylindra z gruntem

Po ubiciu ostatniej warstwy nadmiar gruntu ścina się linią prowadzącą od środka ku krawędzi, a następnie waży cylinder z gruntem (rys. 3.3) i określa gęstość objętościową gruntu  $\rho$  według wzoru:

$$\rho = \frac{m_{wt} - m_t}{V} \quad (3.1)$$

gdzie:  $\rho$  - gęstość objętościowa zagęszczonego gruntu [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],

$m_{wt}$  - masa cylindra z gruntem [g],

$m_t$  - masa pustego cylindra [g],

$V$  - objętość cylindra [ $\text{cm}^3$ ] [2].

Po wyjęciu próbki z cylindra oznacza się średnią wilgotność (rys. 3.4) zagęszczonego gruntu według wzoru:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100 \quad (3.2)$$

gdzie:  $w$  - wilgotność [%],

$m_w$  - masa wody zawarta w próbce gruntu [g],

$m_s$  - masa suchego gruntu [g].

Gęstość objętościową szkieletu gruntowego  $\rho_d$  wyznacza się według wzoru:

$$\rho_d = \frac{100\rho}{100 + w} \quad (3.3)$$

gdzie:  $\rho_d$  - gęstość objętościowa szkieletu gruntowego [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],

$\rho$  - gęstość objętościowa gruntu [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],

$w$  - wilgotność [%] [2].



Rys.3.4 Oznaczanie wilgotności

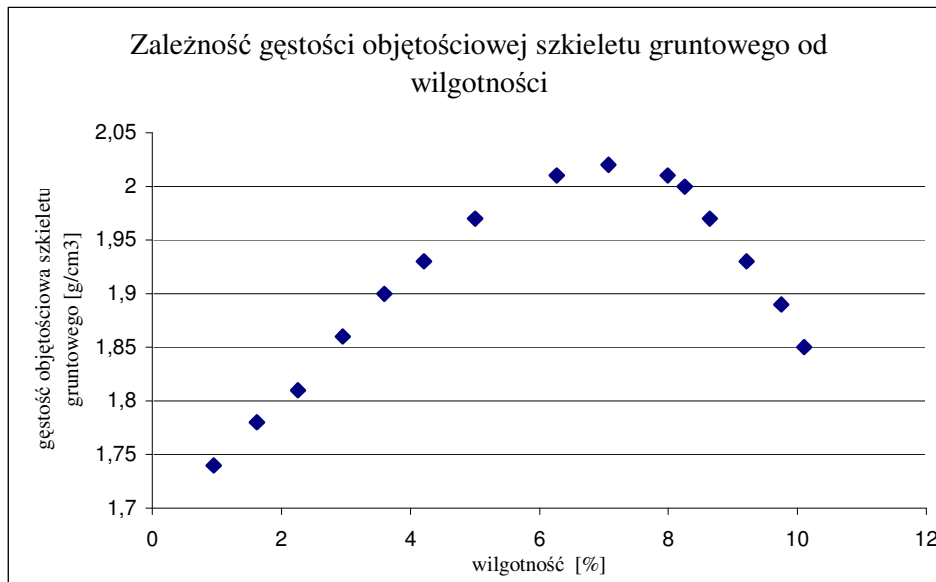
Następnie grunt rozdrabnia się i dodaje tyle wody, aby wilgotność gruntu zwiększyła się o  $1 \div 2$  %. Po zwiększeniu wilgotności, grunt ponownie umieszcza się w cylindrze i ubija jak poprzednio.

Czynności te powtarza się do chwili, gdy masa cylindra z gruntem zacznie się zmniejszać.

Dopuszcza się najwyżej pięciokrotne zagęszczanie tej samej próbki gruntu. Nie należy wykonywać badań w przypadkach, gdy z badanego gruntu wycieka grawitacyjnie woda lub woda pokrywa powierzchnię gruntu w cylindrze [ 2 ].

### **3.1.1.c Obliczanie wyników**

Po oznaczeniu wilgotności i gęstości objętościowej szkieletu gruntowego sporządza się wykres zależności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności (rys. 3.5).



Rys. 3.5 Wykres zależności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od wilgotności

Jako wilgotność optymalną przyjmuje się wartość wilgotności, która odpowiada maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. Wartości odczytane z wykresu podaje się z następującą dokładnością:  $\rho_{d \max}$  [g/cm<sup>3</sup>] – do trzech miejsc po przecinku;  $w_{opt}$  [%] – do jednego miejsca po przecinku.

Jeżeli masa odsianych z próbki grubych ziaren jest większa od 5 % i mniejsza niż 25 % całkowitej masy szkieletu gruntowego próbki, to wartości wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego koryguje się wg wzorów:

$$w_{opt} = (1 - x)w'_{opt} \quad (3.4)$$

$$\rho_{d \max} = \frac{\rho_s \rho'_{d \max}}{\rho_s - x(\rho_s - \rho'_{d \max})} \quad (3.5)$$

gdzie:

$w'_{opt}, \rho'_{d \max}$  – wartość otrzymana z wykresu,

$x$  – stosunek masy usuniętych ziaren (grubszych) do masy szkielet całej próbki,

$\rho_s$  – gęstość właściwa szkieletu gruntowego

Jeżeli masa odsianych ziaren jest mniejsza niż 5 % całkowitej masy szkieletu gruntowego próbki wartości wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego określa się wg wzorów [2]:

$$W_{opt} = W'_{opt} \quad (3.6)$$

$$\rho_{d\max} = \rho'_{d\max} \quad (3.7)$$

### 3.1.2 Metody badań wskaźnika zagęszczenia i zakres ich stosowania

Badanie wskaźnika zagęszczenia stosuje się głównie dla robót ziemnych wykonywanych z gruntów o różnym stopniu uziarnienia, w małym zakresie dla warstw wykonanych z materiałów gruboziarnistych.

Metody badań wskaźnika zagęszczenia różnią się sposobem oznaczenia objętości pobranej próbki zagęszczonego gruntu. Oznaczenie to wykonuje się jedną z niżej wymienionych metod:

- a) przy użyciu objętościomierza piaskowego (rys. 3.9),
- b) przy użyciu objętościomierza wodnego (rys. 3.7 i 3.8),
- c) przy użyciu wciskanego cylindra lub pierścienia (rys. 3.6).

Do pomiaru objętości stosuje się także inne metody np. pomiar zaczynem gipsowym. Jest to jednak ze względu na uciążliwość sposób rzadko stosowany. Próbkę gruntów pobiera się zwykle za pomocą cylindra wciskanego o pojemności około 1 litra. Sposób ten jest stosowany głównie przy badaniu zagęszczenia piasków. Najbardziej dokładną metodą oceny zagęszczenia pozostałych gruntów jest metoda objętościomierza wodnego. Badanie z użyciem piasku kalibrowanego jest stosowane coraz rzadziej ze względu na mniejszą niż w przypadku wody dokładność przy określaniu gęstości samego piasku.

Objętościomierz piaskowy stosuje się do wszystkich rodzajów gruntów o uziarnieniu  $d_{90} \leq 20\text{mm}$ , natomiast cylinder (pierścień) wciskany - do gruntów drobnoziarnistych  $d_{90} \leq 2\text{mm}$ . Zakres stosowania objętościomierza wodnego zależy od jego pojemności. W przypadku objętości normowej, czyli 2,5 litra (rys. 3.7) objętościomierz wodny można stosować do wszystkich gruntów o uziarnieniu  $d_{90} \leq 20\text{mm}$  natomiast przy zastosowaniu objętościomierza o pojemności 10 litrów (rys. 3.8) pomiaru można dokonać we wszystkich gruntach o uziarnieniu  $d_{90} \leq 31,5\text{mm}$  gdzie

$d_{90}$  oznacza średnicę zastępczą ziarna, poniżej której w gruncie zawarte jest wagowo 90 % ziaren. Objętościomierza wodnego nie należy stosować do gruntów ściśliwych [3].

### **3.1.2.a Oznaczenie gęstości objętościowej przy użyciu wciskanego cylindra lub pierścienia**

Powierzchnię gruntu w badanym miejscu wyrównuje się łopata, aby zapewnić dokładne wypełnienie górnej części cylindra gruntem. Następnie zagłębia się objętościomierz w przygotowanym podłożu. Po całkowitym zagłębieniu cylindra odstawia się jego zewnętrzną część za pomocą łopatki i wyjmuje z podłoża, uważając, aby grunt się nie wysypał powierzchnię gruntu w cylindrze wyrównuje się. Grunt wyjęty z cylindra zabezpiecza się szczelnie w zamkniętym woreczku foliowym [13] lub pojemniku. W laboratorium oznacza się masę i wilgotność gruntu pobranego z dołka.



Rys. 3.6 Cylinder wciskany

### **3.1.2.b Oznaczenie gęstości objętościowej przy użyciu objętościomierza wodnego**

Powierzchnię gruntu w badanym miejscu wyrównuje się łopatą, a następnie przykłada się szablon tak, aby przylegał na całej powierzchni do gruntu. Na szablonie ustawia się objętościomierz napełniony wodą i wykonuje się I pomiar objętości. Po zdjęciu objętościomierza z podstawki wykonuje się w gruncie dołek, o kształcie zbliżonym do stożka ściętego i głębokości równej  $1,0 \div 1,5$  średnicy. Następnie wykonuje się II pomiar objętości wypełniając szczelnie dołek balonikiem z wodą. Objętość dołka  $V_d$  oblicza się z różnicy pomiarów II i I [13] [14]. W laboratorium określa się masę i wilgotność gruntu pobranego z dołka .



Rys. 3.7 Objętościomierz wodny o poj. 2,5 litra





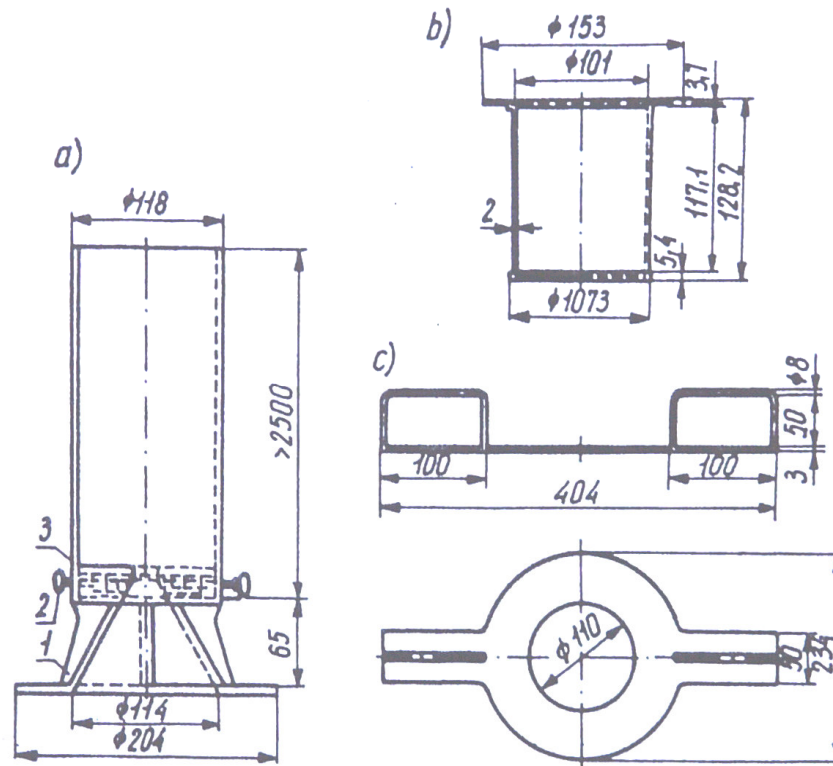
Rys. 3.8 Objętościomierz wodny o pojemności 10 litrów

### 3.1.2.c Oznaczenie gęstości objętościowej przy użyciu objętościomierza piaskowego

Piasek kalibrowany: piasek naturalny przemyty, wysuszony i odsiany, o ziarnach okrągłych, przechodzący bez reszty przez sito o boku oczka kwadratowego 2 mm i pozostający na sicie o boku oczka kwadratowego 1 mm lub przechodzący bez reszty przez sito o boku oczka kwadratowego 1 mm i pozostający na sicie o boku oczka kwadratowego 0,5 mm [ 13 ].

Powierzchnię gruntu w badanym miejscu wyrównuje się łopata. Na wyrównanej powierzchni gruntu ustawia się szablon zaznaczając na gruncie ślad okręgu zewnętrznego, a w obrębie wewnętrznego okręgu szablonu wykonuje się dołek, pobierając łyżką do pojemnika około 1 dm<sup>3</sup> gruntu. Po wybraniu gruntu z dołka, który powinien mieć kształt zbliżony do walca lub stożka ściętego, o głębokości równej 1,0 ÷ 1,5 średnicy, zdejmuje się szablon, a nad dołkiem umieszcza się objętościomierz z piaskiem kalibrowanym (rys.3.9) w taki sposób, aby jego podstawa znajdowała się wewnątrz zaznaczonego śladu okręgu i otwiera się zasuwkę. Po wypełnieniu dołka i stożka objętościomierza piaskiem kalibrowanym zamyka się zasuwkę, a

objętościomierz z pozostałym piaskiem waży się. W laboratorium określa się masę i wilgotność gruntu pobranego z dołka.



Rys. 3.9 Objętościomierz piaskowy

a) objętościomierz, b) pojemnik, c) szablon;

1- podstawa aluminiowa, 2- zasuwka mosiężna, 3- płytka mosiężna (dno cylindra)

Objętość dołka  $V_d$  oblicza się ze wzoru:

$$V_d = \frac{M_1 - M_2 - M_3}{\rho_{pk}} \quad (3.8)$$

gdzie:

$M_1$  – masa objętościomierza z piaskiem kalibrowanym przed wypełnieniem dołka,

$M_2$  – masa objętościomierza z piaskiem kalibrowanym po wypełnieniu dołka,

$M_3$  – masa piasku kalibrowanego w stożku

$\rho_{pk}$  – gęstość objętościowa piasku kalibrowanego [g/cm<sup>3</sup>]

### 3.1.3 Obliczenie wskaźnika zagęszczenia

Niezależnie od sposobu pomiaru gęstości objętościowej gruntu in situ wskaźnik zagęszczenia oblicza się wg wzoru:

$$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{d \max}} \quad (3.9)$$

gdzie:

$I_s$  – wskaźnik zagęszczenia gruntu – liczba niemianowana,

$\rho_d$  – gęstość objętościowa szkieletu gruntowego [g/cm<sup>3</sup>] (3.3)

$\rho_{d \max}$  – maksymalna gęstość objętościowa

szkieletu gruntowego [g/cm<sup>3</sup>] (3.3)

Wynik należy podać z dokładnością do dwóch cyfr po przecinku [13].

## 3.2 Badanie płytą naciskową

Do roku 1978 w Polsce badanie płytą naciskową stosowano wyłącznie do oznaczania modułu odkształcenia  $E$  poszczególnych warstw robót ziemnych i konstrukcji nawierzchni. Po wydaniu w 1978 przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów wytycznych wykonania i odbioru robót ziemnych dla dróg szybkiego ruchu rozszerzono zakres stosowania metody do oznaczania modułów: pierwotnego  $E_1$ , wtórnego  $E_2$  oraz wskaźnika odkształcenia  $I_o$ .

Sposób obliczeń i zakres obciążeń dla robót ziemnych reguluje norma [1] natomiast dla warstw konstrukcyjnych instrukcja badań [5].

Metoda stosowana jest do kontroli nośności zagęszczenia warstw robót ziemnych i konstrukcji nawierzchni, wykonanych z materiałów o różnym stopniu uziarnienia.

Moduł odkształcenia jest to stosunek przyrostu obciążenia jednostkowego do przyrostu odkształcenia badanej warstwy, w ustalonym zakresie obciążeń jednostkowych, pomnożony przez  $\frac{3}{4}$  średnicy płyty obciążającej [10]. Podczas badania zostają wyznaczone moduły: pierwotny  $E_1$  i wtórny  $E_2$ . Wartość modułów określa się w MPa, z dokładnością w liczbach całkowitych.

Wskaźnik odkształcenia jest ilorazem modułów wyznaczonych we wtórnym i pierwotnym obciążeniu. Podawany z dokładnością do jednej cyfry znaczącej po przecinku. Wskaźnik odkształcenia jest liczbą niemianowaną.

Aparat do oznaczania modułu odkształcenia (rys.3.10) składa się z płyty stalowej o średnicy  $D = 300$  mm z otworem pomiarowym, siłownika połączonego z ręczną pompą olejową wyposażoną w manometr o skali z działką elementarną 0,05 MPa.

W skład zestawu wchodzi czujnik zegarowy z działką elementarną 0,01 mm oraz mostek pomiarowy z przedłużanym ramieniem sondującym i sondą pomiarową. Ponadto aparat wyposażony jest w przegub sferyczny oraz przedłużacz rurowy służący do wstawienia między siłownik a spód przeciwwagi [4].



Rys. 3.10 Aparat VSS do oznaczania modułu odkształcenia

### **3.2.1. Wykonanie oznaczenia**

Badanie płytą obciążającą wymaga zastosowania przeciwwagi do wywołania ciśnienia pod płytę. W tym celu zazwyczaj stosuje się obciążony samochód ciężarowy.

#### **3.2.1.a Oznaczenie pierwotnego modułu odkształcenia $E_1$**

Płytę ustawia się na wyrównanej powierzchni badanej warstwy dociskając rękoma przez kilkakrotny jej obrót, tak by otwór pomiarowy zwrócony był w kierunku sondy mostka pomiarowego. Jeśli powierzchnia nie może być dokładnie wyrównana, to wyrównuje się ją cienką warstwą drobnego suchego piasku. W miarę możliwości jak najdalej przesuwa się mostek pomiarowy i ustawia go tak, aby jego punkty podparcia były w jak największej odległości od płyty i kół pojazdu stanowiącego przeciwwagę. Sondę pomiarową wkłada się do tunelu pomiarowego i doprowadza ją do środka (do występu sondy). Siłownik montuje się na wcześniej ustawionej płycie, a z drugiej strony siłownika wkłada się przedłużacz rurowy wraz z przegubem sferycznym. Czujnik zegarowy umieszcza się w uchwycie, opierając go na ramieniu przyrządu.

Po ustawieniu aparatury uruchamia się pompę zadając wstępne obciążenie 0,02 MPa. Następnie czujnik zegarowy ustawia się w pozycji 0,00 mm. Doprowadzić ciśnienie na badaną warstwę do 0,05 MPa i odczytuje wskazania czujnika zegarowego wynik zapisuje się w formularzu (w załączniku nr 8 przedstawiono formularz roboczy). Wskazania czujnika przy tym samym ciśnieniu, regulowanym od czasu do czasu powolnym ruchem dźwigni pompy, odczytuje się co 2 min. Jeżeli różnica dwóch kolejnych odczytów w odstępie 2 min na czujniku jest mniejsza od 0,05 mm, to wpisuje się odczyt z czujnika zegarowego do formularza i przechodzi na następny stopień obciążenia jednostkowego, większy od poprzedniego o 0,05 MPa, doprowadzając końcowe obciążenie do :

- a) 0,25 MPa – przy badaniu gruntu podłoża lub nasypu,
- b) 0,35 MPa – przy badaniu ulepszonego podłoża [1],
- c) 0,45 MPa – przy badaniu warstw konstrukcyjnych nawierzchni,
- d) 0,55 MPa – przy badaniu całej konstrukcji nawierzchni [5].

Po doprowadzeniu obciążenia do wymaganych wartości przeprowadza się stopniowe odciążenie poprzez regulację zaworem pompy siłownika. Dla poszczególnych wielkości ciśnienia odczytuje się wartości osiadań i sporządza się wykres w celu analizy sposobu odkształcania się badanej warstwy.

### 3.2.1.b Oznaczenie wartości wtórnego modułu odkształcenia $E_2$

Po całkowitym odciążeniu powtórnie zadaje się ciśnienie na badaną warstwę i postępuje jak w przypadku wyznaczania modułu  $E_1$  bez ustawiania czujnika w pozycji 0,00 mm. Ciśnienie końcowe dla wyznaczenia wartości modułu wtórnego dostosowuje się do badanej warstwy [1].

### 3.2.1c Obliczanie wyników

Wartość modułów odkształcenia oblicza się ze wzoru:

$$E_{1,2} = \frac{3 \Delta p}{4 \Delta s} D \quad (3.10)$$

gdzie:

- $E_1$  – pierwotny moduł odkształcenia [MPa],
- $E_2$  – wtórny moduł odkształcenia [MPa],
- $\Delta p$  – przyrost obciążeń [MPa],
- $\Delta s$  – przyrost osiadań odpowiadający przyrostowi obciążeń [mm],
- $D$  – średnica płyty [mm],

w którym:

a) dla podłoża gruntowego

$\Delta p = p_2 - p_1$  - przyrost obciążenia jednostkowego w zakresie od 0,05 MPa do 0,15 MPa,

$\Delta s$  - przyrost odkształcenia odpowiadający temu zakresowi obciążeń jednostkowych ( $\Delta s = s_{0,15} - s_{0,05}$ ), w milimetrach.

b) dla ulepszonego podłoża

$\Delta p = p_2 - p_1$  - przyrost obciążenia jednostkowego w zakresie  
od 0,15 MPa do 0,25 MPa,

$\Delta s$  - przyrost odkształcenia odpowiadający temu zakresowi  
obciążeń jednostkowych ( $\Delta s = s_{0,25} - s_{0,15}$ ), w  
milimetrach.

c) dla warstw konstrukcyjnych

$\Delta p = p_2 - p_1$  - przyrost obciążenia jednostkowego w zakresie  
od 0,15 MPa do 0,25 MPa,

$\Delta s$  - przyrost odkształcenia odpowiadający temu zakresowi  
obciążeń jednostkowych ( $\Delta s = s_{0,25} - s_{0,15}$ ), w  
milimetrach.

d) dla całej konstrukcji

$\Delta p = p_2 - p_1$  - przyrost obciążenia jednostkowego w zakresie  
od 0,25 MPa do 0,35 MPa,

$\Delta s$  - przyrost odkształcenia odpowiadający temu zakresowi  
obciążeń jednostkowych ( $\Delta s = s_{0,35} - s_{0,25}$ ), w  
milimetrach.

Wartość wskaźnika odkształcenia  $I_o$  oblicza się ze wzoru:

$$I_o = \frac{E_2}{E_1} \quad (3.11)$$

gdzie:  $I_o$  - wskaźnik odkształcenia, liczba niemianowana,

$E_1$  - pierwotny moduł odkształcenia [MPa], (3.10)

$E_2$  - wtórny moduł odkształcenia [MPa]. (3.10)

Wartość wskaźnika odkształcenia podaje się z dokładnością do jednej cyfry po przecinku natomiast wartość modułów  $E_1$  i  $E_2$  z dokładnością do 1 MPa.

### 3.2.1d Wskaźnika zagęszczenia $I_s$ a wtórny moduł odkształcenia

Według niektórych badaczy można na podstawie wartości odkształcenia wtórnego  $E_2$  wnioskować o wartości wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  [2] – tabela 4.

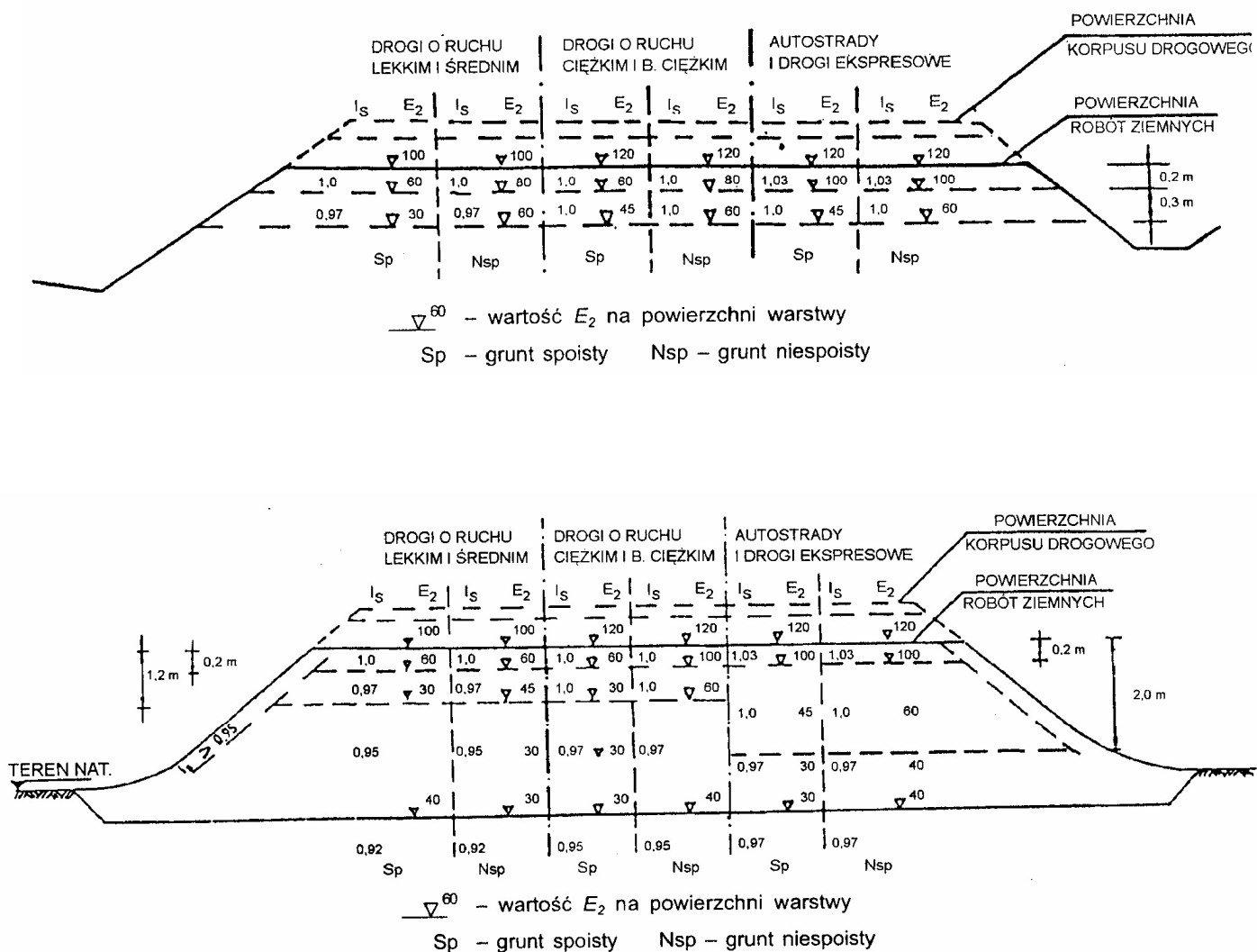
Podobnie przyjęto możliwość oceny wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  w zależności od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  przy wykonawstwie nasypów. Podano również wymagane wartości w podłożu wykopów wg [1]. Kryteria te przedstawiono na rys. 3.11.

**Tabela 4**

**Zależność wskaźnika zagęszczenia  $I_s$   
od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  wg [2]**

Rodzaj gruntu	Moduł „ $E_2$ ” [MPa]	Wskaźnik zagęszczenia $I_s$
Grunty spoiste	20	0,92
Grunty spoiste	30	0,97
Piaski równoziarniste	45	0,95
Piaski równoziarniste	60	1,00
Pospółki różnoziarniste	70	0,95
Pospółki różnoziarniste	100	1,00
Pospółki różnoziarniste	120	1,03





**Rys. 3.11 Wymagania stawiane warstwom konstrukcyjnym  
i warstwom podłoża gruntowego według [1]  
w nasypach i wykopach**

### 3.3 Sondowanie dynamiczne

Stopień zagęszczenia dla gruntów niespoistych oblicza się ze wzoru [11]:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (3.12)$$

gdzie:

$e_{\max}$  – wskaźnik porowatości przy najluźniejszym położeniu ziaren,

$e_{\min}$  – wskaźnik porowatości przy najgęstszym położeniu ziaren,

$e$  – wskaźnik porowatości w stanie naturalnym.

W terenie stopień zagęszczenia można ustalić za pomocą sondy z końcówką stożkową. Na podstawie badań ustalono zależność stopnia zagęszczenia od liczby uderzeń. Kontrola zagęszczenia za pomocą sondowania dynamicznego polega na oznaczaniu stopnia zagęszczenia  $I_D$ .

#### 3.3.1 Sposób przeprowadzania badania

Sondowanie lekką sondą udarową wykonuje się w sposób ciągły, ze stałą częstotliwością uderzeń nie większą niż co 2 s., a liczbę uderzeń na każde 10 cm zapisuje się na druku roboczym – karcie sondowania. Po zagłębieniu sondy o każdy 1 m wykonuje się 1,5 obrotu żerdzi wokół osi. Następnie dokręca się kolejną żerdź i postępuje analogicznie jak w przypadku pierwszej żerdzi. Sondowanie można zakończyć, jeśli osiągnie się projektowaną głębokość lub gdy liczba uderzeń na 2 – 3 kolejnych odcinkach wpędu sondy jest większa od 60 uderzeń. Sondowanie kontynuuje pomimo osiągnięcia projektowanej głębokości, jeżeli liczba uderzeń zaczyna znacznie maleć. Wszystkie przerwy dłuższe niż 5 minut notuje się na druku roboczym [12].

Na liczbę uderzeń sondy ( $N_k$ ) ma wpływ wiele czynników, między innymi rodzaj genetyczny gruntu, uziarnienie, kształt ziaren, typ mineralny, nasycenie wodą, porowatość. W związku z tym konieczne jest opracowanie regionalnych interpretacji sondowań, gdyż badania przeprowadzone w różnych pod względem genetycznym i wiekowym gruntach wykazały odmienne wartości mierzonych parametrów.



Rys. 3.12 Lekka sonda SD - 10

### 3.3.2.a Interpretacja wyników sondowań w przypadku kontroli nasypów zasypek gruntowych

Podstawowym parametrem pozwalającym wykorzystać badania sondami dynamicznymi SD (rys 3.12) jest określenie w gruntach niespoistych wartości stopnia zagęszczenia  $I_D$ . Na podstawie doświadczeń zebranych podczas badań wykonanych w kraju stopień zagęszczenia piasków drobno, średnio i gruboziarnistych o wskaźniku różnoziarnistości  $U > 3$  można określić z zależności między stopniem zagęszczenia ( $I_D$ ) a liczbą uderzeń ( $N_k$ ):

Sonda lekka:

$$I_D = 0,429 \log N_{10} + 0,071 [6] \quad (3.13)$$

Natomiast na podstawie stopnia zagęszczenia  $I_D$  gruntu niespoistego można orientacyjnie ocenić wskaźnik zagęszczenia  $I_s$  przy pomocy zależności korelacyjnych [5].

$$I_D = \frac{0,958 I_s - 0,818}{0,174 I_s} \quad (3.14)$$

Wyniki sondowań dynamicznych przedstawia się w formie wykresów schodkowych. Obok wykresu sondowania należy nanieść profil litologiczny i zaznaczyć zwierciadło wody gruntowej. Przed przystąpieniem do interpretacji wykres sondowania należy zweryfikować [5]. Weryfikacja obejmuje eliminację stref nagłych wzrostów liczby uderzeń spowodowanych występowaniem lokalnych przeszkód (np. otoczaki, kawałki drewna itp.) [6]. Wyniki sondowań można interpretować dopiero poniżej tzw. głębokości krytycznej  $t_c$ , która dla sondy SD – 10 wynosi  $t_c=0,6$  m. Sondowanie można stosować na głębokościach, na których inne badania nie mogą być już zastosowane. Pozwala to na kontrolę większych partii robót jednak w takim przypadku należy precyzyjnie ustalić potrzebną energię do zagęszczenia na poletkach doświadczalnych. Kontrola zagęszczenia poprzez sondowanie jest dość popularna wśród wykonawców ze względu na koszt badania, który jest nawet trzykrotnie niższy od innych metod.

### **3.4 Kontrola zagęszczenia metodą badania dynamicznego modułu nośności**

Dynamiczna płyta obciążeniowa (lekkie urządzenie z obciążnikiem opadowym) jest urządzeniem kontrolnym, skonstruowanym w celu ustalenia dynamicznego modułu odkształcenia gruntów lub niezwiązanych materiałów nasypowych.

Badanie to prowadzone jest za pomocą okrągłej stalowej płyty przyjętej jako sztywna, przekazującej uderzeniowe obciążenie na grunt. Urządzenie obciążnikowe składa się z obciążnika opadowego, prowadzonego po wyczepieniu wzdłuż pręta i osiadającego na elemencie sprężynująco - amortyzującym (ze stali lub tworzywa sztucznego). Urządzenie obciążnikowe nasadzone jest na kulę centrującą po środku płyty, tak aby na płytę obciążeniową mogły być przekazywane tylko pionowe siły nacisku. Na środku płyty wbudowany jest czujnik, do którego podłączony jest miernik elektroniczny mierzący ruchy płyty w trakcie przeprowadzania badania.

Po wykonanym badaniu oblicza się maksymalne przemieszczenie płyty poprzez tylko jedno- lub dwukrotną integrację zmierzonych przyspieszeń lub wahań prędkości. Wszystkie inne parametry wymagane do ustalenia dynamicznego modułu odkształcenia, szczególnie napięcie dotykowe między płytą a podłożem, przyjęte są jako stałe. Przybliżenie to, należy uzasadnić dostrojeniem pomiędzy sobą parametrów urządzeń oraz oczekiwanymi parametrami podłoża gruntowego. Przeprowadzone w ten sposób dostrajanie i wynikająca z niego budowa urządzeń, oparte są na obliczeniach modelowych i studiach parametrycznych, przeprowadzanych przez Weingarta i opublikowanych już w 1977 r. w jego pracach [15], [16], [17].

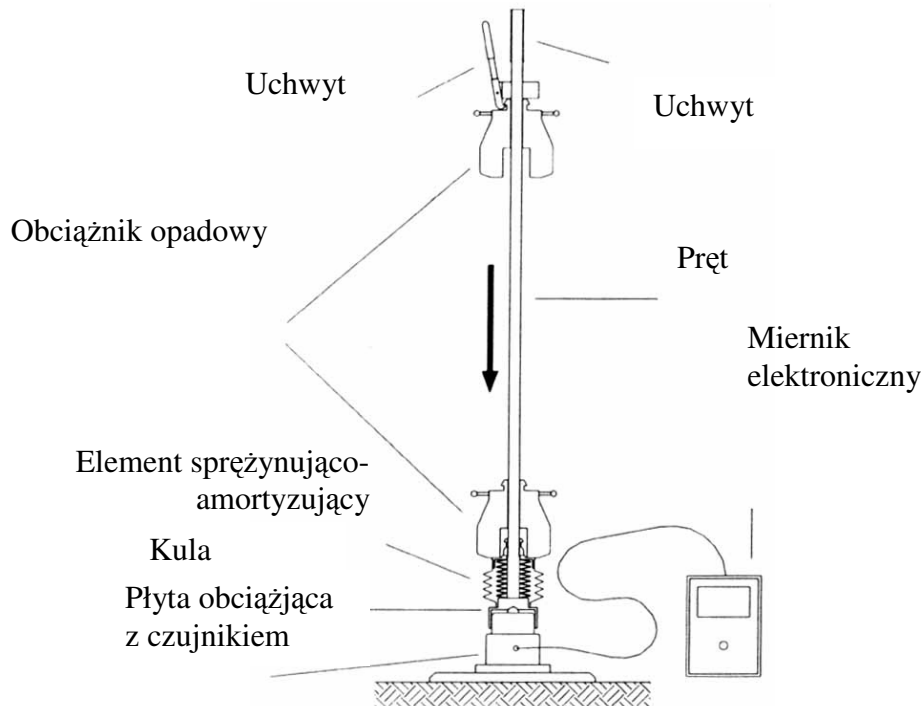
### 3.4.1 Elementy płyty dynamicznej

Jako mechaniczne urządzenie obciążające służy obciążnik o masie 10 kg, który z wysokości ustalonej przez kalibrowanie spada na element sprężynujący składający się ze sprężyn talerzowych i osiąga maksymalną siłę uderzenia o wartości 7,07 kN przy czasie oddziaływania poprzez uderzenie w czasie 18 ms. [ 8 ].

Płyta przyłożenia o średnicy 300 mm wyposażona jest w dwa uchwyty oraz czujnik obciążenia z kulą osiującą. Czujnik obciążenia znajduje się w specjalnej obudowie wraz z sensorem do pomiaru osiadania (rys. 3.13)

Częścią nieodłączną ugięciomierza jest ręczne urządzenie elektroniczne służące do pomiaru osiadania. Rozróżnia się następujące tryby pracy:

- 1) tryb pomiaru dla rutynowej kontroli na budowie po trzech uderzeniach wyznaczona zostaje średnia wartość osiadań z natychmiastowym wskazaniem dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$ ,
- 2) tryb kalibrowania przyrządu pomiarowego, przeprowadzanie dowolnej ilości pomiarów bez tworzenia średniej wartości, kontrola funkcji przyrządu pomiarowego.



Rys. 3.13 Elementy lekkiego urządzenia z obciążnikiem



Rys. 3.14 Płyta dynamiczna z rejestratorem współpracującym z komputerem

Na rys.3.14 przedstawiono zestaw kompletny płyty dynamicznej ZFG-2000 z elektronicznym rejestratorem wyników, rejestracją wyników na karcie magnetycznej, kalibracją wewnętrzną oraz możliwością bezpośredniej transmisji danych do komputera ze specjalistycznym oprogramowaniem do obróbki wyników pomiarów.

Ze względu na utworzenie jednolitych warunków brzegowych dla przeprowadzenia badań płytami dynamicznymi różnych producentów określono stałe i miarodajne dla nich parametry. Poszczególne elementy płyty dynamicznej charakteryzują się parametrami podanymi w tabeli 5.

### Parametry techniczne płyty dynamicznej

- Płyta obciążeniowa ze stali min. St 52-3 (tolerancja pomiarów urządzenia 1%)
  - Średnica 300 mm
  - Grubość płyty 20 mm lub 17 mm z płytą wzmacniającą 15 mm Ø 150 mm
- Ciężar 15 kg ± 0,25 kg (łącznie z miernikiem osiadania i uchwytami)
- Szorstkość max. 6,3 µm
- Miernik osiadania
  - Zakres częstotliwości 8 – 100 Hz (błąd pomiarowy max. 2%, temp. 0 do 40 °C)
  - Amplituda osiadania 0,2 – 1,0 mm dokładność pomiaru min. ± 0,02 mm  
1,0 – 2,0 mm dokładność pomiaru min. ± 2%
- Urządzenie obciążnikowe
  - Masa obciążnika opadowego 10 kg ± 0,01 kg
  - Masa całkowita pręta prowadnicy 5 kg ± 0,25 kg (łącznie z elementem sprężynującym - amortyzującym)
  - Maksymalna wartość siły uderzenia 7,07 kN (tolerancja 1%, temp. 0 do 40 °C)
  - Czas uderzenia 18 ms ± 2 ms

Należy dotrzymywać danych technicznych zawartych w tabeli 5 z uwzględnieniem zdefiniowanych zakresów tolerancji.

Istotnym jest również utrzymywanie stabilności wskazań urządzeń poprzez prowadzenie ich kalibracji, którą powinny przeprowadzić uznane instytucje przed dostarczeniem urządzenia, po jego naprawie oraz przynajmniej raz do roku [18] [19] [20].

Kalibracja urządzenia obejmuje:

- Urządzenie obciążnikowe (maksymalna wartość siły uderzenia) kalibrowane jest poprzez nastawienie wysokości opadu. W urządzeniach ze sprężynami talerzowymi (ze stali) można posłużyć się dodatkowo dla kalibracji nastawieniem naprężenia wstępnego sprężyn.
- Miernik osiadania trzeba nastawić dla podanego w powyższej tabeli zakresu pomiaru amplitudy osiadania za pomocą już skalibrowanego obciążnika opadowego.

