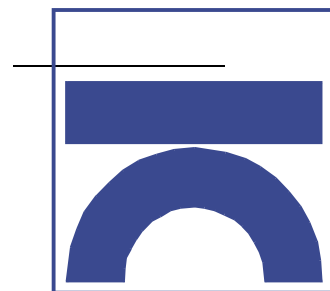


**INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW
ZAKŁAD GEOTECHNIKI I FUNDAMENTOWANIA
LABORATORIUM GEOTECHNIKI**

03-302 Warszawa, ul. Gołędzinowska 10
tel. (0 22) 811 14 46, tel. / fax. (0 22) 814 53 16



TGF-1/2005
BADANIA
I USTALENIE WSTĘPNYCH ZALEŻNOŚCI
DLA OCENY NOŚNOŚCI GRUNTÓW SPOISTYCH
– METODĄ CBR DYNAMICZNEGO

TOM 2

Kierownik tematu – mgr inż. Mirosław Szpikowski

**KIEROWNIK
ZAKŁADU**

Zespół autorski:

mgr inż. Marcin Dreger
dr inż. Cezary Kraszewski
inż. Mieczysław Przygoda
mgr inż. Mirosław Szpikowski

Zespół wykonujący badania:

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

Współpraca i konsultacje naukowe

prof. dr hab. inż. Leszek Rafalski

Warszawa, listopad 2006 r.

Spis treści		Strona
1.	Wstęp	4
2.	Cel i zakres pracy	5
3.	Analiza stosowanych metod badawczych określania kalifornijskiego wskaźnika CBR	6
3.1	Metoda laboratoryjna określania kalifornijskiego wskaźnika CBR	6
3.1.1	Określenia i zakres zastosowania	6
3.1.2	Zestawienie sprzętowe do realizacji badania	7
3.1.3	Badania pomocnicze	10
3.1.4	Przygotowanie gruntu do badania	11
3.1.5	Zagęszczenie gruntu w cylindrze	12
3.1.6	Badanie nasiąkliwości i pomiar pęcznienia	13
3.1.7	Penetracja - wciskanie trzpienia	14
3.1.8	Pomiar wilgotności gruntu po badaniu nasiąkliwości i penetracji	16
3.1.9	Wyniki pomiarów i obliczenie wartości CBR	16
3.2	Metoda statyczna określania kalifornijskiego wskaźnika CBR przy zastosowaniu aparatury VSS	18
3.2.1	Aparatura i metoda wykonania badania	19
3.3	Metoda dynamiczna określania kalifornijskiego wskaźnika CBR testerem Clegga	20
3.3.1	Budowa i elementy testera Clegga	21
3.3.2	Okresowa kontrola urządzenia przed użyciem	24
3.3.3	Metodyka wykonania badania	25
3.3.4	Wyniki badania	25
3.3.5	Częstość badań i kryteria odbioru wykonywanych prac	26
3.3.6	Wyniki badań – kalifornijskiego wskaźnika CBR	27
3.4	Metoda określenia kalifornijskiego wskaźnika CBR przy zastosowaniu zestawu płyty dynamicznej	27
3.4.1	Elementy dynamicznego urządzenia CBR	28
3.4.2	Zakres stosowania i pojęcia podstawowe	30
3.4.3	Aparatura badawcza	31

3.4.4	Metodyka przeprowadzania w warunkach laboratoryjnych	33
3.4.5	Metodyka przeprowadzenia badania w warunkach terenowych	36
3.4.6	Wyniki badań i ich raportowanie	37
3.4.7	Nadzorowanie pracy urządzenia	37
4.	Badania pilotażowe kalifornijskiego wskaźnika nośności metodą tradycyjną i dynamiczną	38
5.	Wstępna kwalifikacja rodzajów gruntów do badań	38
6.	Program badań	43
7.	Rodzaje gruntów spoistych podlegające badaniu	45
8.	Metodyka prowadzenia badań	45
9.	Analiza wyników badań – zależności korelacyjne	49
9.1	Zbiorcze zestawienie wyników badań	51
9.2	Zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR	62
9.3	Zależności dynamicznego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2	78
9.4	Zależności dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2	74
9.5	Zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s	80
9.6	Zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0	86
9.7	Zgrupowane zależności korelacyjne dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego	92
9.8	Zależności korelacyjne dla pyłu piaszczystego i pyłu	95
9.9	Zgrupowane zależności korelacyjne dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych	98
10.	Wstępne wytyczne określania dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d	101
10.1	Przeznaczenie metody badawczej	101
10.2	Zakres stosowania	101
10.3	Aparatura badawcza	101
10.4	Metodyka prowadzenia badania	103
10.4.1	Metodyka prowadzenia badań w warunkach laboratoryjnych	103
10.4.2	Metodyka prowadzenia badań w warunkach terenowych	106

10.4.3	Wyniki badań i ich raportowanie	107
10.5	Zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wybranych parametrów geotechnicznych	107
11.	Wnioski	109
12.	Bibliografia	110
	Załącznik nr 1 - Wyniki badań	

1. Wstęp

Stosowanie nowoczesnych metod projektowania i technologii w wykonawstwie prac inżynierskich wymaga bieżącej identyfikacji właściwości geotechnicznych gruntów rodzimych i wbudowywanych w konstrukcje materiałów nasypowych.

Częstym wymogiem oprócz podstawowego, osiągnięcia określonych cech geotechnicznych dla zachowania nośności i stabilności konstrukcji jest jej ekonomiczne wykonanie. Spełnienie tych oczekiwań możliwe jest poprzez prowadzenie szybkiej i taniej diagnostyki wykonywanych prac. Prowadzenie badań obecnie stosowanymi tradycyjnymi metodami wprawdzie jest celowe, ale nie zapewnia możliwości ich stosowania na dużą skalę często przy szerokich frontach robót. Dlatego też opracowywanie i wdrażanie nowych, szybkich i tanich metod badawczych przy nowoczesnym podejściu do wykonawstwa robót inżynierskich- drogowych jest nie tylko wymogiem, lecz koniecznością.

Projektowanie nowoczesnych budowli ziemnych, takich jak nasypy drogowe, pasy startowe i pasy komunikacyjne lotnisk oraz wały przeciwpowodziowe zbiorników w dużym stopniu zależne jest od osiągnięcia zakładanego wskaźnika zagęszczenia I_s oraz modułu nośności $E_{1,2}$ materiału zastosowanego w robotach ziemnych.

W celu określenia zagęszczenia dysponujemy różnymi metodami badawczymi, przykładowo laboratoryjną metodą badania zagęszczenia według Proctora w powiązaniu z polowymi pomiarami gęstości, metodą badania modułów nośności $E_{1,2}$ aparaturą VSS i oznaczenie stopnia zagęszczenia I_0 lub kontrola poprzez sondowania dynamiczne w celu określenia wskaźnika zagęszczenia. Wszystkie te metody cechują się tym, że nie podają natychmiast informacji o zagęszczeniu, bo wyniki badania muszą być ustalone dopiero w laboratorium, lub też nie ma bezpośrednich zależności korelacyjnych pomiędzy oznaczonymi wartościami a wskaźnikiem zagęszczenia I_s . W przypadku stosowania tych metod badawczych każdorazowo należy się liczyć z dodatkowymi kosztami poniesionymi na opracowanie odpowiednich zależności.

Z powodu stale wzrastającej presji ekonomicznej w budownictwie konieczna jest taka metoda badania, którą w sposób bardzo elastyczny będzie można stosować zarówno w laboratorium jak i w warunkach polowych, a jej wyniki będą mieć bezpośredni związek korelacyjny ze wskaźnikiem zagęszczenia I_s . Stosowanie takiej metody umożliwi określenie bezpośrednio na placu budowy wskaźnika zagęszczenia I_s . Dynamiczne badanie CBR jest jedną z takich metod spełniających te wymogi.

Określanie dynamicznego modułu nośności CBR_d jest metodą nową nie stosowaną powszechnie. W metodzie tej podobnie jak w badaniu płytą dynamiczną stosuje się lekki obciążnik uderowy, dlatego jest ona bardzo wygodna w stosowaniu i umożliwia wykonanie badań na małej powierzchni, na przykład w wąskich rowach i pachwinach przy przewodach kanalizacyjnych. Badanie można wykonać w krótkim czasie w znacznym stopniu zwiększając ich ilość tak, aby do analizy wyników zastosować obróbkę statystyczną. Dynamiczne badanie CBR stosowane jest do kontroli nośności jak również dla określenia zagęszczenia badanego gruntu. Zaletą tej metody badawczej jest możliwość jej wykonania zarówno w laboratorium jak i bezpośrednio w terenie jako badanie kontrolne [14].

2. Cel i zakres pracy

Badania geotechniczne zarówno gruntów rodzimych jak i wbudowywanych w budowie ziemne mają na celu zapewnienie jakości wykonywanych robót. Obecnie stosowane zwalidowane i normowe metody badawcze prowadzone są z reguły badaniami laboratoryjnymi. Realizacja badań tymi metodami wymaga często długiego czasu od momentu ich wykonania do uzyskania wyniku. Obecnie tempo wykonywanych prac ziemnych wymusza stosowanie metod badawczych szybkich i pozwalających na uzyskanie wyników bezpośrednio po ich wykonaniu. Jednym z kierunków rozwoju badań jest stosowanie obciążeń dynamicznych do określania parametrów geotechnicznych. Dotychczas z powodzeniem opracowano i adaptowano w kraju metodę określania dynamicznego modułu nośności gruntów E_{vd} . Metoda ta obecnie zaczyna być powszechnie stosowana będąc często alternatywną dla tradycyjnej stosowanej metody VSS. Na bazie zestawu badawczego stosowanego do określania dynamicznego modułu nośności poprzez zastosowanie dodatkowego specjalistycznego oprzyrządowania powstał zestaw badawczy do określania dynamicznego wskaźnika nośności gruntu CBR_d [4], [11].

Podobnie jak określanie dynamicznego modułu nośności gruntów, ustalenie dynamicznego wskaźnika nośności następuje w krótkim czasie. Zastosowanie tego samego urządzenia obciążnikowego w płycie dynamicznej i w zestawie dynamicznym CBR pozwala na unifikację sprzętu badawczego. Małe gabaryty zestawu badawczego pozwalają wykonać badanie praktycznie w każdych warunkach, nawet na małych przestrzeniach. Dodatkową zaletą wyróżniającą tą metodę badawczą w stosunku do innych jest możliwość wykonywania badań tym samym zestawem zarówno w laboratorium jak i w terenie.

Przy stosowaniu każdej z metod badawczych określających cechy geotechniczne gruntów dążyć należy do powiązania ich wyników z zagęszczeniem gruntu. Wskaźnik zagęszczenia I_s lub stopień zagęszczenia I_D charakteryzujące stan gruntu wbudowanego i rodzimego są miernikami świadczącymi o kwalifikacji ich jako podłoże budowlane. Koniecznym, więc jest dążenie do opracowanie zależności korelacyjnych pomiędzy cechami określanymi nowymi metodami badawczymi a stanem zagęszczenia badanego gruntu.

Celem pierwszego i drugiego etapu pracy jest określenie możliwości i zakresu stosowania metody dynamicznej CBR_d w korelacji z tradycyjną laboratoryjną metodą Proctora. W oparciu o wyniki prac etapu pierwszego i drugiego opracowane zostaną wstępne zależności korelacyjne pomiędzy tymi dwoma metodami. Brak tych korelacji uniemożliwia obecnie powszechne stosowanie dynamicznego zestawu CBR_d .

Zadanie obejmujące etap pierwszy i drugi realizowane jest w oparciu o przegląd i analizę literatury i własne prace badawcze.