### 3.4.2 Przeprowadzenie badania i wyznaczanie wartości

Płytę przykładają się do badanego miejsca na płasko. Jeśli jest to konieczne, dla wyrównania powierzchni należy nanieść pod płytę ciekłą warstwę wyrównującą z piasku. Aby uzyskać pełen kontakt pomiędzy płytą a podłożem, należy wykonać trzy wstępne uderzenia obciążeniowe. Następnie należy w ten sam sposób przeprowadzić trzy uderzenia pomiarowe, w trakcie których rejestrowane są za pomocą miernika elektronicznego przemieszczenia płyty. Średnia wartość trzech zmierzonych maksymalnych wartości przemieszczeń pionowych stanowi bazę dla ustalenia dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$ , przy czym przyjmuje się dwa upraszczające założenia:

- ustalanie wartości wyników dynamicznego badania nośności płytą obciążeniową odbywa się według wzoru statycznego badania nośności płytą opartego na teorii statycznie obciążonej elastycznej półprzestrzeni:

$$E_v = 1,5 r \frac{\Delta\sigma}{\Delta z} \quad (3.15)$$

- hipotetycznie przyjmuje się, że występujący podczas przeprowadzania badań maksymalny generowany, środkowy nacisk na grunt  $\sigma$  jest stały ( $0,1 \text{ MN/m}^2$ ).

Po uwzględnieniu powyższego równanie dynamicznego modułu odkształcenia dla płyty obciążeniowej o średnicy 30 cm wyrażenia zależność:

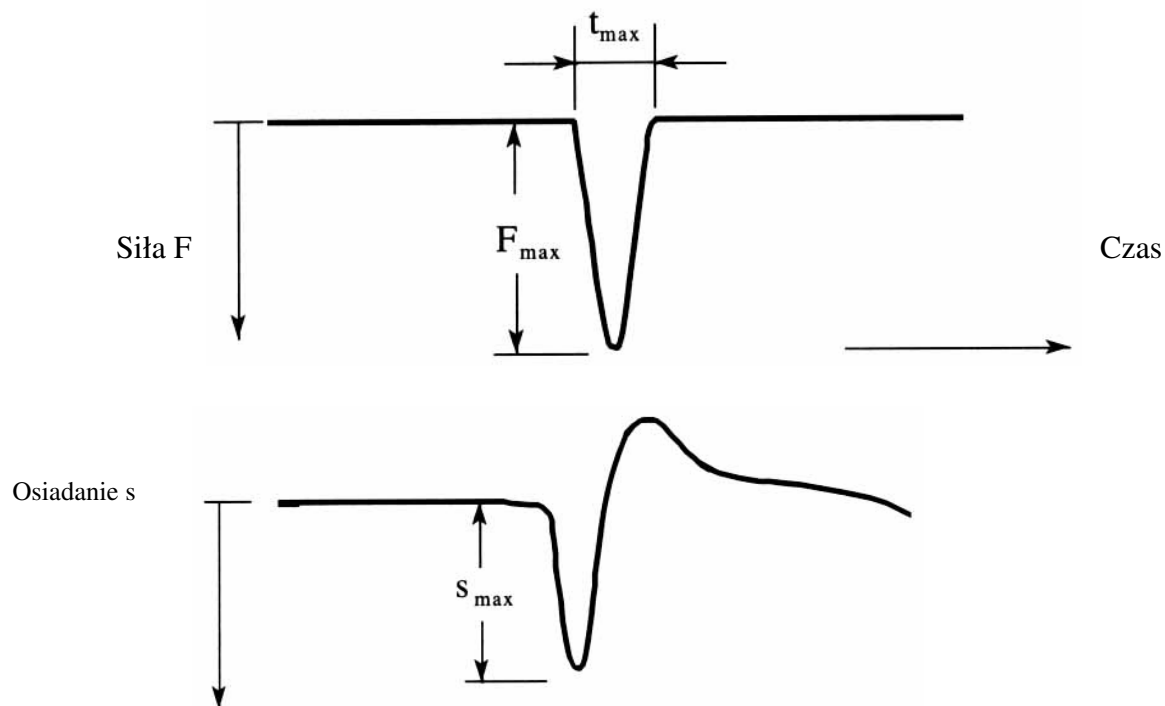
$$E_{vd} [\text{MN} / \text{m}^2] = \frac{22,5}{z_{\max} [\text{mm}]} \quad (3.16)$$



Dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  jest parametrem określającym odkształcalność gruntu pod wpływem zdefiniowanego pionowego obciążenia uderzeniowego o średnim czasie trwania uderzenia  $t_{max}$  (rys. 3.15). Wartość modułu odkształcenia oblicza się na podstawie osiadania maksymalnego  $s_{max}$  płyty obciążeniowej wg wzoru:

$$E_{vd} = 1,5r \frac{\sigma_{max}}{s_{max}} \quad (3.17)$$

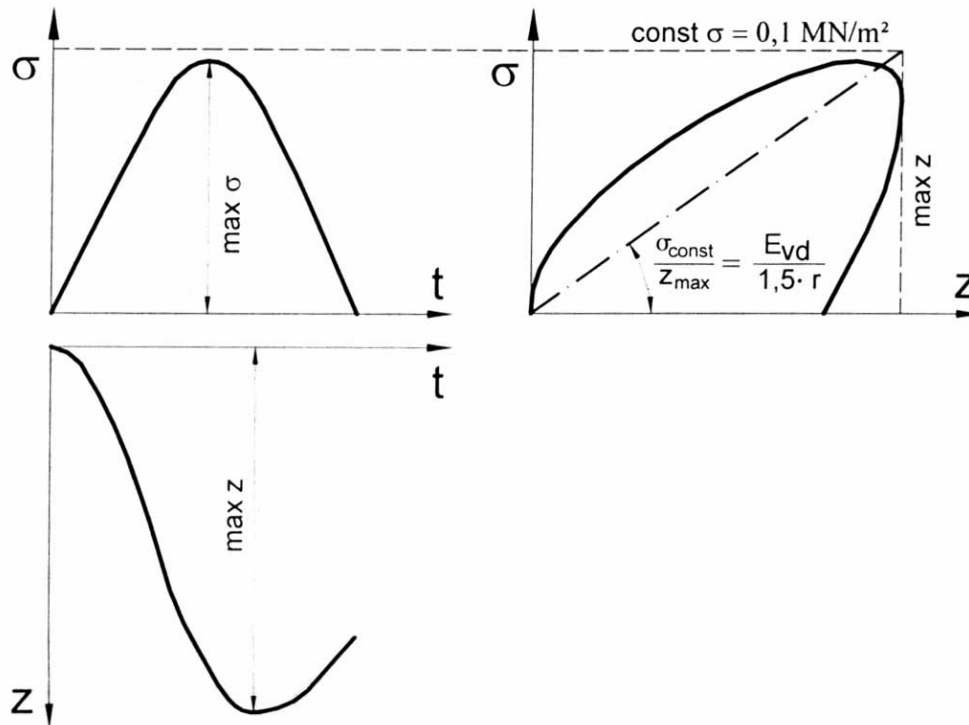
- $s_{max}$  = średnia wartość osiadań  $s_{4max}$ ,  $s_{5max}$ ,  $s_{6max}$  z 3 uderzeń pomiarowych (po 3 wstępnych uderzeniach)  
 $r$  = promień płyty obciążeniowej  
 $\sigma_{max}$  = napężenie normalne pod płytą obciążeniową (0,1 MN/m<sup>2</sup>).



Rys. 3.15 Schemat zasadniczy – czasowy przebieg siły i opadu przy obciążeniu uderzeniowym lekkim urządzeniem z obciążnikiem opadowym.

Przy ustalaniu  $E_{vd}$  mierzone jest tylko maksymalne osiadanie  $z_{max}$  przy określaniu wyników podczas badania płytą dynamiczną [21] [22] [23].

Cykl pracy płyty dynamicznej obrazuje rys. 3.16.



Rys. 3.16 Nacisk na grunt i przemieszczenie oraz wykres (cyklu) pracy płyty dynamicznej

### 3.4.3 Wykonanie oznaczenia w trybie pomiaru

Płytę przyrządu ustawia się tak, aby jej powierzchnia dolegała do kontrolowanej warstwy, w razie potrzeby ewentualne nierówności można wypełnić suchym piaskiem średnioziarnistym. Następnie podłącza się elektroniczny przyrząd pomiarowy osiadań z czujnikiem przyspieszenia zamocowanym w obudowie płyty za pomocą wtyczki przymocowanej do kabla. Znajdujący się w części czołowej urządzenia pomiarowego wyłącznik trybu pracy przesuwa się na pozycję – tryb pomiaru. Urządzenie obciążające ustawia się w pozycji środkowej na kuli centrującej a zabezpieczenie transportowe przesuwa o  $90^\circ$  w tryb pracy. Punkt kontrolny obciąża się wstępnie przez trzy uderzenia. W tym celu ciężarek opadowy każdorazowo zaczepia się oraz zwalnia a następnie wyłapuje po odbiciu za okrągły chwytak. Po trzecim uderzeniu obciążenia pierwotnego ciężarek opadowy blokuje się na określonej wysokości i uruchamia przyrząd pomiarowy naciskając przycisk „start”, wówczas wyświetla się komunikat:

**Tryb pomiaru**  
**Wykonać pierwsze uderzenie**

Prowadnicę ustawia się pionowo, zwalnia ciężarek opadowy a następnie ciężarek wyłapuje się i ponownie blokuje. Jeśli jednak ciężarek nie zostanie wychwycony i opadnie nie wpłynie to na wynik.

Po pierwszym uderzeniu wtórnym urządzenie wyświetla komunikat np.:

**S<sub>1</sub> 0,35 mm**  
**Wykonać drugie uderzenie**

Wówczas wykonuje się drugie uderzenie wyłapuje ciężarek i ponownie blokuje. Przykładowy odczyt przedstawia wygląda następująco:

**S<sub>1</sub> 0,35 mm    S<sub>2</sub> 0,32 mm**  
**Wykonać trzecie uderzenie**

Po trzecim uderzeniu rejestrator podaje wynik z trzech uderzeń, jeśli odbiegają od siebie dość znacznie przypuszczalnie występuje błąd pomiarowy wtedy powtarza się cały pomiar:

**S<sub>1</sub> 0,35 mm    S<sub>2</sub> 0,32 mm**  
**S<sub>3</sub> 0,33 mm**

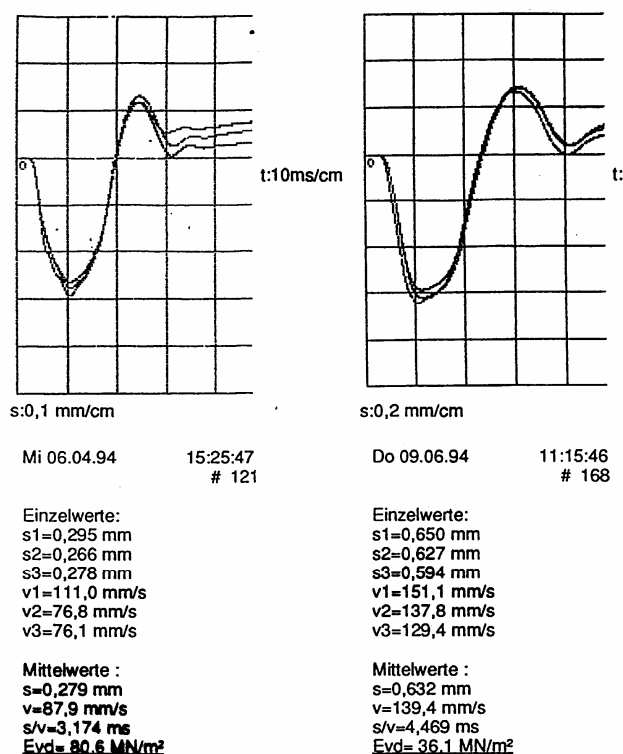
---

Po naciśnięciu klawisza „start” wyświetla się wartość średnia trzech amplitud oraz dynamiczny moduł odkształcenia:

**S = 0,33 mm**  
**E<sub>Vd</sub> = 67,6 MN/m<sup>2</sup>**

Konstrukcja przyrządu jest dostosowana tak, aby możliwie dokładnie odzwierciedlać wielkość nacisku kół jadącego pojazdu oraz czas trwania tego obciążenia [ 9 ].

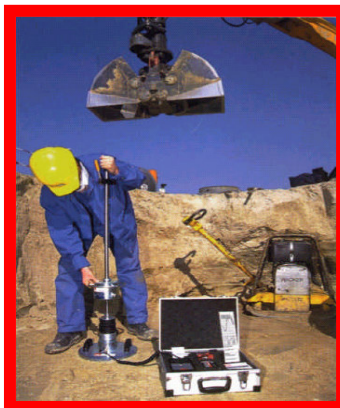
Rejestratory elektroniczne różnego typu urządzeń (płyt dynamicznych) Pozwalają na przedstawienie wyniku pomiarów w różnej formie. Urządzenie wyposażone w drukarkę na wydruku przedstawia wyniki poszczególnych pomiarów oraz wartości średnich osiadań oraz wartość modułu dynamicznego. Na wydruku zamieszczone są również wykresy rejestrujące przebiegi poszczególnych obciążeń (rys.3.17).



Rys. 3.17 Przykładowy wydruk rejestracji wyników badania płytą dynamiczną ZFG2000

### 3.4.4 Zastosowanie urządzenia

Zastosowanie płyty dynamicznej obejmuje szeroki zakres. Urządzenie służy do kontroli nośności i zagęszczenia (przy opracowanej korelacji) między innymi różnego rodzaju podsypiek, zasypek elementów budowli, podłoży gruntowych, podłoży ulepszonych a szczególnie do kontroli powierzchni o uziarnieniu mieszanym i grubym dochodzącym do 63mm [16] [24] [25].



Rys. 3.18 Zastosowanie płyty dynamicznej

Korzyści płynące z zastosowania płyty dynamicznej:

- 1) czas trwania badania to około 3 minuty,
- 2) dostęp do miejsc zawężonych – trudno dostępnych,
- 3) niewielka masa przyrządu oraz małe zapotrzebowanie na miejsce podczas badania i transportu,
- 4) praca bez przeciwwagi (samochód ciężarowy).

Wyniki badań płytą dynamiczną uznane są w wytycznych kontroli zagęszczenia obowiązujących w Niemczech (Saksonia-Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Verkehrsflächen – ZTVE SIB 97). Podane są tutaj tymczasowe zależności między dynamicznym modułem odkształcenia  $E_{Vd}$  a wtórnym modułem odkształcenia  $E_{V2}$ . Zależności te przedstawiono w tabeli 3.1 [ZTV-StB LAS ST 96 – Oberbau; Tragschicht] [25].

Tabela 3.1

Tymczasowe zależności między modułem dynamicznym  $E_{Vd}$   
a wtórnym modułem odkształcenia  $E_{V2}$  wg [26]

Tymczasowe wartości modułów	
Moduł wtórnego obciążenia gruntu $E_{V2}$ w $MN/m^2$	Dynamiczny moduł podłoża $E_{Vd}$ w $MN/m^2$
180	80
150	70
120	60
100	50
80	40
60	30
45	25
20	15

Dla oceny wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  wymienione wyżej wytyczne podają zależności od dynamicznego modułu odkształcenia gruntu  $E_{vd}$ . Przytoczono je w tabeli 3.2.

**Tabela 3.2**

**Zależność wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  od wartości dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  i wtórnego modułu odkształcenia  $E_{v2}$  wg [26]**

Rodzaj gruntu	Wskaźnik zagęszczenia $I_s$	Moduł odkształcenia $E_{v2}$	Moduł odkształcenia $E_{vd}$
DIN 18 196	%	MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
GW, GI, GU <sup>1)</sup> , GT <sup>1)</sup> nach ZTVT	≥ 103	≥ 120	≥ 60
GW, GI, GU, GT nach ZTVT	≥ 100	≥ 100	≥ 50
	≥ 98	≥ 80	≥ 40
	≥ 97	≥ 70	≥ 35
GE, SE SW, SI	≥ 100	≥ 80	≥ 40
	≥ 92	≥ 73	≥ 35
	≥ 97	≥ 60	≥ 32
GU <sup>2)</sup> , GT <sup>2)</sup> , SU, ST	≥ 100	≥ 70	≥ 35
	≥ 97	≥ 45	≥ 25
GU*, GT*, SU*, ST*	≥ 97	≥ 45	≥ 25
	≥ 95	≥ 30	≥ 20

<sup>1)</sup> GU-/GT - grunty zawierające wagowo ≤ 7 % < 0,063 mm

<sup>2)</sup> GU-/GT - grunty zawierające wagowo 7-15 % < 0,063 mm

GW – dobrze uziarnione żwiry, pospółki

SW – dobrze uziarnione piaski, pospółki

#### **4. Dane zbiorcze dotyczące przeprowadzonych badań terenowych**

Obecnie prowadzone badania modułów nośności i określanie wskaźnika zagęszczenia wbudowywanych warstwowo materiałów mają charakter diagnostyczny. Umożliwiają one szybką diagnostykę parametrów geotechnicznych nie stanowiących podstawy odbioru. Często więc wyniki tych badań nie są rejestrowane co utrudnia zebranie ich w dużej ilości, umożliwiającej szeroką analizę.

Na obecnym etapie udostępnione i przedstawione wyniki badań pozwoliły przeprowadzić ich analizę i określić tam gdzie to było możliwe zależności pomiędzy modułem statycznym wtórnym a modułem dynamicznym. Przeprowadzone analizy dotyczą mieszanki z kruszywa mineralnego łamanego dolomitowego i materiału alternatywnego jakim był łupek przywęglowy przepalony i nie przepalony.

##### **4.1 Badania wbudowanej mieszanki z kruszywa łamanego dolomitowego o uziarnieniu 0/31,5**

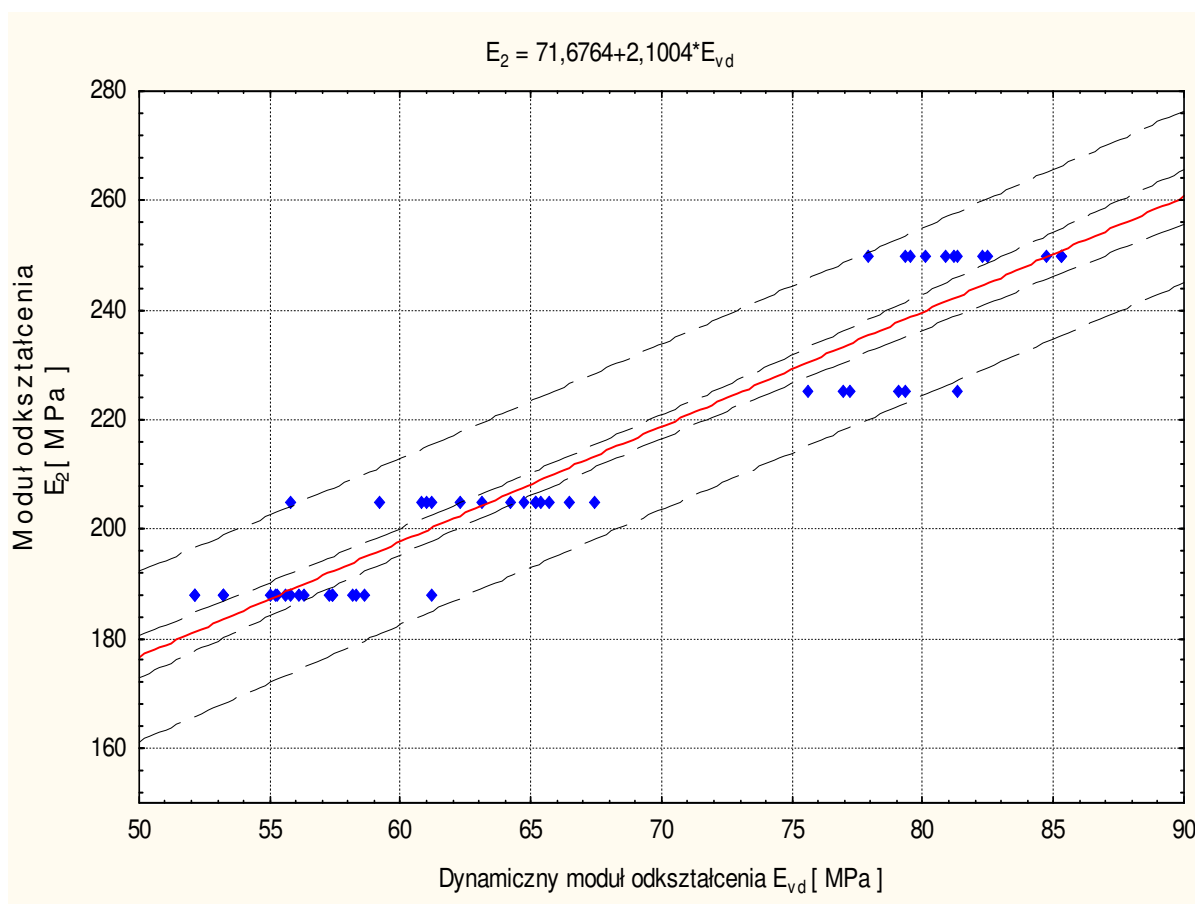
Badania terenowe zostały wykonane na budowie autostrady A4, odcinek węzeł Wirek – węzeł Batory. Kontrolowała dolna warstwa podbudowy grubości 22 cm wykonana z kruszywa łamanego dolomitowego 0/31,5 z Bukowna, w technologii stabilizacji mechanicznej [27]. Warstwę niżej leżącą stanowiła warstwa technologiczna wykonana z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie 0/63.

Badania prowadzone były w okresie letnim oraz jesiennym. Kontrolowana na bieżąco wilgotność kruszywa wbudowywanego w badaną warstwę utrzymywała się w granicach 0,8-1,2  $w_{opt}$ . Miejsce wybrane do badań było przypadkowe, ze względu na jednakową konstrukcję jezdni na całym odcinku wpływ na wynik badania warstw leżących poniżej był jednakowy. Do badań zastosowano wysokiej klasy sprzęt: płytę dynamiczną typu ZSG 01 i ZFG 2000 produkcji niemieckiej oraz płytę naciskową jedno-czujnikową także produkcji niemieckiej.

Przy każdym badaniu płytą naciskową dokonywano oznaczenia dynamicznego modułu nośności oraz oznaczenie wilgotności. Miejsca, w których dokonywano badań były wybierane losowo.

#### **Wyniki badań**

Na podstawie przeprowadzonych badań dynamicznego modułu nośności oraz modułu odkształcenia otrzymano zbiór wartości, których zestawienie zawiera załącznik nr 1a do sprawozdania. Ze zbioru wartości, do celów analizy odrzucono wyniki, które znacząco odbiegały od średniej wartości, traktując je jako błędy pomiarowe, oraz wyniki, dla których wskaźnik odkształcenia wynosił powyżej 2,2. Wyniki badań w formie wykresu przedstawiono (rys. 4.1).



Rys. 4.1 Zależność modułu odkształcenia  $E_2$  od dynamicznego modułu nośności  $E_{vd}$   
dla mieszanki kruszywa łamanego 0/31,5

Analizę wyników przeprowadzono przy prawdopodobieństwie 95 %.

Dla zbioru uzyskanych wyników określono optymalne równanie regresji oraz współczynnik korelacji  $r$  przedstawiony na rys 4.1.

Optymalne równanie regresji dla mieszanki kruszywa dolomitowego łamanego 0/31,5 ma postać:

$$E_2 = 2,10 * E_{vd} + 71,86 \text{ [MPa]} \quad (4.1)$$



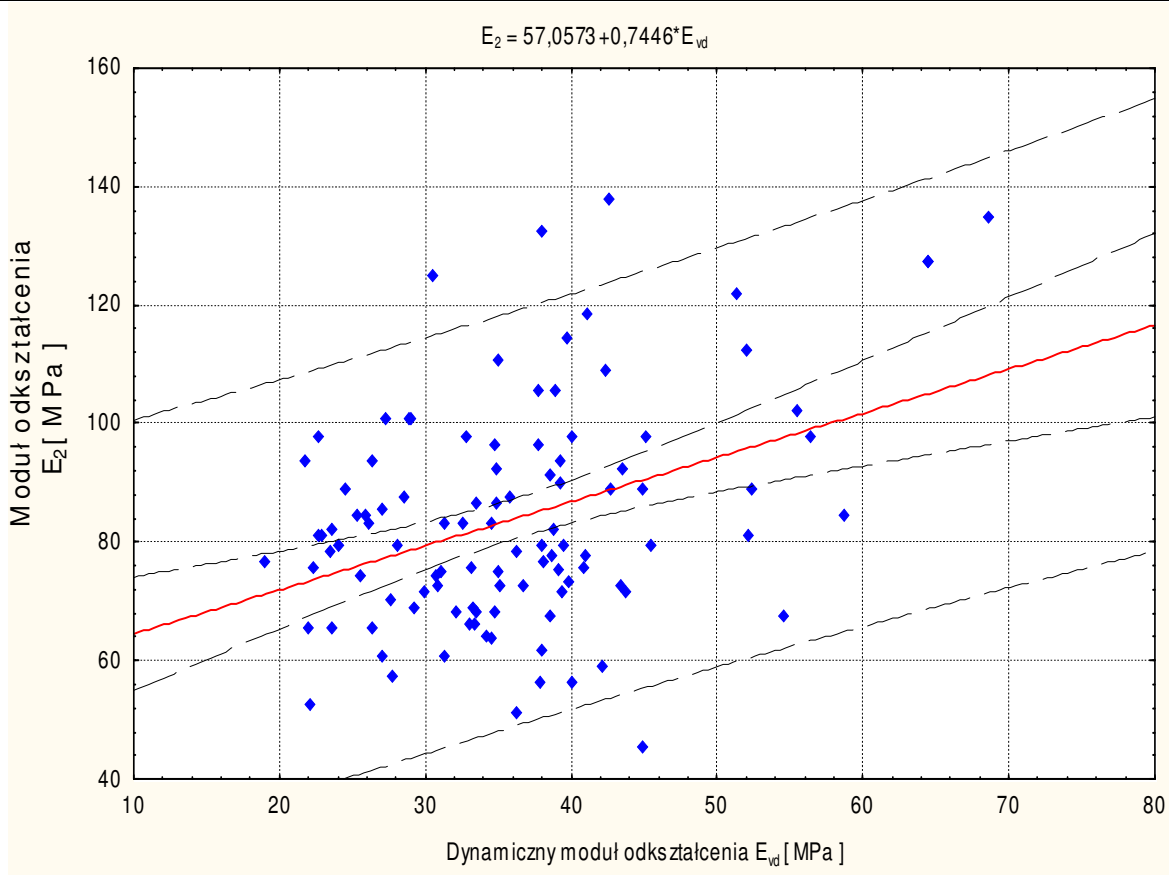
#### **4.2 Badania wbudowanego w nasyp kruszywa z łupka przywęglowego przepalonego i nie przepalonego**

**Pierwsza grupa badań** przeprowadzona została dla kruszywa z łupka przywęglowego przepalonego o uziarnieniu 0/63 wbudowane w nasyp. Badania wykonywano na terenie budowy autostrady A4, odcinek węzeł Wirek – Batory. Miejsce do badań wybrane zostało ze względu na szeroki front robót, a tym samym na możliwość utworzenia obszernego zbioru danych [27]. Materiał z którego budowano nasyp należy do grupy kruszyw sztucznych obecnie bardzo często stosowanych w budownictwie drogowym. Kontrolni podlegały warstwy nasypu, które zagęszczane były jednakowym sprzętem oraz stałą ilością przejść walca.

Przy każdym badaniu płyta naciskową dokonywano oznaczenia dynamicznego modułu nośności. Do badań zastosowano urządzenia: płyta dynamiczna typu ZSG 01 i ZFG 2000 produkcji niemieckiej, płyta naciskowa jedno czujnikowa produkcji niemieckiej. Miejsca, w których dokonano badań były wybierane losowo.

#### **Wyniki badań**

Na podstawie przeprowadzonych badań dynamicznego modułu nośności oraz modułu odkształcenia otrzymano zbiór wartości, których zestawienie zamieszczono w załączniku 1b do sprawozdania. Analizie nie podlegały wyniki, które znacznie odbiegały od pozostałych wartości traktując je jako błędy pomiarowe, oraz pary wyników, których wskaźnik odkształcenia wynosił powyżej 2,2. Wyniki badań przedstawiono na wykresie (rys. 4.2).



Rys. 4.2. Zależność modułu odkształcenia  $E_2$  od dynamicznego modułu nośności  $E_{vd}$  dla łupka przepalonego

Analizę wyników przeprowadzono przy prawdopodobieństwie 95 %.

Dla zbioru uzyskanych wyników określono optymalne równanie regresji oraz współczynnik korelacji  $r$  zamieszczony na rys. 4.2.

Optymalne równanie regresji dla łupka przepalonego o uziarnieniu 0/63 ma postać:

$$E_2 = 0,74 * E_{vd} + 57,06 \text{ [MPa]} \quad (4.2)$$

**Druąa grupa badań** przeprowadzona została przeprowadzona została na autostradzie A4 odc. Sośnica Wirek. Badania przeprowadzono na materiałach wykorzystywanych do budowy nasypu z łupka przepalonego.

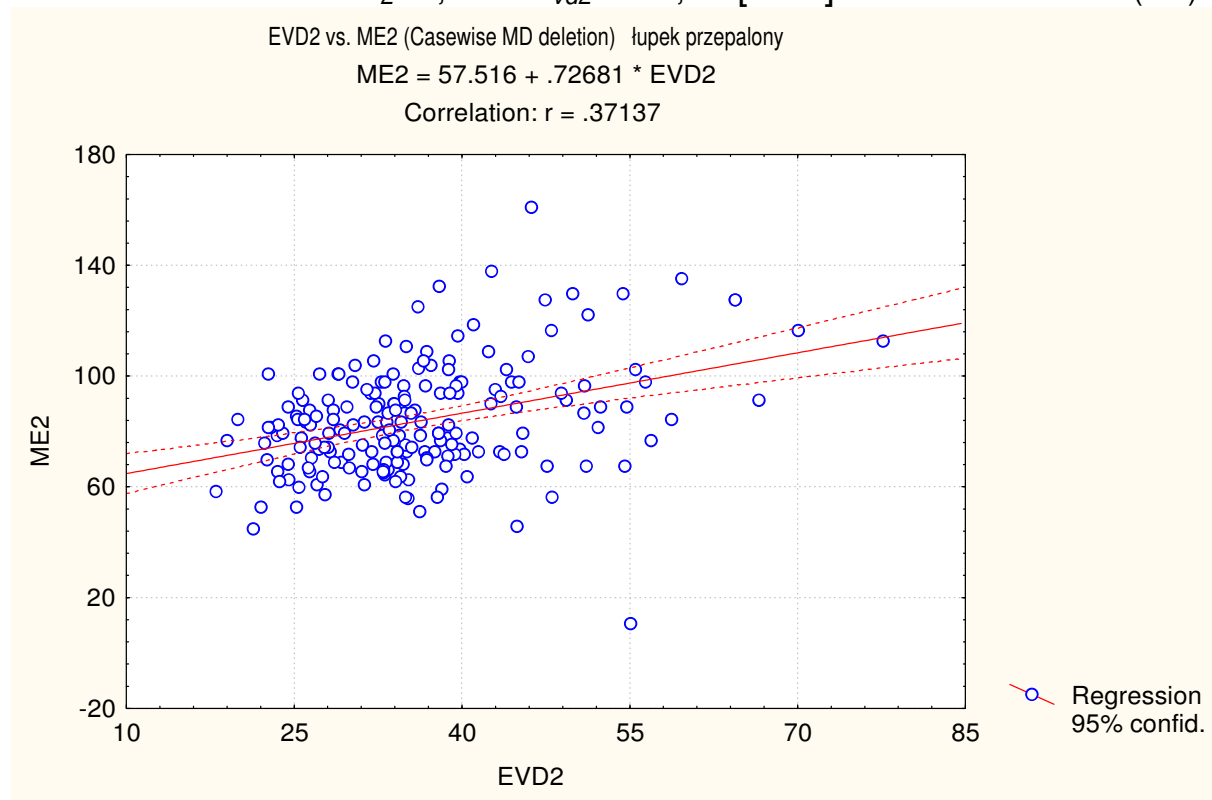
## Wyniki badań

Analizy badań dokonano metodą statystycznej korelacji wyników. Jako miarodajny, przyjęty do analiz wybrano wtórny moduł odkształcenia  $E_2$  pomierzony metodą statyczną oraz wtórny moduł dynamiczny  $E_{2d}$  jako wartość średnia z trzech wyników. Analizy statystycznej wyników dokonano na poziomie ufności 95%.

Obliczeń dokonano na zbiorze 198 punktów badawczych  $E_2$  594 punktów  $E_{vd2}$  dla łupka przepalonego (zestawie wyników załącznik 1c do sprawozdania).

Na podstawie przeprowadzonych analiz wyników badań określono zależność korelacyjną pomiędzy metodą statyczną a dynamiczną pomiaru nośności. Przeliczenie modułów dynamicznych na wtórny moduł odkształcenia  $E_2$  można dla łupka przepalonego przeprowadzić w oparciu o poniższą zależność

$$E_2 = 0,73 \times E_{vd2} + 57,52 \text{ [MPa]} \quad (4.3)$$



Rys.4.3 Korelacja wyników  $M_{e2}$  i  $E_{vd2}$  dla łupka przepalonego

Zależność ta określona została przy niskim wskaźniku korelacji, co nie daje pewności, iż zależność ta będzie mogła być stosowana w całym zakresie nośności.

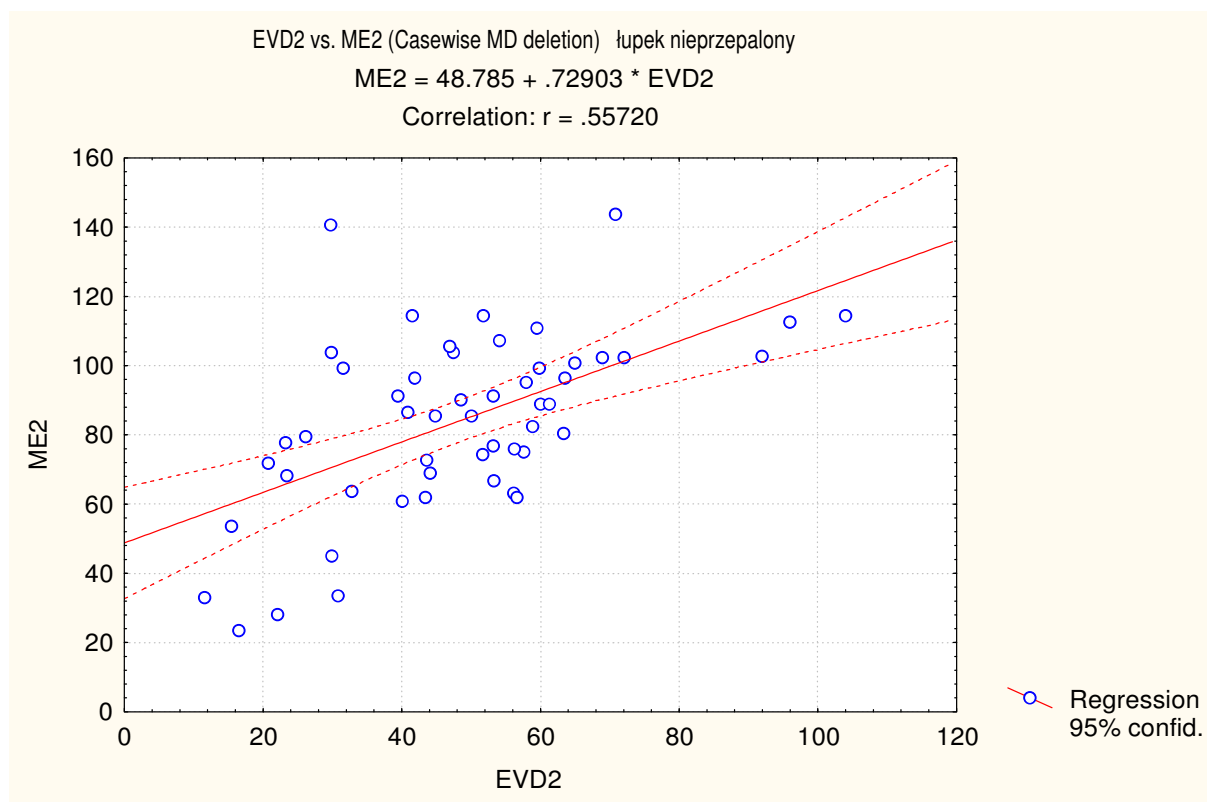
**Trzecia grupa badań** przeprowadzona została również na autostradzie A4 odcinku Sośnica - Wirek. Badania przeprowadzono na materiałach wykorzystywanych do budowy nasypu z łupka nie przepalonego.

### Wyniki badań

Kryteria przeprowadzenia analizy przyjęto jak w metodzie poprzedniej. Obliczeń dokonano na zbiorze 52 punktów badawczych  $E_2$  106 punktów  $E_{vd2}$  dla łupka przepalonego (ogólnej liczby 61 punktów – zestawienie wyników w załączniku 1d do sprawozdania).

W tym przypadku również określono zależność korelacyjną pomiędzy metodą statyczną a dynamiczną pomiaru nośności. Przeliczenie modułów dynamicznych na wtórny moduł odkształcenia  $E_2$  można dla łupka nie przepalonego przeprowadzić w oparciu o poniższą zależność

$$E_2 = 0,73 \times E_{vd2} + 48,79 \text{ [MPa]} \quad (4.4)$$



Rys.4.4 Korelacja wyników  $M_{e2}$  i  $E_{vd2}$  dla łupka nie przepalonego

Zależność ta określona została przy niskim wskaźniku korelacji, co nie daje pewności, iż zależność ta będzie mogła być stosowana w całym zakresie nośności.

#### **4.3 Analiza wyników badań zależności między wynikami uzyskanymi z płyty dynamicznej i statycznej**

Zebrane dane dla trzech rodzajów kruszyw (jednego mineralnego i dwóch alternatywnych) pozwoliły na określenie zależności korelacyjnych pomiędzy  $E_{vd}$  uzyskaną w wyniku badania płytą dynamiczną, a wartością  $E_2$  będącą wynikiem badania płytą statyczną.

Dla materiału pierwszego (mieszanka kruszywa łamanego dolomitowego 0/31,5) wartość współczynnika korelacji  $r=0,9526$  pozwala sądzić, że stworzona zależność jest prawidłowa, co potwierdza ułożenie punktów na wykresie. Uzyskane w wyniku pomiarów wartości  $E_{vd}$  i  $E_2$  są stosunkowo wysokie i uniemożliwiły dokonanie analizy w niższych zakresach pomiarów. Można przyjąć, że określona zależność jest prawidłowa w przedstawionym zakresie danych, jednak nie wiadomo jak zachowa się badany materiał wówczas, gdy będzie osiągał niższe wartości modułów.

Pozostałe dwie grupy materiałów alternatywnych (kruszywo antropogeniczne, łupek przywęglowy przepalony i nie przepalony) dla których współczynniki korelacji wynosiły zaledwie  $r=0,39$ ,  $r=0,3$ ,  $r=0,56$  oraz występowała rozbieżność wyników nie pozwoliła na w miarę dokładne ustalenie zależności korelacyjnych.

Na podstawie dostępnych wyników badań i ich analizy dla kruszyw mineralnych możliwym i stosownym jest prowadzenie badań w celu określenia zależności korelacyjnych. Zagadnienie to jest przedmiotem tego zadania, a po opracowaniu tych zależności w konsekwencji zaowocuje instrukcją stosowania płyty dynamicznej w budownictwie drogowym. Po ich określeniu możliwym będzie stosowanie badań płytą dynamiczną zamiennie do badań płytą statyczną.

Stosowanie tej metody badań jako zamienną do metody statycznej dla materiałów alternatywnych (wniosek dotyczy wyłącznie badanych materiałów) na obecnym etapie przy dostępnych do analizy wynikach nie pozwalają prognozować optymistycznie w tym zakresie. Koniecznym jest więc prowadzenie badań rozszerzonych pozwalających na określenie możliwości stosowania tej metody dla tej grupy materiałów. Ponieważ potrzeby stosowania tej metody badawczej dla takich grup materiałów jest znacząca rozważyć należy w przyszłości podjąć prace w tym zakresie.

## **5. Program i plan badań dla określenia zależności korelacyjnych pomiędzy metodą statyczną (VSS) a metodą dynamiczną**

Przed przystąpieniem do realizacji zadania mającego na celu określenie zależności korelacyjnych pomiędzy statycznym modułem wtórnym a modułem dynamicznym opracowano program badań, którego realizacja zapewni określenie tych zależności.

W wyniku przeprowadzonej analizy dostępnej literatury na obecnym etapie wiedzy wyeliminowano z zasięgu zainteresowania grunty spoiste. Badania ograniczono wyłącznie do gruntów niespoistych o zróżnicowanym stopniu uziarnienia.

### **5.1 Program badań**

Przyjęto, iż badania przeprowadzone zostaną dla dwunastu gruntów. Każdy grunty badany będzie przy czterech różnych stanach zagęszczenia. Badania realizowane będą dla gruntów niespoistych w stanach zagęszczenia zbliżonych do  $I_s = (0,92; 0,96; 0,98 \text{ i } 1,00)$ .

Każde poletko doświadczalne obejmuje dwa jednakowe segmenty. Dla jednego rodzaju gruntu przygotowywane są dwa poletka doświadczalne, łącznie cztery segmenty. Grunt w każdym z segmentów zagęszczany w dwóch jednakowych trzydziesto centymetrowych warstwach, dążąc do osiągnięcia w każdej z warstw wskaźników zagęszczenia zbliżonych do założonych.

Dla określenia zależności korelacyjnych pomiędzy statycznym modułem  $E_{v2}$  a modułem dynamicznym  $E_{vd}$  przewidziano wykonanie następujących badań laboratoryjnych i terenowych (na poletkach doświadczalnych):

*- badania laboratoryjne dla każdego rodzaju badanego gruntu*

- analiza sitowa – 2 badania,
- maksymalna gęstość objętościowa (metoda Proctora) – 2 badania,
- wskaźnik piaskowy – 2 badania.

*- badania terenowe na poletku doświadczalnym (jeden segment rys. nr 5.1)*

- pierwotny i wtórny moduł statyczny (VSS) – 2 badania,
- moduł dynamiczny (płyta dynamiczna) – 8 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie pierwszej - 10 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie drugiej - 10 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie pierwszej (cylinder o stałej objętości) – 10 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie drugiej (cylinder o stałej objętości) – 10 badań.

Określony powyżej zakres badań przeprowadzony będzie na jednym segmencie poletka doświadczalnego. Łączna ilość badań dla jednego rodzaju gruntu wykonana na dwóch poletkach doświadczalnych (cztery segmenty) wynosiła będzie:

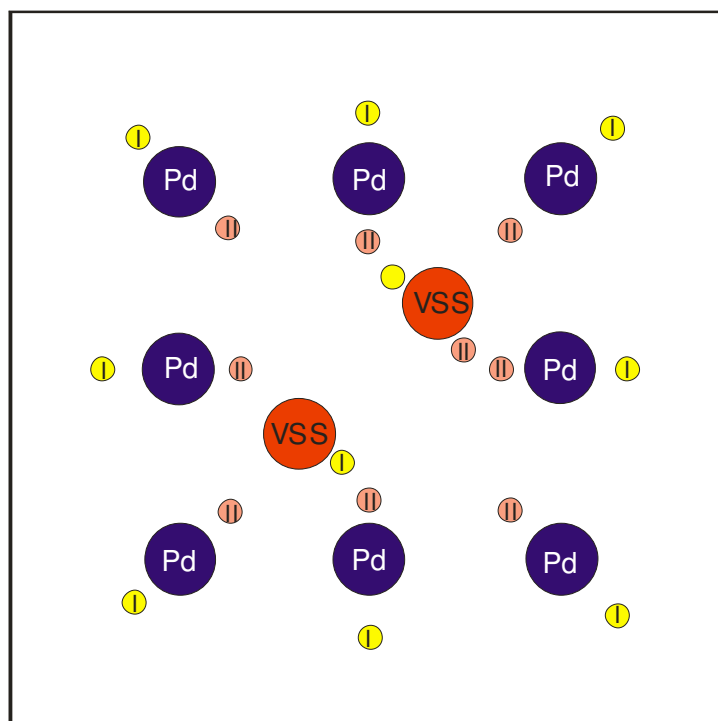
- pierwotny i wtórny moduł statyczny (VSS) – 8 badania,
- moduł dynamiczny (płyta dynamiczna) – 32 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie pierwszej - 40 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie drugiej - 40 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie pierwszej (cylinder o stałej objętości) – 40 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie drugiej (cylinder o stałej objętości) – 40 badań.

Ogólnie planowana do wykonania ilość badań zarówno laboratoryjnych jak i terenowych dla dwunastu gruntów wyniesie:


- analiza sitowa – 24 badania,
- maksymalna gęstość objętościowa (metoda Proctora) – 24 badania,
- wskaźnik piaskowy – 24 badania
- PH – 36 badania.
- pierwotny i wtórny moduł statyczny (VSS) – 96 badań,
- moduł dynamiczny (płyta dynamiczna) – 384 badania,
- wilgotność naturalna w warstwie pierwszej - 480 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie drugiej - 480 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie pierwszej (cylinder o stałej objętości) – 480 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie drugiej (cylinder o stałej objętości) – 480 badań.

Wyniki badań uzyskane z każdego poletka doświadczalnego rejestrowane są w karcie badań korelacyjnych (rys. nr 5.2). Wyniki badań laboratoryjnych stanowią integralną część dokumentacji badawczej dla każdego gruntu. Dokumentacja ta sporządzana jest zgodnie z wdrożonym w Laboratorium Geotechniki systemem zarządzania jakością.

### Plan badań na poletku doświadczalnym (segment "A")




#### Legenda

 Badanie modułu statycznego VSS

 Badanie modułu dynamicznego

 Badanie zagęszczenia gruntu - cylinder o stałej objętości (warstwa pierwsza)

 Badanie zagęszczenia gruntu - cylinder o stałej objętości (warstwa druga)

Rys. nr 5.1 Segment poletka doświadczalnego – lokalizacja punktów badawczych



## KARTA BADAŃ KORELACYJNYCH

symbol gruntu/numer poletka i segmentu/numer tematu  
**G1/01-1/TG-152**

Rodzaj gruntu: .....

Nazwa gruntu: .....

Maksymalna gęstość objętościowa ( $\rho_{dmax}$ ): .....

Wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ): .....

Wskaźnik piaskowy (WP): .....

.....

MODUŁ STATYCZNY		MODUŁ DYNAMICZNY	WILGOTNOŚĆ NATURALNA		GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA		WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA	
$E_{V1}$ MPa	$E_{V2}$ MPa	$E_{vd}$ MPa	$w_n$ % warstwa 1 /dolna/	$w_n$ % warstwa 2 /górna/	$\rho_d$ <sup>3</sup> t/m <sup>3</sup> warstwa 1 /dolna/	$\rho_d$ <sup>3</sup> t/m <sup>3</sup> warstwa 2 /górna/	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/

Rys. nr 5.2 Karta badań korelacyjnych

## 5.2 Plan realizacji badań

Realizacja zakresu badań określonych w punkcie 5.1 przebiegała będzie zgodnie z ramowym planem realizacji badań (tabela 5.1).

Badaniami obejmuje się dwanaście gruntów niespoistych ( G-1 do G-12) określonych zgodnie z pkt. nr 7 sprawozdania.

### **RAMOWY PROGRAM BADAŃ** temat TG-152

Tabela 5.1

<b>Lp.</b>	<b>Grupa gruntu</b>	<b>Wykonanie badań laboratoryjnych</b>	<b>Wykonanie badań terenowych</b>	<b>Uwagi</b>
<b>1</b>	G-1	Lipiec 2004	Sierpień 2004	
<b>2</b>	G-2	Sierpień 2004	Wrzesień 2004	
<b>3</b>	G-3	Luty 2005	Marzec 2005	
<b>4</b>	G-4	Luty 2005	Marzec 2005	
<b>5</b>	G-5	Marzec 2005	Kwiecień 2005	
<b>6</b>	G-6	Kwiecień 2005	Maj 2005	
<b>7</b>	G-7	Maj 2005	Czerwiec 2005	
<b>8</b>	G-8	Czerwiec 2005	Lipiec 2005	
<b>9</b>	G-9	Lipiec 2005	Sierpień 2005	
<b>10</b>	G-10	Sierpień 2005	Wrzesień 2005	
<b>11</b>	G-11	Wrzesień 2005	Październik 2005	
<b>12</b>	G-12	Październik 2005	Listopad 2005	

Kwalifikację gruntów do badań oraz zwolnienie po badaniach laboratoryjnych do badań terenowych oraz zwolnienie gruntów po badaniach terenowych przeprowadza odpowiedzialny za realizację tematu TG-152.

## 7. Rodzaje gruntów podlegające badaniu

Podstawą analizy zmierzającej do wyodrębnienia grup gruntów do badań, mających na celu określenie zależności korelacyjnych pomiędzy metodami statyczną i dynamiczną dla oznaczenia modułów nośności i stanu zagęszczenia gruntów jest ich przydatność dla budownictwa drogowego. Ze względu na parametry geotechniczne gruntów spoistych, w oparciu o klasyfikację gruntów i ich przydatność do budowy dróg i lotnisk według A. Casagrande zostały one wykluczone z dalszej analizy jako nieprzydatne. Dodatkowo też grunty spoiste na obecnym etapie nie będą badane metodą dynamiczną przy użyciu płyty dynamicznej ze względu na dużą zmienność parametrów geotechnicznych pod wpływem choćby warunków atmosferycznych. Obciążenia dynamiczne dla gruntów w stanie plastycznym powodują ich miejscowe uplastycznienie co w znacznym stopniu prowadzi do małej stabilności uzyskiwanych wyników.

Niektóre dane do analizy służącej zakwalifikowaniu gruntów do badań zamieszczone są w tabelach 7.1 do 7.4.

*Tabela 7.1*

Wartości *CBR* gruntów podłoża drogowego wg [11]

Nazwa i pochodzenie gruntów	<b>CBR</b>
Pospółki i żwiry oraz rumosze skaliste sypkie o wskaźniku piaskowym $WP > 30$	$\geq 15$
Piaski gruboziarniste $WP > 30$	13 – 14
Piaski średnioziarniste $WP > 30$	12 – 13
Piaski drobnoziarniste $WP > 30$	10 – 11
Piaski pylaste $WP > 25$	9 – 10
Rumosze gliniaste, żwiry gliniaste i pospółki gliniaste, zawierające 5-10 % ziarn mniejszych niż 0,02 mm	7 – 9 5 – 7
Piaski pylaste, piaski gliniaste, pyły piaszczyste itp., zawierające 5-10 % ziarn mniejszych niż 0,02 mm	3 – 5
Mineralne pyły, pyły piaszczyste, piaski gliniaste, gliny i ropy zawierające $> 10$ % cząstek mniejszych niż 0,02 mm, o głębokim zaleganiu zwierciadła wody gruntowej $\geq 2,0$ m. i przy dobrym odwodnieniu	2 – 3
Mineralne pyły, pyły piaszczyste, piaski gliniaste, gliny i ropy zawierające $> 10$ % cząstek mniejszych niż 0,02 mm, o głębokości zalegania zwierciadła wody $\leq 2,0$ m.	$\leq 2$
Grunty organiczne	

Tabela 7.2

Wartości *CBR* górnej warstwy podłoża wg [11]

Rodzaj gruntu podłoża	Charakterystyka gruntu górnej (około 50 cm) warstwy podłoża				<b>CBR</b>	$M_E$ *) [MPa]
	Wskaźnik piaskowy <b>WP</b>	Wskaźnik plastyczności $I_p=W_L-W_P$	Stopień plastyczności $I_L$	Wilgotność naturalna $w_n$		
Rumosz, żwiry, pospółka, piaski grube, średnie, drobne	> 30	1	-	-	≥ 10	≥ 20
Żwiry gliniaste, pospółki gliniaste, piaski pylaste, piaski gliniaste, pyły piaszczyste itp. zawierające + 10 % ziarn mniejszych niż 0,02 mm	< 30	< 5	< 0	$w_n$ mniejsze lub zbliżone do wilg. opt. wg normalnej próby Proctora	≥ 6	≥ 12
	< 30	< 5	≥ 0	$w_n > w_{opt}$	< 6	< 12
Mineralne pyły, gliny i ropy oraz piaski gliniaste i pyły piaszczyste zawierające – 10 % ziarn mniejszych niż 0,02 mm, organiczne namuły, torfy, margle, gytie itp.	-	> 5	< 0	$w_n$ mniejsze lub zbliżone do $w_{opt}$		
	-	≥ 5	$0 < I_L < 0,25$	$w_n > w_{opt}$	> 2	> 5
	-	≥ 5	$I_L \geq 0,25$	$w_n > w_{opt}$	> 2	> 5
	-	-	-	-	≤ 2	≤ 5

\*)  $M_E=E_1$  Moduły  $M_E$  oznaczone metodą VSS, aktualnie obowiązujące oznaczenie  $E_1$  i  $E_2$  (pierwotny i wtórny moduł odkształcenia)

Tabela 7.3

**Przydatność gruntów do budowy dróg i lotnisk  
na podstawie wartości *CBR* i innych cech wg A. Casagrande [11]**

Cechy gruntu i typowe nazwy	Symbole grup	Kalifornijski wskaźnik nośności dla zagęszczonych i nasyconych wodą próbek <i>CBR</i> %
Dobrze uziarniony żwir lub mieszanka żwiru i piasku (pospółka). Brak lub mała zawartość cząstek drobnych	GW	> 50
Dobrze uziarniona mieszanka żwiru, piasku i łu (pospółka gliniasta) z doskonałą zaprawą gruntową	GC	> 40
Źle uziarnione mieszaniny żwiru i piasku żwirowego. Brak lub mała zawartość cząstek drobnych	GP	25 – 40
Żwir z cząstkami drobnymi, bardzo pylasty żwir, źle uziarnione mieszanki żwiru, piasku i łu	GF	> 20
Dobrze uziarnione piaski i piaski żwirowe. Brak lub mała zawartość cząstek drobnych	SW	20 – 60
Dobrze uziarnione mieszanki piasku i łu z doskonałą zaprawą gruntową	SC	20 – 60
Źle uziarnione piaski. Brak lub mała zawartość cząstek drobnych	SP	10 – 30
Piaski z cząstkami drobnymi, piaski gliniaste, źle uziarnione mieszanki piasku i łu	SF	8 – 30
Pyły nieorganiczne, bardzo drobne piaski, mączka skalna, drobnoziarniste piaski pylaste lub gliniaste o małej plastyczności	ML	6 – 25
Gliny nieorganiczne o plastyczności od niskiej do średniej, gliny piaszczyste, gliny pylaste, ły chude (gliny zwięzłe)	CL	4 – 15
Pyły organiczne i gliny pylaste organiczne o małej plastyczności	OL	3 – 8
Mikowe i okrzemkowe grunty drobnoziarniste i pylaste oraz sprężyste pyły	MH	< 7
Ły nieorganiczne o wysokiej plastyczności, ły tłuste	CH	< 6
Organiczne ły o plastyczności od średniej do wysokiej	OH	< 4

Tabela 7.4

**Przydatność gruntów do budowy dróg i lotnisk  
na podstawie wartości *CBR* i innych cech wg Z. Wiłuna**

Najczęstsze typy genetyczne	Symbole odpowiednich grup wg klasyfikacji A.Casagrandego	Cechy mechaniczne w okresie odmarzania			
		<i>CBR</i>	$E_2$	$\phi$	$c$
Nazwy typowych utworów		%	MPa	°	kPa
Zwały	-	> 40	-	> 35	0,0
Rumosze, wierzeliiny	GP, GF	> 20	60 - 30	30 - 20	0,0 - 10
Żwiry rzeczne	GP	25 - 40	60	35	0,0
Pospółki rzeczne	GP (GW)	25 - 40	50	35	0,0
Żwiry gliniaste morenowe	GF	> 20	40	20	20
Pospółki gliniaste morenowe	GF (GC)	> 20	30	20	20
Piaski grube i piaski rzeczne	SP	10 - 30	50	35	0,0
Piaski średnie i grube lodowcowe	SW	25 - 40	60	33	0,0
Piaski drobne wydymowe	SP	10 - 20	30	32	0,0
Piaski pylaste rzeczne	SF	10 - 15	20	30	0,0
Piaski gliniaste morenowe	SF	10 - 15	40	20	10
Pyły piaszczyste pokrywowe	ML (SF)	8 - 12	20	17	10
Pyły zastoiskowe	ML	6 - 10	15	15	10
Gliny piaszczyste i morenowe	CL	6 - 15	30	18	15
Gliny pokrywowe	CL	6 - 10	20	15	15
Gliny pylaste zastoiskowe	CL	4 - 8	10	12	15
Gliny piaszczyste zwarte morenowe	CL	6 - 12	20	15	20
Gliny zwarte morenowe	CL	6 - 12	15	12	20
Gliny pylaste zwarte zastoiskowe	CL	4 - 8	10	8	20
Utwory b. rzadkie (nie spotyka się)					
Iły plicieńskie i miocieńskie	CH	< 6	10	10	25
Iły pylaste: plicieńskie i miocieńskie	CH	< 6	10	8	25
Iły warwowe	CH	< 6	8	6	25
Lessy	ML	6 - 10	8	15	10
Lessy ilaste	CL (OL)	4 - 8	8	12	15

Do ostatecznej analizy zakwalifikowano tylko te grunty, które zgodnie z kwalifikacją według A. Casagrande określone są jako „doskonałe” lub „dobre”. Dlatego też do dalszej analizy zakwalifikowane następujące rodzaje gruntów niespoistych:

- żwiry  $\dot{Z}$
- pospółki  $\dot{Z}_p$ ,
- piaski grube  $P_r$ ,
- piaski średnie  $P_s$ ,
- piaski drobne  $P_d$ ,
- piaski pylaste  $P_\pi$ .

Ze względu na konieczność uzyskania szerokiego przekroju zależności korelacyjnych dla gruntów o różnym uziarnieniu, przyjęto, iż badania przeprowadzone zostaną dla powyższych rodzajów gruntów przy dwóch różnych wskaźnikach uziarnienia.

Po uwzględnieniu powyższego w sumie pełen zakres badań przeprowadzony zostanie łącznie dla dwunastu gruntów. Każdy z badanych gruntów w kolejności ich badania oznaczone będą symbolami G1 do G12. W zależności od rezultatów wykonywanych badań ilość przyjętych do analizy gruntów może ulec zmianie dla osiągnięcia w maksymalnym stopniu założonego celu.

## **8. Badania wykonane dla wybranych rodzajów gruntów niespoistych wykonanych poletkach doświadczalnych.**

### **8.1 Raport z pierwszej grupy badań.**

Na obecnym etapie przeprowadzono badania dla dwóch rodzajów gruntów określonych symbolami G1 i G2. Na rysunku 8.1 przedstawiono grunty przeznaczone do badań, odpowiednio od prawej grunt o symbolu G1 a od lewej grunt o symbolu G2.



Rys. 8.1 Grunty o symbolach G1 i G2 przeznaczone do badań w pierwszym etapie

Pierwszą grupę badań stanowiły badania laboratoryjne, które miały na celu określenie: rodzaju gruntu, nazwy gruntu, maksymalnej gęstości objętościowej ( $\rho_{dmax}$ ), wilgotności optymalnej ( $w_{opt}$ ), wskaźnika piaskowego (WP). Badania te przeprowadzono w Laboratorium Geotechniki IBDiM. Wyniki uzyskane z badań laboratoryjnych pozwoliły na ustalenie technologii wbudowywania gruntu na poletku doświadczalnym.

Druga część badań przeprowadzona została na specjalnie do tego celu przygotowanym poletku doświadczalnym na terenie IBDiM przy ulicy Gołędzinowskiej 10. Badania te miały na celu określenie wskaźnika zagęszczenia gruntu i jego wilgotności na poszczególnych wbudowywanych warstwach. Na górnej warstwie określono nośność podłoża gruntowego metodą statyczną ( w dwóch punktach rys. 8.2) i dynamiczną ( w ośmiu punktach rys. 8.3).





Rys. 8.2 Badanie nośności metodą statyczną



Rys. 8.3 Badanie nośności metodą dynamiczną

## 8.2 Wyniki przeprowadzonych badań.

Wyniki badań zamieszczono w przedstawionych poniżej kartach badań korelacyjnych. W każdej z tabel zestawione są wyniki badań dotyczące jednego segmentu poletka doświadczalnego. Karty badań korelacyjnych o symbolach od G1/01-1/TG-152 do G1/01-4/TG-152 odnoszą się do gruntu G1. Natomiast karty badań o symbolach od G2/01-1/TG-152 do G1/01-4/TG-152 odnoszą się do gruntu G2. Wyniki tych badań będą analizowane pod kątem opracowania zależności korelacyjnych w drugim etapie realizacji zadania.

## KARTA BADAŃ KORELACYJNYCH

symbol gruntu/numer poletka i segmentu/numer tematu  
**G1/01-1/TG-152**

Rodzaj gruntu: **sypki**

Nazwa gruntu: **piasek średni**

Maksymalna gęstość objętościowa ( $\rho_{dmax}$ ): **1,687 t/m<sup>3</sup>**

Wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ): **12,3 %**

Wskaźnik piaskowy (WP): **84 %**

MODUŁ STATYCZNY		MODUŁ DYNAMICZNY	WILGOTNOŚĆ NATURALNA		GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA		WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA	
$E_{V1}$ MPa	$E_{V2}$ MPa	$E_{vd}$ MPa	$w_n$ % warstwa 1 /dolna/	$w_n$ % warstwa 2 /górna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 1 /dolna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 2 /górna/	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/
14,3	53,6		4,30	4,22	1,635	1,585	0,95	0,94
			4,30	4,18	1,585	1,568	0,94	0,93
		30,5	4,28	4,40	1,622	1,585	0,96	0,94
		31,6	4,31	4,29	1,585	1,585	0,94	0,94
		27,8	4,28	4,44	1,602	1,602	0,95	0,95
18,9	59,2	30,2	4,18	4,51	1,602	1,602	0,95	0,95
		26,9	4,11	4,53	1,602	1,585	0,95	0,94
		28,2	3,89	4,32	1,650	1,567	0,96	0,93
		28,5	3,93	4,30	1,585	1,569	0,94	0,93
		28,1	4,08	4,49	1,585	1,585	0,94	0,94

## KARTA BADAŃ KORELACYJNYCH

symbol gruntu/numer poletka i segmentu/numer tematu  
**G1/01-2/TG-152**

Rodzaj gruntu: **sypki**

Nazwa gruntu: **piasek średni**

Maksymalna gęstość objętościowa ( $\rho_{dmax}$ ): **1,687 t/m<sup>3</sup>**

Wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ): **12,3 %**

Wskaźnik piaskowy (WP): **84 %**

MODUŁ STATYCZNY		MODUŁ DYNAMICZNY	WILGOTNOŚĆ NATURALNA		GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA		WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA	
$E_{V1}$ MPa	$E_{V2}$ MPa	$E_{vd}$ MPa	$w_n$ % warstwa 1 /dolna/	$w_n$ % warstwa 2 /górna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 1 /dolna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 2 /górna/	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/
20,3	64,3		4,03	4,21	1,620	1,602	0,97	0,95
			4,11	4,40	1,636	1,636	0,97	0,97
		32,4	3,98	4,21	1,636	1,619	0,97	0,96
		29,0	3,97	4,23	1,653	1,619	0,98	0,96
		31,4	3,79	4,40	1,619	1,636	0,96	0,97
14,3	57,7	34,6	4,04	4,51	1,653	1,653	0,98	0,98
		33,3	4,12	4,28	1,636	1,636	0,97	0,97
		28,9	4,12	4,31	1,619	1,636	0,96	0,97
		32,8	4,16	4,41	1,636	1,619	0,97	0,96
		30,9	4,02	4,09	1,636	1,636	0,97	0,97

## KARTA BADAŃ KORELACYJNYCH

symbol gruntu/numer poletka i segmentu/numer tematu  
**G1/01-3/TG-152**

Rodzaj gruntu: **sypki**

Nazwa gruntu: **piasek średni**

Maksymalna gęstość objętościowa ( $\rho_{dmax}$ ): **1,687 t/m<sup>3</sup>**

Wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ): **12,3 %**

Wskaźnik piaskowy (WP): **84 %**

MODUŁ STATYCZNY		MODUŁ DYNAMICZNY	WILGOTNOŚĆ NATURALNA		GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA		WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA	
$E_{V1}$ MPa	$E_{V2}$ MPa	$E_{vd}$ MPa	$w_n$ %	$w_n$ %	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup>	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup>	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/
			warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/		
21,8	71,1		5,01	4,89	1,653	1,653	0,98	0,97
			4,99	4,87	1,670	1,636	0,99	0,97
		36,5	4,90	4,93	1,653	1,653	0,98	0,98
		36,4	5,00	5,03	1,653	1,653	0,98	0,98
		32,7	4,89	4,87	1,671	1,673	0,99	0,99
23,6	69,5	40,8	4,94	4,89	1,636	1,672	0,97	0,99
		42,1	5,03	4,96	1,636	1,636	0,97	0,97
		39,5	4,92	4,99	1,653	1,636	0,98	0,97
		37,2	4,90	5,02	1,671	1,669	0,99	0,98
		37,4	4,94	5,00	1,653	1,665	0,98	0,98

## KARTA BADAŃ KORELACYJNYCH

symbol gruntu/numer poletka i segmentu/numer tematu  
**G1/01-4/TG-152**

Rodzaj gruntu: **sypki**

Nazwa gruntu: **piasek średni**

Maksymalna gęstość objętościowa ( $\rho_{dmax}$ ): **1,687 t/m<sup>3</sup>**

Wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ): **12,3 %**

Wskaźnik piaskowy (WP): **84 %**

MODUŁ STATYCZNY		MODUŁ DYNAMICZNY	WILGOTNOŚĆ NATURALNA		GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA		WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA	
$E_{V1}$ MPa	$E_{V2}$ MPa	$E_{vd}$ MPa	$w_n$ % warstwa 1 /dolna/	$w_n$ % warstwa 2 /górna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 1 /dolna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 2 /górna/	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/
32,5	81,3		4,62	4,38	1,687	1,653	1,00	0,98
			4,62	4,60	1,670	1,673	0,99	0,99
		42,0	4,70	4,71	1,683	1,677	1,00	0,99
		46,1	4,71	4,71	1,688	1,688	1,00	1,00
		42,8	4,55	4,54	1,682	1,687	1,00	1,00
39,3	87,9	48,3	4,67	4,59	1,653	1,673	0,98	0,99
		48,3	4,68	4,67	1,673	1,674	0,99	0,99
		43,8	4,59	4,52	1,671	1,685	0,99	1,00
		47,2	4,77	4,39	1,684	1,689	1,00	1,00
		44,2	4,77	4,60	1,674	1,675	0,99	0,98

## KARTA BADAŃ KORELACYJNYCH

symbol gruntu/numer poletka i segmentu/numer tematu  
**G2/02-1/TG-152**

Rodzaj gruntu: **sypki**

Nazwa gruntu: **pospółka**

Maksymalna gęstość objętościowa ( $\rho_{dmax}$ ): **1,929 t/m<sup>3</sup>**

Wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ): **7,20 %**

Wskaźnik piaskowy (WP): **79**

MODUŁ STATYCZNY		MODUŁ DYNAMICZNY	WILGOTNOŚĆ NATURALNA		GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA		WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA	
$E_{V1}$ MPa	$E_{V2}$ MPa	$E_{vd}$ MPa	$w_n$ % warstwa 1 /dolna/	$w_n$ % warstwa 2 /górna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 1 /dolna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 2 /górna/	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/
17,6	54,1		4,40	4,30	1,736	1,688	0,90	0,87
			4,16	4,27	1,716	1,671	0,89	0,89
		24,1	4,28	4,31	1,731	1,716	0,90	0,90
		28,3	4,55	4,29	1,755	1,716	0,91	0,90
		31,3	4,31	4,33	1,774	1,688	0,92	0,87
18,1	56,6	32,1	4,28	4,38	1,716	1,755	0,89	0,91
		28,1	4,55	4,44	1,716	1,755	0,89	0,91
		18,9	4,32	4,21	1,755	1,716	0,91	0,90
		22,4	4,19	4,21	1,755	1,710	0,91	0,89
		26,9	4,25	4,38	1,697	1,755	0,88	0,91

## KARTA BADAŃ KORELACYJNYCH

symbol gruntu/numer poletka i segmentu/numer tematu

**G2/02-2/TG-152**

Rodzaj gruntu: **sypki**

Nazwa gruntu: **pospółka**

Maksymalna gęstość objętościowa ( $\rho_{dmax}$ ): **1,929 t/m<sup>3</sup>**

Wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ): **7,20 %**

Wskaźnik piaskowy (WP): **79**

MODUŁ STATYCZNY		MODUŁ DYNAMICZNY	WILGOTNOŚĆ NATURALNA		GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA		WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA	
$E_{V1}$ MPa	$E_{V2}$ MPa	$E_{vd}$ MPa	$w_n$ % warstwa 1 /dolna/	$w_n$ % warstwa 2 /górna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 1 /dolna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 2 /górna/	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/
23,2	54,8		5,80	3,88	1,736	1,697	0,90	0,88
			5,22	4,22	1,813	1,793	0,94	0,93
		33,0	5,34	4,11	1,871	1,813	0,97	0,94
		37,9	5,48	4,27	1,851	1,832	0,96	0,95
		42,7	5,29	4,52	1,832	1,851	0,95	0,96
19,5	57,3	48,6	6,01	3,98	1,890	1,871	0,98	0,97
		36,2	5,76	4,43	1,909	1,851	0,99	0,96
		37,9	5,43	4,27	1,871	1,871	0,97	0,97
		35,7	5,43	4,01	1,851	1,832	0,96	0,95
		38,4	5,73	4,21	1,890	1,851	0,98	0,96



## KARTA BADAŃ KORELACYJNYCH

symbol gruntu/numer poletka i segmentu/numer tematu  
**G2/02-3/TG-152**

Rodzaj gruntu: **sypki**

Nazwa gruntu: **pospółka**

Maksymalna gęstość objętościowa ( $\rho_{dmax}$ ): **1,929 t/m<sup>3</sup>**

Wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ): **7,20 %**

Wskaźnik piaskowy (WP): **79**

MODUŁ STATYCZNY		MODUŁ DYNAMICZNY	WILGOTNOŚĆ NATURALNA		GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA		WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA	
$E_{V1}$ MPa	$E_{V2}$ MPa	$E_{vd}$ MPa	$w_n$ % warstwa 1 /dolna/	$w_n$ % warstwa 2 /górna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 1 /dolna/	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup> warstwa 2 /górna/	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/
26,8	80,4		4,58	3,91	1,773	1,854	0,92	0,96
			4,58	3,99	1,716	1,813	0,89	0,94
		32,8	4,61	4,02	1,774	1,832	0,92	0,95
		43,8	4,66	4,10	1,774	1,853	0,92	0,96
		42,3	4,70	3,98	1,736	1,853	0,90	0,96
21,6	76,7	37,8	4,58	3,96	1,736	1,855	0,90	0,96
		48,6	4,71	4,03	1,716	1,832	0,89	0,95
		38,7	4,62	4,09	1,755	1,832	0,91	0,95
		46,7	4,66	3,99	1,755	1,855	0,91	0,96
		41,4	4,59	4,10	1,736	1,852	0,90	0,95

## KARTA BADAŃ KORELACYJNYCH

symbol gruntu/numer poletka i segmentu/numer tematu  
**G2/02-4/TG-152**

Rodzaj gruntu: **sypki**

Nazwa gruntu: **pospółka**

Maksymalna gęstość objętościowa ( $\rho_{dmax}$ ): **1,929 t/m<sup>3</sup>**

Wilgotność optymalna ( $w_{opt}$ ): **7,20 %**

Wskaźnik piaskowy (WP): **79**

MODUŁ STATYCZNY		MODUŁ DYNAMICZNY	WILGOTNOŚĆ NATURALNA		GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA		WSKAŹNIK ZAGĘSZCZENIA	
$E_{V1}$ MPa	$E_{V2}$ MPa	$E_{vd}$ MPa	$w_n$ %	$w_n$ %	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup>	$\rho_d$ t/m <sup>3</sup>	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/
			warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/	warstwa 1 /dolna/	warstwa 2 /górna/		
30,8	90,0		4,95	5,06	1,816	1,890	0,94	0,98
			5,29	5,89	1,832	1,871	0,95	0,97
		43,3	5,31	5,78	1,832	1,890	0,95	0,98
		47,0	5,40	5,67	1,832	1,890	0,95	0,98
		47,1	5,39	5,42	1,851	1,909	0,96	0,99
26,2	85,6	42,3	4,99	5,38	1,802	1,909	0,97	0,99
		42,2	5,37	5,11	1,851	1,909	0,96	0,99
		47,7	5,41	5,28	1,851	1,890	0,96	0,98
		43,9	5,29	5,36	1,871	1,909	0,97	0,99
		45,5	5,36	5,32	1,871	1,890	0,97	0,98

## **9. Wnioski**

Zakres przeprowadzony w pierwszej części pracy zakres tematyczny obejmował:

- analizę istniejących metod badawczych określania nośności i zagęszczenia podłoża gruntów wbudowywanych warstwowo,
- zebranie dostępnych wyników badań z dotychczas przeprowadzonych badań terenowych,
- opracowanie programu badań,
- zaprojektowanie i wykonanie stanowisko badawczego,
- wyspecyfikowanie rodzajów gruntów podlegających badaniu,
- wykonanie badań wybranych gruntów na poletku doświadczalnym.

Przeprowadzone analizy i badania pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- tradycyjne metody badawcze pozwalają na określenie nośności i zagęszczenia podłoża gruntowego, ale wymagają stosowania dodatkowego oprzyrządowania i są czasochłonne,
- dotychczas zebrane wyniki badań uzyskane metodą statyczną i płytą dynamiczną w ograniczonym pozwalają wnioskować o możliwości na ich podstawie opracowania wiarygodnych zależności korelacyjnych (w szczególności dla materiałów alternatywnych),
- opracowany program badań umożliwi opracowanie zależności korelacyjnych pomiędzy metodą statyczną i dynamiczną dla wybranych rodzajów gruntów sypkich,
- celowym jest opracowanie metodyki badań i ich przeprowadzenie dla określenia zależności korelacyjnych pomiędzy tymi dwoma metodami dla coraz powszechniej stosowanych materiałów alternatywnych ( zagadnienie nie jest przedmiotem realizowanego tematu),
- w przypadku stwierdzenia podczas badań znacznego wpływu wilgotności gruntu na uzyskiwane wartości modułów dynamicznych istniała będzie potrzeba rozszerzenia zakresu badań w tym zakresie,
- należy rozważyć możliwość uzyskania zależności korelacyjnych pomiędzy wskaźnikiem zagęszczenia  $I_0$  określanego na podstawie wartości modułów uzyskanych metodą statyczną a stosunkiem przemieszczenia do jego prędkości  $s/v$  określanym metodą dynamiczną.