W etapie pierwszym zrealizowano następujące zadania:

- przeprowadzono analizę stosowanych metod określania kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR,
- wykonano badania pilotażowe kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR metodą tradycyjną i metodą dynamiczną,
- opracowano program badań umożliwiających opracowanie zależności korelacyjnych pomiędzy metodą statyczną a metodą dynamiczną,
- dokonano wstępnej kwalifikacji rodzajów gruntów spoistych do badań i opracowano program badawczy badań laboratoryjnych,

- wyspecyfikowano rodzaje gruntów spoistych podlegających badaniu,
- wykonano badania wybranych rodzajów gruntu

W ramach realizowanego zadania w etapie drugim:

- wykonano badania dla pozostałych rodzajów gruntu zgodnie z programem badań,
- przeprowadzono zgrupowanie wyników badań,
- wykonano analizę uzyskanych wyników badań,
- określono zależności korelacyjne dla poszczególnych parametrów geotechnicznych,
- określono zależności korelacyjne dla trzech grup gruntów,
- opracowano wstępne wytyczne stosowania metody badawczej w budownictwie drogowym.

3. Analiza stosowanych metod badawczych określania kalifornijskiego wskaźnika CBR

Określanie kalifornijskiego wskaźnika nośności przeprowadzone może być:

- tradycyjną metodą laboratoryjną,
- metodą statyczną z zastosowaniem aparatury VSS,
- metodą dynamiczną – testerem Clegga,
- metodą dynamiczną – zestawem dynamicznym CBR.

Tylko metoda pierwsza z wymienionych jest wykonywana w oparciu o normę PN-S-02205:1998 „Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania” [15] i jest powszechnie stosowana. Pozostałe dwie kolejne metody badawcze, mimo, że czyniono próby ich wdrożenia nie znalazły szerokiego uznania.

Obecnie przedmiotem zainteresowania w ramach niniejszej pracy jest analiza możliwości i wdrożenia metody dynamicznej do oznaczania CBR_d z zastosowaniem zestawu z lekkim obciążnikiem opadowym.

Poniżej zamieszczono przegląd metod stosowanych w celu określania kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR.

3.1 Metoda laboratoryjna określania kalifornijskiego wskaźnika CBR

3.1.1 Określenia i zakres zastosowania

Badanie CBR polega na odpowiednim przygotowaniu próbki gruntu, następnie jej zagęszczeniu przy odpowiedniej wilgotności w sposób znormalizowany w cylindrze CBR, nasyceniu wodą i poddaniu próbie penetracji standardowym trzpieniem w sposób znormalizowany [15].

Badania CBR mają zastosowanie do laboratoryjnego określenia kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntów o zawartości ziaren > 20 mm nie więcej niż 20%.

Określenie wskaźnika nośności gruntów podłoża pozwala przy uwzględnieniu:

- obciążenia nawierzchni ruchem w przeliczeniu na tzw. pojazdy porównawcze,
 - projektowanych materiałów na poszczególne warstwy konstrukcji nawierzchni
- wymiarować grubość konstrukcji nawierzchni podanych przy dowolnym obciążeniu ruchem w przewidywaniu około 15-letniego okresu jej eksploatacji.

Kalifornijski wskaźnik nośności CBR jest procentowym stosunkiem siły P , którą potrzeba zastosować, aby trzpień w kształcie wydłużonego bolca walcowego o powierzchni 3 cale² wcisnąć w odpowiednio przygotowaną próbkę gruntu do głębokości 2.50 mm albo 5.00 mm z prędkością znormalizowaną 1,25 mm/min, do siły standardowej P_s , którą trzeba zastosować aby taki sam trzpień z taką samą prędkością oraz na taką samą głębokość wcisnąć w tłuczeń standardowo zagęszczony.

Kalifornijski wskaźnik nośności wyznacza się na podstawie zależności:

$$CBR = \frac{P}{P_s} 100 \quad (3.1)$$

gdzie: P - siła potrzebna do wciśnięcia trzpienia w badany grunt na głębokość

2.50 mm lub 5.00 mm ze stałą prędkością 1,25 mm/min w N ,

P_s - siła standardowa potrzebna do wciśnięcia trzpienia w grunt

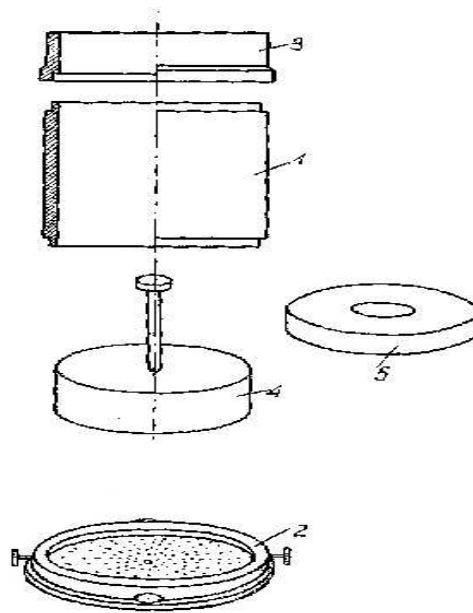
standardowy, który jest tłucznem standardowo zagęszczonym na

głębokość 2.50 mm lub 5.00 mm ze stałą prędkością 1,25 mm/min w N .

3.1.2 Zestawienie sprzętowe do realizacji badania

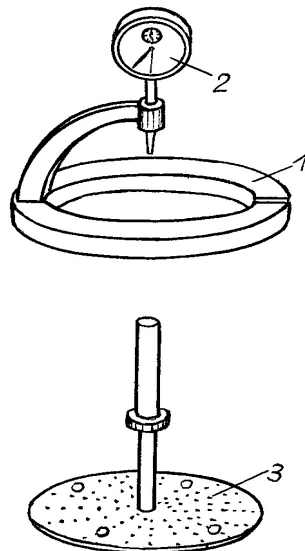
W skład aparatury do laboratoryjnego oznaczenia CBR wchodzi [18]:

- przyrząd pomiarowy CBR składający się z następujących części (rys 3.1):
 - 1 – metalowy cylinder o średnicy 150 mm i wysokości 175 mm,
 - 2 – ruchoma podstawa perforowana, którą można nałożyć na jeden lub drugi koniec cylindra,
 - 3 - ruchoma podstawa dopasowana do górnej części cylindra,
 - 4 – wkładka wyrównująca dopasowana ściśle do średnicy cylindra o wysokości 50 mm, która podczas zagęszczania stanowi podwójne dno cylindra,
 - 5 – krążki pierścieniowe o ciężarze 25 N służące jako nadwaga,
- przyrząd do pomiaru pęcznienia składający się z następujących części (rys 3.2):
 - 1 - trójnóg pod czujnik, który powinien być dopasowany do górnej powierzchni cylindra,
 - 2 - czujnik umożliwiający dokonanie odczytów z dokładnością do 0,01 mm,
 - 3 - płyta perforowana o średnicy nieco mniejszej niż średnica cylindra z przechodzącym przez jej środek drążkiem z regulatorem wysokości.



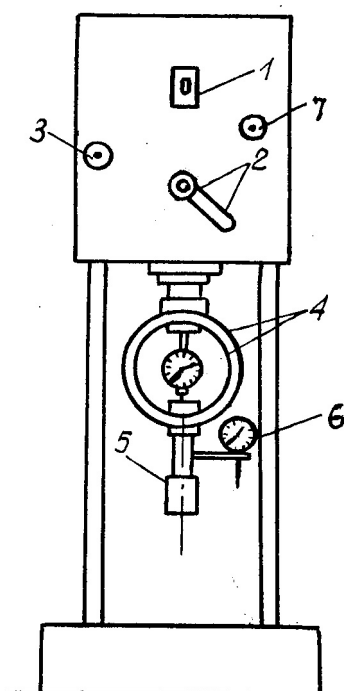
Rys 3.1 Zestaw cylindra do pomiaru CBR wraz z osprzętem

- mechaniczny przyrząd umożliwiający zagęszczenie gruntów z ubijakiem 25 N spadającym z wysokości 320 mm i zmodyfikowanym ubijakiem o ciężarze 63 N spadającym również z wysokości 320 mm.



Rys 3.2 Przyrząd do pomiaru pęcznienia

- prasa 500 N do wciskania trzpienia cylindrycznego o przekroju 3 cale² ze stałą prędkością 1,25 mm/min wyposażona w urządzenie do pomiaru wywartego nacisku pierścienia dynamometru wraz z czujnikami oraz urządzenie do pomiaru odkształceń (czujnik); rys 3.3 i 3.4.



Rys 3.3 Schemat prasy 50 kN do badania CBR

1 – włącznik przesuwu trzpienia, 2 – kierownica ręcznego przesuwu,
3 – sprężyno, 4 – dynamometr, 5 – trzpień CBR, 6 – czujnik.



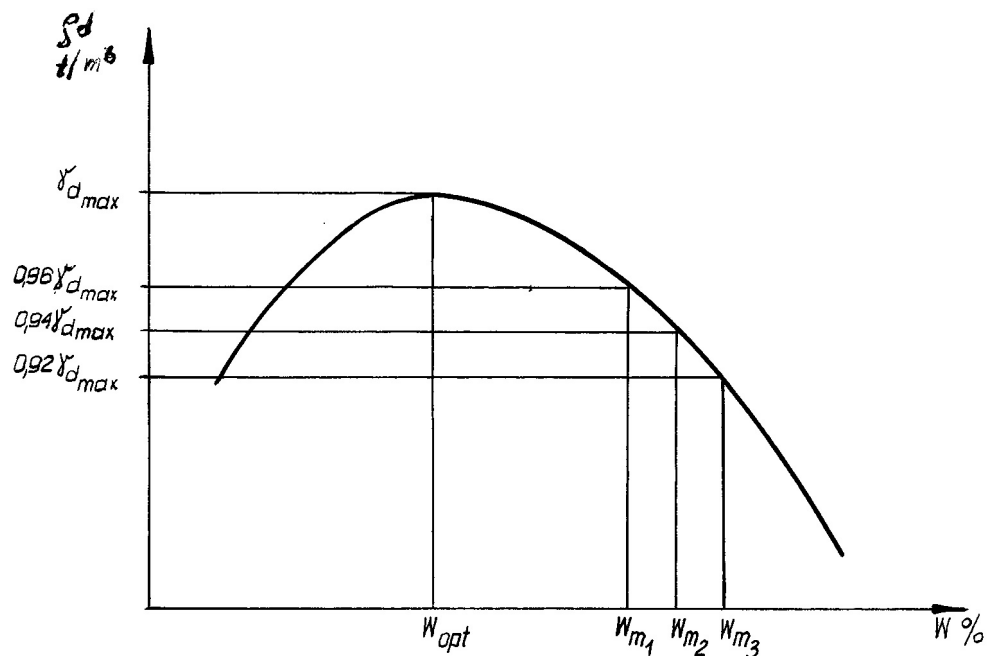
Rys 3.4 Prasa CBR

- inne przyrządy i sprzęt pomocniczy:
 - nóż do wyrównywania,
 - zbiornik do nasycania próbek,
 - łopatkę,
 - bibuła filtracyjna,
 - waga,
 - suszarka itp.

3.1.3 Badania pomocnicze

Przed przystąpieniem do wykonywania laboratoryjnych badań CBR należy ustalić [1],[3], [18]:

- 1 skład granulometryczny gruntu – analiza sitowa i analiza areometryczna,
- 2 granicę płynności i granicę plastyczności dla gruntów spoistych oraz wskaźnik piaskowy dla gruntów sypkich,
- 3 maksymalny ciężar objętościowy suchej masy gruntowej oraz wilgotność optymalną według normalnej próby Proctora,
- 4 wilgotność miarodajną gruntu podłoża; należy ją wyznaczyć na podstawie wykresu z normalnej próby Proctora zgodnie z rys 3.5 i na podstawie tabeli 3.1.