## 10. Bibliografia

- 1) PN-S-02205:1998, Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- 2) PN-88/B-04481, Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
- 3) Procedura badawcza, Badanie wskaźnika zagęszczenia PB/G/03/3 Laboratorium Inżynierii Lądowej w Katowicach „LABOTEST”.
- 4) Procedura badawcza, Badanie modułu odkształcenia warstw konstrukcyjnych nawierzchni PB/TG-1/1, Laboratorium Geotechniki TG-1 IBDiM w Warszawie.
- 5) Instrukcja Badań Podłoża Gruntowego Budowli drogowych i mostowych część 2 Załącznik Warszawa 1998 GDDP.
- 6) PN-B-04452:2002 Geotechnika.
- 7) M. Borowczyk, Z. Frankowski 1981: W. Bojanowski, M. Kubiczek 1995.
- 8) Instrukcja obsługi „Urządzenia lekkiego obciążnika opadowego ZFG 01”.
- 9) Maria J. Sulewska „Doświadczenia ze stosowania lekkiego ugięciomierza dynamicznego” Politechnika Białostocka.
- 10) BN- 64/8931-02 Drogi samochodowe. Oznaczenie modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą.
- 11) Z. Wiłun „Zarys geotechniki”.
- 12) Instrukcja postępowania przy badaniu stopnia zagęszczenia lekką sondą udarową. Laboratorium Geotechniki TG-1 IBDiM w Warszawie.
- 13) PN-77 / 8931-12, Oznaczenie wskaźnika zagęszczenia gruntu.
- 14) Instrukcja obsługi, Objętościomierza wodnego Euromatest.
- 15) Straße und Autobahn nr 3/2003  
Porównywanie wymagań i badań zagęszczenia gruntu oraz warstw podbudowy w krajach używających języka niemieckiego. Str.u.Auto.2003 nr s. 133-139.
- 16) Geotechnique nr 10/2002

- Przewidywanie zagęszczalności gruntów drobnoziarnistych. Geotechnique 2002 nr 10 s.761-763.
- 17) StraBen und Autobahn nr 1/2003  
Kontrola zagęszczenia na dużej powierzchni i stabilizacja gruntu.  
Str.u.Auto.2003 nr 1 s.16-19.
- 18) StraBen-und Tiefbau nr 6/2002  
Ciężkie walce wibracyjne i kontrola dynamicznego zagęszczenia powierzchniowego. Cz.1. Str.-u. Tief.2002 nr 7-8 s.12-19.
- 19) StraBen-und Tiefbau nr 4/2001  
Zasady pomiaru zagęszczenia, porównanie różnych metod. Str.- u.Tief.2001 nr 4 s.6-13
- 20) Drogownictwo nr 10/2002 Oznaczanie modułu odkształcenia podłoża.  
Wątpliwości interpretacyjne. Drogownictwo 2000 nr 10 s. 302-304.
- 21) Strasse und Verkehr nr 3/2000 Badanie płyta naciskową  $M_E$ . Str.u.Ver.2000 nr 3 s.74-76, 95-97. Krytyka starej normy.
- 22) Bulletin Des Laboratoires Des Ponts Et Chaussees nr 220/99 Zagęszczenie mieszanek kruszywa i właściwości ziaren. Bull. LCPC 1999 nr 220 s.21-33.
- 23) StraBe und Autobahn nr 7/99 Stosowanie metody M1 kontroli zagęszczenia gruntu. Przykład Str.u.Auto.1999 nr 7 s.350-354.
- 24) StraBen-und Tiefbau nr 10/98 Zagęszczenie gruntów- co to jest? Str.- u.Tief.1998 nr 10 s.10-13 Znaczenie wilgotności.
- 25) StraBe und Autobahn nr 12/96  
Dyskusja na temat artykułu „ Pierwsze uwagi o precyzji pomiarów płyta naciskowa do oznaczenia modułu odkształcenia”. Str.u.Auto.1996 nr 12 s.729-730
- 26) Leichtes Fallgewichtsgerat ZFG 02 nach Technischer Prufvorschrift fur Boden und Fels im Straßenbau TP BF – StB Teil B 8.3
- 27) Jadwiga Wilczek, Tomasz Kapica , 2003, Ocena nośności i zagęszczenia wybranych warstw konstrukcji nawierzchni i ulepszonego podłoża metodą badania dynamicznego modułu nośności

**ZAŁĄCZNIK  
Nr 1**

DO SPRAWOZDANIA Z REALIZACJI TEMATU

**Badanie i ustalenie zależności korelacyjnych dla oceny  
stanu zagęszczenia  
i nośności gruntów niespoistych płytą dynamiczną**

**ETAP PIERWSZY**

**ZAŁĄCZNIK  
Nr 1A**

**ZESTAWIENIE  
WYNIKÓW POMIARÓW  
PŁYTA NACISKOWĄ I PŁYTA DYNAMICZNA**

**Kruszywo łamane 0/31,5**

---

Lp.	Data	Wilgotność %	Badana warstwa	Rodzaj materiału	Wyniki pomiarów [MPa]	
					E <sub>2</sub>	E <sub>vd</sub>
15	„	4,6	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	188	57,3
16	26.09.2003	5,0	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	188	55,3
17	20.10.2003	5,2	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	188	52,1
18	„	5,2	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	188	61,2
19	„	4,9	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	55,8
20	13.10.2003	4,8	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	62,3
21	„	5,1	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	61,0
22	„	6,2	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	59,2
23	25.09.2003	5,1	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	65,2
24	„	4,1	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	61,2
25	„	4,3	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	63,1
26	13.10.2003	4,3	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	65,7
27	„	4,2	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	64,7
28	„	5,6	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	66,5
29	20.10.2003	5,3	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	67,4
30	„	5,2	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	65,2
31	„	6,1	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	60,8



Lp.	Data	Wilgotność %	Badana warstwa	Rodzaj materiału	Wyniki pomiarów [ MPa]	
					E <sub>2</sub>	E <sub>vd</sub>
32	22.09.2003	5,8	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	64,2
33	„	5,0	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	205	65,4
34	„	4,7	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	225	79,3
35	13.11.2003	5,4	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	225	81,3
36	„	4,5	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	225	75,6
37	„	4,7	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	225	76,9
38	13.10.2003	4,8	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	225	77,2
39	„	4,3	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	225	79,1
40	„	5,2	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	77,9
41	„	5,5	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	80,1
42	03.10.2003	5,4	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	79,3
43	„	5,6	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	85,3
44	„	4,1	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	81,3
45	01.10.2003	4,9	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	84,7
46	„	4,2	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	79,5
47	„	4,9	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	82,5
48	„	5,2	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	80,9

Lp.	Data	Wilgotność %	Badana warstwa	Rodzaj materiału	Wyniki pomiarów [MPa]	
					E <sub>2</sub>	E <sub>vd</sub>
49	17.09.2003	7,1	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	82,3
50	„	6,9	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	81,2
51	28.05.2003	5,7	dolna w-wa podbudowy	kruszywo 0/31,5	250	85,3

**ZAŁĄCZNIK  
Nr 1B**

---

**ZESTAWIENIE  
WYNIKÓW POMIARÓW  
PŁYTA NACISKOWĄ I PŁYTA DYNAMICZNA**

**Łupek przepalony 0/63**

---

ZESTAWIENIE WYNIKÓW POMIARÓW PŁYTA NACISKOWA, PŁYTA  
DYNAMICZNA ŁUPEK PRZEPALONY 0/63

Lp.	Data	Lokalizacja km	Badana warstwa nasypu	Rodzaj materiału	Wyniki pomiarów [ MPa]	
					E <sub>2</sub>	E <sub>vd</sub>
1	23.05.2003	324+475	4 w-wa	Łupek przepalony	97,8	32,8
2	"	324+450	4 w-wa	Łupek przepalony	64,2	34,2
3	"	324+250	1 w-wa	Łupek przepalony	51,1	36,2
4	"	320+800	3 w-wa	Łupek przepalony	86,5	34,8
5	"	320+900	3 w-wa	Łupek przepalony	60,8	31,3
6	"	322+175	2 w-wa	Łupek przepalony	102,2	55,5
7	"	322+750	3 w-wa	Łupek przepalony	93,8	39,2
8	"	319+725	1 w-wa	Łupek przepalony	97,8	40,0
9	"	318+280	5 w-wa	Łupek przepalony	72,6	35,1
10	"	317+025	9 w-wa	Łupek przepalony	77,6	38,7
11	"	317+075	9 w-wa	Łupek przepalony	76,7	37,1
12	"	317+125	9 w-wa	Łupek przepalony	90,0	39,2
13	"	317+175	10 w-wa	Łupek przepalony	79,4	39,5
14	"	317+175	10 w-wa	Łupek przepalony	79,4	45,5
15	26.05.2003	317+225	10 w-wa	Łupek przepalony	72,6	43,4
16	26.05.2003	317+260	10 w-wa	Łupek przepalony	71,8	43,8
17	"	317+260	11w-wa	Łupek przepalony	135,0	68,6
18	"	317+230	11 w-wa	Łupek przepalony	84,4	58,7
19	"	322+375	2 w-wa	Łupek przepalony	100,7	28,9
20	"	322+400	2 w-wa	Łupek przepalony	100,7	27,3
21	"	322+450	2 w-wa	Łupek przepalony	83,3	31,3
22	"	322+500	2 w-wa	Łupek przepalony	125,0	30,5
23	"	322+550	2 w-wa	Łupek przepalony	68,2	33,4
24	"	322+525	2 w-wa	Łupek przepalony	75,0	35,0
25	"	322+475	2 w-wa	Łupek przepalony	66,2	33,4
26	"	322+425	2 w-wa	Łupek przepalony	63,7	34,5

Lp.	Data	Lokalizacja km	Badana warstwa nasypu	Rodzaj materiału	Wyniki pomiarów [ MPa]	
					E <sub>2</sub>	E <sub>vd</sub>
27	„	323+300	2 w-wa	łupek przepalony	96,4	37,8
28	„	323+350	2 w-wa	łupek przepalony	68,9	33,2
29	„	324+050	1 w-wa	łupek przepalony	45,6	44,9
30	„	324+025	1 w-wa	łupek przepalony	83,3	32,5
31	„	324+300	1 w-wa	łupek przepalony	88,8	52,4
32	„	324+200	1 w-wa	łupek przepalony	112,5	52,0
33	„	320+875	3 w-wa	łupek przepalony	97,8	56,4
34	„	320+825	3 w-wa	łupek przepalony	110,7	35,0
35	„	321+000	3 w-wa	łupek przepalony	97,8	45,1
36	„	321+000	2 w-wa	łupek przepalony	84,4	25,3
37	„	323+175	2 w-wa	łupek przepalony	91,2	38,6
38	„	323+225	2 w-wa	łupek przepalony	73,4	39,8
39	„	317+075	10 w-wa	łupek przepalony	66,2	33,0
40	„	317+025	10 w-wa	łupek przepalony	87,7	28,5
41	„	317+225	10 w-wa	łupek przepalony	83,3	34,6
42	26.05.2003	317+265	10 w-wa	łupek przepalony	61,9	38
43	„	323+400	10 w-wa	łupek przepalony	96,4	34,8
44	„	323+450	2 w-wa	łupek przepalony	132,4	38,0
45	„	323+350	2 w-wa	łupek przepalony	78,5	23,5
46	„	323+300	1 w-wa	łupek przepalony	83,3	26,1
47	„	323+250	1 w-wa	łupek przepalony	72,6	30,8
48	„	323+275	1 w-wa	łupek przepalony	68,9	29,2
49	„	322+325	3 w-wa	łupek przepalony	72,6	36,7
50	„	322+300	3 w-wa	łupek przepalony	68,2	32,1
51	„	322+275	3 w-wa	łupek przepalony	76,7	19,0
52	„	318+260	5 w-wa	łupek przepalony	59,2	42,1
53	„	318+320	5 w-wa	łupek przepalony	56,3	37,8
54	„	317+025	7 w-wa	łupek przepalony	75,0	31,1
55	„	317+075	7 w-wa	łupek przepalony	71,8	29,9
56	„	317+125	8 w-wa	łupek przepalony	75,8	33,1
57	„	317+175	8 w-wa	łupek przepalony	70,3	27,6

Lp.	Data	Lokalizacja km	Badana warstwa nasypu	Rodzaj materiału	Wyniki pomiarów [ MPa]	
					E <sub>2</sub>	E <sub>vd</sub>
58	"	317+260	8 w-wa	Łupek przepalony	88,8	24,5
59	"	322+375	3 w-wa	Łupek przepalony	79,4	37,9
60	"	322+400	3 w-wa	Łupek przepalony	71,8	39,4
61	"	323+325	1 w-wa	Łupek przepalony	127,4	64,5
62	"	323+375	1 w-wa	Łupek przepalony	97,8	22,7
63	30.05.2003	322+550	3 w-wa	Łupek przepalony	81,3	22,9
64	"	322+525	3 w-wa	Łupek przepalony	67,5	54,6
65	"	322+475	3 w-wa	Łupek przepalony	65,5	26,4
66	"	322+350	3 w-wa	Łupek przepalony	74,2	25,6
67	"	322+000	3 w-wa	Łupek przepalony	93,8	26,4
68	30.05.2003	318+140	25 w-wa	Łupek przepalony	52,7	27,8
69	"	317+175	10w-wa	Łupek przepalony	137,8	42,6
70	"	317+125	10 w-wa	Łupek przepalony	82,3	38,8
71	"	322+450	3 w-wa	Łupek przepalony	67,5	38,6
72	"	322+200	3 w-wa	Łupek przepalony	65,5	22,0
73	"	322+150	3 w-wa	Łupek przepalony	75,8	22,4
74	"	323+200	1 w-wa	Łupek przepalony	79,4	24,0
75	"	323+400	1 w-wa	Łupek przepalony	86,5	33,4
76	"	317+225	12 w-wa	Łupek przepalony	114,4	39,7
77	"	317+225	8 w-wa	Łupek przepalony	88,8	42,7
78	"	316+950	10 w-wa	Łupek przepalony	88,8	44,9
79	"	319+475	A w-wa	Łupek przepalony	81,3	52,2
80	03.06.2003	324+175	1 w-wa	Łupek przepalony	127,4	64,5
81	"	324+000	2 w-wa	Łupek przepalony	82,3	23,6
82	"	324+100	2 w-wa	Łupek przepalony	74,2	30,0
83	"	324+475	6 w-wa	Łupek przepalony	100,7	29,0
84	"	324+470	6 w-wa	Łupek przepalony	65,5	23,6
85	"	316+975	8 w-wa	Łupek przepalony	68,2	34,7
86	"	317+025	8 w-wa	Łupek przepalony	79,4	28,1
87	"	317+175	8 w-wa	Łupek przepalony	105,5	37,8
88	"	317+125	8 w-wa	Łupek przepalony	92,5	43,5

Lp.	Data	Lokalizacja km	Badana warstwa nasypu	Rodzaj materiału	Wyniki pomiarów [ MPa]	
					E <sub>2</sub>	E <sub>vd</sub>
89	„	317+075	8 w-wa	łupek przepalony	118,4	41,0
90	„	317+390	A w-wa	łupek przepalony	87,7	35,8
91	„	322+225	2 w-wa	łupek przepalony	60,8	27,0
92	05.06.2003	322+500	2 w-wa	łupek przepalony	75,8	40,9
93	„	320+975	3 w-wa	łupek przepalony	122,0	51,3
94	05.06.2003	321+050	1 w-wa	łupek przepalony	105,5	38,9
95	„	320+775	3 w-wa	łupek przepalony	92,5	34,9
96	„	320+925	3 w-wa	łupek przepalony	108,9	42,4
97	„	317+175	6 w-wa	łupek przepalony	56,3	40,1
98	„	317+125	6 w-wa	łupek przepalony	75,3	39,1
99	„	317+075	6 w-wa	łupek przepalony	78,5	36,3
100	„	317+025	6 w-wa	łupek przepalony	77,6	40,9
101	„	324+000	1 w-wa	łupek przepalony	52,7	22,0
102	„	320+875	4 w-wa	łupek przepalony	93,8	21,7
103	„	320+975	4 w-wa	łupek przepalony	81,3	22,7
104	„	321+075	2 w-wa	łupek przepalony	85,4	27,0
105	„	321+175	2 w-wa	łupek przepalony	84,4	25,9

**ZAŁĄCZNIK  
Nr 1C**

**ZESTAWIENIE  
WYNIKÓW POMIARÓW  
PŁYTA NACISKOWĄ I PŁYTA DYNAMICZNA**

**Łupek przepalony**



ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ PORÓWNAWCZYCH NOŚNOŚCI PŁYTY VSS ORAZ PŁYTY DYNAMICZNA LEKKA  
łupek przepalony

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyty VSS			Wyniki pomiarów płyty dynamicznej			$E_{vd2}/E_{vd1}$	$E_p/E_{vd2}$	
					$E_1$	$E_2$	lo	$\frac{E_{vd1}}{\text{śr.odk}}$	$\frac{E_{vd2}}{\text{śr.odk}}$	$\frac{E_{vd2}}{E_{vd1}}$			
1	23-05-2004	324+475 P 10 m od osi	IV w-wa	łupek przepalony	47,8	97,8	2,0	0,69	32,6	0,67	33,5	1,03	2,92
								0,68	32,9	0,66	33,3	1,01	2,94
								0,75	29,9	0,71	31,6	1,06	3,09
									31,8		32,8		2,98
2	"	324+450 L 10 m od osi	IV w-wa	łupek przepalony	28,1	64,2	2,2	0,62	31,0	0,69	32,8	1,06	1,96
								0,84	26,8	0,76	29,5	1,10	2,18
									31,3		33,1		1,94
3	"	324+300 P 12 m od osi	I w-wa	łupek przepalony	33,6	83,3	2,5	0,85	26,6	0,56	39,9	1,50	2,09
								0,63	35,6	0,60	37,5	1,05	2,22
								0,75	29,9	0,71	31,7	1,06	2,63
									30,7		36,4		2,29
4	"	324+250 P 10 m od osi	I w-wa	łupek przepalony	24,4	51,1	2,1	0,70	32,4	0,66	34,2	1,06	1,48
								0,58	38,5	0,54	41,4	1,08	1,23
								0,74	30,2	0,68	33,1	1,10	1,54
									33,7		36,2		1,41
5	"	324+225 L 12 m od osi	I w-wa	łupek przepalony	30,4	93,8	3,1	0,94	23,9	0,73	30,9	1,29	3,03
								0,69	32,8	0,65	34,5	1,05	2,72
								0,85	26,4	0,74	30,2	1,14	3,10
									27,7		31,9		2,94
6	"	324+200 P 11 m od osi	I w-wa	łupek przepalony	28,8	80,3	2,8	0,80	28,3	0,73	30,7	1,08	2,62
								0,87	25,9	0,77	29,1	1,12	2,76
								0,65	34,7	0,57	39,7	1,14	2,02
									29,6		33,2		2,42
7	"	324+275 L 13 m od osi	I w-wa	łupek przepalony	27,7	72,6	2,6	0,67	33,6	0,50	45,1	1,34	1,61
								0,49	49,0	0,43	52,6	1,07	1,36
								0,74	30,4	0,59	38,3	1,26	1,90
									37,7		45,3		1,60
8	"	320+800 P 12 m od osi	III w-wa	łupek przepalony	47,8	86,5	1,8	0,65	34,6	0,63	35,9	1,04	2,41
								0,89	25,2	0,80	28,1	1,12	3,08
								0,64	35,3	0,56	40,5	1,15	2,14
									31,7		34,8		2,48
9	"	320+800 P 12 m od osi	III w-wa	łupek przepalony	23,9	62,5	2,6	0,74	30,6	0,66	34,0	1,11	1,84
								0,61	36,1	0,57	39,5	1,09	1,56
								0,73	30,7	0,70	32,2	1,05	1,94
									32,5		36,2		1,77
								0,69	32,8	0,67	33,7	1,03	1,80
10	"	320+800 P 11 m od osi	III w-wa	łupek przepalony	27,8	60,8	2,2	1,04	21,6	0,93	24,1	1,12	2,52
								0,72	31,1	0,62	36,1	1,16	1,65
									28,6		31,3		1,94

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Material	Wyniki pomiarów płyty VSS			Wyniki pomiarów płyty dynamiczna					$E_{z2}/E_{vst}$	
					$E_1$	$E_2$	$l_0$	$\bar{f}_{r.odk.}$	$E_{vst}$	$\bar{f}_{r.odk.}$	$\dots$	$E_{vst}$		
11	"	322+175 P 12 m od osi	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	47,8	102,2	2,1	0,88	25,5	50,2	0,63	50,9	1,97	2,04
								0,55	41,3	50,9	0,44	50,9	1,23	2,01
								0,44	51,0	65,4	0,34	65,4	1,28	1,56
									39,3	65,5		65,5		1,84
12	"	320+750 P 11 m od osi	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	46,9	93,8	2,0	0,83	27,1	33,5	0,67	33,5	1,24	2,80
								0,73	30,7	40,0	0,56	40,0	1,30	2,34
								0,73	30,7	40,8	0,55	40,8	1,33	2,30
									29,6	38,1		38,1		2,46
								0,93	24,2	32,3	0,70	32,3	1,33	2,25
13	"	320+950 P 10 m od osi	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	29,6	72,6	2,5	1,06	21,2	25,3	0,89	25,3	1,19	2,87
								0,74	30,5	38,2	0,59	38,2	1,25	1,90
									25,3	31,9		31,9		2,27
14	"	317+265 P 12 m od osi	w-wa zasadnicza 11-12	łupek przepalony	59,2	161,0	2,7	1,10	20,5	47,6	0,47	47,6	2,32	3,38
								1,03	21,8	50,7	0,44	50,7	2,33	3,18
								1,03	21,8	40,3	0,56	40,3	1,85	4,00
									21,4	48,2		48,2		3,48
15	"	317+230 P 10 m od osi	w-wa zasadnicza 11-12	łupek przepalony	37,5	97,8	2,6	0,72	31,1	55,5	0,55	55,5	1,32	2,39
								0,87	23,2	37,2	0,61	37,2	1,60	2,63
								0,96	23,6	41,4	0,54	41,4	1,75	2,36
									26,0	39,8		39,8		2,46
16	"	317+075 P 11 m od osi	w-wa zasadnicza 11-12	łupek przepalony	50,0	90,0	1,8	1,05	21,5	30,5	0,74	30,5	1,42	2,55
								0,82	27,4	37,1	0,61	37,1	1,35	2,43
								0,96	23,5	30,1	0,75	30,1	1,28	2,99
									24,1	32,6		32,6		2,76
17	"	317+025 P 10 m od osi	w-wa zasadnicza 11-12	łupek przepalony	56,3	97,8	1,7	0,83	27,2	68,8	0,68	68,8	1,22	2,94
								1,12	20,1	65,5	0,65	65,5	1,72	2,83
								0,96	23,5	31,6	0,71	31,6	1,34	3,09
									23,6	33,1		33,1		2,96
18	"	319+725 L	w-wa górna 1-2	łupek przepalony	44,1	97,8	2,2	0,78	28,7	39,2	0,57	39,2	1,37	2,49
								0,81	27,4	41,9	0,54	41,9	1,51	2,33
								0,96	23,4	38,9	0,58	38,9	1,66	2,51
									26,6	40,0		40,0		2,45
19	"	319+625 L	w-wa górna 1-2	łupek przepalony	29,6	90,0	3,0	0,80	28,0	67,0	0,67	67,0	1,20	2,68
								1,06	21,2	32,4	0,70	32,4	1,53	2,78
								0,71	31,9	35,8	0,63	35,8	1,12	2,51
									27,0	33,9		33,9		2,65
20	24-05-2003	318+260 P 8 m od osi	V w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	31,3	80,4	2,6	0,96	23,5	82,0	0,82	82,0	1,17	2,92
								0,82	27,6	35,8	0,63	35,8	1,30	2,25
								2,08	10,8	24,1	0,93	24,1	2,23	3,34
									20,6	29,1		29,1		2,76

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płytą VSS			Wyniki pomiarów płytą dynamiczną			E <sub>z</sub> /E <sub>z02</sub>		
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	l <sub>0</sub>	śr.odk.	śr.odk.	E <sub>v1</sub>		śr.odk.	E <sub>v02</sub>
21	"	316+280 L 7 m od osi	V w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	37,5	72,6	1,9	0,87	25,9	0,72	31,1	1,20	2,33
								1,27	17,7	0,56	40,1	2,27	1,81
								1,13	20,0	0,66	34,0	1,70	2,14
									21,2		35,1		2,07
22	"	316+260 P 10 m od osi	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	26,6	107,1	4,0	0,64	32,5	0,43	52,9	1,63	2,02
								0,94	23,9	0,59	38,4	1,61	2,78
								0,69	32,7	0,48	46,5	1,42	2,30
									29,7		45,9		2,33
23	"	317+025 L 15 m od osi	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	37,5	77,6	2,1	0,82	27,4	0,59	37,9	1,38	2,05
								0,88	25,6	0,59	37,9	1,48	2,05
								0,88	25,5	0,56	40,3	1,58	1,93
									26,2		38,7		2,01
24	"	317+075 L	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	40,7	76,7	1,9	0,70	32,1	0,52	43,2	1,35	1,78
								0,87	25,8	0,65	34,7	1,34	2,21
								1,12	20,0	0,62	36,4	1,82	2,11
									26,0		38,1		2,01
25	"	317+125 L	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	50,0	90,0	1,8	0,87	25,9	0,70	32,1	1,24	2,80
								0,78	29,0	0,43	52,3	1,60	1,72
								0,91	24,8	0,52	43,4	1,75	2,07
									26,6		42,6		2,11
26	"	317+125 P	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	25,7	72,6	2,5	1,01	22,2	0,49	46,4	2,08	1,56
								0,74	30,6	0,48	47,1	1,54	1,94
								0,98	22,9	0,73	30,9	1,35	2,35
									25,2		41,5		1,76
27	"	317+175 P	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	36,8	79,4	2,0	0,77	29,4	0,57	39,2	1,33	2,03
								1,56	14,4	0,47	47,5	3,30	1,87
								1,22	18,4	0,71	31,8	1,73	2,50
									20,7		39,5		2,01
28	"	317+175 L	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	x	x	x	0,73	30,7	0,45	50,3	1,64	
								0,64	35,2	0,40	56,4	1,60	
								0,60	37,6	0,47	48,1	1,28	
									34,6		61,6		
29	26-05-2003	317+175 L	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	38,8	79,4	2,0	0,93	24,1	0,62	36,1	1,50	2,20
								1,08	20,8	0,44	51,6	2,48	1,54
								0,63	35,8	0,46	46,7	1,36	1,63
									26,9		45,5		1,75
30	"	317+225 L	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	39,4	72,6	1,8	0,66	34,1	0,54	41,4	1,21	1,75
								0,82	27,4	0,50	44,8	1,64	1,62
								0,68	33,2	0,51	43,9	1,32	1,65
									31,6		43,4		1,67

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta VSS		Wyniki pomiarów płyta dynamiczna		E <sub>vd</sub> /E <sub>vd1</sub>	E <sub>z</sub> /E <sub>vdz</sub>			
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk.			E <sub>st</sub>	śr.odk.	E <sub>vd</sub>
31	"	317+260 L	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	37,7	71,8	1,9	0,67	33,6	42,1	1,25	1,71	
								0,52	43,5	42,4	0,97	1,69	
								0,70	32,0	46,8	1,46	1,53	
									36,4	43,8		1,64	
32	"	317+260 P	w-wa zasadnicza 11-12	łupek przepalony	64,3	135,0	2,1	0,60	37,7	61,0	1,62	2,21	
								0,60	37,3	60,3	1,62	2,24	
								0,62	36,1	57,7	1,60	2,34	
									37,0	59,7		2,26	
33	"	317+230 P	w-wa zasadnicza 11-12	łupek przepalony	45,6	84,4	1,9	0,40	55,8	68,6	1,23	1,23	
								0,51	44,4	59,1	1,33	1,43	
								0,85	26,4	48,5	1,84	1,74	
									44,2	68,7		1,44	
24	"	322+375 P 15 m od osi	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	51,5	100,7	2,0	0,97	23,1	30,9	1,34	3,28	
								0,97	23,2	25,1	1,08	4,01	
								0,98	23,1	30,8	1,33	3,27	
									23,1	28,9		3,48	
35	"	322+400 L 9 m od osi	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	46,9	100,7	2,1	1,16	19,3	0,87	25,9	1,34	3,68
								1,36	16,3	0,98	23,1	1,42	4,36
								0,94	23,9	0,68	32,9	1,38	3,06
									19,8	27,3		3,69	
36	"	322+450 L 11 m od osi	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	42,7	83,3	2,0	0,88	25,5	0,72	31,1	1,22	2,68
								0,87	25,9	0,70	32,0	1,24	2,60
								1,01	22,2	0,73	30,8	1,39	2,70
									24,5	31,3		2,66	
36	"	322+500 L 11 m od osi	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	56,3	125,0	2,2	0,67	33,7	0,60	37,8	1,12	3,31
								0,69	32,4	0,54	41,4	1,28	3,02
								1,05	21,4	0,78	29,0	1,36	4,31
									29,2	36,1		3,47	
37	"	322+550 L	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	32,6	68,2	2,1	0,90	25,1	0,74	30,5	1,22	2,24
								0,84	26,9	0,68	33,3	1,24	2,05
								0,74	30,6	0,61	36,5	1,19	1,87
									27,5	33,4		2,04	
37	"	322+525 P	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	33,8	75,0	2,2	0,89	25,3	0,65	34,8	1,38	2,16
								0,67	33,4	0,57	39,8	1,19	1,88
								0,96	23,5	0,74	30,3	1,29	2,48
									27,4	35,0		2,14	
39	"	322+475 P	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	29,5	66,2	2,2	0,76	29,6	0,60	37,3	1,26	1,77
								0,62	27,5	0,67	32,7	1,19	2,02
								0,90	25,1	0,73	30,2	1,20	2,19
									27,4	33,4		1,98	
40	"	322+425 P	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	28,4	63,7	2,2	0,70	32,4	0,59	38,3	1,18	1,66
								0,89	22,7	0,71	31,5	1,39	2,02
								0,87	26,0	0,67	33,7	1,30	1,89
									27,0	34,5		1,85	

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta VSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczną			E <sub>1</sub> /E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub> /E <sub>2</sub>	
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk. <sub>1-3</sub>	śr.odk. <sub>1-3</sub>	E <sub>1</sub>			E <sub>2</sub>
41	"	323+300 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	45,3	96,4	2,1	0,79	28,4	0,69	32,4	1,14	2,98
								0,65	34,9	0,65	34,8	1,00	2,77
								0,66	34,0	0,52	43,0	1,26	2,24
									32,4		36,7		2,62
42	"	323+350 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	34,1	68,9	2,0	0,70	32,2	0,60	37,6	1,17	1,82
								0,99	22,8	0,62	36,2	1,59	1,90
								1,17	19,2	0,87	25,7	1,34	2,68
									24,7		33,2		2,07
43	"	323+400 L 12 od osi	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	30,1	78,5	2,6	0,89	25,2	0,71	31,5	1,25	2,49
								0,70	32,4	0,61	36,9	1,14	2,13
								0,80	28,2	0,65	34,8	1,23	2,26
									28,6		34,4		2,28
44	"	323+450 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	24,4	78,5	3,2	0,70	32,3	0,67	33,4	1,03	2,35
								1,71	19,2	0,70	32,1	1,67	2,45
								0,87	25,8	0,68	33,3	1,29	2,36
									25,8		32,9		2,38
45	"	324+050 L	I w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	24,5	45,6	1,9	0,47	47,6	0,52	43,6	0,92	1,05
								0,71	31,6	0,47	47,5	1,50	0,96
								0,79	28,4	0,52	43,7	1,54	1,04
									35,9		44,9		1,01
46	"	324+025 P	I w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	41,4	83,3	2,0	0,62	36,1	0,56	40,4	1,12	2,06
								1,41	16,0	0,82	27,4	1,71	3,04
								0,82	27,5	0,76	29,8	1,08	2,80
									26,5		32,5		2,56
47	"	324+300 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	48,2	88,8	1,8	0,40	66,8	0,34	67,0	1,18	1,33
								0,58	39,1	0,55	41,1	1,05	2,16
								0,57	39,3	0,46	49,1	1,25	1,81
									45,1		52,4		1,69
48	"	324+200 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	59,2	112,5	1,9	0,46	49,1	0,26	87,2	1,78	1,29
								0,51	43,9	0,27	83,3	1,90	1,35
								1,01	22,4	0,36	62,5	2,79	1,80
									38,5		77,7		1,45
49	27-05-2003	320+875 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	39,2	129,8	3,3	1,44	15,6	0,45	49,6	3,18	2,62
								1,05	21,5	0,37	60,8	2,83	2,13
								1,08	20,9	0,43	52,9	2,53	2,45
									19,3		54,4		2,38
50	"	320+825 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	27,1	86,5	3,2	0,76	29,5	0,39	58,1	1,97	1,49
								0,73	30,7	0,45	50,1	1,63	1,73
								0,95	23,8	0,51	44,5	1,87	1,94
									28,0		60,9		1,70

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płytą VSS			Wyniki pomiarów płytą dynamiczną			E <sub>wp</sub> /E <sub>wt</sub>	E <sub>z</sub> /E <sub>wz</sub>	
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk.	lo	śr.odk.			E <sub>wp</sub>
51	"	320+875 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	50,0	97,8	2,0	0,67	33,8	0,43	52,0	1,54	1,88
								0,67	39,2	0,40	56,0	1,43	1,75
								0,65	34,5	0,37	61,3	1,78	1,60
									36,8		66,4		1,73
52	"	320+825 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	57,7	110,7	1,9	0,85	26,5	0,67	33,6	1,27	3,29
								1,04	21,7	0,72	31,2	1,44	3,55
								1,40	16,0	0,56	40,3	2,52	2,75
									21,4		35,0		3,16
								0,66	34,4	0,49	48,3	1,35	2,75
								0,69	32,8	0,47	48,3	1,47	2,64
								0,54	41,6	0,47	47,7	1,15	2,67
									36,3		47,4		2,69
								0,64	35,4	0,50	44,9	1,27	2,18
								0,76	29,5	0,50	44,6	1,51	2,19
								0,63	27,1	0,51	43,8	1,62	2,23
									30,7		44,4		2,20
								1,07	21,0	0,67	33,4	1,59	3,37
								0,90	24,9	0,70	32,4	1,30	3,47
								0,96	22,9	0,67	33,8	1,48	3,33
									22,9		33,2		3,39
								0,74	30,2	0,47	47,7	1,58	2,05
								0,68	33,1	0,54	41,4	1,25	2,36
								0,69	32,7	0,49	46,2	1,41	2,12
									32,0		45,1		2,17
								1,19	19,0	0,86	26,3	1,38	3,25
								1,41	16,0	0,96	23,5	1,47	3,63
								1,24	18,1	0,87	25,8	1,43	3,31
									17,7		25,2		3,39
								1,01	22,3	0,87	25,7	1,15	3,28
								1,12	20,0	0,88	25,5	1,28	3,31
								1,41	16,0	0,91	24,7	1,54	3,42
									19,4		25,3		3,34
								1,14	19,8	0,81	27,8	1,40	3,28
								1,51	14,9	0,94	23,9	1,60	3,82
								0,77	29,4	0,69	32,5	1,11	2,81
									21,4		26,1		3,25
								0,77	29,3	0,58	36,6	1,32	1,90
								0,75	30,1	0,62	36,1	1,20	2,03
								0,63	35,9	0,50	44,7	1,25	1,64
									31,8		39,8		1,84

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta VSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczna			E <sub>vdz</sub> /E <sub>vert</sub>	E <sub>z</sub> /E <sub>vdz</sub>	
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk.	E <sub>vd1</sub>	śr.odk.			E <sub>vdz</sub>
61	"	321+275 P	wzmocnienie podłoża	łupek przepalony	40,2	95,1	2,4	0,61	37,1	0,53	42,5	1,15	2,24
								0,73	30,8	0,54	41,7	1,35	2,28
								0,56	39,9	0,50	44,8	1,12	2,12
									35,9		43,0		2,21
62	"	317+075 P	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	32,0	66,2	2,1	0,78	28,8	0,72	31,2	1,08	2,12
								1,10	19,9	0,64	34,9	1,75	1,90
								0,94	23,9	0,68	32,9	1,38	2,01
									24,2		33,0		2,01
63	"	317+025 P	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	42,5	87,7	2,1	0,92	24,6	0,76	29,8	1,21	2,94
								1,30	17,3	0,88	25,6	1,48	3,43
								0,98	22,7	0,74	30,2	1,33	2,90
									21,6		28,6		3,07
64	"	317+225 P	w-wa asadnicza 9-10	łupek przepalony	39,5	83,3	2,1	0,63	35,5	0,60	37,6	1,06	2,22
								0,70	32,2	0,65	34,9	1,08	2,39
								1,88	11,9	0,72	31,2	2,62	2,67
									26,5		34,6		2,41
65	"	317+265 P	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	30,7	61,9	2,0	0,70	32,4	0,68	33,1	1,02	1,87
								0,70	32,6	0,67	33,8	1,04	1,83
								0,87	33,8	0,64	35,3	1,04	1,75
									32,9		34,1		1,82
66	28-05-2003	323+400 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	51,1	96,4	1,9	0,89	22,8	0,59	38,0	1,67	2,54
								1,04	21,7	0,71	31,6	1,46	3,05
								1,30	17,3	0,65	34,8	2,01	2,77
									20,6		34,8		2,77
67	"	323+450 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	63,7	132,4	2,1	1,42	15,8	0,70	32,1	2,03	4,12
								0,72	31,4	0,55	41,0	1,31	3,23
								0,89	25,3	0,55	40,8	1,61	3,25
									24,2		38,0		3,49
68	"	323+430 P	I w-wa wodopopuszczalna	łupek przepalony	25,2	79,4	3,2	1,42	15,9	0,75	29,8	1,87	2,66
								1,29	17,5	0,84	26,7	1,53	2,97
								1,04	21,6	0,70	32,0	1,48	2,48
									18,3		29,5		2,69
69	"	323+400 P	I w-wa wodopopuszczalna	łupek przepalony	28,2	77,6	2,7	1,24	18,1	0,92	24,5	1,35	3,17
								1,02	20,7	0,82	27,6	1,33	2,81
								1,51	14,2	0,90	24,9	1,75	3,12
									17,7		26,7		3,02
70	"	323+350 P	I w-wa wodopopuszczalna	łupek przepalony	39,9	78,5	2,0	1,38	16,3	0,88	25,7	1,58	3,05
								1,34	16,8	0,91	24,9	1,48	3,15
								1,66	13,5	1,13	19,9	1,47	3,94
									15,5		23,6		3,34

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta YSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczna			E <sub>z</sub> /E <sub>wp</sub>		
					E <sub>1</sub>	E <sub>z</sub>	lo	śr.odk.	E <sub>wp</sub>	E <sub>wp</sub> /E <sub>wp1</sub>		E <sub>z</sub> /E <sub>wp</sub>	
71	"	323+300 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	43,5	83,3	1,9	1,06	21,2	0,86	26,3	1,39	3,17
								0,86	23,6		26,1		3,25
72	"	323+250 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	32,8	72,6	2,2	0,86	26,1	0,71	31,5	2,04	2,30
								0,86	18,5	0,84	26,8	1,45	2,71
73	"	323+275 L	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	36,5	68,9	1,9	1,04	21,6	0,73	30,8	1,43	2,24
								1,12	20,0	0,76	29,6	1,48	2,33
74	"	323+325 L	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	24,0	76,7	3,2	1,20	18,8	0,83	27,3	1,45	2,52
								0,95	23,8	0,72	29,2		2,36
								1,01	22,3	0,64	31,4	1,32	2,44
								1,18	19,1	0,64	34,9	1,83	2,20
									21,7		33,9		2,26
75	"	322+325 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	34,6	72,6	2,1	1,34	16,8	0,48	46,7	1,02	1,55
								1,03	21,9	0,76	33,6	2,00	2,16
									28,1		36,7		1,98
76	"	322+300 P	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	31,7	68,2	2,2	0,93	24,1	0,76	29,8	1,24	2,29
								0,79	23,2	0,71	31,7	1,37	2,15
									26,2		34,7	1,23	1,97
									18,7	1,13	20,0	1,07	2,13
77	"	322+275 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	42,2	76,7	1,8	1,21	16,4	1,33	17,0	1,04	4,51
								1,52	14,8	1,22	20,1	1,36	3,82
									16,6		19,0		4,03
78	"	322+425 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	26,1	74,2	2,8	1,19	18,9	1,10	20,5	1,08	3,62
								0,88	25,6	0,69	32,5	1,27	2,28
									23,7		28,0		2,66
									19,7	0,60	37,5	1,90	2,50
79	"	322+475 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	31,3	93,7	3,0	0,95	23,7	0,96	40,1	1,69	2,34
								0,94	24,0	0,54	41,4	1,73	2,26
									22,5		39,7		2,36
									25,1	0,74	30,2	1,20	2,76
80	"	322+525 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	24,7	83,3	3,4	0,80	28,1	0,66	34,2	1,22	2,44
								0,64	35,4	0,63	35,5	1,00	2,35
									29,5		33,3		2,60



Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płytą VSS			Wyniki pomiarów płytą dynamiczną				E <sub>uz</sub> /E <sub>gt1</sub>	E <sub>z</sub> /E <sub>wz</sub>
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk.	E <sub>wt</sub>	śr.odk.	E <sub>wz</sub>		
81	"	322+500 P	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	31,8	82,3	2,6	1,00	28,7	0,73	30,9	1,04	2,66
								0,99	22,6	0,73	30,8	1,36	2,67
									22,7	0,77	28,1	1,28	2,83
									26,0		30,3		2,72
82	"	322+550 P	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	21,0	96,4	4,6	0,87	25,8	0,69	32,7	1,27	2,95
								0,87	25,8	0,64	34,9	1,35	2,76
								0,51	44,6	0,44	50,9	1,14	1,89
									32,1		39,6		2,44
83	"	322+350 P	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	26,5	68,9	2,6	0,90	25,0	0,71	31,8	1,27	2,17
								1,14	19,8	0,86	26,2	1,32	2,63
								1,53	14,8	0,81	27,8	1,88	2,48
									19,9		28,6		2,41
84	"	318+260 P	V w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	26,7	59,2	2,2	0,74	30,4	0,56	40,3	1,33	1,47
								1,01	22,3	0,63	35,9	1,61	1,65
								1,11	20,2	0,59	36,4	1,90	1,54
									24,3		38,2		1,66
85	"	318+320 L	V w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	27,9	56,3	2,0	0,70	32,4	0,54	42,1	1,30	1,34
								0,64	35,0	0,56	40,5	1,16	1,39
								0,81	27,7	0,73	30,9	1,12	1,82
									31,7		37,8		1,49
86	"	318+975 L	w-wa 5-6	łupek przepalony	31,4	76,7	2,4	0,83	35,7	0,49	46,0	1,29	1,67
								0,50	45,2	0,33	67,6	1,50	1,13
								0,87	25,8		66,9		1,35
									49,7	0,39	68,3	1,17	1,65
87	"	317+425 P	wzmocnienie podłoża	łupek przepalony	29,9	96,4	3,2	0,75	29,9	0,44	50,8	1,70	1,90
								1,13	19,9	0,52	43,7	2,20	2,21
									33,2		60,9		1,89
88	"	317+475 P	wzmocnienie podłoża	łupek przepalony	25,2	67,5	2,7	0,46	48,7	0,43	52,8	1,08	1,28
								0,59	38,3	0,51	44,0	1,15	1,53
								0,50	44,7	0,49	46,1	1,03	1,46
									43,9		47,6		1,42
									42,0	0,51	44,2	1,05	1,62
89	"	317+525 P	wzmocnienie podłoża	łupek przepalony	22,5	71,8	3,2	0,54	42,0	0,51	44,2	1,05	1,62
								0,62	36,5	0,56	40,0	1,10	1,80
								0,69	32,5	0,62	36,5	1,12	1,97
									37,0		40,2		1,76
90	"	317+575 P	wzmocnienie podłoża	łupek przepalony	27,0	86,8	3,3	0,37	61,6	0,36	63,2	1,03	1,41
								0,48	47,3	0,45	49,8	1,05	1,78
								0,46	48,5	0,44	51,3	1,06	1,73
									52,5		54,8		1,62

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyty VSS			Wyniki pomiarów płyty dynamiczna				E <sub>uz</sub> /E <sub>vst</sub>	E <sub>z</sub> /E <sub>vst</sub>	
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	l <sub>o</sub>	śr. odk.	E <sub>vst</sub>	śr. odk.	E <sub>vst</sub>			E <sub>vst</sub>
91	"	316+990 P	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	23,8	56,3	2,4	0,59	37,9	0,48	46,8	1,23	1,20	1,17
92	"	316+990 L	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	55,8	102,8	1,8	0,73	38,8	0,59	38,1	0,98	2,70	2,99
93	"	317+390 L	w-wa wodoprzepuszczalna C	łupek przepalony	48,6	108,9	2,2	2,30	9,6	0,55	41,1	4,19	2,65	2,96
94	"	317+425 L	w-wa wodoprzepuszczalna A	łupek przepalony	41,7	91,2	2,2	0,57	39,8	0,46	48,9	1,23	1,87	1,85
95	"	318+190 L	w-wa pod przyczółek 25-26	łupek przepalony	37,7	72,6	1,9	0,60	37,3	0,59	38,5	1,03	1,89	1,93
96	"	318+170 P	w-wa pod przyczółek 25-26	łupek przepalony	34,3	64,9	1,9	0,88	25,6	0,88	25,5	1,00	2,55	1,47
97	"	318+260 P	w-wa pod przyczółek 28-29	łupek przepalony	32,0	66,8	2,1	1,48	16,4	0,79	28,4	1,73	2,35	2,18
98	"	318+320 L	w-wa pod przyczółek 28-29	łupek przepalony	36,7	74,2	2,0	0,89	25,2	0,71	31,9	1,27	2,33	2,09
99	"	317+025 L	w-wa 7-8	łupek przepalony	39,2	75,0	1,9	1,16	19,4	0,75	30,2	1,56	2,48	2,41
100	"	317+075 L	w-wa 7-8	łupek przepalony	32,0	71,8	2,2	1,31	17,2	0,68	33,2	1,93	2,16	2,37
								1,26	17,9	0,86	26,2	1,46	2,74	2,40
								19,2			29,9			

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta VSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczną			E <sub>2</sub> /E <sub>ref</sub>		
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	l <sub>0</sub>	śr.odk.	E <sub>ref</sub>	śr.odk.		E <sub>ref</sub>	
101	"	317+125 L	w-wa 7-8	łupek przepalony	42,2	75,8	1,8	0,62	26,2	0,56	39,9	1,52	1,90
								0,98	23,0	0,71	31,5	1,37	2,41
								0,83	27,2	0,80	28,0	1,03	2,71
102	"	317+175 L	w-wa 7-8	łupek przepalony	39,2	70,3	1,8	1,12	26,5	0,87	33,1	1,29	2,29
								0,95	22,9	0,93	24,2	1,06	2,90
								0,76	29,5	0,75	29,8	1,01	2,36
								1,09	24,1	0,82	26,6	1,11	2,65
103	"	317+260 L	w-wa 7-8	łupek przepalony	39,9	88,8	2,2	1,40	20,7	0,82	27,6	1,33	3,22
								1,26	16,0	0,98	22,9	1,43	3,88
								1,26	17,8	0,98	23,0	1,29	3,86
								0,72	18,2	0,76	24,5	1,11	3,62
104	"	317+225 L	w-wa 11-12	łupek przepalony	27,6	82,3	3,0	1,04	31,4	0,61	37,2	1,18	2,21
								1,26	21,6	1,05	21,5	1,00	3,83
								0,61	17,8	0,99	20,7	1,16	3,98
								0,69	23,6	0,48	26,6	1,27	3,11
105	"	322+375 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	35,5	79,4	2,2	0,89	37,0	0,48	46,9	1,27	1,69
								0,97	32,8	0,61	37,2	1,13	2,13
								0,58	31,0	0,76	29,7	1,28	2,67
								1,10	39,1	0,50	37,9	1,09	2,09
106	"	322+400 P	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	34,4	71,8	2,1	1,10	39,1	0,50	44,8	1,15	1,60
								0,51	20,5	0,93	24,2	1,18	2,97
								0,66	44,2	0,46	49,1	1,11	1,46
								0,82	34,6	0,59	39,4	1,13	1,82
107	"	322+425 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	26,0	65,5	2,5	0,82	34,0	0,59	38,3	1,13	1,71
								0,69	24,5	0,91	24,6	1,00	2,66
								0,51	32,6	0,63	36,0	1,10	1,82
								0,51	30,4	0,34	33,0	1,05	1,99
108	"	323+325 L	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	76,7	127,4	1,7	0,40	44,6	0,34	66,0	1,48	1,93
								0,46	56,3	0,35	64,7	1,15	1,97
								0,74	48,9	0,36	62,7	1,28	2,03
								0,81	49,9	0,71	64,5	1,05	1,98
109	"	323+375 L	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	45,6	97,8	2,1	0,86	30,4	0,71	31,8	1,05	3,08
								0,81	26,1	0,76	29,6	1,13	3,30
								1,00	27,8	0,77	29,3	1,05	3,34
								0,60	28,1	0,98	30,2	1,11	3,23
110	"	323+400 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	19,1	72,6	3,8	0,64	22,5	0,98	23,1	1,03	3,14
								0,60	35,1	0,58	39,1	1,11	1,86
								0,60	37,8	0,56	40,5	1,07	1,79
								0,60	31,8	0,56	34,2	1,07	2,12

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta YSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczna			$E_{p2}/E_{p1}$	$E_{p2}/E_{p1}$	
					$E_1$	$E_2$	lo	śr.odf.k.	$E_{ver}$	śr.odf.k.			$E_{vaz}$
111	30-05-2003	322+550 P	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	37,7	81,3	2,2	1,27	17,7	0,99	22,7	1,28	3,58
								1,36	16,6	1,04	21,7	1,31	3,75
								1,16	19,4	0,92	24,4	1,26	3,33
								17,9			22,9		3,66
112	*	322+525 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	30,1	67,5	2,2	0,55	41,1	0,39	58,3	1,42	1,16
								0,55	41,1	0,36	63,2	1,54	1,07
								0,72	31,4	0,53	42,2	1,34	1,60
								37,9			54,6		1,24
								0,79	26,5	0,54	42,7	1,50	2,40
								0,92	24,6	0,54	41,7	1,70	2,45
								0,73	30,9	0,47	47,5	1,54	2,15
								28,0			44,0		2,33
								1,29	17,4	0,89	25,3	1,45	2,59
113	*	322+500 P	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	39,0	102,3	2,6	1,18	19,0	0,66	26,3	1,38	2,49
								1,20	18,7	0,76	27,6	1,46	2,37
								18,4			26,4		2,48
								1,25	18,0	0,72	31,1	1,73	2,59
								1,23	18,4	0,69	32,8	1,78	2,45
								1,14	19,7	0,62	36,6	1,86	2,20
								18,7			33,5		2,40
								1,21	18,6	0,89	25,4	1,37	2,92
								1,47	15,3	0,86	26,0	1,70	2,85
								1,18	19,1	0,88	25,3	1,32	2,93
								17,7			25,6		2,90
								0,88	25,7	0,62	36,3	1,41	2,58
								0,56	40,3	0,52	43,4	1,08	2,16
								0,69	32,5	0,61	37,1	1,14	2,53
								32,8			38,9		2,41
								1,22	18,4	0,85	26,4	1,43	2,17
								0,85	26,4	0,74	30,3	1,15	1,89
								1,10	20,5	0,85	26,6	1,30	2,15
								21,8			27,8		2,06
								1,12	20,2	0,74	30,4	1,50	2,41
								1,69	13,3	0,82	25,2	1,89	2,91
								1,25	18,0	0,86	26,0	1,44	2,82
								17,2			27,2		2,70
								0,72	31,5	0,53	42,9	1,36	3,21
								0,56	39,9	0,48	46,9	1,18	2,94
								0,68	33,1	0,59	36,1	1,15	3,62
								34,8			42,6		3,23

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta VSS		Wyniki pomiarów płyta dynamiczna				$E_2/E_{vst}$	$E_2/E_{vst}$	
					$E_1$	$E_2$	$l_0$	$f_{rodka}$	$E_{vst}$	$f_{rodka}$			$E_{vst}$
121	"	317+125 P	w-wa zasadnicza 9-10	łupek przepalony	39,2	82,3	2,1	0,93	27,2	0,52	42,9	1,58	1,92
							0,81	27,9	0,68	33,2	1,19	2,48	
122	"	318+260 P	nasyt pod przyczółek w-wa IV	łupek przepalony	29,0	88,8	3,1	1,29	17,5	0,75	29,9	1,71	2,97
							1,19	18,9	0,79	28,6	1,51	3,10	2,80
								19,4		29,7		2,99	
123	"	317+390 L	w-wa B wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	51,9	105,5	2,0	0,93	24,3	0,63	35,5	1,46	3,66
							1,18	19,0	0,70	32,1	1,69	3,29	2,97
								22,4		32,1		3,28	
124	"	320+950 P	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	67,5	129,8	1,9	0,66	34,2	0,53	42,4	1,24	3,06
							1,16	19,5	0,52	43,0	2,21	3,02	
								36,6		49,9		2,60	
125	"	321+025 P	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	46,9	103,8	2,2	0,79	28,4	0,88	33,1	1,17	3,14
							0,89	25,4	0,68	33,2	1,31	3,13	
								29,9		37,3		2,79	
126	"	324+325 L	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	29,0	63,7	2,2	0,82	36,2	0,49	45,7	1,28	1,39
							1,03	21,8	0,67	33,6	1,54	1,90	
							0,67	33,5	0,55	42,1	1,26	1,51	
								30,6		40,6		1,57	
127	"	324+350 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	45,9	91,2	2,0	0,42	54,1	0,35	65,2	1,21	1,40
							0,41	54,3	0,36	62,2	1,15	1,47	
							0,32	69,7	0,31	72,3	1,04	1,26	
								69,4		66,6		1,37	
128	"	323+450 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	37,7	71,1	1,9	0,82	36,5	0,55	40,8	1,12	1,74
							0,71	31,7	0,53	42,5	1,34	2,16	
								31,7		38,7		1,84	
129	"	323+425 L	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	54,9	90,0	1,6	0,68	33,0	0,64	35,3	1,07	2,55
							0,78	28,7	0,70	32,2	1,12	2,65	
								31,6		34,0		2,65	
								8,2	2,66	8,4	1,02	6,93	
130	"	318+425 L	w-wa zasadnicza 27-28	łupek przepalony	14,0	56,2	4,1	0,70	32,3	0,63	35,9	1,11	1,62
							2,22	10,2	2,29	9,8	0,96	5,94	
								16,9		18,0		3,23	

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Material	Wyniki pomiarów płyty VSS			Wyniki pomiarów płyty dynamiczna					E <sub>z</sub> /E <sub>vdz</sub>	
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	l <sub>0</sub>	śr.ods.	E <sub>vdz</sub>	śr.ods.	E <sub>vd1</sub>	śr.ods.		E <sub>vd2</sub>
131	"	324+000 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	25,8	52,7	2,0	0,82	27,6	0,78	28,9	1,05	1,82	2,30
								1,18	19,1	0,98	22,9	1,20	2,30	2,21
								1,22	18,4	0,94	23,9	1,30	2,21	2,08
									21,7		25,2		2,08	
132	"	324+025 P	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	36,5	68,2	1,9	0,89	25,2	0,81	27,7	1,10	2,46	
								1,03	21,9	0,93	24,3	1,11	2,81	
								0,95	23,6	1,05	21,4	0,91	3,19	
									23,6		24,5		2,79	
133	"	324+050 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	38,1	62,5	1,6	1,33	16,9	0,95	23,9	1,41	2,62	
								0,94	24,0	0,88	25,3	1,05	2,47	
								0,85	25,5	0,92	24,5	0,96	2,95	
									22,1		24,6		2,54	
134	"	324+075 P	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	41,9	93,8	2,2	0,81	24,9	0,69	32,8	1,32	2,86	
								0,87	25,9	0,71	31,8	1,23	2,95	
								0,94	26,9	0,70	32,1	1,19	2,92	
									25,9		32,2		2,91	
135	"	324+100 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	31,1	59,7	1,9	1,00	22,6	0,76	28,9	1,28	2,07	
								1,09	20,6	0,94	23,9	1,16	2,50	
								1,29	17,5	0,96	23,5	1,34	2,54	
									20,2		25,4		2,35	
136	"	324+125 P	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	60,3	116,4	1,9	0,54	41,4	0,49	45,6	1,10	2,55	
								0,59	38,6	0,49	46,1	1,20	2,52	
								0,61	36,9	0,43	62,4	1,42	2,22	
									38,9		48,0		2,42	
137	02-06-2003	324+150 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	31,4	70,3	2,2	0,63	35,9	0,55	41,1	1,14	1,71	
								1,08	20,9	0,59	38,1	1,82	1,85	
								1,06	21,3	0,72	31,3	1,47	2,25	
									26,0		36,8		1,91	
138	"	324+175 L	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	25,1	69,6	2,8	0,52	43,7	0,55	41,1	0,94	1,69	
								0,57	39,7	0,59	38,1	0,96	1,83	
								0,76	29,6	0,72	31,3	1,06	2,22	
									37,7		36,8		1,89	
139	"	324+250 L	II w-wa nieprzepuszczalna	łupek przepalony	46,2	103,8	2,2	1,06	21,1	0,75	30,0	1,42	3,46	
								0,98	22,9	0,72	31,3	1,37	3,32	
								1,11	20,2	0,75	30,0	1,49	3,46	
									21,4		30,4		3,41	
								0,62	36,1	0,43	52,4	1,45	2,22	
140	"	324+275 L	I w-wa nieprzepuszczalna	łupek przepalony	54,9	116,4	2,1	0,41	64,3	0,29	78,9	1,45	1,48	
								0,42	63,4	0,29	78,9	1,48	1,48	
									47,9		70,1		1,66	

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyt YSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczna			$E_{vd}/E_{vet}$	$E_d/E_{d2}$	
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	l <sub>o</sub>	śr.odk <sub>o</sub>	E <sub>vet</sub>	śr.odk <sub>e</sub>			E <sub>vdz</sub>
151	"	317+225 P	w-wa 7-8	łupek przepalony	40,4	88,8	2,2	1,08	20,9	0,80	28,1	1,34	3,16
								0,78	28,8	0,64	35,3	1,23	2,52
								0,83	27,0	0,82	33,7	1,25	2,64
152	"	316+950 P	w-wa 9-10	łupek przepalony	41,7	88,8	2,1	0,64	25,6	0,53	32,4	1,21	2,08
								0,65	34,6	0,55	41,3	1,19	2,15
								0,50	45,1	0,44	50,7	1,12	1,75
153	"	319+475L	w-wa wodoprzepuszczalna A	łupek przepalony	48,2	81,3	1,7	0,54	38,3	0,46	44,9	1,17	1,88
								0,46	41,9	0,40	48,9	1,17	1,66
								0,56	49,1	0,40	56,8	1,16	1,43
									40,4	0,44	50,8	1,26	1,60
									43,8		52,2		1,56
154	03-06-2005	324+175 L	I w-wa nieprzepuszczalna	łupek przepalony	55,2	127,4	2,2	0,42	63,6	0,36	64,6	1,21	1,97
								0,39	67,5	0,32	70,1	1,22	1,82
								0,51	44,0	0,36	56,7	1,33	2,17
									61,7		64,5		1,88
155	"	324+000 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	37,9	82,3	2,2	1,11	20,2	0,94	24,6	1,22	3,35
								1,18	19,0	1,04	21,7	1,14	3,79
								1,05	21,4	0,92	24,5	1,14	3,36
									20,2		23,6		3,49
156	"	324+100 L	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	33,4	74,2	2,2	0,84	26,3	0,81	27,7	1,05	2,68
								1,05	21,3	0,79	28,5	1,34	2,60
								1,24	18,2	0,83	27,0	1,48	2,75
									21,9		27,7		2,68
157	"	324+475 P	VI w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	52,7	100,7	1,9	0,94	24,0	0,73	30,7	1,28	3,28
								1,17	19,2	0,94	24,0	1,25	4,20
								0,83	24,2	0,69	32,4	1,34	3,11
									22,5		29,0		3,47
158	"	324+470 L	VI w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	37,7	65,5	1,7	1,01	22,2	0,79	28,4	1,28	2,31
								1,25	18,0	1,01	22,3	1,24	2,94
								1,16	19,4	1,13	20,0	1,03	3,28
									19,9		23,6		2,78
159	"	316+975 L	7-8 wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	32,8	66,2	2,1	0,81	27,2	0,62	36,5	1,34	1,87
								0,90	24,9	0,68	33,1	1,33	2,06
								0,91	24,8	0,65	34,6	1,40	1,97
									25,6		34,7		1,96
								1,04	21,7	0,66	26,2	1,21	3,03
160	"	317+025 P	7-8 wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	36,5	79,4	2,2	0,91	34,7	0,80	28,2	0,81	2,82
								1,06	21,3	0,79	30,0	1,41	2,65
									25,9		28,1		2,82

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów pH <sub>14</sub> VSS			Wyniki pomiarów pH <sub>14</sub> dynamiczna			E <sub>1</sub> /E <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>	
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk.	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>				śr.odk.
161	"	317+175 P	7-8 wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	51,9	105,5	2,0	0,66	34,1	36,8	0,61	36,8	1,08	2,87
								0,78	28,7	36,4	1,27	36,4	1,27	2,80
								0,81	27,7	36,6	1,32	36,6	1,32	2,88
									30,2	36,6		36,6		2,88
162	"	317+125 P	7-8 wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	46,6	92,5	2,0	0,86	34,0	37,8	1,11	37,8	1,11	2,45
								0,57	39,5	44,5	1,13	44,5	1,13	2,08
								0,81	36,6	48,2	1,32	48,2	1,32	1,92
									36,7	43,6		43,6		2,13
163	"	317+075 P	7-8 wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	61,4	118,4	1,9	0,89	32,6	41,4	1,27	41,4	1,27	2,86
								0,73	30,9	42,2	1,37	42,2	1,37	2,81
								0,84	26,9	39,5	1,47	39,5	1,47	3,00
									30,1	41,0		41,0		2,89
164	"	317+390 L	w-wa wodoprzepuszczalna A	łupek przepalony	39,5	87,7	2,2	0,77	29,1	36,5	1,22	36,5	1,22	2,47
								0,76	29,7	38,1	1,28	38,1	1,28	2,30
								1,03	20,7	33,8	1,63	33,8	1,63	2,59
									26,5	36,8		36,8		2,45
165	"	318+140 P	przyczółek w-wa 19-20	łupek przepalony	30,7	68,9	2,2	0,71	31,6	35,3	1,12	35,3	1,12	1,95
								0,85	26,4	34,1	1,29	34,1	1,29	2,02
								1,22	18,4	33,4	1,82	33,4	1,82	2,06
									25,5	34,3		34,3		2,01
166	"	318+160 L	przyczółek w-wa 21-22	łupek przepalony	35,5	79,4	2,2	0,47	39,8	43,2	1,09	43,2	1,09	1,84
								0,86	26,1	26,2	1,00	26,2	1,00	3,03
								0,52	42,9	44,4	1,03	44,4	1,03	1,79
									36,3	37,9		37,9		2,09
167	"	318+260 P	przyczółek 25-26	łupek przepalony	39,2	87,7	2,2	0,59	38,1	41,3	1,08	41,3	1,08	2,12
								0,79	28,6	33,0	1,15	33,0	1,15	2,66
								1,16	19,4	28,0	1,44	28,0	1,44	3,13
									28,7	34,1		34,1		2,67
168	"	318+320 L	przyczółek 25-26	łupek przepalony	45,3	100,7	2,2	0,65	34,7	36,4	1,05	36,4	1,05	2,77
								0,74	30,4	34,5	1,14	34,5	1,14	2,91
								0,79	28,6	30,6	1,07	30,6	1,07	3,29
									31,2	33,9		33,9		2,97
169	"	322+250 P	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	22,2	55,8	2,5	0,54	41,7	44,8	1,07	44,8	1,07	1,25
								0,75	29,8	32,7	1,10	32,7	1,10	1,71
								0,85	26,4	28,0	1,06	28,0	1,06	1,99
									32,6	36,2		36,2		1,69
170	"	322+225 L	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	27,3	60,8	2,2	0,70	32,1	32,5	1,01	32,5	1,01	1,87
								1,04	21,6	21,7	1,00	21,7	1,00	2,80
								0,83	27,2	26,9	0,99	26,9	0,99	2,26
									27,0	27,0		27,0		2,25



Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta VSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczna			E <sub>vd</sub> /E <sub>vd1</sub>	E <sub>2</sub> /E <sub>vd2</sub>	
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk.	E <sub>vd1</sub>	śr.odk.			E <sub>vd2</sub>
171	"	322+175 L	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	31,1	91,2	2,9	0,74	30,6	0,71	31,5	1,03	2,90
								0,99	23,1	0,90	24,1	1,04	3,78
172	"	322+500 P	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony				0,93	24,3	1,04	21,7	0,89	4,20
									26,0		25,8		3,54
173	"	320+975 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	37,1	75,8	2,0	0,84	26,9	0,79	28,6	1,06	2,65
								1,00	22,6	0,82	27,5	1,22	2,76
174	"	321+050 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony				0,93	24,3	0,91	24,6	1,01	3,08
									24,6		26,9		2,82
175	"	320+775 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	72,6	122,0	1,7	0,60	37,6	0,55	40,9	1,09	2,98
								0,48	46,5	0,46	48,5	1,04	2,52
176	"	320+925 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony				0,77	60,5	0,35	64,5	1,07	1,89
									48,2		61,3		2,38
177	"	317+175 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony	47,2	105,5	2,2	0,52	42,9	0,62	36,2	0,84	2,91
								0,69	32,7	0,63	35,8	1,09	2,95
178	"	317+125 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony				0,53	42,8	0,50	44,6	1,04	2,37
									39,5		38,9		2,71
179	"	317+075 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony	45,3	92,5	2,0	0,66	34,2	0,59	38,1	1,11	2,43
								0,77	29,1	0,69	32,7	1,12	2,83
180	"	317+025 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony				0,65	34,8	0,63	33,8	0,97	2,74
									32,7		34,9		2,65
176	"	320+925 L	III w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	53,6	108,9	2,0	0,56	40,2	0,55	41,3	1,03	2,64
								0,51	44,2	0,50	45,1	1,02	2,41
177	"	317+175 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony				0,56	40,4	0,55	40,7	1,01	2,68
									41,6		42,4		2,57
178	"	317+125 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony	27,3	56,3	2,1	0,71	31,7	0,59	38,0	1,20	1,48
								0,74	20,4	0,68	32,9	1,61	1,71
179	"	317+075 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony				0,67	33,4	0,66	34,0	1,02	1,66
									28,5		35,0		1,61
180	"	317+025 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony	37,9	75,3	2,0	0,57	39,7	0,56	40,1	1,01	1,88
								0,58	39,1	0,46	40,0	1,02	1,88
179	"	317+075 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony				0,63	35,7	0,61	37,2	1,04	2,02
									35,2		39,1		1,93
180	"	317+025 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony	36,1	78,5	2,2	0,71	31,7	0,61	37,1	1,17	2,12
								0,68	33,2	0,63	35,9	1,08	2,19
180	"	317+025 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony				0,66	33,9	0,63	35,9	1,06	2,16
									32,9		36,3		2,16
180	"	317+025 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony	34,6	77,6	2,2	0,65	34,5	0,57	39,6	1,15	1,96
								0,57	39,7	0,56	40,2	1,01	1,93
180	"	317+025 L	wodoprzepuszczalna 5-6	łupek przepalony				0,53	42,9	0,52	43,0	1,00	1,80
									39,0		40,9		1,90

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów pęta VSS			Wyniki pomiarów pęta dynamiczną			E <sub>1</sub> /E <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> /E <sub>vd</sub>	E <sub>vd</sub> /E <sub>vd1</sub>	E <sub>2</sub> /E <sub>vd2</sub>
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk...	E <sub>vd1</sub>	śr.odk...				
181	"	324+000 R	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	23,6	52,7	2,2	1,10	20,4	1,07	21,0	1,03	2,51	
								1,12	20,1	1,05	21,4	1,06	2,46	
								1,07	20,9	0,95	23,7	1,13	2,22	
									20,6		22,0		2,39	
182	"	325+025 L	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	26,6	69,6	2,6	0,98	22,0	0,90	24,9	1,13	2,80	
								1,77	17,8	1,27	17,7	0,99	3,93	
								0,94	23,9	0,89	25,2	1,05	2,76	
									21,2		22,6		3,08	
183	"	324+050 P	I w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	18,0	44,7	2,5	0,86	26,2	0,82	27,1	1,03	1,65	
								1,28	17,6	1,17	19,2	1,09	2,33	
								1,40	16,1	1,26	17,9	1,11	2,50	
									20,0		21,4		2,09	
184	"	324+075 L	I w-wa nieprzepuszczalna	łupek przepalony	30,1	66,8	2,2	1,05	21,6	0,93	24,1	1,12	2,77	
								0,92	24,5	0,84	26,8	1,09	2,49	
								0,98	23,0	0,81	27,9	1,21	2,39	
									23,0		26,3		2,64	
185	"	324+100 P	I w-wa nieprzepuszczalna	łupek przepalony	30,3	67,5	2,2	0,43	52,3	0,43	52,9	1,01	1,28	
								0,53	42,4	0,42	53,8	1,27	1,25	
								0,46	34,2	0,48	46,6	1,36	1,45	
									43,0		51,1		1,32	
186	"	324+125 L	I w-wa nieprzepuszczalna	łupek przepalony	60,8	10,5	2,0	0,41	55,6	0,39	57,5	1,03	0,18	
								0,51	43,8	0,48	47,4	1,08	0,22	
								0,39	57,3	0,32	60,3	1,05	0,17	
									52,2		55,1		0,19	
187	"	322+925 P	II w-wa zabezpieczająca	łupek przepalony	39,5	102,3	2,6	0,71	31,8	0,58	38,7	1,22	2,64	
								0,61	37,1	0,58	39,1	1,05	2,62	
								0,66	34,3	0,58	38,7	1,13	2,64	
									34,4		38,8		2,63	
188	"	322+975 P	II w-wz zabezpieczająca	łupek przepalony	24,5	72,6	3,0	0,61	37,1	0,57	39,5	1,06	1,84	
								0,74	30,6	0,71	31,6	1,03	2,30	
								0,77	29,3	0,71	31,6	1,08	2,30	
									32,3		34,2		2,12	
189	"	318+260 P	przyczółek 23-24	łupek przepalony	46,6	95,1	2,0	0,61	36,8	0,54	41,9	1,14	2,27	
								1,09	20,6	0,92	24,4	1,18	3,90	
								0,97	22,2	0,80	28,2	1,27	3,37	
									26,5		31,5		3,02	
190	"	318+420 L	przyczółek 23-24	łupek przepalony	36,7	86,5	2,4	0,66	33,9	0,61	37,1	1,09	2,33	
								0,85	26,3	0,71	31,8	1,21	2,72	
								0,73	30,9	0,60	37,5	1,21	2,31	
									30,4		36,5		2,44	

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta VSS		Wyniki pomiarów płyta dynamiczna				$E_{p2}/E_{ver1}$	$E_z/E_{p2}$
					$E_1$	$E_2$	$E_{ver1}$	$E_{p2}$	$\bar{s}r.odk.$	$\bar{s}r.odk.$		
191	"	318+160 P	przyciółek 19-20	łupek przepalony	46.9	91.2	0.47	39.2	0.67	33.4	0.85	2.73
							0.72	31.5	0.69	32.6	1.03	2.80
							0.63	35.9	0.58	38.8	1.08	2.35
192	"	320+825 P	IV w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	32.5	100.7	1.22	18.4	1.09	20.6	1.12	4.89
							1.06	21.2	0.91	24.8	1.17	4.06
							1.01	22.3	0.99	22.8	1.02	4.42
								20.6		22.7		4.43
193	"	320+875 P	IV w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	43.3	93.8	0.75	30.1	0.76	29.8	0.99	3.15
							1.09	20.6	0.88	25.5	1.24	3.68
							0.94	23.9	1.08	20.8	0.87	4.51
								24.9		25.4		3.70
194	"	320+925 P	IV w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	26.2	84.4	1.18	18.1	1.03	22.1	1.16	3.82
							1.29	17.4	1.12	20.1	1.16	4.20
							1.29	17.4	1.27	17.7	1.02	4.77
								18.0		20.0		4.23
195	"	320+975 P	IV w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	47.5	81.3	1.23	18.3	1.04	21.7	1.19	3.75
							1.08	20.9	0.91	24.8	1.19	3.28
							1.17	19.2	1.04	21.6	1.13	3.76
								19.5		22.7		3.68
196	"	321+025 P	IV w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	15.6	63.7	1.35	16.6	0.84	26.9	1.62	2.37
							0.85	25.5	0.71	31.6	1.19	2.02
							1.08	21.2	0.94	24.1	1.14	2.84
								21.4		27.6		2.31
197	"	321+075 P	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	38.4	85.4	0.88	25.6	0.81	27.6	1.07	3.11
							0.98	23.0	0.86	26.3	1.14	3.25
							1.00	22.5	0.83	27.2	1.21	3.14
								23.7		27.0		3.16
198	"	321+125 P	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	23.4	61.9	1.16	19.5	1.08	20.8	1.07	2.98
							1.14	19.7	1.08	20.9	1.06	2.96
							0.87	26.0	0.76	29.5	1.13	2.10
								21.7		23.7		2.61
199	"	321+175 P	II w-wa wodoprzepuszczalna	łupek przepalony	43.3	84.4	1.01	22.4	0.92	24.6	1.09	3.44
							1.14	19.7	0.87	25.9	1.31	3.26
							1.18	19.0	0.82	27.4	1.44	3.08
								20.4		25.9		3.25

**ZAŁĄCZNIK  
Nr 1D**

**ZESTAWIENIE  
WYNIKÓW POMIARÓW  
PŁYTA NACISKOWĄ I PŁYTA DYNAMICZNA**

**Łupek przepalony**

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyt VSS			Wyniki pomiarów płyty dynamicznej			E <sub>z</sub> /E <sub>vd</sub>		
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk. <sup>20%</sup>	E <sub>vd1</sub>	śr.odk. <sup>20%</sup>		E <sub>vd2</sub>	
11	"	318+775 L	w-wa zasadnicza 11-12	łupek nieprzepalony	24,7	66,8	2,7	0,64	34,9	0,33	68,4	1,98	1,84
								0,71	31,7	0,41	55,3	1,74	1,21
									28,3		63,3		1,26
12	"	318+475 L	w-wa zasadnicza 27-28	łupek nieprzepalony	19,7	100,7	5,1	0,54	41,4	0,32	69,4	1,68	1,45
								0,52	43,7	0,30	74,0	1,69	1,36
								0,63	36,0	0,44	51,7	1,44	1,95
									40,4		65,0		1,86
13	"	318+425 P	w-wa zasadnicza 31-32	łupek nieprzepalony	39,2	110,7	2,8	0,69	32,6	0,42	54,2	1,66	2,04
								0,70	32,3	0,38	57,8	1,79	1,92
								0,56	40,0	0,34	66,6	1,67	1,66
									35,0		69,5		1,86
14	"	319+980 P 11 m od osi	w-wa zasadnicza 3-4	łupek nieprzepalony	18,1	33,4	1,8	0,88	25,7	0,70	32,0	1,25	1,04
								1,18	19,1	0,98	23,0	1,20	1,45
								0,82	27,6	0,60	37,6	1,36	0,89
									24,1		30,9		1,08
15	"	318+925 L	w-wa 5-6	łupek nieprzepalony	21,7	60,3	2,8	0,57	39,5	0,46	48,9	1,24	1,23
								0,27	84,0	0,24	93,8	1,12	0,64
								0,54	41,7	0,33	68,0	1,65	0,87
									55,1		70,6		0,85
16	"	318+875 L	w-wa 5-6	łupek nieprzepalony	24,9	77,8	3,1	1,41	15,9	1,15	19,5	1,23	3,98
								1,16	19,3	1,09	20,6	1,07	3,77
								1,54	14,7	0,75	29,9	2,03	2,60
									18,6		23,3		3,33
17	"	318+825 L	w-wa 7-8	łupek nieprzepalony	20,6	53,6	2,6	1,08	20,9	0,92	24,5	1,17	2,19
								2,01	11,2	1,62	13,9	1,24	3,86
								2,71	8,3	2,86	7,9	0,95	6,78
									13,6		16,4		3,47
18	29-05-2003	319+980 P	w-wa 3-4	łupek nieprzepalony	39,2	70,3	1,8	0,41	55,1	0,36	62,2	1,13	1,13
								0,29	78,1	0,27	84,6	1,08	0,83
								0,35	64,1	0,29	77,6	1,21	0,91
									65,8		74,8		0,94
19	"	320+075 P	w-wa 1-2	łupek nieprzepalony	66,2	112,5	1,7	0,34	66,6	0,30	74,0	1,11	1,52
								0,27	82,1	0,25	91,1	1,11	1,23
								0,21	105,6	0,18	123,0	1,16	0,91
									84,8		86,0		1,17
									75,0		92,6		1,55
20	"	320+125 P	w-wa 1-2	łupek nieprzepalony	68,9	143,6	2,1	0,69	32,6	0,57	39,5	1,21	3,64
								0,30	75,0	0,28	80,4	1,07	1,79
									60,9		70,8		2,03

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyta YSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczna			E <sub>vd</sub> /E <sub>vd1</sub>	E <sub>z</sub> /E <sub>vd2</sub>		
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk. ....	śr.odk. ....	E <sub>vd1</sub>			E <sub>vd2</sub>	
21	"	320+175 P	w-wa 1-2	łupek nieprzepalony	66,2	114,4	1,7	0,43	0,24	51,8	68,2	1,70	1,30	
								0,40		56,1	102,8	1,83	1,11	
22	"	320+225 P	w-wa 1-2	łupek nieprzepalony	56,3	102,7	1,8	0,27	0,27	84,3	89,3	1,06	1,15	
								0,31	0,29	76,4	97,6	1,24	1,05	
									0,31	72,8	88,9	1,22	1,16	
23	"	320+275 P	w-wa 1-2	łupek nieprzepalony	27,9	74,2	2,7	0,43	0,35	64,8	65,2	1,31	0,87	
								0,35		63,7	73,5	1,15	1,01	
										73,7	75,1	0,99		
24	"	320+310 P	w-wa 1-2	łupek nieprzepalony	18,7	61,9	3,3	0,54	0,86	25,7	36,8	1,43	1,68	
								0,54	0,54	41,9	40,7	0,97	1,52	
									0,54	41,4	52,8	1,28	1,17	
										36,3	45,4	1,43	1,43	
25	"	318+925 P	w-wa zasadnicza 5-6	łupek nieprzepalony	48,6	96,4	2,0	0,67	10,07	2,2	32,2	70,5	32,05	1,37
								0,42	0,67	33,6	44	1,53	1,88	
										54,2	68,8	1,27	1,40	
										30,0	63,6	1,62		
26	"	318+975 P	w-wa zasadnicza 5-6	łupek nieprzepalony	13,3	68,9	5,2	0,72	0,80	28,2	38,9	1,38	1,77	
								0,65	0,72	31,1	51	43,8	1,41	
									0,65	34,6	49,7	1,44	1,39	
										31,3	44,1	1,56		
27	"	318+875 P	w-wa zasadnicza 7-8	łupek nieprzepalony	41,2	95,1	2,3	0,44	0,78	28,7	40	57,0	1,99	1,67
								0,65	0,44	51,7	72,3	1,40	1,32	
										34,9	44,6	1,28	2,13	
										38,4	66,0	1,84		
28	"	318+825 P	w-wa zasadnicza 7-8	łupek nieprzepalony	20,4	71,8	3,5	1,34	1,34	16,8	19,1	1,14	3,76	
								1,31	1,49	15,2	12,4	1,19	3,97	
									1,31	17,2	25,2	1,47	2,85	
										16,4	20,8	3,45		
									0,91	24,7	35,6	1,44	2,92	
29	"	318+525 P	w-wa zasadnicza 23-24	łupek nieprzepalony	30,0	103,8	3,5	1,30	1,30	15,1	22,8	1,51	4,55	
								1,19	1,19	18,9	31,1	1,65	3,34	
										19,6	29,8	3,48		
									1,02	22,2	37,8	1,70	1,69	
									0,75	30,8	45,3	1,47	1,41	
30	"	318+475 P	w-wa zasadnicza 25-26	łupek nieprzepalony	16,7	63,7	3,8	1,78	1,78	12,7	14,6	1,21	4,14	
										21,9	32,8	1,94		

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Material	Wyniki pomiarów płyta VSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczna				E <sub>z</sub> /E <sub>vdz</sub>	
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk.	E <sub>vdz</sub>	E <sub>vdz</sub> /E <sub>vdz1</sub>	E <sub>z</sub> /E <sub>vdz</sub>		
31	"	318+425 P	w-wa zasadnicza 29-30	łupek nieprzepalony	21,6	75,8	3,5	0,81	27,9	0,41	54,6	1,96	1,39
								0,70	28,0	0,41	54,5	1,95	1,39
32	"	318+375 P	w-wa zasadnicza 29-30	łupek nieprzepalony	21,7	72,6	3,3	0,94	23,9	0,53	42,9	1,79	1,69
								1,26	17,8	0,54	42,0	2,36	1,73
33	"	318+375 L	w-wa zasadnicza 29-30	łupek nieprzepalony	32,9	107,1	3,3	0,66	33,9	0,41	54,3	1,60	1,97
								0,86	26,3	0,48	47,3	1,80	2,26
34	"	318+325 P	w-wa zasadnicza 29-30	łupek nieprzepalony	26,5	86,5	3,3	0,69	32,8	0,56	40,5	1,23	2,14
								0,63	23,0	0,55	40,7	1,77	2,13
35	"	318+325 L	w-wa zasadnicza 29-30	łupek nieprzepalony	25,1	140,6	5,6	1,99	16,2	1,00	22,6	1,40	6,22
								2,38	9,5	1,57	14,3	1,51	9,83
36	"	318+475 P	w-wa zasadnicza 25-26	łupek nieprzepalony	47,5	103,8	2,2	0,72	31,3	0,56	40,2	1,28	2,56
								0,80	28,2	0,49	46,7	1,62	2,27
37	"	318+325 L	w-wa zasadnicza 29-30	łupek nieprzepalony	28,2	76,7	2,7	0,82	36,1	0,40	66,7	1,54	1,38
								0,80	28,0	0,40	66,7	1,76	1,59
38	"	318+525 L	w-wa zasadnicza 21-22	łupek nieprzepalony	29,3	96,4	3,3	0,89	25,3	0,50	45,4	1,79	2,12
								1,00	22,6	0,51	44,5	1,98	2,17
39	"	318+575 P	w-wa zasadnicza 19-20	łupek nieprzepalony	33,6	105,5	3,1	1,03	21,8	0,63	35,8	1,64	2,69
								0,60	23,2	0,74	41,9	2,30	3,47
40	"	317+575 L	półka technologiczna	łupek nieprzepalony	18,5	91,2	4,9	1,03	21,8	0,55	40,6	1,86	2,25
								1,28	17,6	0,58	38,6	2,19	2,36
							1,13	19,9	0,58	39,1	1,96	2,33	
								19,8		39,4		2,31	

Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Material	Wyniki pomiarów płyta VSS			Wyniki pomiarów płyta dynamiczna			$E_{v02}/E_{v01}$	$E_z/E_{v02}$	
					$E_1$	$E_z$	lo	śr. odk.	$E_{v01}$	śr. odk.			$E_{v02}$
41	*	317+525 L	półka technologiczna	łupek nieprzepalony	18,3	90,0	4,9	0,86	34,2	0,22	54,2	1,58	1,66
								1,20	18,8	0,47	48,2	2,56	1,87
								0,84	26,7	0,52	43,2	1,62	2,08
42	*	318+525 L	w-wa 17-18	łupek nieprzepalony				0,46	48,9	0,44	69,4	1,42	1,28
					32,5	88,8	2,7	0,47	48,0	0,42	53,7	1,12	1,65
								0,47	48,2	0,39	67,1	1,18	1,56
43	*	318+525 L	w-wa 7-8	łupek nieprzepalony				0,90	24,9	0,62	36,1	1,45	2,75
					28,6	99,3	3,5	1,16	12,8	0,73	30,7	2,40	3,23
								1,10	13,3	0,81	27,8	2,09	3,57
44	04-06-2003	320+275 L	wymiana podłoża 7-8	łupek nieprzepalony				1,09	20,6	0,86	26,3	1,28	2,59
					20,1	68,2	3,4	1,31	17,1	0,92	24,9	1,43	2,76
								1,78	16,4	1,14	19,7	1,20	3,46
45	*	320+225 L	wymiana podłoża 7-8	łupek nieprzepalony				0,34	67,0	0,30	74,0	1,10	0,30
					7,5	22,3	3,0	0,64	35,3	0,43	52,7	1,49	0,42
								0,77	28,4	0,44	61,5	1,75	0,43
46	*	320+175 L	wymiana podłoża 7-8	łupek nieprzepalony				2,36	9,5	2,75	8,2	0,86	4,01
					10,0	32,9	3,3	1,99	11,3	1,35	16,7	1,48	1,97
								2,85	7,9	2,29	9,8	1,24	3,36
47	*	320+125 L	wymiana podłoża 7-8	łupek nieprzepalony				0,03	68,4	0,21	109,8	1,61	0,66
					24,3	72,6	3,0	0,52	45,4	0,34	66,0	1,52	1,10
								0,38	68,7	0,26	87,9	1,50	0,83
48	*	320+075 L	wymiana podłoża 7-8	łupek nieprzepalony				0,43	62,9	0,30	75,8	1,43	0,53
					14,2	40,4	2,8	0,79	28,5	0,45	60,0	1,75	0,81
								0,59	40,9	0,38	60,0	1,47	0,67
49	*	320+025 L	wymiana podłoża 7-8	łupek nieprzepalony				1,05	21,6	0,77	29,1	1,35	2,73
					29,5	79,4	2,7	0,89	25,4	0,74	30,7	1,21	2,69
								1,45	15,5	1,20	18,7	1,21	4,25
50	*	319+975 L	wymiana podłoża 7-8	łupek nieprzepalony				0,59	38,2	0,48	46,8	1,23	1,95
					19,9	63,1	3,2	0,54	41,6	0,44	60,8	1,22	1,24
								0,44	60,8	0,32	71,0	1,40	0,89
							43,5		56,2		1,12		