Rys 3.5 Wykres normalnej próby Proctora
i wyznaczenie wilgotności miarodajnej w zależności od p_d

Tabela 3.1

**Wilgotność miarodajna gruntu
w zależności od warunków hydrologicznych odcinka drogi [18]**

WARUNKI HYDROLOGICZNE ODCINKA DROGI	WILGOTNOŚĆ MIARODAJNA
MIEJSCE SUCHE droga w nasypie > 1.0 m zwierciadło wody gruntowej > 2,0 m od górnej warstwy podłoża gruntowego	wilgotność gruntu odpowiadająca $0.96 \rho_{d \max}$ według normalnej próby Proctora
MIEJSCE WILGOTNE Z OKRESOWYM DOPIŁYWEM WODY droga na poziomie terenu lub na nasypie < 1,0 m, zwierciadło wody gruntowej > 1,0 m od górnej warstwy podłoża drogowego	wilgotność gruntu odpowiadająca $0.94 \rho_{d \max}$ według normalnej próby Proctora
MIEJSCE WILGOTNE Z CIĄGŁYM DOPIŁYWEM WODY droga w przekopie lub poziomie terenu, zwierciadło wody gruntowej $\leq 1,0$ m lub nieszczelna nawierzchnia	wilgotność gruntu odpowiadająca $0.92 \rho_{d \max}$ według normalnej próby Proctora

3.1.4 Przygotowanie gruntu do badania

Do badania należy wydzielić grunt możliwie jednorodny i charakterystyczny dla określonego odcinka drogi. Wielkość próbki gruntu powinna wynosić ponad 5kg. Maksymalne wymiary ziaren badanego gruntu należy ograniczyć do 20 mm. Wydzielony do badania grunt suszy się w suszarce w temperaturze 105 – 110 °C do osiągnięcia stałej masy.

W praktyce mogą wystąpić następujące przypadki:

- jeżeli ziarna gruntu są mniejsze niż 20 mm (grunt przechodzi całkowicie przez sito o oczkach 20 mm), to wystarczy do jednego cylindra włożyć około 5 kg suchego i rozdrobnionego materiału,
- jeżeli ziarna są większe niż 20 mm, to odsiewa się je i zastępuje taką samą ilością żwiru o uziarnieniu od 5 do 20 mm pobranych z innych partii badanej próbki i przesiewanych przez sita odpowiadające uziarnieniu 5 do 20 mm,

- jeżeli zawartość ziaren większych niż 20 mm przekracza 30% całości, to badania CBR nie stosuje się.

Dla jednej próby należy wydzielić około 5 kg gruntu w stanie wysuszonym do stałej masy.

Dla gruntów sypkich lub mało spoistych zaleca się wykonać trzy próbki, a dla gruntów średnio i bardzo spoistych cztery próbki.

3.1.5 Zagęszczanie gruntu w cylindrze

Przed rozpoczęciem zagęszczenia do cylindra CBR należy przymocować jego podstawę i całość zważyć z dokładnością do 0.0001 kg na wadze technicznej. Następnie na dno cylindra należy włożyć stalową wkładkę oraz krążek bibuły filtracyjnej, a na górną część cylindra nadstawkę.

Do przygotowanej i odważonej w ilości 5 kg próbki gruntu nalewa się wodę w ilości odpowiadającej wilgotności optymalnej wyznaczonej na podstawie normalnej próby Proctora. Ilość wody, jaką należy dodać do próbki gruntu oblicza się z zależności:

$$W = G_s \frac{W_{opt}}{100} \quad (3.2)$$

gdzie: W – ilość wody jaką należy dodać do próbki gruntu w g,

G_s – ciężar próbki gruntu w stanie suchym w g,

W_{opt} - wilgotność optymalna gruntu w %

W przypadku gdy do badań została pobrana próbka o znanej wilgotności w mniejszej od wilgotności optymalnej, to znając ciężar próbki w stanie wilgotności G_w należy określić potrzebną ilość wody zgodnie z zależnością:

$$W = \frac{G_w}{100 + w} (W_{opt} - w) \quad (3.3)$$

gdzie: G_w – ciężar wilgotnej próbki gruntu w g,

W – wilgotność próbki gruntu pobranej do badań w % ,

W_{opt} - wilgotność optymalna gruntu w %

w - wilgotność naturalna gruntu w %

Wydzieloną porcję gruntu zwilża się stopniowo wodą za pomocą rozpylacza, mieszając ją bardzo dokładnie łopatką do uzyskania równomiernej wilgotności.

Jeżeli próbka jest z gruntu spoistego, to zwilżony grunt wodą należy odstawić przed zagęszczeniem na kilka godzin, aby woda mogła nasycić równomiernie cały grunt. Wówczas próbkę taką należy przykryć zwilżoną tkaniną i przechowywać w zamkniętym naczyniu. Następnie zagęszcza się grunt w trzech kolejnych warstwach jednakowej grubości tak, aby

suma przekazywanej energii wynosiła 0.95 energii stosowanej przy normalnej próbie Proctora – to jest 5.58 daN /cm^3 .

Przy ciężarze ubijaka 63 N spadającego z wysokości 320 mm każdą z trzech warstw zagęszczonego gruntu w cylindrze CBR należy ubijać 20 uderzeniami, rozkładając uderzenia równomiernie po całej powierzchni próbki. Ostatnia warstwa powinna wystawać około 10 mm ponad górną krawędź właściwego cylindra. Po zakończeniu zagęszczenia należy usunąć z cylindra nadstawkę i wyrównać próbkę nożem z brzegiem cylindra, z jednoczesnym lekkim zdrapaniem powierzchni ostrą szczotką i zdmuchnięciem okruszyn gruntu.

Zabieg ten ma na celu ułatwienie nasączenia próbki gruntu wodą. Następnie na powierzchnię próbki kładzie się krążek bibuły filtracyjnej i przekręca się na górną część cylindra podstawę. Cylinder odwraca się, zdejmując się dotychczasową podstawę i usuwa metalową wkładkę wyrównującą, oraz waży się cylinder z zagęszczoną próbką na wadze technicznej z dokładnością do 0,0001 kg.

W ten sposób dla gruntu sypkiego lub mało spoistego należy wykonać trzy próbki, a dla gruntu średnio spoistego i bardzo spoistego cztery próbki.

W obu przypadkach jedną z próbek poddaje się próbie penetracji, a pozostałe ustawia się do nasycenia wodą.

3.1.6 Badanie nasiąkliwości i pomiar pęcznienia

Do cylindrów z zagęszczonym gruntem i przeznaczonym do badania nasiąkliwości wkłada się płytkę perforowaną z drążkiem i regulatorem oraz nakłada się na nią obciążniki pierścieniowe.

Na cylinder nakłada się trójnóg pod czujnik.

Obciążenie obciążnikami powinno być takie, aby nacisk na próbkę równał się ciśnieniu jakie na badany grunt wywierają leżące na nim górne warstwy konstrukcji drogowej z tym, że nacisk ten nie może być mniejszy niż 7 kN/m^2 .

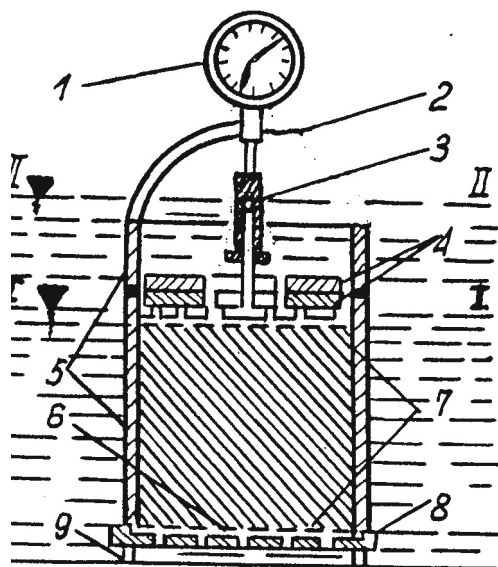
Nadwaga składać się, więc będzie we wszystkich przypadkach co najmniej z dwóch krążków pierścieniowych po 25 N każdy.

Jeżeli grubość górnych warstw konstrukcji drogi jest nieznana, to należy ograniczyć się do ciśnienia normalnego 45 N.

Napełniony i obciążony cylinder ustawia się na trzech równych klockach w zbiorniku do nasycania, który jest napełniony wodą do poziomu I-I. Na trójnogu pod czujnik zamocowuje się czujnik (rys 3.6).

Wysokość drążka płytki perforowanej ustawia się do pomiaru pęcznienia w ten sposób, żeby nóżka czujnika spoczywała na końcu drążka i notuje się odczyt na początku, tak zwany odczyt początkowy.

Ustawione do badania nasiąkliwości próbki nasycą się wodą w następujący sposób:



Rys 3.6 Próbkę gruntu poddana nasyceniu wodą.

- 1 – czujnik, 2 – trójnóg, 3 – regulator wysokości drążka płyty perforowanej,
4 – krążki pierścieniowe, 5 – cylinder CBR z nadstawką, 6 – grunt,
7 – papier filtracyjny, 8 – podstawa perforowana, 9 – klocek,
I-I - pierwszy poziom wody w zbiorniku , II-II - drugi poziom wody w zbiorniku.

Dwie próbki gruntu sypkiego lub mało spoistego, bądź trzy próbki gruntu średnio spoistego i bardzo spoistego, przygotowane do pomiaru pęcznienia ustawia się w wannie z wodą do poziomu I-I (rys 3.6) z ułożeniem na krążkach wilgotnej tkaniny w celu zabezpieczenia próbki przed wyschnięciem.

Pomiary pęcznienia na czujniku dokonuje się co 24 godziny. Po dwóch dobach, z dokładnością do jednej godziny od chwili rozpoczęcia badania nasiąkliwości, bezpośrednio po pokonaniu odczytu pęcznienia, jeden z cylindrów wyjmuje się ze zbiornika z wodą.

Cylinder po zdjęciu przyrządów do pomiaru pęcznienia i obciążników odsącza się do próby penetracji. Pozostałe w zbiorniku z wodą cylindry pozostawia się w tym zbiorniku, lecz zbiornik uzupełnia się do poziomu II-II (rys 3.6).

Drugi z cylindrów wyjmuje się z wody do badania penetracji po czterech dobach, natomiast trzeci – po sześciu dobach, lecz nie wcześniej niż po zakończeniu pęcznienia gruntu.

Przyjmuje się, że pęcznienie może być zakończone, jeżeli dwa kolejne odczyty czujnika nie wykazują w okresie 24 godzin większej różnicy niż 0,03 mm.

3.1.7. Penetracja – wciskanie trzpienia

Cylinder ustawia się środkowo symetrycznie na płycie prasy (rys 3.7 i 3.7) w taki sposób, aby trzpień znajdował się dokładnie w przedłużonej linii osi cylindra i wówczas nakłada się krążki pierścieniowe w takiej ilości jak przy badaniu pęcznienia. Ustawienie trzpienia można uważać za ostatecznie ukończone w chwili, kiedy po wolnym przekręceniu

kierownicą 2 do uruchomienia prasy zacząć drgać czujniki na pierścieniu dynamometru. Jest to moment, kiedy tłok dotyka dokładnie powierzchni próbki. Następnie do trzpienia wciskanego w próbkę gruntu zamocuje się czujnik o dokładności 0,01 mm tak, żeby nóżka czujnika opierała się swym końcem na brzegu cylindra (poziom stały). Czujnik ustawia się na zero, po czym uruchamia się prasę. Prasa powoduje zagłębienie się trzpienia ze stałą prędkością równą 1,25 mm/min.