Lp.	Data	Lokalizacja	Warstwa	Materiał	Wyniki pomiarów płyty VSS			Wyniki pomiarów płyty dynamiczna			E <sub>z</sub> /E <sub>wp</sub>		
					E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	lo	śr.odk.	śr.odk.	E <sub>wp</sub>		śr.odk.	E <sub>z</sub> /E <sub>wp</sub>
51	"	318+375 P	w-wa zasadnicza 27-28	łupek nieprzepalony	25,5	80,4	3,0	0,49	45,6	0,38	67,8	1,25	1,19
								0,38	68,9	0,36	62,3	1,06	1,29
								0,37	62,9	0,36	65,4		1,27
52	"	318+325 P	w-wa zasadnicza 27-28	łupek nieprzepalony	39,9	114,4	2,9	0,43	62,9	0,35	69,7	1,13	1,64
								0,67	33,6	0,44	51,0	1,52	2,24
									49,4		51,8		2,21
53	"	318+325 L	w-wa zasadnicza 27-28	łupek nieprzepalony	42,7	99,3	2,3	0,42	64,0	0,37	60,6	1,12	1,64
								0,53	42,4	0,42	63,2	1,25	1,87
								0,38	69,7	0,34	66,8	1,10	1,51
									62,0		69,8		1,66
54	"	318+375 L	w-wa zasadnicza 27-28	łupek nieprzepalony	26,6	82,3	3,2	0,48	47,2	0,39	67,8	1,22	1,42
								0,45	49,8	0,38	68,9	1,18	1,40
								0,44	51,3	0,38	60,0	1,17	1,37
									49,4		68,9		1,40
55	"	318+425 P	w-wa zasadnicza 25-26	łupek nieprzepalony	35,3	114,4	3,7	0,57	39,5	0,51	43,9	1,11	2,61
								0,58	38,9	0,53	42,8	1,10	2,67
								0,63	35,7	0,60	37,8	1,06	3,03
									38,0		41,6		2,76
56	"	318+425 L	w-wa zasadnicza 25-26	łupek nieprzepalony	35,2	102,3	2,9	0,48	47,2	0,32	70,8	1,50	1,44
								0,37	60,6	0,30	75,6	1,25	1,35
								0,40	56,0	0,32	69,9	1,25	1,46
									54,6		72,1		1,42
57	"	318+875 P	w-wa zasadnicza 5-6	łupek nieprzepalony	27,6	85,4	3,1	0,51	43,8	0,43	51,8	1,18	1,65
								0,62	36,1	0,55	40,6	1,12	2,10
								0,71	31,6	0,53	42,1	1,34	2,03
									37,1		44,8		1,90
58	"	318+475 L	w-wa zasadnicza 23-24	łupek nieprzepalony	17,8	61,9	3,5	0,67	34,4	0,49	46,4	1,35	1,33
								0,56	39,9	0,44	60,9	1,28	1,22
								0,54	41,5	0,31	72,6	1,75	0,85
									38,6		66,6		1,09
59	"	318+475 P	w-wa zasadnicza 23-24	łupek nieprzepalony	21,0	74,2	3,5	0,51	44,2	0,41	56,4	1,25	1,34
								0,59	38,4	0,45	60,0	1,30	1,48
								0,69	32,6	0,46	49,6	1,53	1,50
									38,4		51,7		1,44
60	"	317+525 L	połka technologiczna w-wa I	łupek nieprzepalony	25,9	88,8	3,4	0,54	41,6	0,45	60,3	1,21	1,77
								0,47	48,3	0,41	64,9	1,14	1,62
								0,41	56,3	0,29	78,7	1,42	1,13
									48,4		61,3		1,46
61	"	317+575 L	połka technologiczna w-wa I	łupek nieprzepalony	35,7	102,3	2,9	0,52	43,1	0,34	66,4	1,54	1,54
								0,42	63,6	0,32	70,3	1,31	1,46
								0,46	49,3	0,32	70,1	1,42	1,46
									48,7		68,9		1,48

## **ZADANIE II**

**STYCZEŃ – LISTOPAD 2005 r.**

## SPIS TREŚCI

	Str.
1. WSTĘP .....	75
2. CEL I ZAKRES PRACY .....	76
3. PROGRAM BADAŃ .....	77
4. WYNIKI BADAŃ GRUNTÓW NIESPOISTYCH .....	79
5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ – ZALEŻNOŚCI KORELACYJNE .....	80
5.1. Zależności korelacyjne dynamicznego modułu odkształcenia $E_{vd}$ od wtórnego modułu odkształcenia $E_2$ dla gruntów o uziarnieniu ciągłym .....	80
5.2. Zależności korelacyjne dynamicznego modułu odkształcenia $E_{vd}$ od wskaźnika zagęszczenia $I_s$ dla gruntów o uziarnieniu ciągłym .....	85
5.3. Zależności korelacyjne dynamicznego modułu odkształcenia $E_{vd}$ od wtórnego modułu odkształcenia $E_2$ dla gruntów o uziarnieniu nieciągłym .....	91
5.4. Zależności korelacyjne dynamicznego modułu odkształcenia $E_{vd}$ od wskaźnika zagęszczenia $I_s$ dla gruntów o uziarnieniu nieciągłym .....	97
6. WNIOSKI .....	103
ZAŁĄCZNIK NR 1	

## **1. WSTĘP**

Określenie zależności korelacyjnych wtórnego modułu osiadania  $E_2$ , modułu dynamicznego  $E_{vd}$  i wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  jest potrzebne do praktycznego wykorzystania płyty dynamicznej do kontroli robót ziemnych. Dotychczas metoda dynamicznego określania parametrów geotechnicznych wykorzystywana jest do diagnozowania bieżąco wykonywanych prac ziemnych. Wprowadzenie jednolitego i spójnego z powszechnie stosowaną metodą statyczną określania stanu zagęszczenia gruntów wbudowywanych warstwowo przyczyni się w znacznym stopniu do podniesienia jakości tych prac. Podniesienie jakości prac poprzez stosowanie częstej, prostej i taniej metody badawczej może przyczynić się do uznania tej metody jako stanowiącą podstawę odbioru.

Wprowadzenie szybkiej diagnostyki do oceny i bieżącej kontroli wykonywanych prac ziemnych jest nieuniknione. Metody dynamiczne stosowane w geotechnice umożliwią w perspektywie prowadzenie prac diagnostycznych i odbiorczych w szerokim zakresie wykonywanych prac. Celowym zatem wydaje się prowadzenie prac w tym zakresie wychodząc naprzeciw oczekiwaniom całego środowiska drogowego.

## **2. CEL I ZAKRES PRACY**

Działania podjęte w etapie pierwszym i drugim realizowanego tematu mają na celu opracowanie zależności korelacyjnych pomiędzy modulem dynamicznym odkształcenia  $E_{vd}$ , określanym płytą dynamiczną a wtórnym modulem odkształcenia  $E_2$ , określanym metodą statyczną przy zastosowaniu aparatury VSS oraz wskaźnikiem zagęszczenia  $I_s$ . Efektem pracy jest opracowanie instrukcji stosowania płyty dynamicznej.

W ramach realizowanego zadania w etapie pierwszym:

- dokonano analizy istniejących metod badawczych określania nośności i zagęszczania podłoża gruntów wbudowywanych warstwowo,
- zebrano dane z dotychczas przeprowadzonych badań terenowych,
- przygotowano program badań umożliwiających opracowanie zależności korelacyjnych pomiędzy metodą statyczną a metodą dynamiczną,
- zaprojektowano i wykonano terenowe stanowisko badawcze, wyspecyfikowano rodzaje gruntów niespoistych podlegających badaniu,
- na poletku doświadczalnym przeprowadzono badania dla dwóch z dwunastu zaplanowanych do badań gruntów.

Etap drugi:

- weryfikacja programu badawczego,
- wykonanie badań dwunastu gruntów niespoistych,
- opracowanie wyników badań,
- analiza wyników badań,
- opracowanie zależności korelacyjnych,
- opracowanie instrukcji stosowania płyty dynamicznej.

### 3. PROGRAM BADAŃ

Przed przystąpieniem do realizacji zadania mającego na celu określenie zależności korelacyjnych pomiędzy wtórnym modułem wtórnym a dynamicznym modułem odkształcenia opracowano program badań, którego realizacja zapewni określenie tych zależności. W wyniku doświadczeń zebranych podczas badań pilotażowych zweryfikowano program badań badawczych. Ilość badań terenowych zwiększono trzykrotnie w celu zwiększenia wiarygodności opracowanych na ich podstawie zależności korelacyjnych. O zmianie tej zdecydowano nie tylko w oparciu o własne doświadczenia, lecz również po konsultacjach z obecnymi użytkownikami płyty dynamicznej.

Ilość i rodzaj gruntów przewidzianych do badania nie uległa zmianie.

W wyniku weryfikacji przyjęto, iż badania przeprowadzone zostaną dla dwunastu gruntów. Dla sześciu gruntów o uziarnieniu ciągłym i sześciu gruntów o uziarnieniu nieciągłym. W zależności od wartości wskaźnika jednorodności uziarnienia  $c_u$  uznano grunty jako:

- o uziarnieniu ciągłym gdy  $c_u > 5$ ,
- o uziarnieniu nieciągłym, gdy  $c_u < 5$ .

Każdy z gruntów badany będzie przy czterech różnych stanach zagęszczenia. Przyjęto, że badania realizowane będą dla gruntów niespoistych w stanach zagęszczenia zbliżonych do  $I_s = (0,94; 0,96; 0,98 \text{ i } 1,00)$ .

Każde poletko doświadczalne obejmowało dwa jednakowe segmenty. Dla jednego rodzaju gruntu przygotowywano dwa poletka doświadczalne, łącznie cztery segmenty. Grunt w każdym z segmentów zagęszczano w dwóch jednakowych trzydziesto centymetrowych warstwach, dążąc do osiągnięcia w każdej z warstw wskaźników zagęszczenia zbliżonych do założonych.

Dla określenia zależności korelacyjnych pomiędzy statycznym modułem  $E_2$  a modułem dynamicznym  $E_{vd}$  przewidziano wykonanie następujących badań laboratoryjnych i terenowych (na poletku doświadczalnym):

**- badania laboratoryjne dla każdego rodzaju badanego gruntu**

- analiza sitowa – 1 badania,

**- badania terenowe na poletku doświadczalnym (jeden segment rys. nr 5.1)**

- pierwotny i wtórny moduł statyczny (VSS) – 2 badania,
- moduł dynamiczny (płyta dynamiczna) – 8 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie pierwszej - 10 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie drugiej - 10 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie pierwszej (cylinder o stałej objętości) – 10 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie drugiej (cylinder o stałej objętości) – 10 badań.

Określony powyżej zakres badań przeprowadzono na jednym segmencie poletka doświadczalnego.

Łączna ilość badań dla każdego rodzaju gruntu wykonana na dwóch poletkach doświadczalnych (cztery segmenty) i dla trzech różnych wilgotności wynosiła będzie:

- pierwotny i wtórny moduł statyczny (VSS) – 24 badania,
- moduł dynamiczny (płyta dynamiczna) – 96 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie pierwszej - 120 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie drugiej - 120 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie pierwszej (cylinder o stałej objętości) – 120 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie drugiej (cylinder o stałej objętości) – 120 badań.

Ogólnie planowana do wykonania ilość badań zarówno laboratoryjnych i terenowych dla dwunastu gruntów przy trzykrotnej zmianie wilgotności wynosiła:

- analiza sitowa – 12 badań,
- pierwotny i wtórny moduł statyczny (VSS) – 228 badań,
- moduł dynamiczny (płyta dynamiczna) – 1152 badania,
- wilgotność naturalna w warstwie pierwszej - 1440 badań,
- wilgotność naturalna w warstwie drugiej - 1440 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie pierwszej (cylinder o stałej objętości)–1440 badań,
- zagęszczenie gruntu w warstwie drugiej (cylinder o stałej objętości) – 1440 badań.

Zweryfikowany program badań wprawdzie wymagał znacznego zwiększenia zakresu prac, lecz w znacznym stopniu przyczynił się do uwiarygodnienia uzyskanych zależności korelacyjnych.

Wyniki badań uzyskane z każdego poletka doświadczalnego rejestrowano w karcie badań korelacyjnych.

#### **4. WYNIKI BADAŃ GRUNTÓW NIESPOISTYCH**

Podczas realizacji tematu wykonano cały skorygowany zakres badań określony w punkcie nr 3. Programem badań objęto grunty niespoiste o zróżnicowanym uziarnieniu. Badaniom poddano piasek średni, piasek drobny, piasek gruby, piasek pylasty, pospółkę i żwir.

Wyniki badań analizy sitowej dla każdego z gruntów zamieszczono w kartach badań korelacyjnych. W kartach tych zamieszczono również wyniki badań pierwotnego modułu odkształcenia  $E_1$  i wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$ , dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$ , wilgotności gruntów w warstwie pierwszej i drugiej, gęstości objętościowej gruntu  $\rho_d$  w warstwie pierwszej i drugiej oraz wskaźnika zagęszczenia  $I_s$ .

Karty badań korelacyjnych przechowywane są w Laboratorium Geotechniki IBDiM.

Zależności pomiędzy parametrami geotechnicznymi wynikające bezpośrednio z uzyskanych wyników pomiarów przedstawiono w formie graficznej łącznie z kartami badań każdego z gruntów.

Uzyskane wyniki badań poddano analizie, przeglądowi a następnie dla dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$ , wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  i wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  sporządzono zobrazowanie graficzne oraz określono zależności matematyczne przy poziomie ufności 0,95.



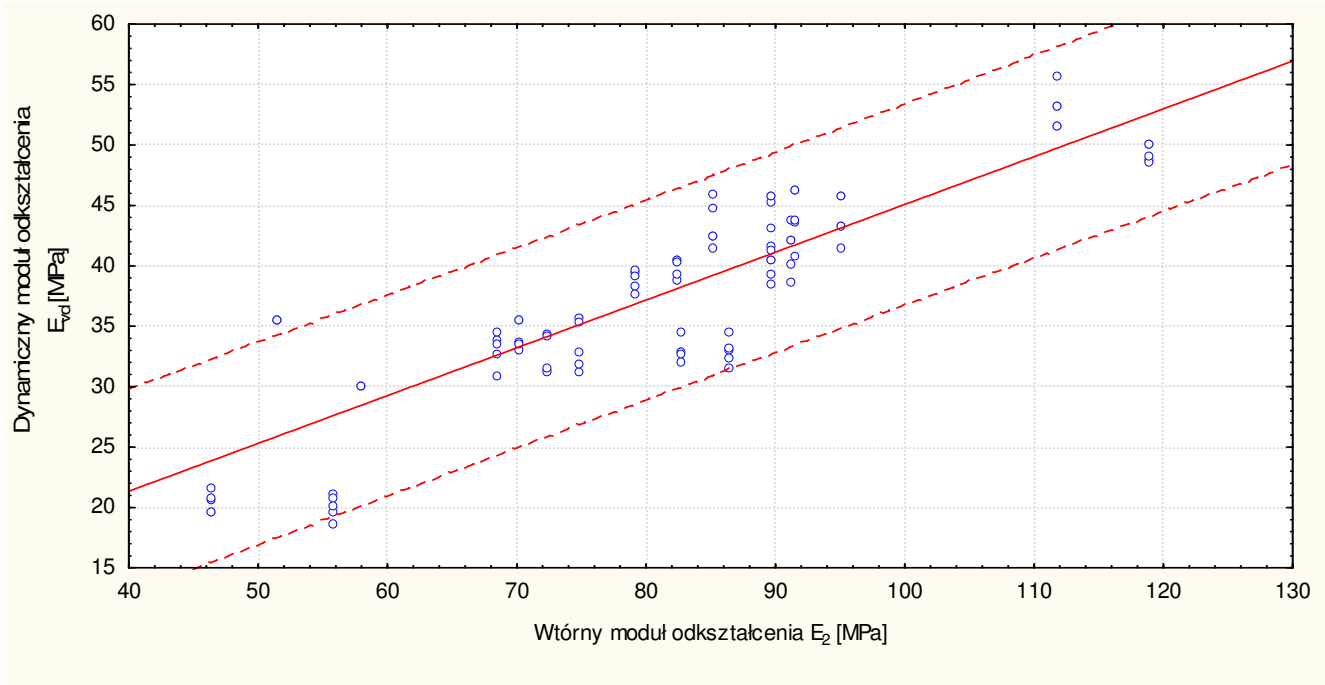
## 5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ – ZALEŻNOŚCI KORELACYJNE

Poniżej przedstawiono zależności korelacyjne pomiędzy:

- wtórnym modułem odkształcenia  $E_2$  a dynamicznym modułem odkształcenia  $E_{vd}$  dla gruntów o ciągłym uziarnieniu,
- wskaźnikiem odkształcenia  $I_s$  a dynamicznym modułem odkształcenia  $E_{vd}$  dla gruntów o ciągłym uziarnieniu,
- wtórnym modułem odkształcenia  $E_2$  a dynamicznym modułem odkształcenia  $E_{vd}$  dla gruntów o nieciągłym uziarnieniu,
- wskaźnikiem odkształcenia  $I_s$  a dynamicznym modułem odkształcenia  $E_{vd}$  dla gruntów o nieciągłym uziarnieniu.

### 5.1. Zależności korelacyjne dynamicznego modułu odkształcenia $E_{vd}$ od wtórnego modułu odkształcenia $E_2$ dla gruntów o uziarnieniu ciągłym

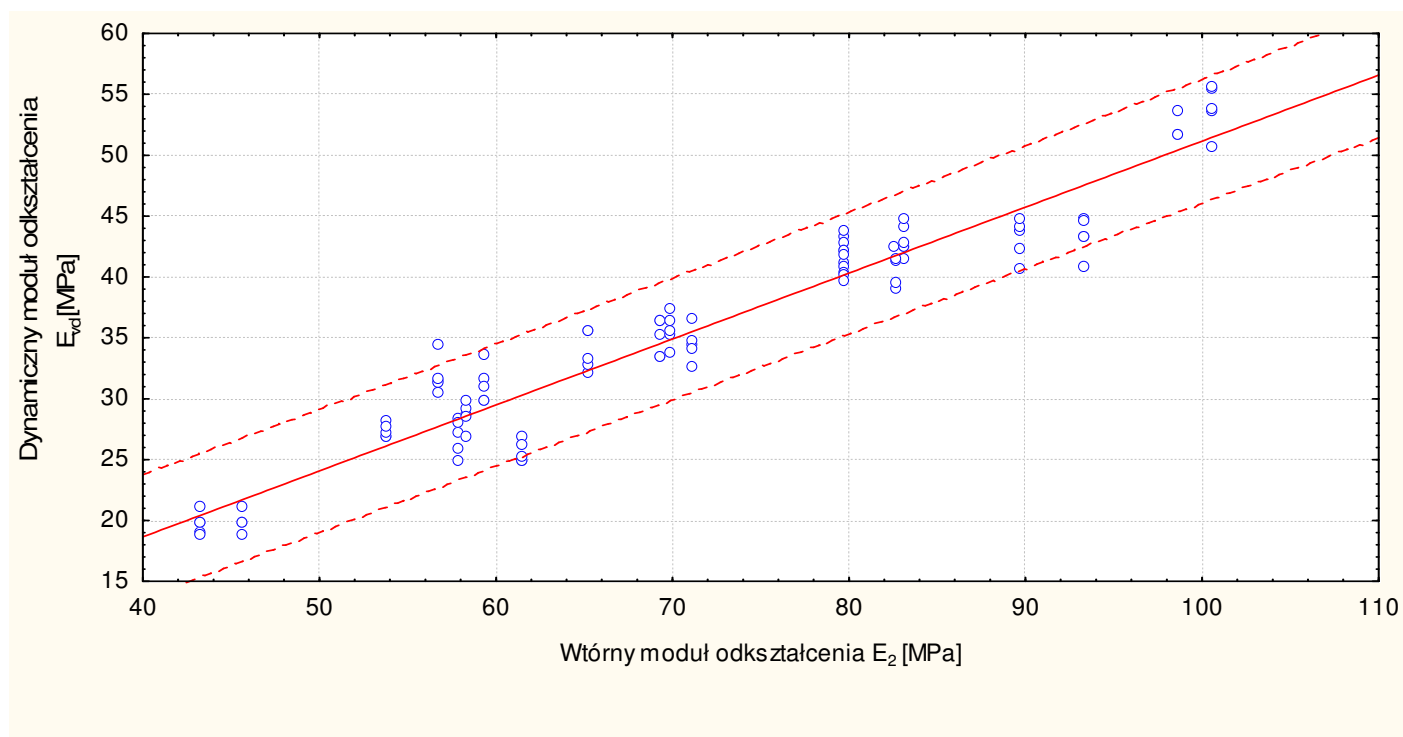
Na poniższych (rysunek 1 do 6) przedstawiono zależności pomiędzy modułami dynamicznymi  $E_{vd}$  i wtórnymi modułami odkształcenia  $E_2$  dla gruntów o symbolach G1 do G6. Grunty te charakteryzują się ciągłym uziarnieniem.



Rysunek 1 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G1" - piasek średni

Dla piasku średniego o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  opisuje następująca zależność matematyczna:

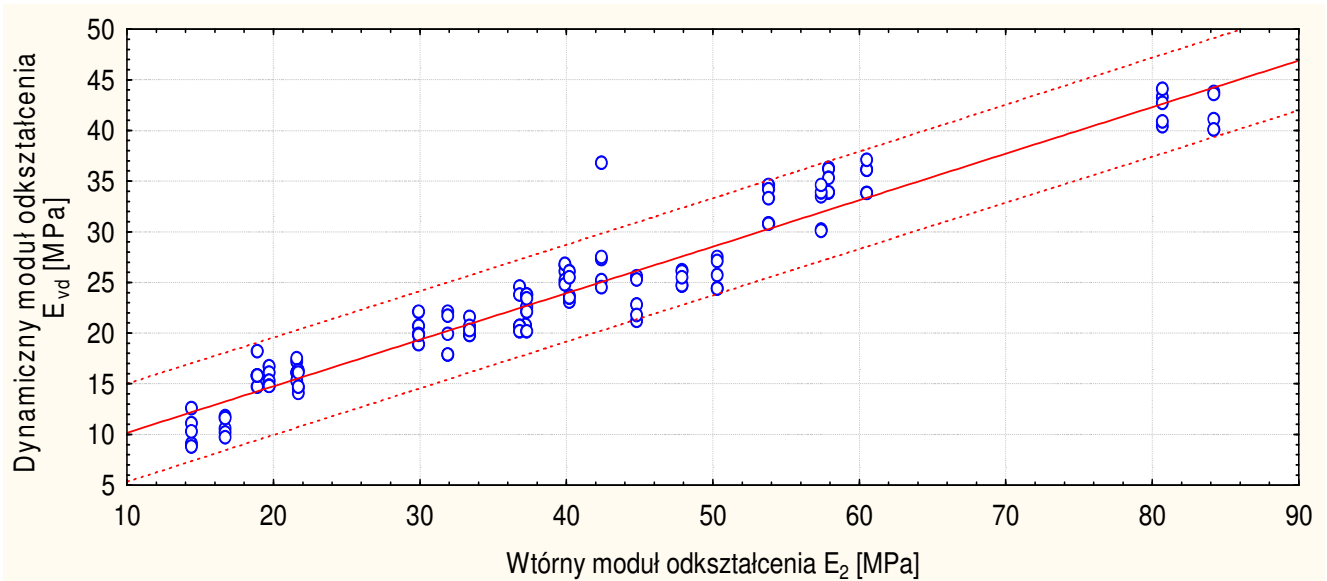
$$E_{vd} = 5,53 + 0,40 * E_2 \text{ [MPa]}$$



Rysunek 2 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G2" - pospółka

Dla pospółki o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  opisuje następująca zależność matematyczna:

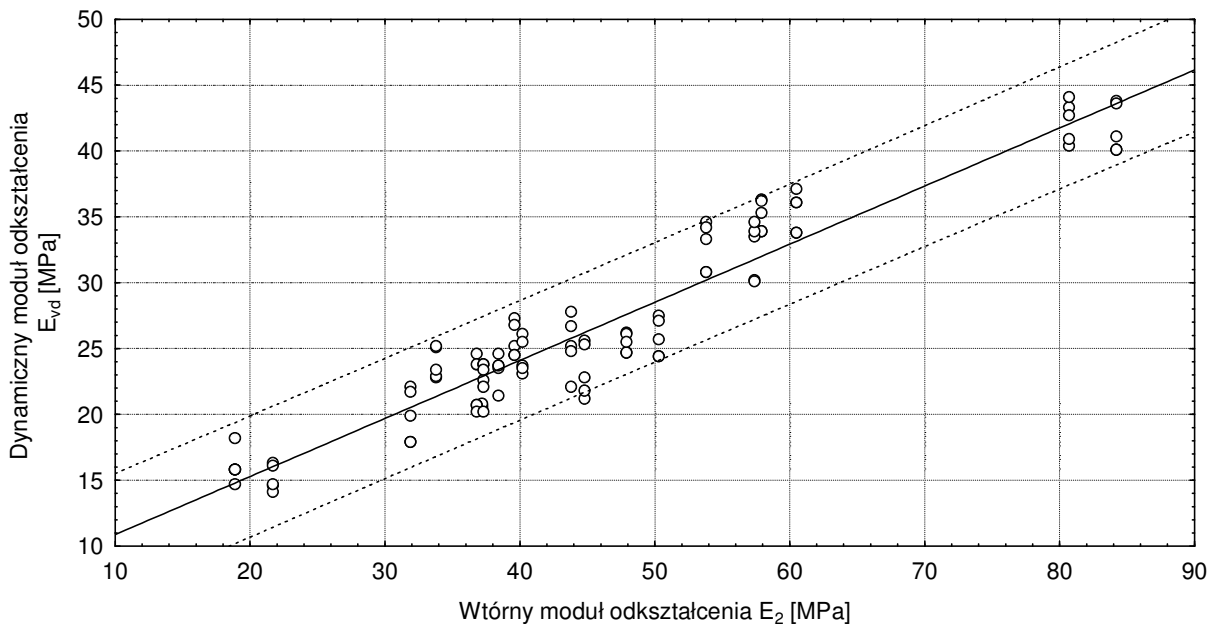
$$E_{vd} = -3,02 + 0,54 * E_2 \text{ [MPa]}$$



Rysunek 3 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G3" - piasek grubo

Dla piasku grubego o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  opisuje następująca zależność matematyczna:

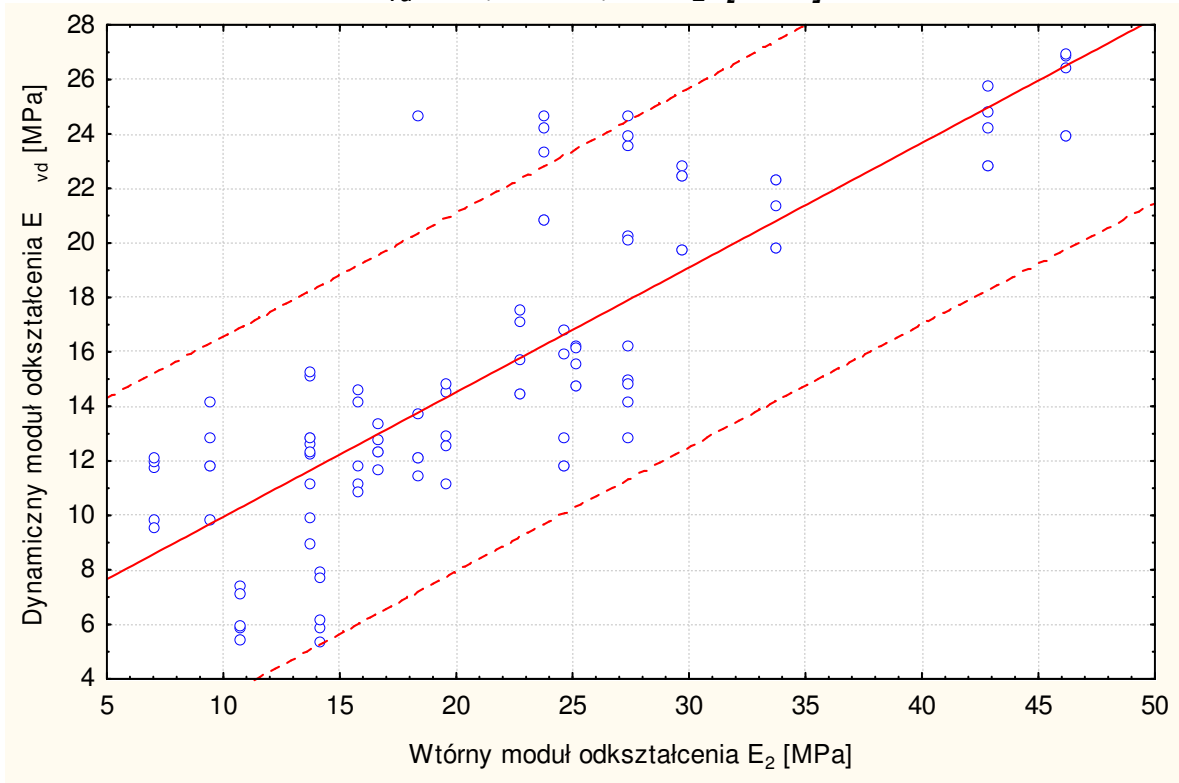
$$E_{vd} = 5,58 + 0,46 \cdot E_2 \text{ [MPa]}$$

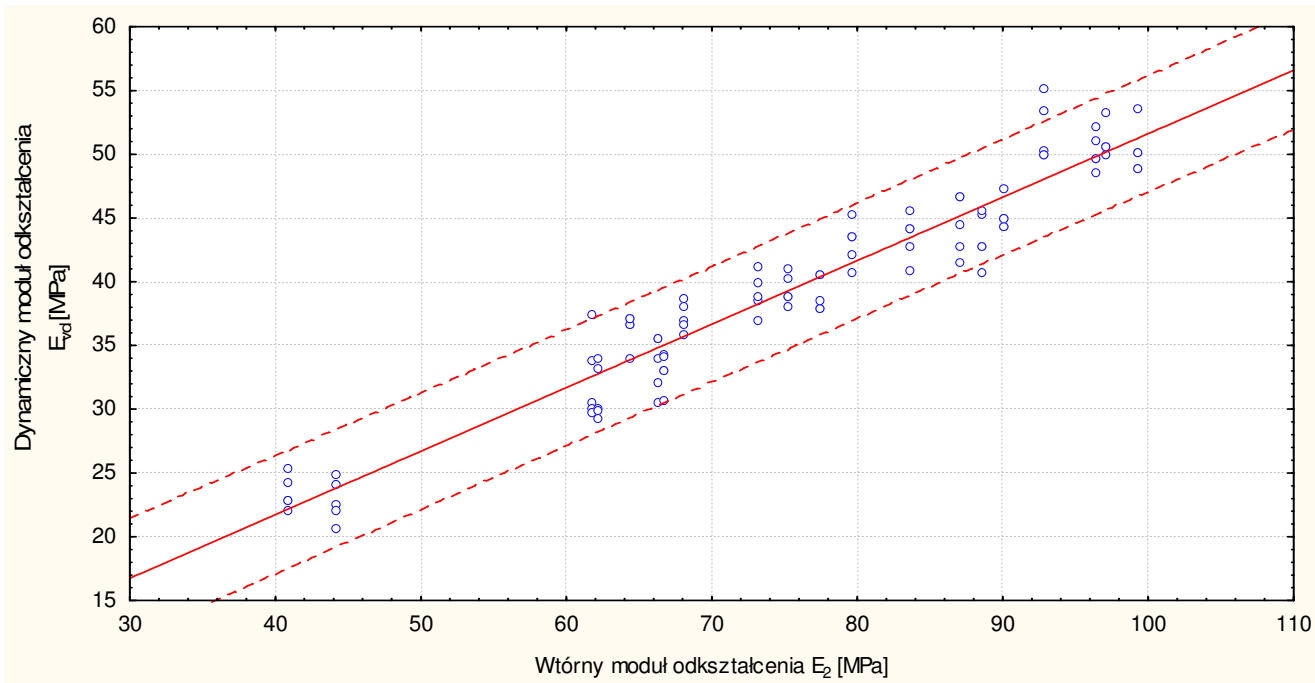


Rysunek 4 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G4" - piasek drobny

Dla piasku drobnego o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = 6,46 + 0,44 * E_2 \text{ [MPa]}$$





Rysunek 6 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G6" – żwir

Dla żwiru o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = 1,81 + 0,50 * E_2 \text{ [MPa]}$$

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań płyty dynamicznej zależna jest od rodzaju gruntu. Grunty o uziarnieniu ciągłym wykazują największą stabilność wskazań:

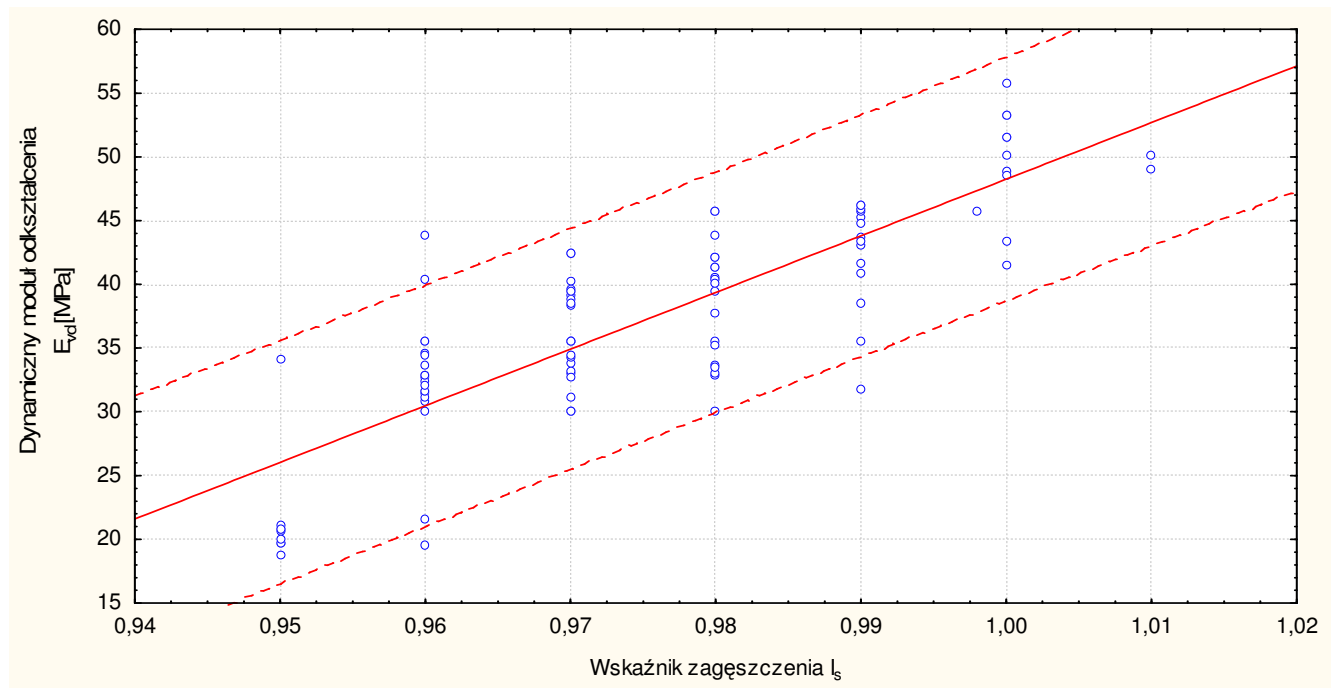
- piasek średni w zakresie  $E_{vd} = 30 - 45$  MPa,
- pospółka w zakresie  $E_{vd} = 25 - 45$  MPa,
- piasek grubo w zakresie  $E_{vd} = 20 - 37$  MPa,
- piasek drobny w zakresie  $E_{vd} = 20 - 34$  MPa,
- piasek pylasty w zakresie  $E_{vd} = 8 - 20$  MPa,
- żwir w zakresie  $E_{vd} = 30 - 55$  MPa.

## 5.2. Zależności korelacyjne dynamicznego modułu odkształcenia $E_{vd}$ od wskaźnika zagęszczenia $I_s$ dla gruntów o uziarnieniu ciągłym

Na wykresach przedstawionych poniżej (rysunek nr 7 do 12) przedstawiono skorygowane zależności pomiędzy modułami dynamicznymi  $E_{vd}$  i wtórnymi modułami odkształcenia  $I_s$  dla gruntów o symbolach G1 do G6. Grunty te charakteryzują się ciągłym uziarnieniem.

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskaźnika płyty dynamicznej zależna jest od rodzaju gruntu. Grunty o uziarnieniu ciągłym wykazują największą stabilność wskaźnika:

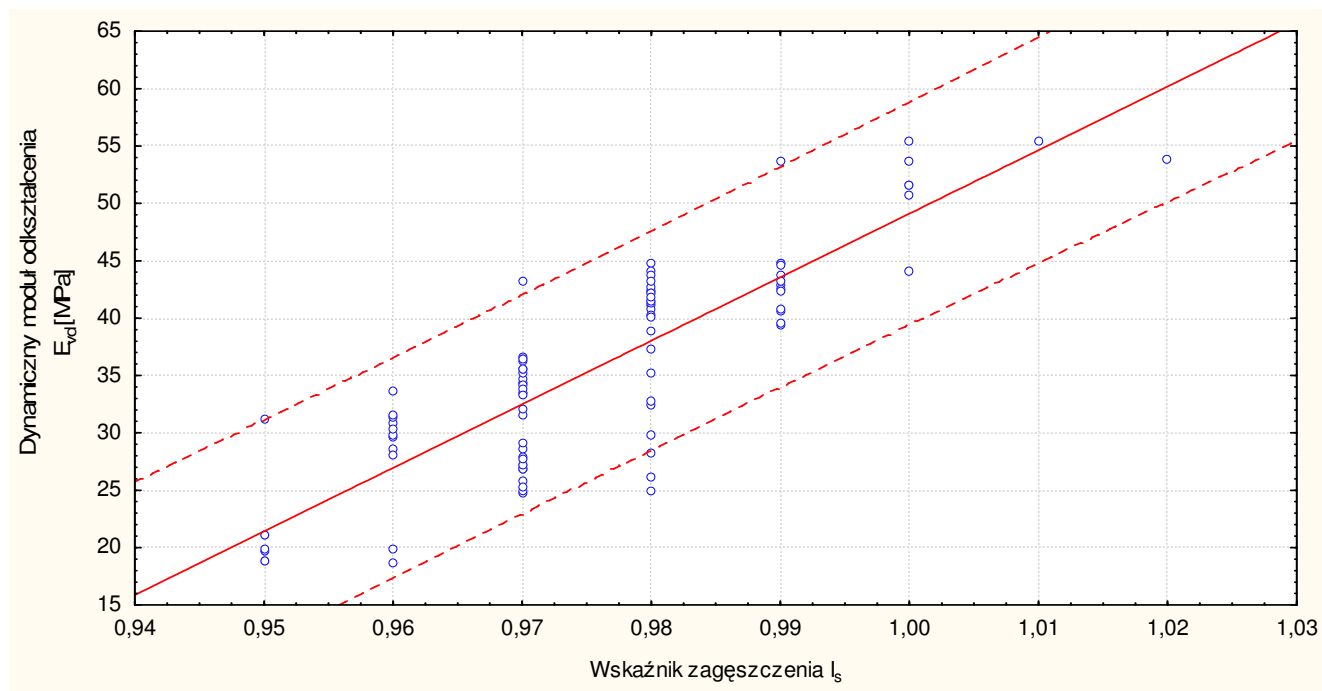
- piasek średni w zakresie  $E_{vd} = 30 - 45$  MPa,
- pospółka w zakresie  $E_{vd} = 25 - 45$  MPa,
- piasek grubo w zakresie  $E_{vd} = 20 - 35$  MPa,
- piasek drobny w zakresie  $E_{vd} = 20 - 35$  MPa,
- piasek pylasty w zakresie  $E_{vd} = 10 - 22$  MPa,
- żwir w zakresie  $E_{vd} = 30 - 54$  MPa.



Rysunek 7 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G1" - piasek średni

Dla piasku średniego o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

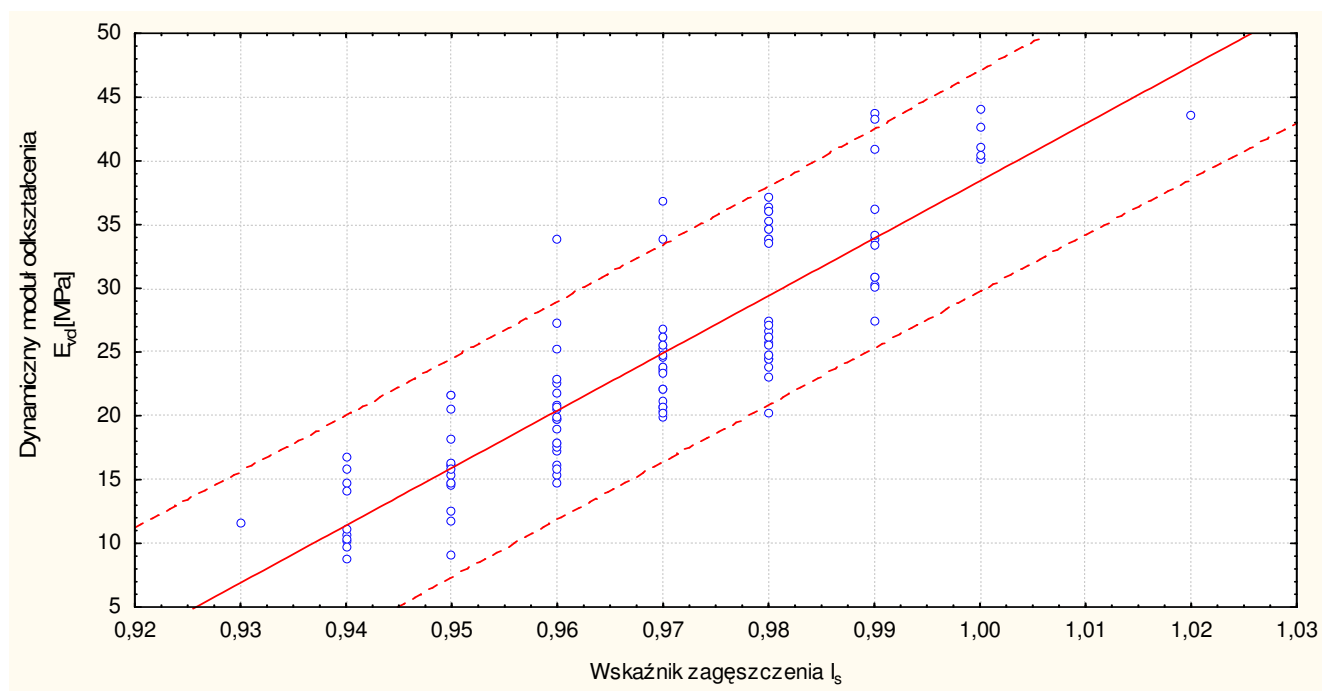
$$E_{vd} = -396,05 + 444,30 \cdot I_s \quad [MPa]$$



Rysunek 8 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G2" – pospółka

Dla pospółki o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = -504,67 + 553,77 \cdot I_s \quad [MPa]$$

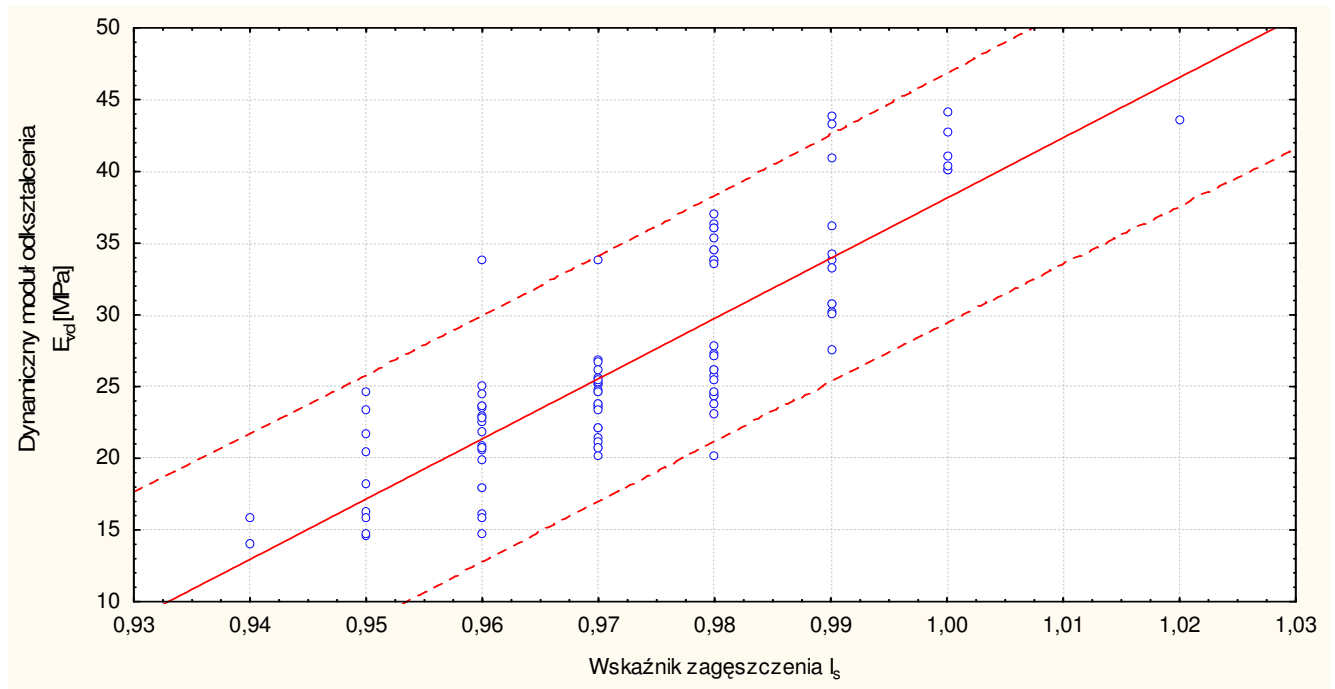


Rysunek 9 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G3" - piasek gruby

Dla piasku grubego o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = -411,766 + 450,19 \cdot I_s \quad [MPa]$$

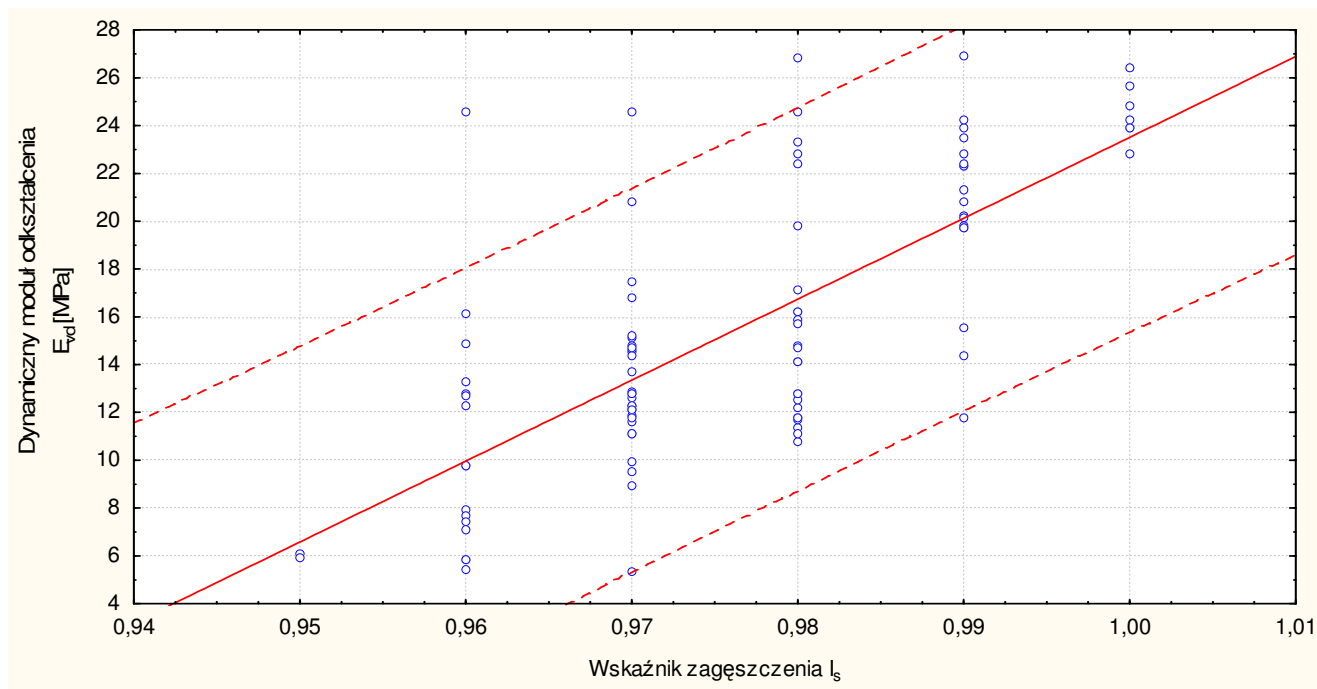




Rysunek 10 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G4" - piasek drobny

Dla piasku drobnego o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

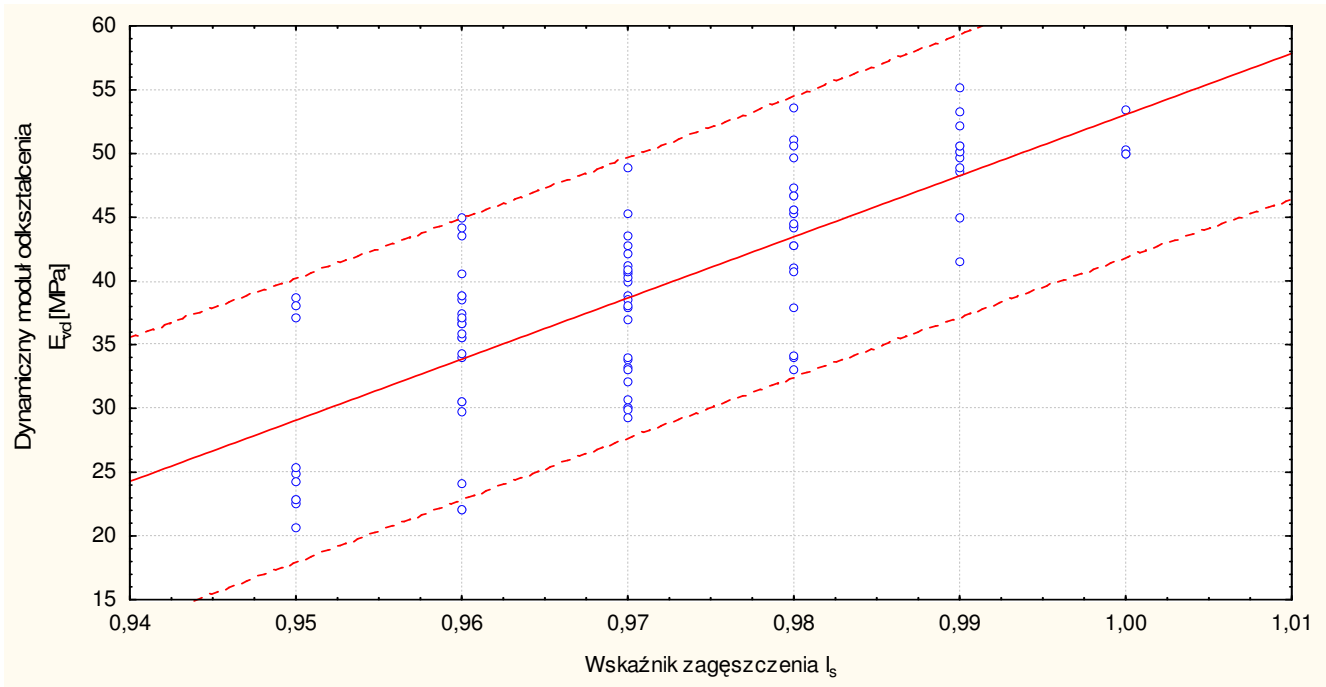
$$E_{vd} = -381,73 + 419,88 \cdot I_s \quad [MPa]$$



Rysunek 11 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G5" - piasek pylasty

Dla piasku pylastego o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = -315,05 + 338,56 \cdot I_s \quad [MPa]$$



Rysunek 12 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G6" - żwir

Dla żwiru o uziarnieniu ciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = -426,48 + 479,53 \cdot I_s \quad [MPa]$$

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań płyty dynamicznej zależna jest od rodzaju gruntu. Grunty o uziarnieniu ciągłym wykazują największą stabilność wskazań:

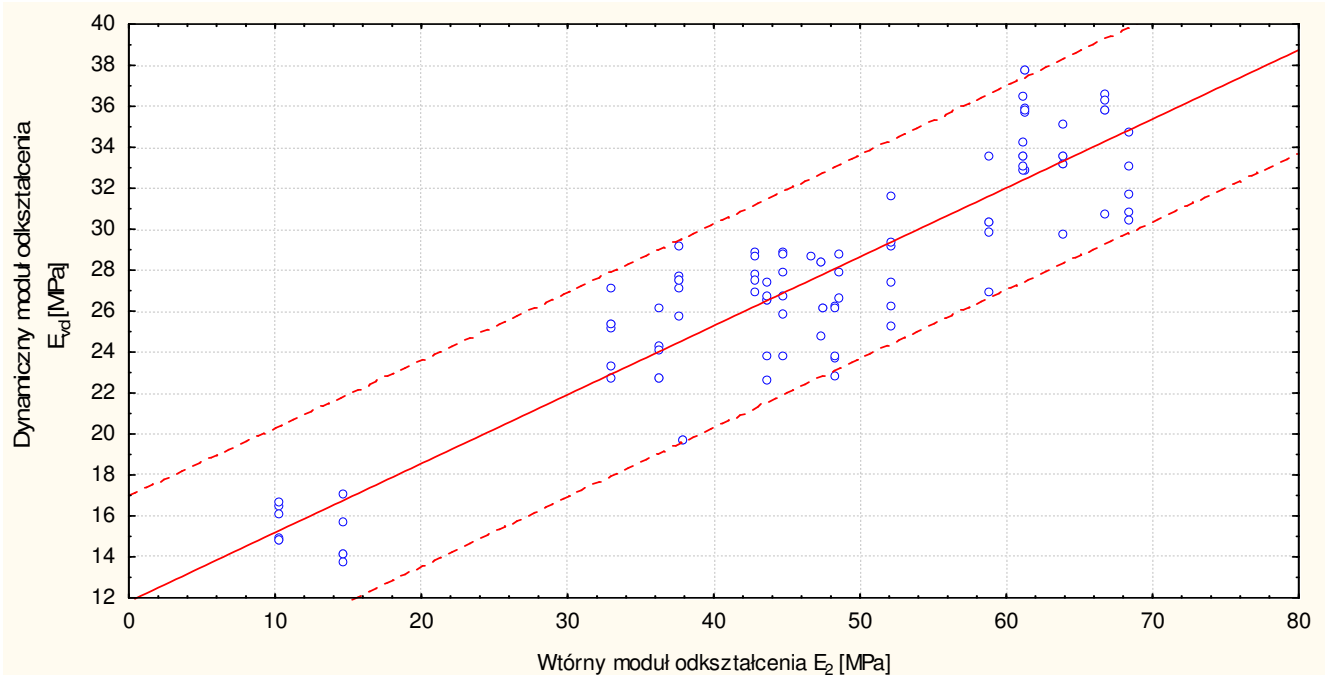
- piasek średni w zakresie  $E_{vd} = 30 - 45$  MPa,
- pospółka w zakresie  $E_{vd} = 25 - 45$  MPa,
- piasek grubo w zakresie  $E_{vd} = 20 - 35$  MPa,
- piasek drobny w zakresie  $E_{vd} = 20 - 35$  MPa,
- piasek pylasty w zakresie  $E_{vd} = 10 - 22$  MPa,
- żwir w zakresie  $E_{vd} = 30 - 54$  MPa.

### 5.3. Zależności korelacyjne dynamicznego modułu odkształcenia $E_{vd}$ od wtórnego modułu odkształcenia $E_2$ dla gruntów o uziarnieniu nieciągłym

Na poniższych wykresach (rysunek 13 do 18) przedstawiono skorygowane zależności pomiędzy modułami dynamicznymi  $E_{vd}$  i wtórnymi modułami odkształcenia  $E_2$  dla gruntów o symbolach G7 do G12. Grunty te charakteryzują się nieciągłym uziarnieniem.

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań płyty dynamicznej zależna jest od rodzaju gruntu. Grunty o uziarnieniu ciągłym wykazują największą stabilność wskazań:

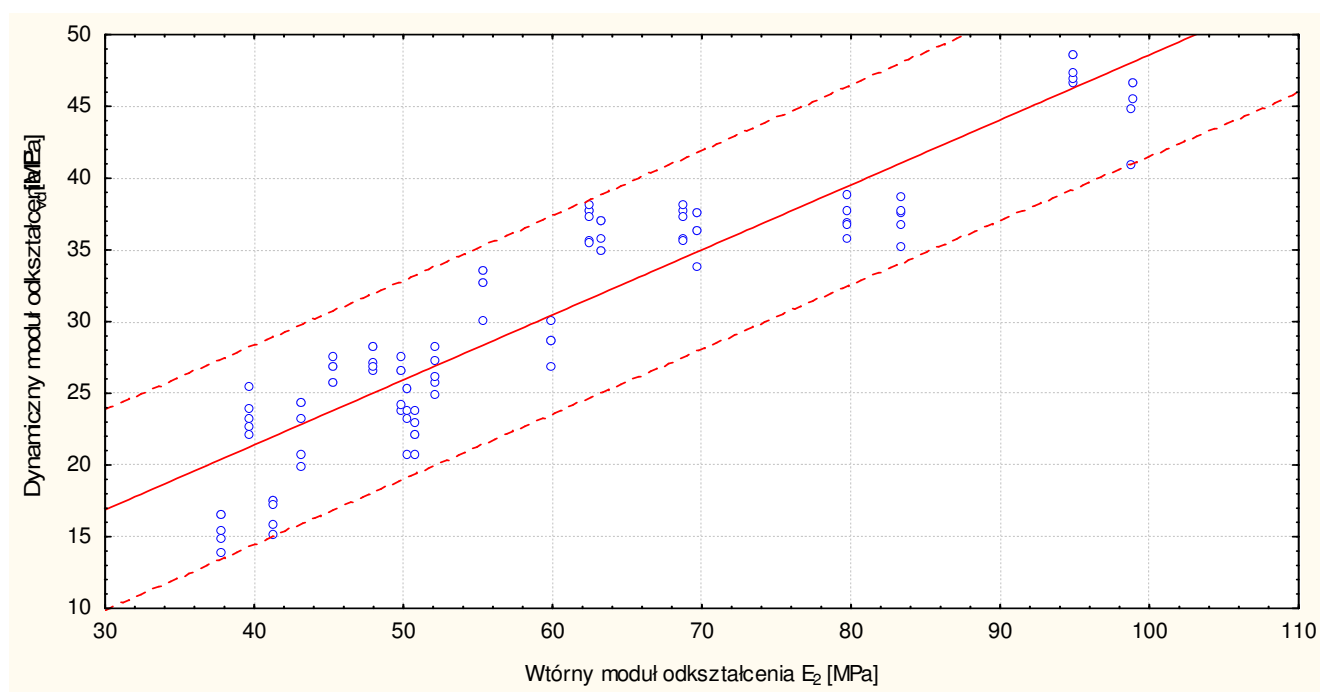
- piasek średni w zakresie  $E_{vd} = 23 - 37$  MPa,
- pospółka w zakresie  $E_{vd} = 20 - 38$  MPa,
- piasek gruby w zakresie  $E_{vd} = 16 - 34$  MPa,
- piasek drobny w zakresie  $E_{vd} = 16 - 26$  MPa,
- piasek pylasty w zakresie  $E_{vd} = 10 - 20$  MPa,
- żwir w zakresie  $E_{vd} = 23 - 50$  MPa.



Rysunek 13 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G7" - piasek średni

Dla piasku średniego o uziarnieniu nieciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  opisuje następująca zależność matematyczna:

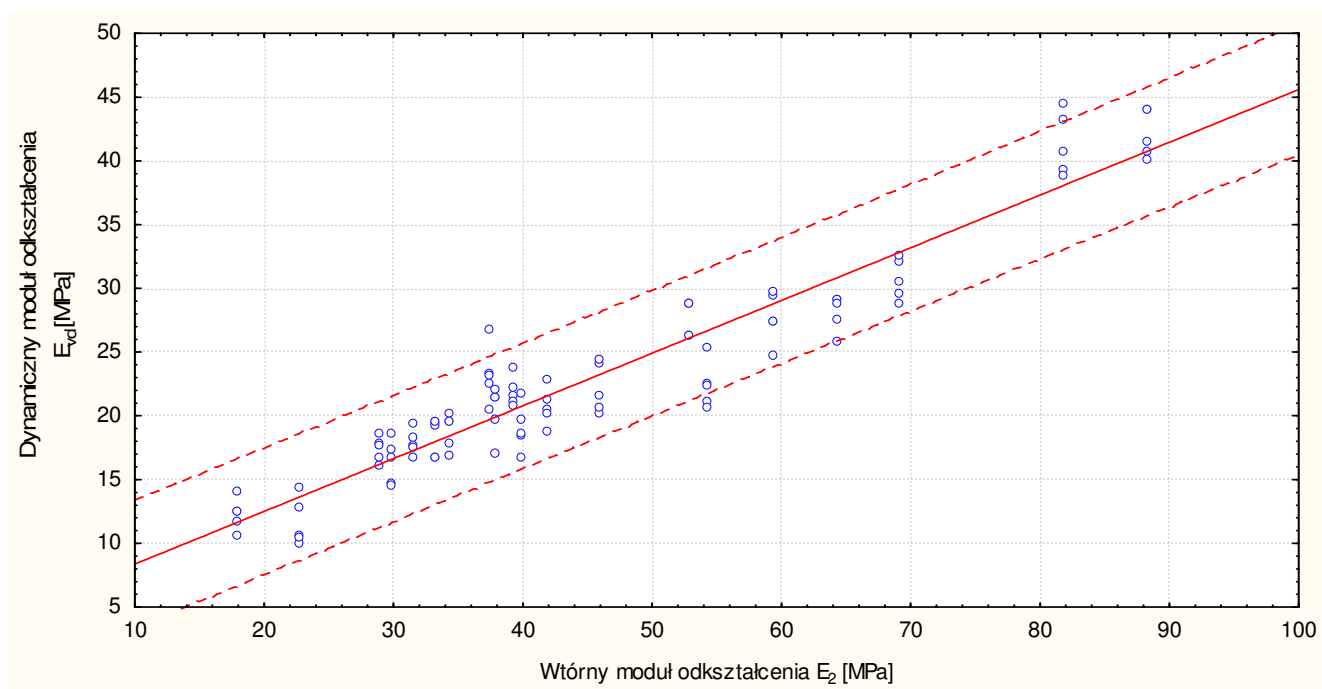
$$E_{vd} = 11,83 + 0,34 * E_2 \text{ [MPa]}$$



Rysunek 14 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G8" - pospółka

Dla pospółki o uziarnieniu nieciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  opisuje następująca zależność matematyczna:

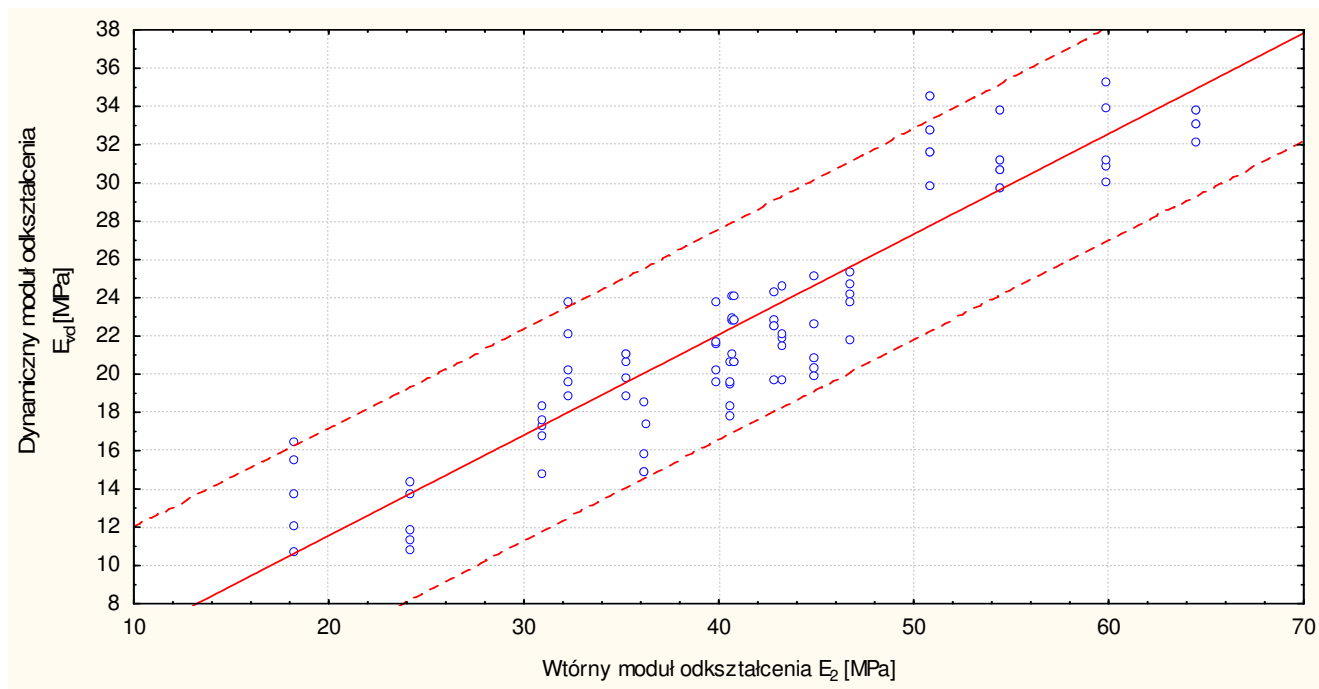
$$E_{vd} = 3,27 + 0,45 * E_2 \text{ [MPa]}$$



Rysunek 15 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G9" - piasek gruby

Dla piasku grubego o uziarnieniu nieciąglym wtórny moduł odkształcenia  $E_2$  w zależności od dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  opisuje następująca zależność matematyczna:

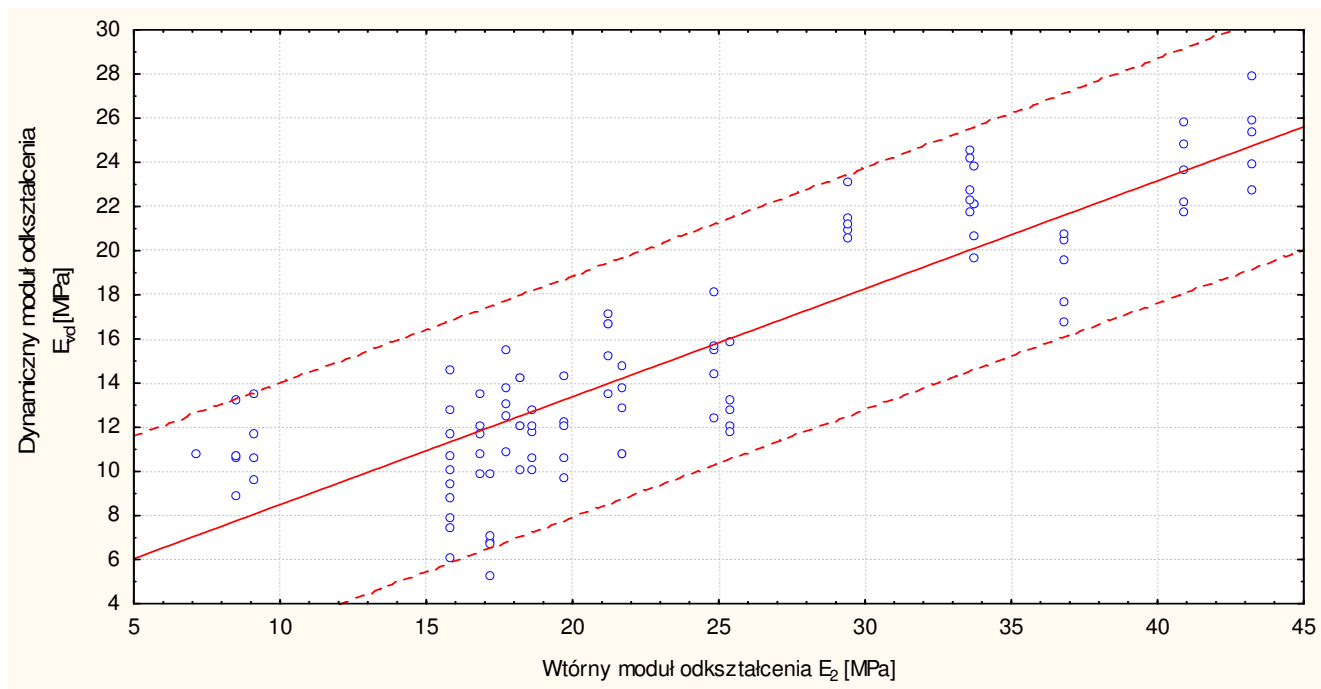
$$E_{vd} = 4,27 + 0,41 \cdot E_2 \text{ [MPa]}$$



Rysunek 16 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G10" - piasek drobny

Dla piasku drobnego o uziarnieniu nieciągłym wtórny moduł odkształcenia  $E_2$  w zależności od dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = 1,05 + 0,53 \cdot E_2 \text{ [MPa]}$$

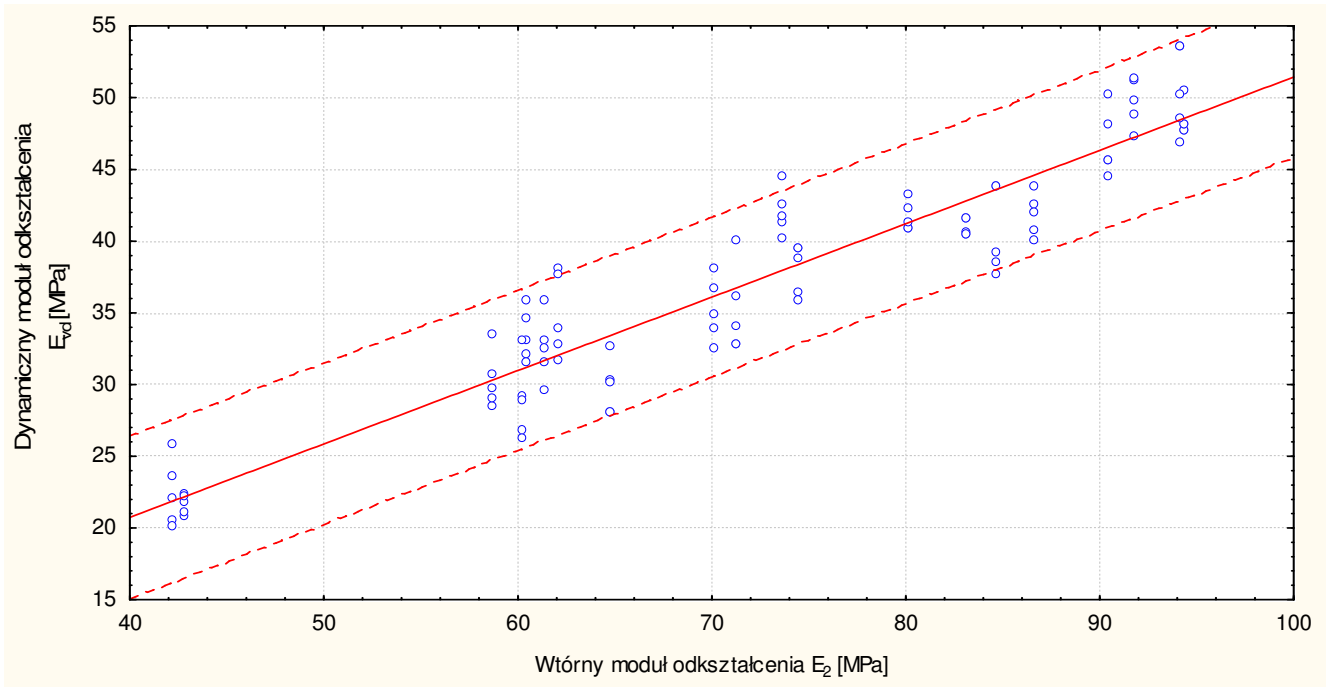


Rysunek 17 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G11" - piasek pylasty

Dla piasku pylastego o uziarnieniu nieciągłym wtórny moduł odkształcenia  $E_2$  w zależności od dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = 3,60 + 0,49 \cdot E_2 \text{ [MPa]}$$





Rysunek 18 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla gruntu "G12" - żwir

Dla żwiru o uziarnieniu nieciągłym wtórny moduł odkształcenia  $E_2$  w zależności od dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = 0,28 + 0,51 \cdot E_2 \text{ [MPa]}$$

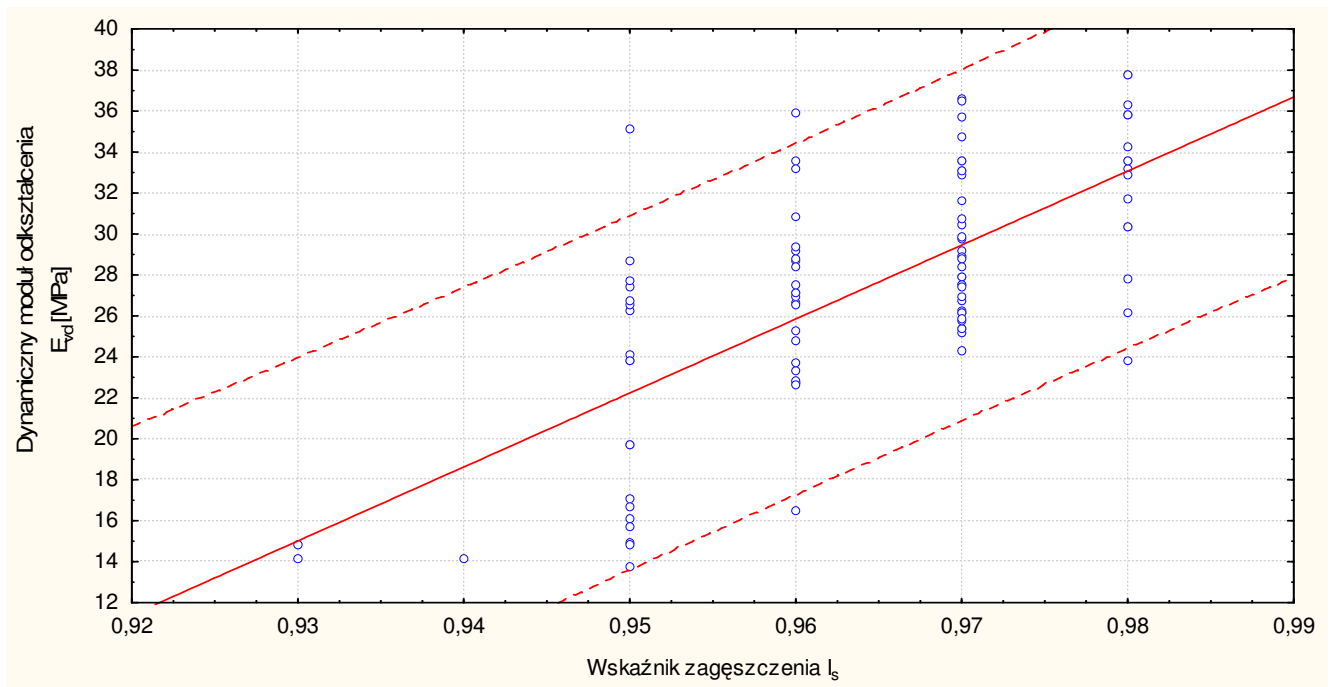
Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań płyty dynamicznej zależy od rodzaju gruntu. Grunty o uziarnieniu ciągłym wykazują największą stabilność wskazań:

- piasek średni w zakresie  $E_{vd} = 23 - 37$  MPa,
- pospółka w zakresie  $E_{vd} = 20 - 38$  MPa,
- piasek grubo w zakresie  $E_{vd} = 16 - 34$  MPa,
- piasek drobny w zakresie  $E_{vd} = 16 - 26$  MPa,
- piasek pylisty w zakresie  $E_{vd} = 10 - 20$  MPa,
- żwir w zakresie  $E_{vd} = 23 - 50$  MPa.

#### 5.4. Zależności korelacyjne dynamicznego modułu odkształcenia $E_{vd}$ od wskaźnika zagęszczenia $I_s$ dla gruntów o uziarnieniu nieciągłym

Na wykresach poniżej (rysunek 19 do 24) przedstawiono skorygowane zależności pomiędzy modułami dynamicznymi  $E_{vd}$  i wtórnymi modułami odkształcenia  $I_s$  dla gruntów o symbolach G7 do G12. Grunty te charakteryzują się ciągłym uziarnieniem. Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskaźnika płyty dynamicznej zależy od rodzaju gruntu. Grunty o uziarnieniu ciągłym wykazują największą stabilność wskaźnika:

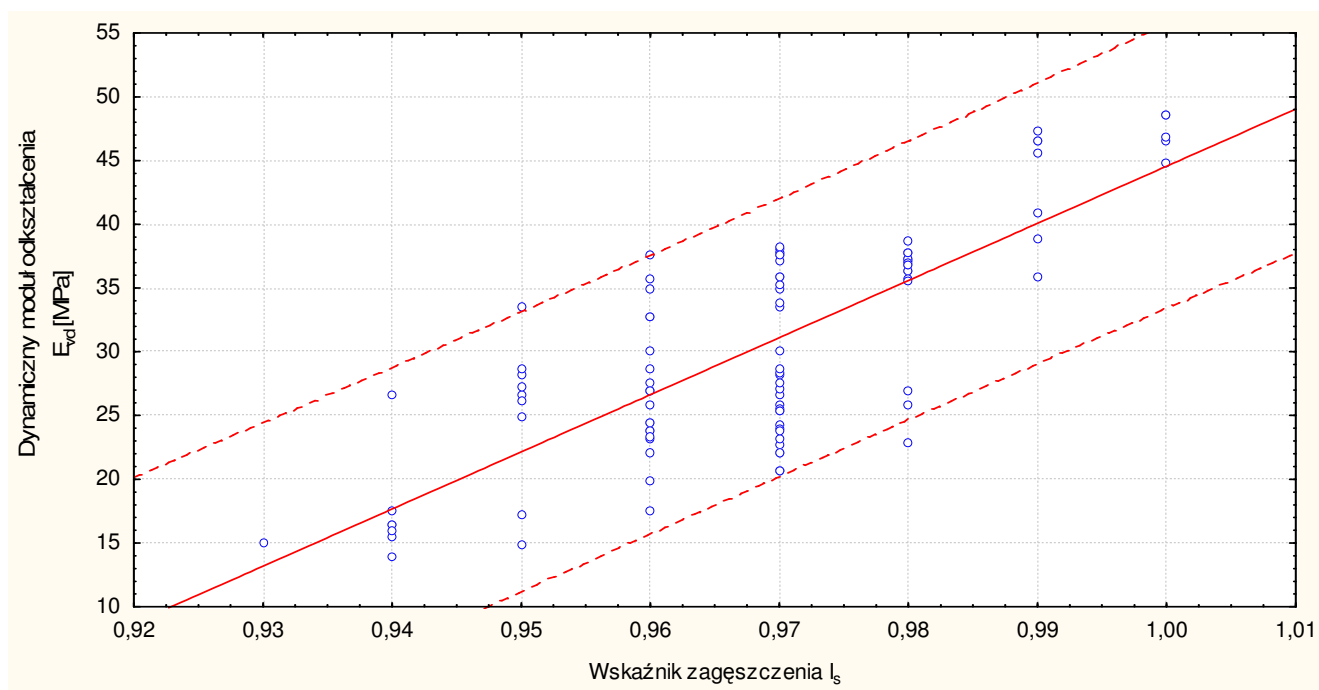
- piasek średni w zakresie  $E_{vd} = 22 - 38$  MPa,
- pospółka w zakresie  $E_{vd} = 20 - 40$  MPa,
- piasek gruby w zakresie  $E_{vd} = 15 - 33$  MPa,
- piasek drobny w zakresie  $E_{vd} = 14 - 34$  MPa,
- piasek pylasty w zakresie  $E_{vd} = 10 - 26$  MPa,
- żwir w zakresie  $E_{vd} = 27 - 54$  MPa.