Wyniki badania wpisuje się do formularza.

Następnie z pomierzonych odkształceń pierścienia dynamometru przechodzi się za pomocą wykresu obrazującego zależności siły P od odkształcenia pierścienia na siły. Wielkość odczytanych z wykresu sił P wpisuje się do formularza.

Wielkość odpowiednich sił standardowych P_s odczytuje się z tabeli 3.2 i wpisuje do formularza.

Tabela 3.2

Wielkości sił standardowych P_s [18]

Zagłębienie trzpienia z	Czas zagłębienia	Siła standardowa P_s
mm	s	N
0.635	30	50.0
1.270	60	85.0
1.905	90	111.5
2.540	120	136.1
5.080	240	204.1
7.620	360	258.5
10.160	480	313.0

3.1.8. Pomiar wilgotności gruntu po badaniu nasiąkliwości i penetracji

Po zakończeniu wciskania trzpienia, usuwa się obciążniki i waży cylinder z gruntem nasyconym wodą. Następnie z badanego gruntu pobiera się, dwie próbki o ciężarze po około 0,0050 kg z miejsc położonych nieco poniżej powierzchni i po obu bokach wgłębienia pozostałego po wcisku, oraz dwie próbki ze środkowej części cylindra.

Próbki te służą do określenia zawartości wody po badaniu nasiąkliwości w strefie poddanej wciskaniu trzpienia, oraz ustalenia średniej wilgotności gruntu w cylindrze.

3.1.9. Wyniki pomiarów i obliczenie wartości CBR

Wszystkie pomiary wykonane w czasie uprzednio opisanych badań pozwalają obliczyć:

- ciężar odpowiadający suchej masy gruntu (ρ_d),
- pęcznienie liniowe,
- wilgotność gruntu po badaniach nasiąkliwości i wskaźnika nośności,
- kalifornijski wskaźnik nośności CBR.

Obliczenie ρ_d wykonuje się dla kontroli. Jeżeli zagęszczenie było właściwie przeprowadzone i jeżeli zawartość wody przy zagęszczaniu odpowiadała wilgotności optymalnej zgodnie z normalnym badaniem Proctora, to obliczona wartość ρ_d nie powinna różnić się więcej niż 5% w stosunku do $\rho_{d \max}$ zgodnie z normalną próbą Proctora.

Jeżeli różnica ta jest większa badania należy wykonać na nowo.

3.1.9.1. Względne pęcznienie liniowe

Względne pęcznienie liniowe P_L stanowi iloraz różnicy między odczytem czujnika na początku badania nasiąkliwości i odczytem końcowym Δh i początkowego odczytu z czujnika i wyrażane jest w procentach i wyrażane jest zależnością:

$$P_L = 100 \frac{\Delta h}{h} \quad (3.4)$$

gdzie: Δh – przyrost wskazań czujnika na początku badania i po zakończeniu pęcznienia w mm,

h – odczyt z czujnika przed rozpoczęciem badania w mm,

W_{opt} - wilgotność optymalna gruntu w %.

3.1.9.2. Kalifornijski wskaźnik nośności CBR

Siły, które odpowiadają zagłębieniom 2.50 mm i 5.00 mm charakteryzują nam badany grunt. Wartość CBR badanego gruntu ustala się według wzoru:

$$CBR = \frac{P_{2,50}}{P_{s^{2,50}}} \cdot 100 \quad (3.5)$$

gdzie: $P_{2,50}$ - siła potrzebna do wciśnięcia trzpienia w badany grunt na głębokość 2,50 mm ze stałą prędkością 1,25 mm/min w N,

$P_{s^{2,50}}$ – siła standardowa potrzebna do wciśnięcia trzpienia w grunt standardowy, który jest tłucznem standardowo zagęszczonym na głębokość 2,50 mm ze stałą prędkością 1,25 mm/min w N.

$$CBR = \frac{P_{5,00}}{P_{s^{5,00}}} \cdot 100 \quad (3.6)$$

gdzie: $P_{5,00}$ - siła potrzebna do wciśnięcia trzpienia w badany grunt na głębokość 5,00 mm ze stałą prędkością 1,25 mm/min w N,

$P_{s^{5,00}}$ – siła standardowa potrzebna do wciśnięcia trzpienia w grunt standardowy, który jest tłucznem standardowo zagęszczonym na głębokość 5,00 mm ze stałą prędkością 1,25 mm/min w N.

Ze wskaźnika nośności przyjmuje się większą z tych wartości. W celu właściwego ustalenia wartości siły przed obciążeniem CBR należy wykreślić krzywą obciążeń dla poszczególnych zagłębień. Na osi rzędnych nanosi się wartości zagłębienia (np. 1mm zagłębienia odpowiada 1 cm na wykresie) i na osi odciętych wielkości sił (10N - 1cm).

Krzywą wykreśla się na podstawie punktów otrzymanych z badania. Krzywa ta nie powinna mieć załamań w swym początkowym odcinku. Jeżeli położenie pierwszych punktów dałoby w wyniku wykres takiej nietypowej krzywej, to nie należy tych uwzględniać przy jej wykreślanu.

W takim przypadku początkowy łuk krzywej zastąpić styczną do krzywej utworzonej z następnych punktów. Ta styczna przecina oś rzędnych tworząc nowy punkt, który przyjmuje się przy obliczaniu wskaźnika nośności jako nowy początek osi odciętych. Po wykreśleniu krzywych dla przemieszczeń trzpienia 2,50 i 5,00 mm przyjmuje się wartości siły P i oblicza się CBR, przyjmując jako miarodajny wskaźnik większy z obliczonych wskaźników.

3.1.9.3. Określenie wilgotności gruntu po badaniu

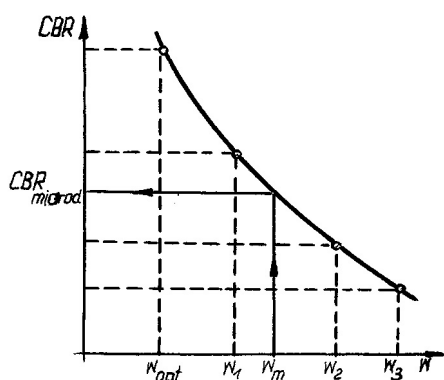
Dla każdej z pobranych próbek gruntu określa się wilgotność w procentach. Wilgotność gruntu określa się na dwóch próbkach pobranych z miejsc położonych nieco poniżej powierzchni i po obu bokach wgłębienia pozostającego po wciśnięciu trzpienia służy do określenia miarodajnego wskaźnika CBR, przyjmując jako wilgotność miarodajną średnią arytmetyczną otrzymaną z czterech określonych wilgotności. Wilgotność z próbek pobranych ze środkowej części cylindra służy do określania ciężaru objętościowego suchej masy gruntowej w cylindrze.

Jeżeli maksymalne wartości wilgotności nasyconych próbek okażą się niższe od wilgotności miarodajnej, to badania należy powtórzyć uwzględniając dłuższy cykl nasycania próbek wodą lub stosować cykle zamrażania – odmrażania górnej warstwy powierzchni próbki.

3.1.9.4. Ustalenie miarodajnej wartości CBR

Po określeniu wskaźnika nośności gruntu CBR przy stałym zagęszczeniu próbek gruntu, lecz przy różnych wilgotnościach, sporządzić należy wykres zależności CBR od wilgotności gruntu: W_{opt} , W_1 , W_2 , W_3 , określone jako średnie arytmetyczne z czterech próbek gruntu pobranych po badaniu. Na rys 3.7 przykładowo podano wykresy zależności CBR od wilgotności gruntu.

Następnie znając wilgotność miarodajną gruntu W_m , wyznaczyć można miarodajną wartość CBR (rysunek nr 3.8).



Rys. 3.7 Przykładowy wykres zależności wartości wskaźnika nośności CBR od wilgotności gruntu

3.2. Metoda statyczna określania kalifornijskiego wskaźnika CBR przy zastosowaniu aparatury VSS

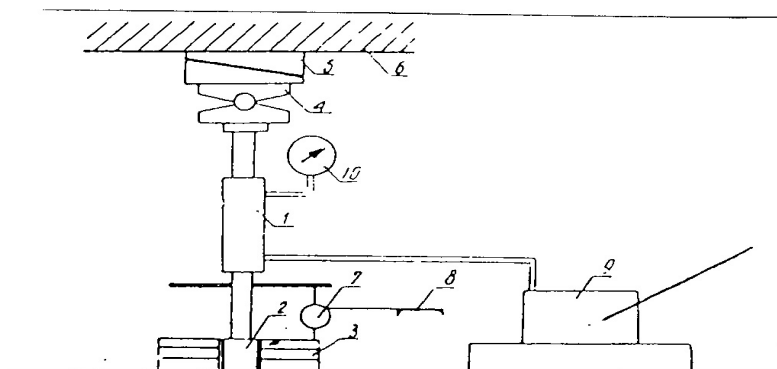
Przeprowadzenie badania CBR w laboratorium wymaga oprócz dostarczenia do niego pobranych z placu budowy próbek długiego czasu na jego realizację. Dlatego opracowywano metody badawcze umożliwiające przeprowadzenie tego badania bezpośrednio w terenie. W przypadku tej metody badawczej zaadaptowano elementy zestawu aparatury VSS do oznaczania modułów nośności podłoża gruntowego.

3.2.1 Aparatura i metoda wykonania badania

Zestaw aparatury do oznaczania kalifornijskiego wskaźnika CBR bezpośrednio w terenie stanowi połączenie elementów dwóch urządzeń pomiarowych. Pierwszym z nich jest zestaw obciążający wykorzystywany w aparaturze VSS [2], [6] a drugi - pomiarowo penetrujący stosowany w prasie CBR.

W skład zestawu pomiarowego wchodzi następujące elementy (rys 3.8):

1. siłownik hydrauliczny,
2. stempel penetrujący,
3. płyty obciążające,
4. przegubowe złącze łączące,
5. klinowe płyty dystansowe,
6. przeciwwaga,
7. czujnik przemieszczeń,
8. podstawa odniesienia przemieszczenia,
9. pompa hydrauliczna.



Rys 3.8 Zestaw pomiarowy do określania wskaźnika nośności CBR w terenie

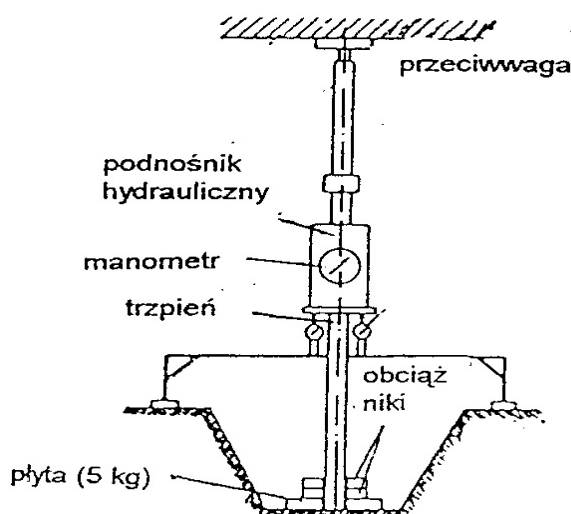
Badanie wskaźnika nośności CBR tą metodą przebiega w następujący sposób [13]:

- badaną powierzchnię podłoża należy wyrównać w celu zapewnienia równomiernego przylegania pierścieni obciążających,
- na przygotowanej powierzchni układamy pierścień obciążający, które imitują obciążenie górnych warstw konstrukcji,
- w otwór pierścieni wstawiamy stempel penetrujący,
- pomiędzy stemplem penetrującym a przegubowym złączem łączącym umieszczamy siłownik hydrauliczny,
- pomiędzy dotychczas zmontowanym zestawem a przeciwwagą umieszczamy klinowe płyty dystansowe,
- siłownik hydrauliczny łączymy z pompą,
- montujemy czujnik przemieszczenia a jego końcówkę opieramy na pierścieniach obciążających podłoże,

- po wyzerowaniu czujnika zwiększamy ciśnienie w siłowniku wywierając nacisk na trzpień penetracyjny i odczytujemy wskazania czujnika.