Rysunek 19 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G7" – piasek średni

Dla piasku średniego o uziarnieniu nieciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

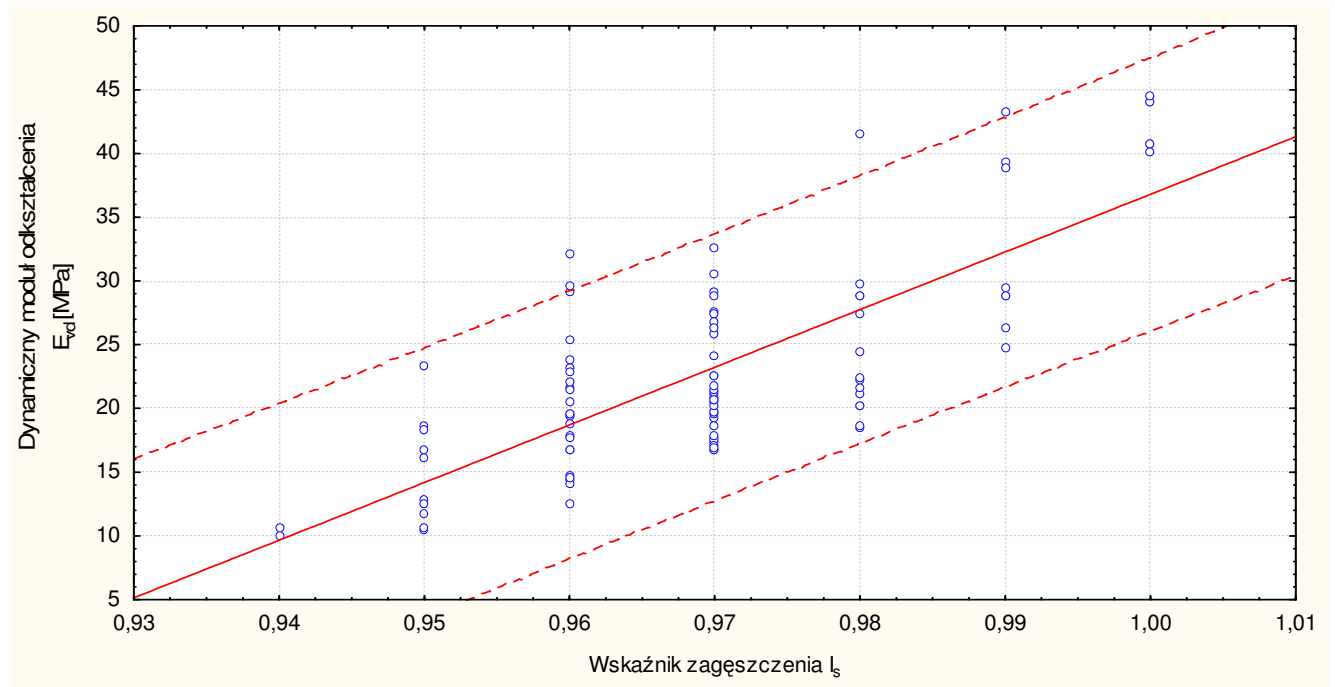
$$E_{vd} = -320,78 + 361,07 * I_s \quad [MPa]$$



Rysunek 20 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G8" – pospółka

Dla pospółki o uziarnieniu nieciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

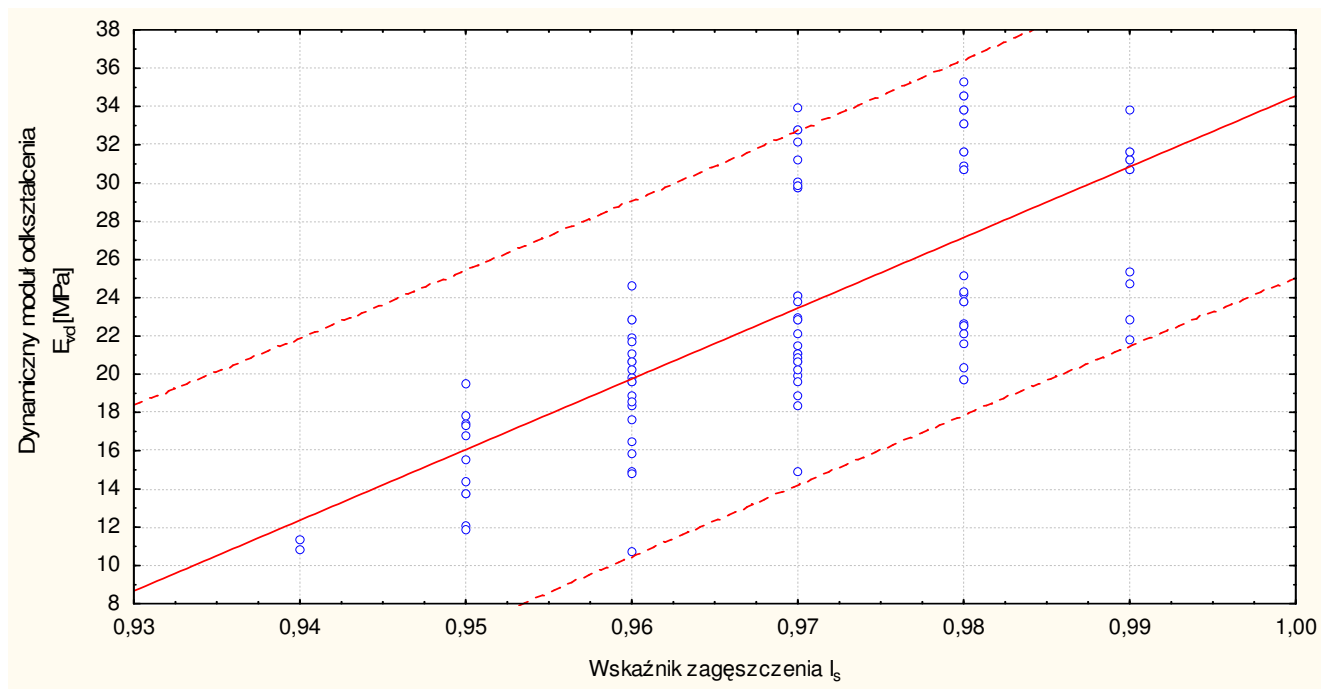
$$E_{vd} = -403,63 + 448,19 * I_s \quad [MPa]$$



Rysunek 21 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G9" – piasek gruby

Dla piasku grubego o uziarnieniu nieciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

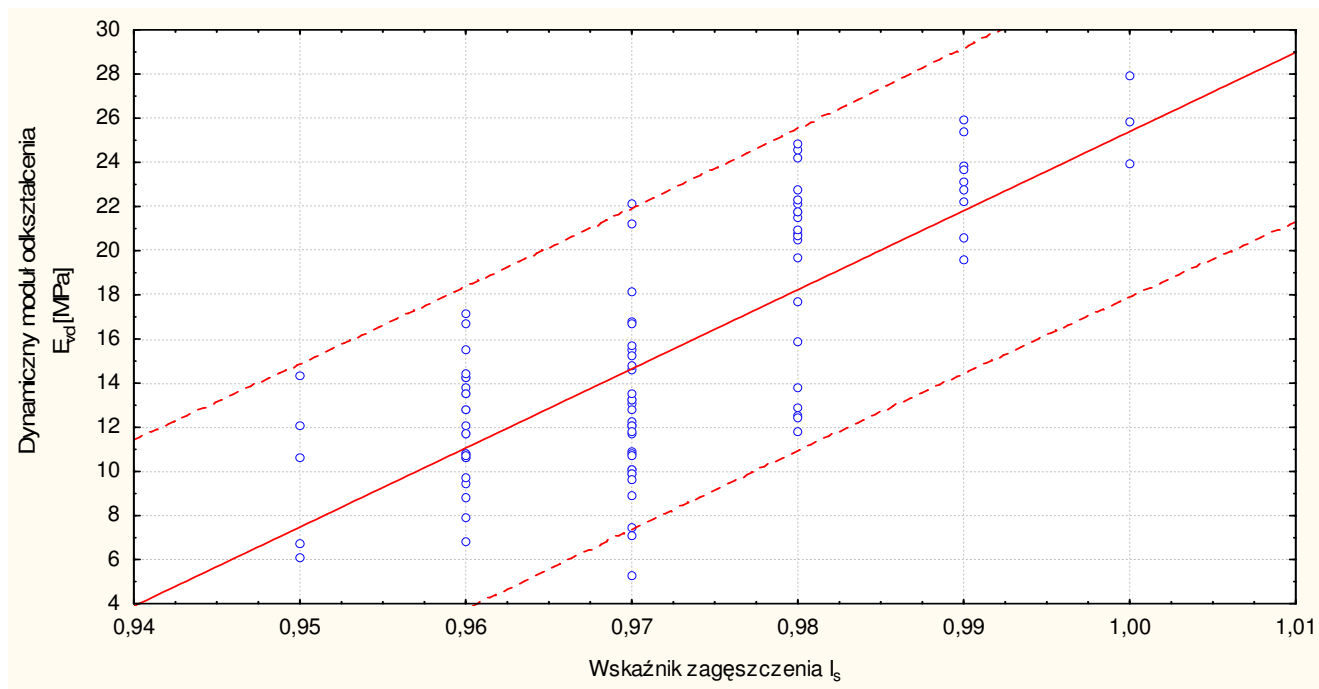
$$E_{vd} = -415,34 + 452,13 * I_s \quad [MPa]$$



Rysunek 22 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G10" – piasek drobny

Dla piasku drobnego o uziarnieniu nieciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

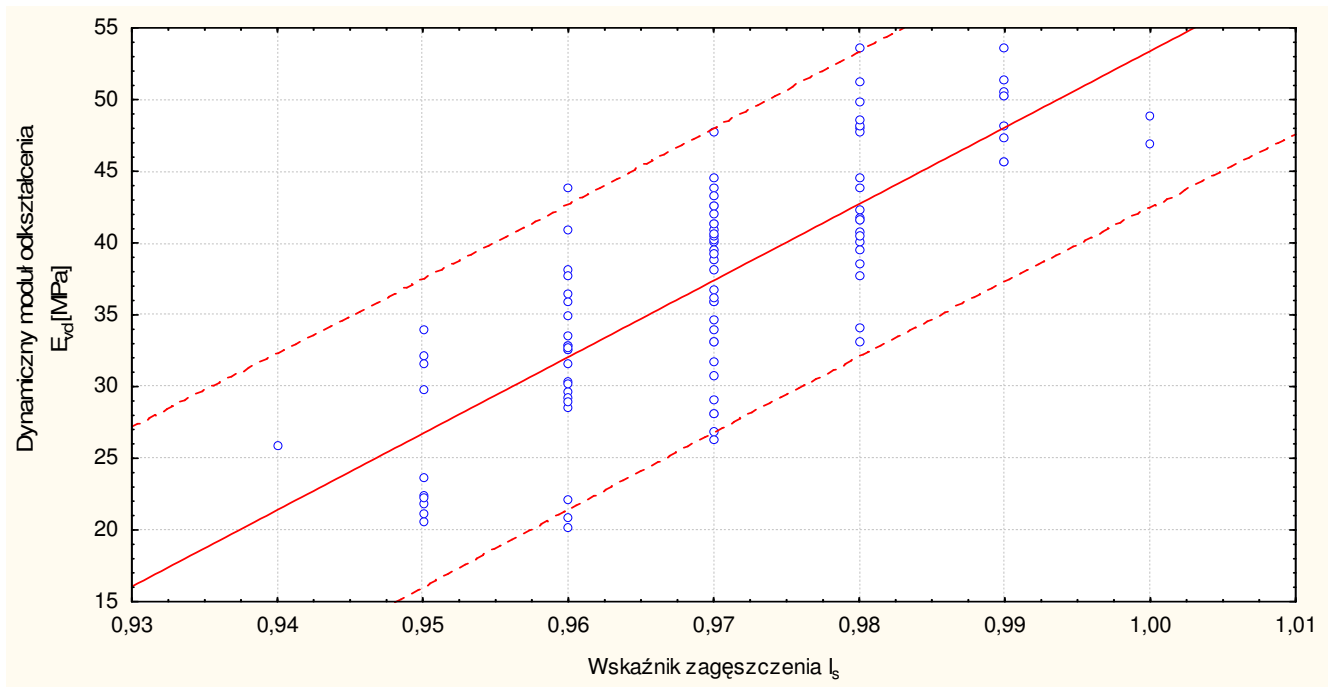
$$E_{vd} = -335,16 + 369,71 \cdot I_s \quad [MPa]$$



Rysunek 23 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G11" – piasek pylasty

Dla piasku pylastego o uziarnieniu nieciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = -333,11 + 358,51 \cdot I_s \quad [MPa]$$



Rysunek 24 Zależność dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  dla gruntu "G12" - żwir

Dla żwiru o uziarnieniu nieciągłym dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  w zależności od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  opisuje następująca zależność matematyczna:

$$E_{vd} = -479,91 + 533,30 \cdot I_s \quad [MPa]$$

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań płyty dynamicznej zależna jest od rodzaju gruntu. Grunty o uziarnieniu ciągłym wykazują największą stabilność wskazań:

- piasek średni w zakresie  $E_{vd} = 22 - 38$  MPa,
- pospółka w zakresie  $E_{vd} = 20 - 40$  MPa,
- piasek gruby w zakresie  $E_{vd} = 15 - 33$  MPa,
- piasek drobny w zakresie  $E_{vd} = 14 - 34$  MPa,
- piasek pylasty w zakresie  $E_{vd} = 10 - 26$  MPa,
- żwir w zakresie  $E_{vd} = 27 - 54$  MPa.

## 6. WNIOSKI

Przeprowadzony w drugiej części pracy zakres tematyczny obejmujący:

- wykonanie badań gruntów wytypowanych w etapie pierwszym,
  - opracowanie zależności korelacyjnych dla wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  i wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  w funkcji dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$ ,
- pozwoił na wyciągnięcie następujących wniosków:

- wprowadzenie skorygowanego planu badań pozwoliło na całościową analizę zmienności badanych parametrów,
- wielkość poletek doświadczalnych i wbudowana w nich ilość gruntu zapewniała brak wpływu wzajemnego oddziaływania na siebie kolejnych punktów badawczych (brak wpływu poprzedniego badania na następne),
- wbudowywanie gruntu na poletkach doświadczalnych w dwóch warstwach pozwoliło na osiągnięcie stabilności zagęszczenia na całej miąższości wbudowanego materiału, co potwierdziły wyniki badań gęstości objętościowej i wilgotności gruntu,
- zaplanowana ilość punktów badawczych okazała się wystarczająca dla uzyskania odpowiedniej ilości wyników pozwalających na ich analizę,
- uzyskane wyniki badań potwierdziły brak stabilności wskazań zarówno metody tradycyjnej metodą VSS jak i metody dynamicznej dla gruntów o niskim wskaźniku zagęszczenia – do  $I_s \leq 0,95$ ,
- określone zależności korelacyjne dla badanych gruntów stanowić mogą podstawę określania wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  i wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  w oparciu o wynik uzyskany metodą dynamiczną – dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$ .

Na podstawie przeprowadzonych badań opracowano projekt instrukcji stosowania płyty dynamicznej do oceny stanu gruntów niespoistych wbudowywanych warstwowo. W projekcie instrukcji stosowania płyty dynamicznej określono:

- przeznaczenia i zasadę stosowania,
- podstawowe definicje,
- budowę, elementy składowe urządzenia,
- zasady nadzoru nad urządzeniem,
- metodykę przeprowadzenia badania,
- sposób przedstawienia i oceny wyników,
- zależności korelacyjne,
- częstość badań na obiektach.



W oparciu o wyniki badań, ich analizę koniecznym jest prowadzenie dalszych działań w celu zwiększenia możliwości stosowania tej metody badawczej. Należy, zatem rozważyć kontynuację prac dla określenia zakresu stosowania płyty dynamicznej do oceny stanu zagęszczenia innych materiałów – w tym alternatywnych.

**BADANIE I USTALENIE  
ZALEŻNOŚCI KORELACYJNYCH  
DLA OCENY STANU ZAGĘSZCZENIA I NOŚNOŚCI  
GRUNTÓW NIESPOISTYCH  
PŁYTA DYNAMICZNA**

**INSTRUKCJA  
STOSOWANIA PŁYTY DYNAMICZNEJ  
do oceny stanu gruntów niespoistych  
wbudowywanych warstwowo**

Warszawa, listopad 2005 r.

## SPIS TREŚCI

	Str.
1. WSTĘP.....	3
2. DEFINICJE .....	3
2.1. Dynamiczne badanie nośności płytą .....	3
2.2. Dynamiczny moduł odkształcenia $E_{vd}$ .....	3
2.3. Moduł odkształcenia podłoża $E$ .....	4
2.4. Wskaźnik jednorodności uziarnienia $c_u$ .....	5
2.5. Wskaźnik zagęszczenia $I_s$ .....	5
3. ZAKRES STOSOWANIA METODY .....	6
4. ELEMENTY PŁYTY DYNAMICZNEJ .....	7
4.1. Elementy składowe płyty dynamicznej typu lekkiego .....	7
4.2. Parametry elementów płyty dynamicznej typu lekkiego .....	7
5. KALIBRACJA .....	8
6. PROWADZENIE BADAŃ .....	8
6.1. Warunki prowadzenia badań .....	8
6.2. Przygotowanie punktu kontrolnego .....	8
6.3. Ustawienie płyty dynamicznej w punkcie badawczym .....	9
6.4. Wykonanie pomiaru .....	9
7. KONTROLA BADANEGO GRUNTU – WYKOPY BADAWCZE .....	9
8. ZALEŻNOŚCI KORELACYJNE .....	10
9. OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ .....	10
10. OCENA WYNIKÓW BADAŃ .....	12
11. CZĘSTOTLIWOŚĆ BADAŃ .....	13

## 1. Wstęp

Niniejsza instrukcja dotyczy stosowania lekkiej płyty dynamicznej do określania nośności i zagęszczenia gruntów niespoistych: piasków, pospółek i żwirów w budownictwie drogowym.

Instrukcja powstała w celu wdrożenia nowej metody badawczej pozwalającej na określenie parametrów geotechnicznych bez konieczności stosowania długotrwałych metod badawczych, np. określenia wskaźnika zagęszczenia metodą bezpośrednią (cylinder, objętościomierz wodny lub piaskowy). Nowa metoda nie wymaga także stosowania ciężkiego balastu jaki wykorzystywany jest do wykonywania statycznych obciążeń płytowych (VSS).

Ze względu na bardzo krótki czas badania (około 3 minuty) urządzenie pozwala na szybką kontrolę nośności i zagęszczenia dużych powierzchni, co umożliwi zwiększenie ilości badań w stosunku do obecnych wymagań, przy jednoczesnym zmniejszeniu się kosztów badań. Większa ilość zbioru badań pozwoli na statystyczną ocenę wyników i w konsekwencji dokładniejszą ocenę jakości wykonanych robót.

Metoda badania lekką płytą dynamiczną nie jest nowatorska, przewidziano ją np. w *Instrukcji Badania Podłoża Gruntowego Budowli Drogowych i Mostowych (GDDKiA, IBDiM 1998)*, w nowelizacji normy *BN-88/8932-02 Podtorze i podłoże kolejowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania (IBDiM 2003)* jak również w licznych *Szczegółowych Specyfikacjach Kontraktowych* opracowywanych dla konkretnych inwestycji. Była ona stosowana jednak na niewielką skalę, gdyż wymagano w tych instrukcjach opracowania miarodajnych charakterystyk korelacyjnych dla badanych gruntów, co ograniczało zakres stosowania tej metody. W tym celu została opracowana niniejsza Instrukcja obejmując typowe grunty niespoiste występujące w Polsce, dla których określono charakterystyki korelacyjne i podano zakres stosowania metody.

## 2. Definicje

### 2.1 Dynamiczne badanie nośności płytą

Badanie dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  lekką płytą dynamiczną jest to pomiar, podczas którego podłoże obciążane jest uderzeniowo obciążnikiem opadowym za pomocą okrągłej, uznanej za sztywną płyty obciążeniowej o promieniu  $r$  z maksymalną siłą  $F_{max}$  w taki sposób, że naprężenie normalne  $\sigma_{max}$  pod płytą obciążeniową wynosi podczas pomiaru  $0,1 \text{ MN/m}^2$ .

### 2.2 Dynamiczny moduł odkształcenia $E_{vd}$

Dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  jest parametrem określającym odkształcalność gruntu pod wpływem zdefiniowanego pionowego obciążenia uderzeniowego o średnim czasie trwania uderzenia  $t_{max}$  (rys. 1). Wartość modułu odkształcenia oblicza się na podstawie osiadania maksymalnego  $s_{max}$  płyty obciążeniowej wg wzoru (1):

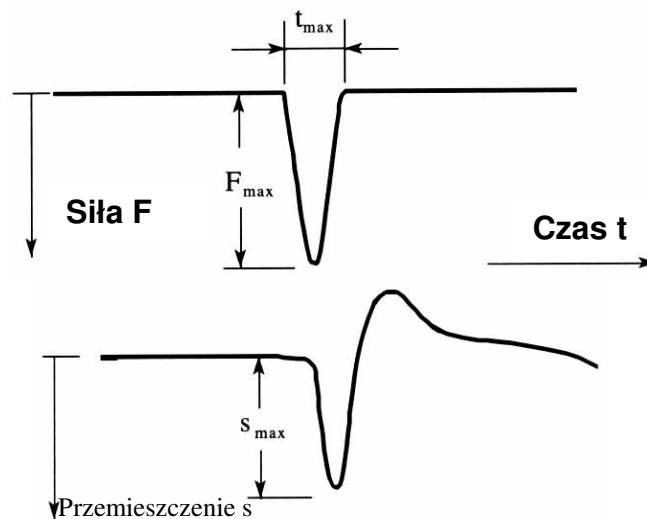
$$E_{vd} = 1,5r \frac{\sigma_{max}}{s_{max}} = 1,5 * 0,15m \frac{0,1}{s_{max}} = \frac{22,5}{s_{max}} [MPa] \quad (1)$$

w którym:

$s_{max}$  - średnia wartość osiadań  $s_{4max}$ ,  $s_{5max}$ ,  $s_{6max}$  z 3 uderzeń pomiarowych (po 3 wstępnych uderzeniach),

$r$  - promień płyty obciążeniowej,

$\sigma_{max}$  - naprężenie normalne pod płytą obciążeniową (0,1 MN/m<sup>2</sup>).



Rys. 1 Schemat przebiegu siły i przemieszczenia przy obciążeniu gruntu lekką płytą dynamiczną

### 2.3 Moduł odkształcenia podłoża E

Moduł odkształcenia podłoża E jest iloczynem stosunku przyrostu obciążenia jednostkowego do zmiany odkształcenia badanej warstwy podłoża w ustalonym zakresie obciążeń jednostkowych, pomnożonym przez 0,75. Moduł odkształcenia wyznacza się wg metodyki podanej w PN-S- 02205: 1998<sup>1</sup> ze wzoru (3):

$$E = \frac{3\Delta p}{4\Delta s} D [MPa] \quad (2)$$

w którym:

$\Delta p$  – różnica nacisków, w MPa,

$\Delta s$  – przyrost osiadań odpowiadający tej różnicy nacisków, w mm,

$D$  – średnica płyty, w mm.

Pierwotny moduł odkształcenia  $E_1$  - moduł odkształcenia oznaczony w pierwszym obciążeniu badanej warstwy.

Wtórny moduł odkształcenia  $E_1$  – moduł odkształcenia oznaczony w powtórnym obciążeniu badanej warstwy.

#### 2.4 Wskaźnik jednorodności uziarnienia $c_u$

Wskaźnik jednorodności uziarnienia  $c_u$  (dawniej  $U$ ) jest stosunkiem masy cząstek, których wraz z mniejszymi w gruncie jest 60% do masy cząstek, których wraz z mniejszymi w gruncie jest 10% i wyrażany jest zależnością (3) i ustalany na podstawie uziarnienia gruntu wg PN-88/B-04481<sup>1</sup>.

$$c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3)$$

gdzie:

$d_{60}$  – średnica cząstek, których wraz z mniejszymi w gruncie jest 60% masy,  
 $d_{10}$  – średnica cząstek, których wraz z mniejszymi w gruncie jest 10% masy.

#### 2.5 Wskaźnik zagęszczenia $I_s$

Wskaźnik zagęszczenia  $I_s$  – jest stosunkiem gęstości objętościowej szkieletu gruntowego w badanej warstwie gruntu  $\rho_d$  określonej wg BN-77/8931-12<sup>2</sup> do maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ustalonej przy danej metodzie zagęszczenia wg Proctora [1] i wyraża się zależnością:

$$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{ds}} \quad (4)$$

w którym:

$\rho_d$  – gęstość objętościowa szkieletu gruntowego w badanej warstwie gruntu,  
w  $\text{g/cm}^3$ ,

$\rho_{ds}$  – maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego uzyskana przy danej metodzie zagęszczania, w  $\text{g/m}^3$ ,

---

<sup>1</sup> PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu

<sup>2</sup> BN-77/8931-12 Oznaczanie wskaźnika zagęszczenia gruntu

### **3. Zakres stosowania metody**

Badanie lekką płytą dynamiczną wykonuje się w celu określenia dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$ , a pośrednio do oceny zagęszczenia  $I_s$  oraz nośności  $E_2$  gruntów naturalnych, niespoistych w budownictwie drogowym.

Badanie płytą dynamiczną prowadzone może być na gruntach niespoistych rodzimych i nasypowych, wbudowywanych warstwowo, o uziarnieniu ciągłym lub nieciągłym i maksymalnej wielkości ziaren do 40,0 mm. Metodą tą można stosować do wykonywania badań na następujących gruntach:

- piasek drobny,
- piasek średni,
- piasek gruby,
- pospółka,
- żwir.

W zależności od wskaźnika jednorodności uziarnienia  $c_u$  grunty dzielimy na:

- grunty o uziarnieniu ciągłym, gdy wartość  $c_u \geq 5$ ,
- grunty o uziarnieniu nieciągłym, gdy wartość  $c_u < 5$ .

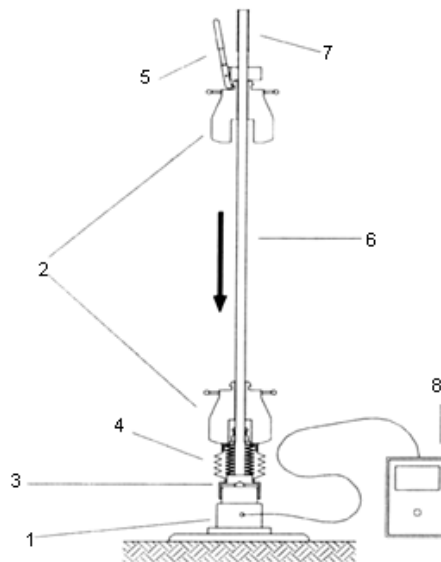
Zakres stosowania metody określa się od  $E_{vd} = 15 \text{ MN/m}^2$  do  $E_{vd} = 70 \text{ MN/m}^2$ . Głębokość oddziaływania lekkiej płyty dynamicznej jest równa średnicy płyty, dlatego nie zaleca się badania warstw grubszych niż 30 cm.

### **4. Elementy płyty dynamicznej**

#### **4.1 Elementy składowe płyty dynamicznej typu lekkiego**

Płyta dynamiczna typu lekkiego składa się z następujących elementów (rys 3):

- 1- płyty obciążeniowej z uchwytami nośnymi,
- 2- obciążnika opadowego,
- 3- kuli centrującej,
- 4- elementu sprężynująco-amortyzującego,
- 5- zaczepu – dźwignia wczepiająca,
- 6- pręta prowadzącego,
- 7- uchwytu,
- 8- miernika elektronicznego.



Rys. 3 Elementy płyty dynamicznej typu lekkiego obciążnikiem opadowym

Płytę obciążeniową, zestaw obciążeniowy oraz miernik osiadania wolno stosować tylko łącznie. Elementy płyty dynamicznej należy jednakowo i jednoznacznie oznakować dla identyfikacji tych części.

#### 4.2 Parametry elementów płyty dynamicznej typu lekkiego

Parametry techniczne elementów lekkiej płyty dynamicznej zestawiono poniżej:

Płyta obciążająca ze stali min. St 52-3 (tolerancja pomiarów urządzenia 1%)

- Średnica 300 mm
- Grubość płyty 20 mm lub 17 mm z płytą wzmacniającą 15 mm Ø 150 mm
- Ciężar 15 kg  $\pm$  0,25 kg (łącznie z miernikiem osiadania i z uchwytami)

Miernik osiadania

- Zakres częstotliwości 8 ÷ 100 Hz (błąd pomiarowy max. 2%, temp. 0 do 40°C)
- Amplituda osiadania 0,2 ÷ 1,0 mm dokładność pomiaru min.  $\pm$  0,02 mm  
1,0 – 2,0 mm dokładność pomiaru min.  $\pm$  2%



### Urządzenie obciążające

- Masa obciążnika opadowego                    10 kg  $\pm$  0,01 kg
- Masa całkowita pręta prowadnicy        5 kg  $\pm$  0,25 kg (łącznie z elementem sprężynująco-amortyzującym)
- Maksymalna wartość siły uderzenia 7,07 kN (tolerancja 1%, temp. 0 do 40°C)
- Czas uderzenia                                    18 ms  $\pm$  2 ms

## **5. Kalibracja**

Kalibracja urządzenia obejmuje:

- kontrolę urządzenia obciążającego, w którym maksymalna wartość siły uderzenia kalibrowana jest poprzez nastawienie wysokości opadu. W urządzeniach ze sprężynami talerzowymi (ze stali) można posłużyć się dodatkowo dla kalibracji nastawieniem naprężenia wstępnego sprężyn.
- kontrolę miernika osiadania polegającą na ustawieniu dla podanego zadanego zakresu pomiaru amplitudy osiadania za pomocą już skalibrowanego obciążnika opadowego.

Kalibracja płyty dynamicznej prowadzona powinna być przynajmniej raz w roku lub po każdej naprawie. Badanie kalibracyjne prowadzone powinno być na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku przez laboratoria określone w instrukcji obsługi producenta sprzętu.

## **6. Prowadzenie badań**

### **6.1 Warunki prowadzenia badania**

Dopuszcza się prowadzenie badań na powierzchniach o maksymalnym nachyleniu do 6%.

Badania prowadzone mogą być gdy temperatura gruntu i powietrza wynosi od 0 °C do 40 °C.

Badanie należy wykonywać na gruntach niespoistych o wilgotności naturalnej mniejszej lub równej wilgotności optymalnej  $w_{opt}$  ustalonej wg [1].

### **6.2 Przygotowanie punktu kontrolnego**

Przed przystąpieniem do ułożenia płyty należy powierzchnię gruntu odpowiednio przygotować poprzez:

- usunięcie suchej i rozluźnionej powierzchniowej warstwy gruntu,
- usunięcie pojedynczych ziaren o średnicy 40 mm,

- ułożenie cienkiej warstwy wyrównującej z piasku średniego (tylko dla wyrównania warstwy),
- wyrównanie powierzchni przygotowanego punktu badawczego liniałem na powierzchni nie mniejszej niż dwukrotność powierzchni płyty.

### **6.3 Ustawienie płyty dynamicznej w punkcie badawczym**

Na przygotowanej powierzchni gruntu w punkcie badawczym należy:

- postawić płytę obciążającą,
- w celu zapewnienia całkowitego przylegania płyty obciążającej do gruntu, chwytając oburącz za uchwyty na niej zamocowane wykonujemy ćwierć obroty wywierając jednocześnie lekki nacisk na płytę,
- na płytę ustawić centralnie urządzenie obciążające z obciążnikiem opadowym,
- przewodem połączyć elektroniczny miernik osiadania z czujnikiem zamontowanym w płycie obciążającej,
- włączyć miernik osiadania i przygotować go do wykonania pomiaru.

### **6.4 Wykonanie pomiaru**

W celu wykonania pomiaru należy:

- zwolnić zabezpieczenie transportowe obciążnika (5),
- ustawić w pionie pręt urządzenia obciążającego (6)
- podnieść obciążnik (2) na pełną wysokość zatraskując w zaczepie (5),
- zwalniając obciążnik (2) dźwignią zaczepu (5) wykonać pierwsze trzy obciążenia płytą na grunt (obciążenia bez pomiaru przemieszczenia),
- wykonać jak powyżej trzy obciążenia płytą na grunt, lecz z pomiarem przemieszczenia,
- zarejestrować wyniki pomiarów w mierniku elektronicznym.

Po zakończeniu pomiaru w punkcie badawczym rejestrator elektroniczny należy wyłączyć a obciążnik zabezpieczyć do transportu.

## **7. Kontrola badanego gruntu – wykopy badawcze**

Gdy wyniki badania znacznie odbiegają od wartości oczekiwanych, pod punktem badawczym należy wykonać wykop kontrolny do głębokości odpowiadającej średnicy płyty obciążeniowej, lub powtórzyć badanie w innym punkcie kontrolnym. Jeżeli w wykopie stwierdzone zostaną lokalne niejednorodności, należy zaznaczyć to w protokole z badania oraz ustalić przyczynę ich powstawania poprzez np. określenie wilgotności naturalnej i badania makroskopowe gruntu

## 8. Zależności korelacyjne

W tabeli 1 przedstawiono zależności pomiędzy dynamicznym modułem odkształcenia  $E_{vd}$ , statycznym modułem odkształcenia  $E_2$  i wskaźnikiem zagęszczenia  $I_s$ <sup>1</sup>.

Tabela 1

Wartości wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  i wskaźnika zagęszczenia  $I_s$   
w funkcji modułu dynamicznego  $E_{vd}$  w zależności od rodzaju gruntu sypkiego

Rodzaj gruntu	Wtórny moduł odkształcenia $E_2$ [MPa]		Wskaźnik zagęszczenia $I_s$ [-]	
	uziarnienie ciągłe $c_u \geq 5$	uziarnienie nieciągłe $c_u < 5$	uziarnienie ciągłe $c_u \geq 5$	uziarnienie nieciągłe $c_u < 5$
piasek drobny	$2,06 E_{vd} - 9,20$	$1,57 E_{vd} + 5,91$	$0,0016 E_{vd} + 0,93$	$0,0013 E_{vd} + 0,94$
piasek średni	$1,91 E_{vd} + 9,17$	$2,54 E_{vd} - 2,86$	$0,0015 E_{vd} + 0,93$	$0,0013 E_{vd} + 0,93$
piasek gruby	$2,03 E_{vd} - 8,35$	$2,19 E_{vd} - 5,07$	$0,0015 E_{vd} + 0,93$	$0,0013 E_{vd} + 0,94$
pospółka	$1,70 E_{vd} + 10,56$	$1,85 E_{vd} + 3,54$	$0,0013 E_{vd} + 0,93$	$0,0013 E_{vd} + 0,93$
żwir	$1,86 E_{vd} + 2,08$	$1,57 E_{vd} + 5,91$	$0,0012 E_{vd} + 0,92$	$0,0011 E_{vd} + 0,93$

## 9. Opracowanie wyników badań

Wyniki z badań należy przedstawić w formie protokołu. Protokół z badania powinien zawierać przynajmniej następujące dane:

- lokalizację i identyfikację budowy,
- producent urządzenia/numer urządzenia,
- datę ważności, numer świadectwa kalibracyjnego oraz nazwę jednostki wykonującej kalibrację,
- data i godzina badania,
- osoba przeprowadzająca badanie,
- lokalizację punktu badawczego,
- rodzaj gruntu,

- określenie warunków atmosferycznych (np. pogoda, temperatura),
- uwagi, np. na temat zjawisk odbiegających od oczekiwanych,
- informacje uzyskane z wykonania wykopów badawczych,
- zmierzone dla każdego punktu wartości osiadania  $s_{4max}$ ,  $s_{5max}$ ,  $s_{6max}$
- dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  wyliczony ze średniej wartości zmierzonych osiadań  $s_{max}$ .

W tabeli 2 przedstawiony jest przykładowy formularz protokołu z badania dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$ .

Tabela 2

Wzór formularza określenia dynamicznego modułu odkształcenia

Określenie dynamicznego modułu odkształcenia $E_{vd}$					
Budowa:  Producent urządzenia:  Numer urządzenia:  Data następnej kalibracji:  Wysokość opadu zgodnie z nalepką kalibracyjną:  Data i godzina badania:  Warunki atmosferyczne:  Warunki atmosferyczne:			Numer punktu kontrolnego:  Lokalizacja punktu badawczego:  Rodzaj gruntów:  Informacje z wykopu:  Badanie wykonał:  Instytucja wykonująca badanie:  Uwagi:		
Numer punktu badawczego	Numer uderzenia	Osiadanie $s_{max}$ [mm]	$s_{max} = \frac{1}{3}(s_{4max} + s_{5max} + s_{6max})$	$E_{vd} = \frac{22,5}{s_{max}} [MPa]$	Uwagi
1	Obciążenie wstępne				
	1,2,3	-	-	-	-
	Obciążenie pomiarowe				
	4				
	5				
	6				

## 10. Ocena wyników badań

Należy prowadzić ocenę uzyskiwanych wyników badań dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  stosując metodę porównywania poszczególnych wyników z wymaganiami projektowymi.

W przypadku, gdy liczba pomiarów wynosi co najmniej 10, należy stosować metodę statystyczną. W metodzie tej wartość  $I_p$  stanowi miarę poziomu modułu dynamicznego odkształcenia a współczynnik zmienności  $z_p$  – miarę jednorodności dynamicznego modułu odkształcenia.

Wartość średnią dynamicznego modułu odkształcenia należy obliczać zgodnie z zależnością (5):

$$E_{vdsr} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{vdi}}{n} \quad (5)$$

w której:

$E_{vdi}$  – wyniki poszczególnych pomiarów,  
 $n$  – liczba pomiarów.

Współczynnik zmienności należy określić zgodnie z zależnością (6) :

$$z_p = \frac{s_{E_{vd}}}{E_{vdsr}} 100\% \quad (6)$$

w którym:

$s_{E_{vd}}$  – odchylenie standardowe obliczone ze wzoru (7):

$$s_{E_{vd}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{vdi} - E_{vdsr})^2}{n - 1}} \quad (7)$$

Badaną warstwę gruntu uznaje się za jednorodną, gdy wskaźnik zmienności  $z_p$  nie przekracza 30%.

## **11. Częstotliwość badań**

Częstotliwość badań modułu dynamicznego  $E_{vd}$  w zależności od rodzaju badanego obiektu powinna być następująca:

- obiekty liniowe: co najmniej 3 punkty badawcze na odcinku do 50 m na każdej z układanych warstw gruntu oraz dodatkowo w miejscach wątpliwych,
- obiekty powierzchniowe: co najmniej 3 punkty na każde 500 m<sup>2</sup> powierzchni oraz dodatkowo w miejscach wątpliwych.

Ilość punktów badawczych na badanej powierzchni może być zmieniona w porozumieniu z projektantem.