Penetracja gruntu trzpieniem o takiej samej średnicy jak w prasie CBR w badaniu laboratoryjnym i rejestracja wyników pomiaru zgodna z tą metodą pozwala na określenie wartości CBR w oparciu o zależności 3.5 i 3.6.

Zaletą tego badania jest możliwość określenia wartości CBR bezpośrednio w terenie na różnych głębokościach poprzez zastosowanie wykopów badawczych (rys 3.9).



Rys 3.9 Badanie CBR w wykopie badawczym

Wadą, natomiast jest ograniczenie stosowania w małych przestrzeniach i stosowanie przeciwwagi.

Dotychczas metoda ta nie znalazła szerokiego zastosowania w prowadzonych badaniach geotechnicznych.

3.3. Metoda określania kalifornijskiego wskaźnika CBR testerem Clegga

Określanie kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR poprzez zastosowanie testera Clegga jest jedną ze znanych metod dynamicznych. Metoda ta stosowana jest w Anglii. Stosowanie tej metody w Polsce nie jest rozpowszechnione, ponieważ brak zależności korelacyjnych pomiędzy wynikami uzyskiwanymi tą metodą i tradycyjną metodą laboratoryjną. Nie istnieją również udokumentowane zależności z zagęszczeniem gruntu. Metoda badawcza jest ergonomiczną i celowym jest jej rozpowszechnienie po opracowaniu stosownych zależności korelacyjnych. Analiza dotycząca tej metody nie jest objęta zakresem niniejszego opracowania.

3.3.1 Budowa i elementy testera Clegg'a

Tester Clegg'a jest prostym w swojej budowie przyrządem składającym się z następujących elementów [9], [10]:

- obudowa prowadząca z uchwytem do noszenia i sworzniem zabezpieczającym,
- młot zagęszczający o wadze 4,5 kg, z czujnikiem pomiarowym i kablem łączącym,
- jednostka odbiorcza z ciekłokrystalicznym wyświetlaczem cyfrowym.

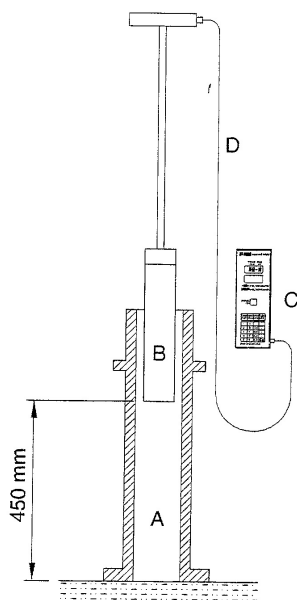
Elementy składowe testera Clegg'a przedstawione są na rys 3.10.

Zadaniem obudowy prowadzącej jest zapewnienie kontrolowanej powierzchni, na którą zostanie opuszczony młot zagęszczający w celu jej zbadania.

Młot zagęszczający składa się z dwóch części – 4,5 kg odważnika zintegrowanego z czujnikiem uderzenia oraz z uchwyty do podnoszenia i opuszczania z kablem łączącym. Młot zagęszczający skalibrowany jest przy użyciu gumowego pierścienia testowego dla skrajnych wartości pomiarowych przyrządu.

Jednostka odbiorcza jest połączona z młotem zagęszczającym za pomocą kabla sygnałowego, a w jej skład wchodzi membranowy panel z włącznikiem testowym i wyświetlaczem wartości uzyskanych odczytów oraz numeru uderzenia.

Sygnały generowane przez czujnik uderzeń odbierane są przez jednostkę odbiorczą i automatycznie przetwarzane w celu otrzymania wyniku badania poprzez porównanie wartości uderzeniowych. Połączone elementy testera Clegg'a obrazuje rys 3.11.



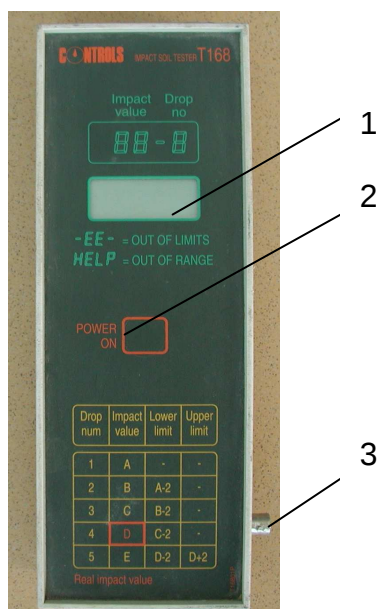
Rys 3.10 Tester Clegg'a – elementy składowe

A - obudowa prowadząca , B - młot zagęszczający, C - jednostka odbiorcza, D – kabel przekazujący sygnał



Rys 3.11 Połączone elementy testera Clegg'a gotowego do pracy

Jednostka odbiorcza to przenośna obudowa, w skład której wchodzi zasilacz, obwód kontrolny oraz membranowy panel kontrolny. Na panelu zamieszczono w postaci graficznej wymagania dotyczące metodyki prowadzenia badania oraz jego funkcje. Wartości uderzeniowe niespełniające kryteriów badania są monitorowane przez obwód kontrolny i wyświetlane są na wyświetlaczu LCD.



Rys. 3.12 Panel kontrolny testera Clegg'a

1 – wyświetlacz LCD, 2 - przycisk włączania, 3 - złącze kabla sygnałowego (BNC)

Poszczególne elementy testera Clegg'a charakteryzują się następującymi parametrami:

- zakres wartości uderzeniowych: 0 - 50
- punkt wejściowy pomiaru: czujnik uderzeniowy (w młocie uderzeniowym)
- punkt wyjściowy pomiaru: odbiornik z obwodem procesowym oraz trzycyfrowym wyświetlaczem LCD
- zasilanie odbiornika: dwie baterie alkaliczne 9VPP3
- obudowa prowadząca z młotem uderzeniowym: średnica 150 mm, wysokość 730 mm
- jednostka odbiorcza: 90 mm x 250 mm
- waga (kg): 6,5 (łącznie z odbiornikiem).

3.3.2 Okresowa kontrola urządzenia przed użyciem

Przyrząd powinien być regularnie kontrolowany w celu ustalenia prawidłowości odbierania i przetwarzania pomiarów.

Liczba badań kontrolnych zależy jest od częstości jego użytkowania. Kontrola ta prowadzona powinna być nie rzadziej niż raz w miesiącu. Kontrola wskazań prowadzona jest przy użyciu wyskalowanego pierścienia kontrolnego stanowiącego integralną część urządzenia. Kontrola wskazań prowadzona jest na sztywnym podłożu poprzez obciążanie młotem umieszczonego w obudowie prowadzącej pierścienia kontrolnego.

Test kontrolny przebiega następująco:

- pierścień kontrolny należy ułożyć na twardej równej powierzchni i wokół pierścienia umieścić obudowę prowadzącą,
- po zdjęciu jednostki odbiorczej z obudowy należy wyciągnąć sworzeń zabezpieczający młot uderzeniowy,
- jedną stopą należy przytrzymać obudowę prowadzącą przy podstawie i podnieść młot w obudowie do momentu, gdy pierścień zaznaczony na młocie zrówna się z wierzchem obudowy prowadzącej (pozycja ta pozwala na opuszczenie młota z wysokości około 450mm),
- trzymając odbiornik, naciskamy przycisk włączenia na panelu i czekamy, aż na wyświetlaczu pokaże się wskazanie 00-0, następnie trzymając odbiornik upewniamy się czy kabel łączący jest prawidłowo podłączony i czy w jego otoczeniu nie znajdują się żadne przeszkody,
- trzymając wciśnięty przycisk włączenia zwalniamy młot i odczytujemy wartość wskazaną na wyświetlaczu jednostki odbiorczej,
- powyższe czynności powtarzamy w czterech grupach, aż do uzyskania 20 odczytów.

Spośród dwudziestu otrzymanych odczytów należy pominąć najmniejszą i największą wartość. W przypadku, gdy odczytywane podczas pomiaru wartości wskazań są zgodne ze sobą, lecz różne od wartości wskazanych na pierścieniu wyniki te należy potwierdzić porównując z otrzymanymi podczas badania tej samej powierzchni innym urządzeniem.

W przypadku uzyskania potwierdzenia wyników uzyskaną wartość wskazań należy traktować jako prawidłową i należy nanieść ją na pierścieniu testowym traktując jako nową wartość wyjściową. Poprzednia wartość wskazań urządzenia powinna być przekreślona, lecz cały czas czytelna.

Jeżeli testy potwierdzające prawidłowość wskazań urządzenia prowadzone są w terenie, to punkty testowe powinny być oddalone, co najmniej 500 mm do jakichkolwiek załamań lub złączy np. krawężników i możliwie w centralnej części obiektu np. drogi.

3.3.3 Metodyka wykonania badania

Wartość uderzeniowa dla danej badanej powierzchni determinowana jest przez zarejestrowanie pięciu kolejnych wartości (A-B-C-D-E) uzyskiwanych podczas wykonanego uderzenia na grunt przez młot z jednocześnie wciśniętym przyciskiem włączenia. Przycisk włączeniowy przez cały okres badania pozostaje włączony, zwolnienie przycisku w trakcie badania powoduje przerwanie rejestracji wyników i konieczność powtórzenia badania.

Wyświetlacz jednostki odbiorczej wskazuje trzy cyfry. Dwie przedstawiają zarejestrowaną wartość uderzeniową, trzecia odpowiadający jej numer uderzenia.

Podczas badania początkowe obciążenia podłoża młotem powodują zagęszczanie warstwy powierzchniowej, osiągane są niskie wartości uderzeniowe. Kolejne uderzenia powodują zwiększenie zagęszczenia badanego podłoża z jednoczesnym wzrostem wartości uderzeniowych.

Jako miarodajną wartość uderzeniową przyjmuje się czwartą z uzyskanych wartości oznaczoną symbolem „D”.

Podczas realizacji badania CBR testerem Clegga zachowana powinna być następująca kolejność wykonywanych czynności:

- przygotowanie punktu badawczego (usunięcie luźnych ziarn gruntu, wyrównanie powierzchni podłoża),
- połączenie młota uderowego z panelem rejestrującym kablem łączącym,
- ustawienie obudowy prowadzącej urządzenia na badanej powierzchni z zachowaniem pozycji pionowej obudowy,
- zdjęcie jednostki odbiorczej z obudowy prowadzącej i wyjęcie sworznia zabezpieczającego młot uderzeniowy,
- stopą przytrzymać podstawę obudowy prowadzącej i podniesienie młota do zrównania z wierzchem obudowy prowadzącej (pozycja ta umożliwia opuszczenie młota ze stałej wysokości 450 mm),
- przycisnąć przycisk włączeniowy na panelu rejestratora do momentu ukazania się na wyświetlaczu cyfrowym wskazania 00-0 (należy nadal trzymać przycisk włączeniowy),
- trzymając wciśnięty przycisk włączeniowy zwolnić młot i odczytać wartość wskazaną na wyświetlaczu jednostki odbiorczej,
- powtarzamy powyższe czynności w celu uzyskania pięciu wartości dla poszczególnych części pomiaru (A-B-C-D-E),
- po uzyskaniu na wyświetlaczu ostatecznego wyniku pomiaru (RIV tzn. rzeczywista wartość uderzenia) zwalniamy przycisk włączeniowy,
- po zakończeniu pomiaru umieszczamy młot w obudowie prowadzącej i zabezpieczamy zatyczką oraz umieszczamy na zamkach obudowy panel sterujący.

3.3.4 Wyniki badania

Monitorujący procesor obwodowy porównuje każdą z pięciu wartości uderzeniowych w stosunku do wymagań testu. Na koniec każdego badania wyświetlane są jego wyniki. Przykładowe zestawienie wyników jednego badania przedstawiono poniżej [10].

Numer uderzenia	Wartość uderzenia
1	8(A)
2	9(B)
3	10(C)
4	11(D) rzeczywista wartość uderzeniowa
5	11(E)

Wartości uderzeniowe dla 2,3,4 oraz 5 uderzenia nigdy nie powinny być większe o 2 niż poprzednie. Końcowe uderzenie (nr 5) nie powinno być większe o ponad 2 niż nr 4 (w przedstawionym przykładzie nie więcej niż 13). Nie spełnienie tego warunku podczas badania spowoduje po jego zakończeniu wyświetlenie informacji „EE”.

Wystąpienie znacząco wysokiej wartości uderzeniowej, ze względu na obecność w badanej powierzchni kamienia (skały) lub na skutek opuszczenia młota na twardą powierzchnię, spowoduje wyświetlenie symbolu „HELP”. W takiej sytuacji należy obrać inny obszar do badania powierzchni oraz odpowiednio przygotować daną powierzchnię tak, by unikać zniszczenia czujnika znajdującego się w młocie.

Jeżeli na jakimkolwiek etapie badania, uzyskiwane wartości nie spełniają wymagań testu, badanie powinno zostać odroczone i zaleca się wybranie innego obszaru w odległości co najmniej 30cm od obszaru pierwotnego.

3.3.5 Częstość badań i kryteria odbioru wykonywanych prac

Badanie testerem Clegg’a wskaźnika nośności CBR umożliwia ocenę jakości wykonanych prac ziemnych w wąskich przestrzeniach, np. liniowych zasypkach wykopów kanalizacyjnych i wąskich wykopów punktowych.

W celu określenia wartości miarodajnej wskaźnika nośności CBR zalecane jest wykonanie serii badań, którą można odnieść do całej badanej powierzchni.

Na powierzchni jednego metra kwadratowego należy wykonać, co najmniej trzy odczyty w części centralnej i po jednym w dwóch narożnikach. W przypadku, gdy wyniki z odczytów są znacznie zróżnicowane należy wykonać pomiary w pozostałych narożnikach.

Badania na obiektach liniowych wykonywane powinny być w odstępach co 1 m w przypadku odcinków krótkich, co 5 m w przypadku odcinków długich.

W zależności od poziomu wykonywania badań w wykonywanych zasypkach gruntowych wskazanym jest osiąganie wartości uderzeniowych podanych w tabeli 3.3.

W tabeli podano wartości oczekiwane i stanowiące najniższą wartość możliwą do zaakceptowania dla czwartego uderzenia.

Wartości uderzeniowe przedstawione jako minimalne i maksymalne stanowią dopuszczalny zakres pomiarów wskazujący na prawidłowość wykonania zasypki gruntowej. Celowym jest osiągnięcie uzyskiwanych wskazań odczytów w zakresie przedziału typowego potwierdzającego prawidłowe wbudowanie gruntu w wykopie

Tabela 3.3

**Zakładane wartości uderzeniowe pomiaru testerem Clegga
na różnych poziomach wykonywanych zasypek gruntowych [10]**

Poziom wykonania badania w konstrukcji	Rzeczywista wartość uderzeniowa		
	Wartość minimalna	Przedział typowy	Wartość maksymalna
dno wykopu	7	7-8	30
cała miąższość zasypki	10	10-17	30
powierzchnia zasypki	18	17*-27**	30
warstwa dolna konstrukcji	22	24-27	30
warstwa górna konstrukcji	30	32-34	38

*- minimum dla materiałów wbudowywanych ponownie

** - minimum dla materiałów nawiezionych

3.3.6 Wyniki badań – kalifornijskiego wskaźnika CBR

Uzyskiwane podczas badania wartości uderzeniowe stanowią podstawę do określenia wartości kalifornijskiego wskaźnika nośności gruntu CBR. Podstawą do określenia tej wartości jest liczba uzyskana podczas czwartego odczytu na rejestratorze.

Rzeczywista wartość uderzeniowa (R_{IV}) może być przekształcona na odpowiednik procentowy CBR wyrażony w % przy pomocy następującego równania:

$$CBR = 0,07(R_{IV})^2 \quad (3.7)$$

gdzie:

R_{IV} – liczba wskazana na rejestratorze podczas czwartego uderzenia o badane podłoże.

3.4. Metoda określania kalifornijskiego wskaźnika CBR przy zastosowaniu zestawu płyty dynamicznej

Dynamiczny CBR z zastosowaniem lekkiego urządzenia z obciążnikiem opadowym jest urządzeniem kontrolnym, skonstruowanym w celu ustalenia dynamicznej wartości wskaźnika nośności gruntów lub niezwiązanych materiałów nasypowych.

Badanie to prowadzone jest za pomocą stalowego stempla obciążającego, przekazującego uderzeniowe obciążenie na grunt. Urządzenie obciążnikowe składa się z obciążnika opadowego, prowadzonego po wyczepieniu wzdłuż pręta i osiadającego na elemencie sprężynującym - amortyzującym (ze stali lub tworzywa sztucznego). Urządzenie obciążnikowe osadzone jest na kuli centrującej po środku górnej części stempla obciążającego tak, aby

na stempel obciążeniowy mogły być przekazywane tylko pionowe siły nacisku. W dolnej i centralnej części stempla wbudowany jest czujnik, do którego podłączony jest miernik elektroniczny mierzący ruchy stempla w trakcie przeprowadzania badania.

Po wykonanym badaniu obliczane jest przemieszczenie stempla na podstawie, którego bezpośrednio określana jest wartość dynamicznej wartości CBR_d . Budowa i zasada działania urządzenia, oparte są na uzyskanych doświadczeniach Weingarta i opublikowanych już w 1977 r. w jego pracach. [15], [16], [17].

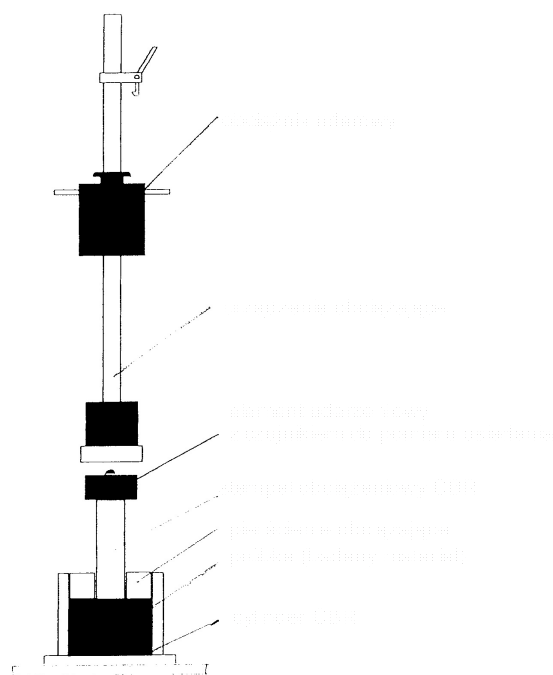
3.4.1 Elementy dynamicznego urządzenia CBR

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 w czasie oddziaływania poprzez uderzenie 18 ms [11], [12].

Stempel obciążeniowy o średnicy u podstawy 50 mm wyposażony jest w dwa uchwyty oraz czujnik obciążenia z kulą osiującą. Czujnik obciążenia znajduje się w specjalnej obudowie wraz z sensorem do pomiaru przemieszczenia (rys. 3.12)

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

- 1) tryb pomiaru poprzez wykonanie jednego uderzenia obciążającego badanego podłoża z natychmiastowym wskazaniem dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d ,
- 2) tryb kalibrowania przyrządu pomiarowego, przeprowadzanie dowolnej ilości pomiarów bez tworzenia średniej wartości, kontrola funkcji przyrządu pomiarowego.



Rys. 3.13 Elementy dynamicznego urządzenia CBR z obciążnikiem opadowym



Rys. 3.14 Dynamiczne urządzenie CBR z rejestratorem

Na rys.3.15 przedstawiono zestaw kompletny dynamicznego urządzenia CBR. Zestaw ten zbudowany jest w oparciu urządzenie ZFG-2000 z elektronicznym rejestratorem wyników stanowiącym płytę dynamiczną typu lekkiego. W zestawie tym istnieje możliwość rejestracji wyników na karcie magnetycznej oraz przeprowadzania kalibracji wewnętrznej przy bezpośredniej współpracy ze specjalistycznym oprogramowaniem komputerowym.

Ze względu na utworzenie jednolitych warunków brzegowych dla przeprowadzenia badań dynamicznymi urządzeniami tego typu, przez różnych producentów określono stałe i miarodajne dla nich parametry. Poszczególne elementy dynamicznego urządzenia CBR charakteryzują się parametrami podanymi poniżej [14], [16]:

Stempel obciążeniowy:

- średnica 50 mm
- waga 9,046 kg (łącznie z uchwytami)

Miernik osiadania:

- zakres frekwencji 8-10 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. ± 2 % mm)

Urządzenie obciążające:

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

3.4.2 Zakres stosowania i pojęcia podstawowe

Dynamiczne badanie CBR służy do określenia dynamicznego wskaźnika nośności gruntów rodzimych i nasypowych oraz wbudowywanych materiałów alternatywnych. Dotychczas przeprowadzone badania w zakresie stosowania tej metody badawczej ograniczały się jedynie do możliwości jej zastosowania do badań gruntów niespoistych. W zależności od zapotrzebowania przeprowadzane są badania dla konkretnych materiałów alternatywnych. W oparciu o wyniki badań opracowywane są dla tego rodzaju materiału stosowne instrukcje wykonywania badania dynamicznego wskaźnika CBR.

Dynamiczna wartość CBR jest parametrem zależnym od wielu czynników jak przykładowo: wytrzymałości i kształtu ziarn, mrozoodporności i szorstkości pojedynczych ziaren, składu ziarnowego, zawartości cząsteczek drobnych, wilgotności, wskaźnika zagęszczenia oraz odporności na działanie wody cząsteczek drobnych zawartych w wbudowywanym materiale. Służy ona przykładowo do oceny mrozoodporności żuźla, a także przejezdności, zagęszczenia oraz nośności wbudowanego żuźla [5], [11].

Dynamiczne badanie CBR można stosować jako alternatywę wobec statycznego badania CBR wykonywanego zgodnie z PN-S-02205:1998 zał. A „Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania” [15]. Jest ono wykorzystywane ze względu na krótki czas wykonywania przede wszystkim jako szybka metoda kontrolna w ramach własnej kontroli wewnętrznej wykonywanych prac gruntowych. Zaletą w stosunku do badania CBR według PN-S-02205:1998 zał. A [15] jest uzyskanie bezpośrednio po badaniu wyniku pomiaru oraz stosowanie prostego w użyciu zestawu pomiarowego bezpośrednio w terenie. W porównaniu z badaniem terenowym z zastosowaniem aparatury VSS zaletą jest brak ramy lub urządzenia obciążającego.

W oparciu o analizę skromnej jak dotychczas literatury na temat zakresu stosowania tej metody badawczej wnioskować można, iż przeznaczona ona może być do badania gruntów, których:

- największe ziarno ma wielkość 22 mm,
- udział nadziarna wynosi nie więcej niż 50 %,
- wartość dynamicznego wskaźnika nośności mieści się w zakresie
od 20 % $\leq$ CBR_d $\leq$ 150 %.

Dynamiczne badanie CBR polega na penetracji stemplem podłoża gruntowego. Podczas tego badania dokonuje się pomiaru amplitudy osiadania wywołanej obciążeniem uderzeniowym stempla obciążnikowego CBR_d . W oparciu o amplitudę osiadania obliczana jest dynamiczna wartość CBR badanego materiału. Jako obciążenie uderzeniowe stempla CBR_d stosuje się urządzenie obciążające lekkiego urządzenia z obciążnikiem opadowym stosowane w płycie dynamicznej [12].

Przybliżoną wartość dynamiczną wskaźnika nośności CBR_d w zależności od obciążenia uderzeniowego p [N/mm^2] oraz zmierzonej amplitudy osiadania stempla obciążnikowego s [mm] przedstawia poniższa zależność [11]:

$$CBR_d = \frac{24,26 * p}{s^{0,59}} \quad (3.8)$$

gdzie:

- p – wartość obciążenia uderzeniowego w N/mm^2 ,
- s – amplituda osiadania w mm.

W zależności od różnorodnej obróbki wstępnej próbek definiuje się 3 rodzaje dynamicznych wartości CBR_d :

- CBR_{do} - wartość tę ustala się bezpośrednio po zagęszczeniu próbki,
- CBR_{dw} - wartość tę ustala się po przechowaniu próbki w wodzie,
- CBR_{dft} - wartość tę ustala się badając próbki, które po przechowaniu w wodzie poddane zostały procesowi zamrażania i rozmrażania.

3.4.3 Aparatura badawcza

W zależności od możliwości wykonania badania dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d stosowane są różne konfiguracje aparatury badawczej. Badania z zastosowaniem stempla CBR_d przeprowadzone mogą być w:

- w laboratorium, w cylindrze CBR po uprzednim zagęszczeniu gruntu zgodnie z normalną próbą Proctora,
- w terenie bezpośrednio na rodzimym lub wbudowanym gruncie.

Przeprowadzenie badania pierwszą metodą wymaga następującej aparatury badawczej:

- cylinder CBR ($\varnothing$ 150mm),
- pierścień nasadowy,
- płyta naciskowa o grubości 10 mm (2,5 kg - krążki obciążnikowi)
- zagęszczarka Proctora,

- urządzenie obciążnikowe składające się z 10 kg obciążnika opadowego (wolnospadu), pręta prowadzącego oraz elementu sprężynującego wytwarzającego maksymalną siłę uderzeniową $7070 \text{ N} \pm 70 \text{ N}$ [11],
- stempel naciskowy CBR ($\varnothing 50\text{mm}$),
- rejestrator do pomiaru całkowitego osiadania,
- sztywna podkładka do zagęszczenia badanego materiału w cylindrze CBR.

Na rys. 3.15 przedstawiono aparaturę potrzebną do przeprowadzenia badania dynamicznego badania CBR_d w warunkach laboratoryjnych.



Rys. 3.15 Zestaw aparatury do badania dynamicznego wskaźnika CBR_d metodą laboratoryjną (od lewej ubijak Proctora, od prawej zestaw do badania CBR_d)

Do przeprowadzenia badania w terenie metodą drugą konieczny jest następujący zestaw aparatury badawczej (rys. 3.16):

- urządzenie obciążnikowe składające się z 10 kg obciążnika opadowego (wolnospadu), pręta prowadzącego oraz elementu sprężynującego wytwarzającego maksymalną siłę uderzeniową $7070 \text{ N} \pm 70 \text{ N}$,
- stempel naciskowy CBR ($\varnothing 50\text{mm}$),
- rejestrator do pomiaru całkowitego osiadania,
- pierścień stabilizacyjny.



Rys. 3.16 Zestaw do badania CBR_d w warunkach terenowych

3.4.4 Metodyka przeprowadzenia badania w warunkach laboratoryjnych

W warunkach laboratoryjnych badanie dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d przebiega dwuetapowo. W etapie pierwszym przygotowuje się próbkę do badania, a w drugim wykonuje samo badanie.

Przygotowanie próbki do badania wykonywane jest zgodnie z PN-S-02205:1998 i PN-B-04481 przy uprzednio określonej wilgotności i zagęszczane warstwowo metodą II w cylindrze poprzez przekazanie na warstwę stałej ustalonej energii. Tak przygotowaną próbkę (rys. 3.17) przeznacza się do badania dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d .



Rys. 3.17 Próbką do badań przygotowana w ubijaku Proctora

Przebieg badania w tym przypadku jest następujący:

- cylinder z zagęszczonym gruntem ustawiamy na płaskiej i równej powierzchni,

- na gruncie w cylindrze centralnie układamy dwie płyty naciskowe,
- na górną krawędź cylindra nakładamy pierścień nasadczy (rys. 3.18).



Rys. 3.18 Próbkę z pierścieniami obciążającymi i pierścieniem nasadczym

- w otwór pierścienia nasadczego wkładamy stempel naciskowy,
- na kulę centrującą nakładamy urządzenie obciążające,



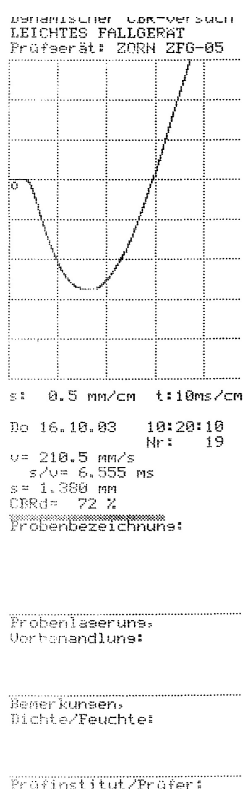
Rys. 3.19 Zestaw CBR_d gotowy do wykonania badania

- rejestrator łączymy kablem ze stemplem naciskowym i nastawiamy rejestrator na tryb pracy CBR (rys. 3.19),
- odbezpieczamy obciążnik i podnosimy w górę do zablokowania w zaczepie,
- na rejestratorze ustawiamy funkcję badania CBR_d,
- ustawiamy pionowo urządzenie obciążające,
- zwalnimy zaczep obciążnika a po jego opadnięciu przechwytujemy jedną ręką obciążnik celem wykluczenia ponownego uderzenia (rys. 3.21),



Rys. 3.21 Pomiar CBR_d w cylindrze

- spisujemy przedstawiony na rejestratorze wynik badania (wartość CBR_d), zapisujemy wynik badania bezpośrednio na karcie magnetycznej lub drukujemy na drukarce zainstalowanej w urządzeniu rejestrującym (rys. 3.22).



Rys. 3.22 wydruk wyniku badania CBR_d

3.4.5 Metodyka przeprowadzenia badania w warunkach terenowych

Zestawem do badania dynamicznego CBR_d można oznaczenie przeprowadzić bezpośrednio w terenie. W tym przypadku metodyka przeprowadzenia badania jest następująca:

- wyrównanie powierzchni badanego podłoża,
- ułożenie na badanej powierzchni pierścienia stabilizującego,
- założenie na pierścień stabilizacyjny pierścienia nasadczego,
- wprowadzenie w pierścień nasadczy stempla obciążającego,
- ustawienie na kuli centrującej stempla obciążającego urządzenia obciążającego,
- odbezpieczenie obciążnika i podniesienie w górę do zablokowania w zaczepie,
- na rejestratorze ustawienie funkcji badania CBR_d,
- ustawienie pionowo urządzenia obciążającego,
- zwolnienie zaczepu obciążnika i po jego opadnięciu przechwycenie jedną ręką obciążnika celem wykluczenia ponownego uderzenia,
- zarejestrowanie przedstawionego na rejestratorze wyniku badania (wartość CBR_d) w raporcie z badań lub na karcie magnetycznej.

Z reguły przeprowadza się pomiar podwójny. Gdy obie poszczególne wartości z podwójnego pomiaru różnią się od siebie o więcej niż 15 % w odniesieniu do średniej arytmetycznej, lub gdy wystąpią inne nadzwyczajne wyniki pomiarów, należy powtórzyć badanie CBR z nową próbką.

3.4.6 Wyniki badań i ich raportowanie

Uzyskany wynik badania CBR_d zawsze musi być identyfikowalny zarówno z obiektem badań jak i aparaturą, którą zostało ono przeprowadzone. Dlatego też protokół z badań oprócz samego wyniku powinien również zawierać szereg informacji dodatkowych.

W protokole z badań powinny być zawarte następujące informacje:

- nr badania / data badania / personel wykonujący badanie,
- rodzaj urządzenia obciążnikowego i opadowego,
- uwagi o odstępstwach od ustalonych procedur oraz o zjawiskach nadzwyczajnych,
- dane o rodzaju materiału, na którym wykonano badania,
- metoda przygotowania próbki,
- metoda zagęszczania próbki,
- przechowywanie próbki do momentu przeprowadzenia badania CBR, np. badanie bezpośrednio po zagęszczeniu próbki, badanie po przechowywaniu próbek w wodzie, badanie po zamrażaniu i rozmrażaniu próbek,
- gęstość i wilgotność badanego materiału,
- amplituda osiadania stempla, w mm,
- wartość dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d , w %,
- średnia arytmetyczna z podwójnych pomiarów.

Po uwzględnieniu maksymalnej siły uderzeniowej 7070 N i średnicy stempla naciskowego równej 50 mm (o powierzchni 1963 mm²) dynamiczną wartość CBR_d w % w zależności od amplitudy osiadania s obliczyć można z zależności:

$$CBR_d = \frac{87,3}{s^{0,59}} \quad (3.9)$$

gdzie:

s – amplituda osiadania, w mm

3.4.7 Nadzorowanie pracy urządzenia

Zestaw do pomiaru dynamicznego wskaźnika CBR_d powinien podlegać monitorowaniu i być nadzorowany przez okres jego eksploatacji. Monitorowanie i nadzór realizowany jest poprzez wykonywanie planowych i pozaplanowych kalibracji. Kalibracji podlegają zarówno urządzenie obciążnikowe jak i urządzenie do pomiaru osiadania (rejestrator).

Urządzenia obciążnikowe i urządzenia do pomiaru osiadania muszą być poddawane kalibracji po wyprodukowaniu, a następnie raz do roku w utworzonych dla tego celu i autoryzowanych punktach legalizacyjnych.

Kalibrację urządzenia obciążnikowego należy przeprowadzić zgodnie z TP BF - StB Część B 8.3 [19], aby zagwarantować wymaganą maksymalną siłę uderzeniową.

Kalibracja urządzenia do pomiaru osiadania przeprowadzana jest również zgodnie z TP BF - StB Część B 8.3 [19], jednak dodatkowo dla następujących zakresów amplitud osiadania :

4,0 mm $\pm$ 1,0 mm

8,0 mm $\pm$ 2,0 mm

Urządzenie, które nie posiada ważnego świadectwa kalibracji nie może przeznaczone być do wykonywania badań.

4. Badania pilotażowe kalifornijskiego wskaźnika nośności metodą tradycyjną i dynamiczną

Nowa metoda badania kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR_d wymagała przed przystąpieniem do opracowania i realizacji całościowego programu badań wstępnej kwalifikacji. Założeniem wstępnej kwalifikacji metody było spełnienie między innymi następujących oczekiwań:

- prawidłowego i niezawodnego działania elementów zestawu badawczego,
- ergonomicznego stosowania zestawu,
- trwałości i niezawodności pracy w trudnych warunkach terenowych,
- kompatybilności elementów zestawu dynamicznego z elementami stosowanego sprzętu laboratoryjnego,
- stabilności wskazań sprzętu pracującego w tych samych warunkach,
- możliwości realizacji i częstotliwości nadzoru metrologicznego,
- zbieżności wyników uzyskiwanych metodą dynamiczną i tradycyjną metodą laboratoryjną.

Działania mające na celu określenie powyższych oczekiwań realizowane były w oparciu o doświadczenia własne oraz doświadczenia twórców metody z zespołu W. Weingarta.

Celowość realizacji niniejszego zadania podjęta została w oparciu o uzyskane w przeciągu kilku lat pozytywne wyniki naszych i dotychczasowych użytkowników sprzętu. Wyniki badań pilotażowych z obydwu metod wskazywały na ich zbieżność. Czy istnieje taka zbieżność dla każdego z rodzajów gruntów oraz ewentualny zakres tej zbieżności stwierdzony może być po zrealizowaniu prowadzonego tematu.

5. Wstępna kwalifikacja rodzajów gruntów do badań

Podstawowym celem szybkiej diagnostyki parametrów geotechnicznych w budownictwie drogowym jest ich bezpośrednie określanie w terenie możliwie dla wszystkich rodzajów stosowanych gruntów. Dotychczas stosowane metody badawcze skierowane są na określanie parametrów geotechnicznych szczególnie gruntów sypkich. Zagadnienie określenia parametrów gruntów spoistych jest częstokroć unikane najprawdopodobniej ze względu na złożoność zagadnienia.

Obecnie stosowana metoda dynamiczna do określania modułów dynamicznych nośności gruntów E_{vd} za pomocą płyty dynamicznej skierowana jest dla gruntów sypkich, celem jest więc poszukiwanie metod badawczych pozwalających w perspektywie skorelować wybrane parametry geotechniczne gruntów spoistych w oparciu o jeden parametr wiodący, którym w tym przypadku może być CBR_d .

Podstawą analizy zmierzającej do wyodrębnienia grup gruntów do badań, mających na celu określenie wstępnych zależności pomiędzy metodami laboratoryjną i dynamiczną oznaczenia wskaźnika nośności gruntu i stanu jego zagęszczenia jest ich przydatność dla budownictwa drogowego. Grunty sypkie są coraz częściej gruntami deficytowymi

w budownictwie drogowym. Wykorzystanie gruntów rodzimych w partiach robót umożliwiających ich wbudowanie wymaga stosowania metod szybkich kontroli ze względu na ich specyficzną reakcję, przykładowo na zmianę warunków atmosferycznych. Znajomość zasad pracy ośrodka gruntowego z gruntów spoistych, nadzorowane i monitorowane wbudowywanie w odpowiednie warstwy konstrukcji może uczynić je gruntami przydatnymi. Koniecznym jednak jest zachowanie w takich przypadkach zasad szybkiej diagnostyki wykonywanych prac ziemnych. Metoda określania bezpośrednio w terenie CBR_d zapewnić może prostą i skuteczną metodę weryfikacji wykonywanych prac. Dlatego też, w tym przypadku przyjęto do analizy, przy uwzględnieniu przydatności gruntów do budowy dróg i lotnisk według A. Casagrande'a, grunty spoiste.

Niektóre dane do analizy służącej zakwalifikowaniu gruntów do badań zamieszczone są w tabelach 5.1 do 5.4.

Tabela 5.1

Wartości CBR gruntów podłoża drogowego wg [11]

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

Tabela 5.2

Wartości CBR górnej warstwy podłoża wg [11]

Rodzaj gruntu podłoża	Charakterystyka gruntu górnej (około 50 cm) warstwy podłoża			CBR	M_E *) [MPa]
	Wskaźnik piaskowy	Wskaźnik plastyczności $I_p = W_L - W_P$	Stopień plastyczności I_L		
	SE				
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	≥ 6	≥ 12
	< 30	< 5	≥ 0	< 6	< 12
Mineralne pyły, gliny i iły oraz piaski gliniaste i pyły piaszczyste zawierające – 10 % ziarn mniejszych niż 0,02 mm, organiczne namuły, torfy, margle, gytie itp.	-	> 5	< 0		
	-	≥ 5	$0 < I_L < 0,25$	> 2	> 5
	-	≥ 5	$I_L \geq 0,25$	> 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 5.3

**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 CBR %
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, droбноziarniste 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 droбноziarniste 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 5.4

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

Najczęstsze typy genetyczne	Symbole odpowiednich grup wg klasyfikacji A.Casagrande	Cechy mechaniczne w okresie odmarzania			
Nazwy typowych utworów					
		CBR	E ₂	ϕ	C
		%	MPa	°	KPa
Zwały	-	> 40	-	> 35	0,0
Rumosze, wietrzeliny	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 wydmore	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 mioceńskie	CH	< 6	10	10	25
Iły pylaste: plicieńskie i mioceńskie	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 grunty spoiste. Z gruntów spoistych po badaniach kierunkowych wybrane zostaną te grunty, dla których istnieje realna możliwość opracowania wstępnych zależności korelacyjnych. Badania gruntów sypkich możliwe będą do przeprowadzenia w ramach osobnego projektu badawczego.

W oparciu o powyższe po ustaleniu zakresu i programu badań wytypowane będą grunty przeznaczone do badań.

6. Program badań

Dla gruntów spoistych zaplanowano przeprowadzenie badań w dwóch grupach. Grupa pierwsza obejmująca badania laboratoryjne i grupa druga terenowa.

Przeznaczeniem badań terenowych jest uzyskanie potwierdzeń i zależności pomiędzy uzyskiwanym parametrem CBR_d w warunkach terenowych i laboratoryjnych. Docelowym przeznaczeniem analizowanej metody badawczej jest wykonywanie badań bezpośrednio w terenie.

W ramach badań laboratoryjnych zaplanowano do wykonania następujące badania:

- podstawowe
 - analizę granulometryczną
 - granice płynności - w_p
 - stopień plastyczności – I_L
- zasadnicze
 - kalifornijski wskaźnik nośności - CBR
 - maksymalną gęstość objętościową gruntu - ρ_{dmax}
 - wskaźnik zagęszczenia - I_s
 - pierwotny moduł odkształcenia – E_1
 - wtórny moduł odkształcenia – E_2
 - wilgotność optymalną - w_{opt}
 - wilgotność naturalną – w_n
 - dynamiczny wskaźnik nośności – CBR_d .

W ramach badań terenowych zaplanowano do wykonania następujące badania:

- pierwotny moduł odkształcenia - E_1
- wtórny moduł odkształcenia - E_2
- wskaźnik odkształcenia – I_0
- wskaźnik zagęszczenia - I_s
- dynamiczny wskaźnik nośności – CBR_d .

Przewiduje się do wykonania powyższe badania każdego z rodzaju zakwalifikowanych gruntów. Ilość badań dla jednego rodzaju gruntu zestawiono w tabeli 6.1.

Tabela 6.1

**Plan badań dla określenia „CBR”
metodą dynamiczną dla jednego rodzaju gruntu**

Badania dla jednego rodzaju gruntu						
Lp.	Badania laboratoryjne			Badania terenowe		
	Rodzaj badań	Parametr	Ilość badań	Rodzaj badań	Parametr	Ilość badań
	Badania podstawowe					
1	Analiza granulometryczna	uziarnienie	1			
2	Granica płynności	w_p	1			
3	Granica plastyczności	w_L	1			
	Badania zasadnicze			Badania zasadnicze		
5	Kalifornijski wskaźnik nośności	CBR	1			
6	Maksymalna gęstość objętościowa	ρ_{dmax}	1			
7	Wskaźnik zagęszczenia	I_s	1			
8	Pierwotny moduł odkształcenia	E_1		Pierwotny moduł odkształcenia	E_1	1
9	Wtórny moduł odkształcenia	E_2	1	Wtórny moduł odkształcenia	E_2	1
10	Wilgotność optymalna	w_{opt}	1	Wskaźnik odkształcenia	I_o	1
11	Wilgotność naturalna	w	1	Wskaźnik zagęszczenia	I_s	1
12	Dynamiczny wskaźnik nośności	CBR_d	2	Dynamiczny wskaźnik nośności	CBR_d	4

Wyniki badań przedstawione zostały w zunifikowanej formie tabelarycznej na kartach badania w załączniku nr 1 do sprawozdania.

W ramach realizowanego tematu wykonano następujące ilości badań:

- podstawowe

analizę granulometryczną – 20 badań,
granice płynności - w_p – 20 badań,
granice/stopień plastyczności – I_L – 20 badań,

- zasadnicze

kalifornijski wskaźnik nośności – CBR – 100 badań,
maksymalną gęstość objętościową gruntu - ρ_{dmax} – 20 badań,
wskaźnik maksymalnego zagęszczenia - I_s – 100 badań
pierwotny moduł odkształcenia – E_1 – 100 badań,
wtórny moduł odkształcenia – E_2 – 100 badań,

wilgotność optymalną - w_{opt} – 20 badań,
wilgotność naturalną – w_n – 100 badań
dynamiczny wskaźnik nośności – CBR_d – 200 badań.

W ramach badań terenowych zaplanowano do wykonania następujące badania:

pierwotny moduł odkształcenia - E_1 – 4 badania,
wtórny moduł odkształcenia - E_2 – 4 badania,
wskaźnik odkształcenia – I_0 – 4 badania,
wskaźnik zagęszczenia - I_s – 16 badania
dynamiczny wskaźnik nośności – CBR_d – 16 badań.

7. Rodzaje gruntów spoistych podlegające badaniu

W ramach realizowanego tematu przyjęto, iż badaniom podlegały będą następujące grunty spoiste:

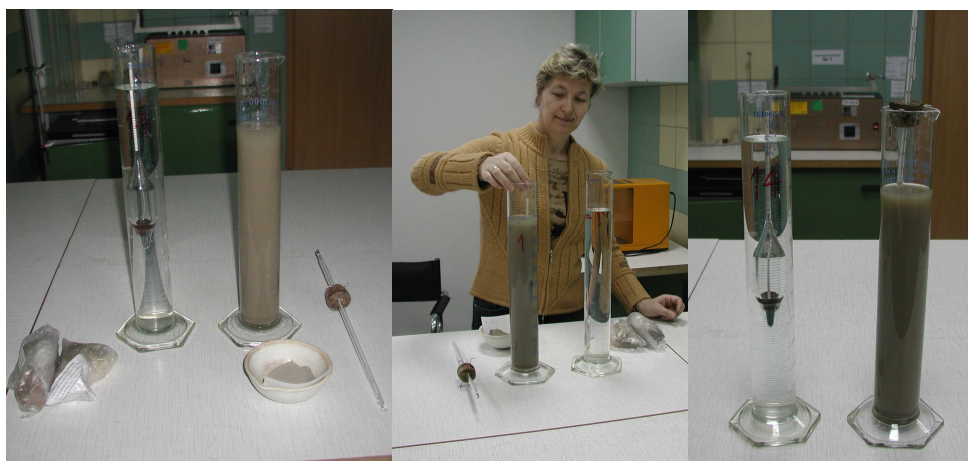
- pospółki gliniaste,
- piaski gliniaste,
- pyły piaszczyste,
- pyły,
- gliny piaszczyste,
- gliny,
- gliny pylaste,
- gliny piaszczyste zwarte,
- gliny zwarte,
- gliny pylaste zwarte.

8. Metodyka przeprowadzenia badań

Całość realizowanego zadania badawczego podzielona została na dwa etapy. W etapie pierwszym zaplanowano wykonanie badań laboratoryjnych czterech wybranych z dwudziestu próbek gruntów spoistych. W etapie drugim zaplanowano wykonanie badań laboratoryjnych pozostałych szesnastu próbek gruntów oraz badania terenowe dla wybranych rodzajów gruntów.

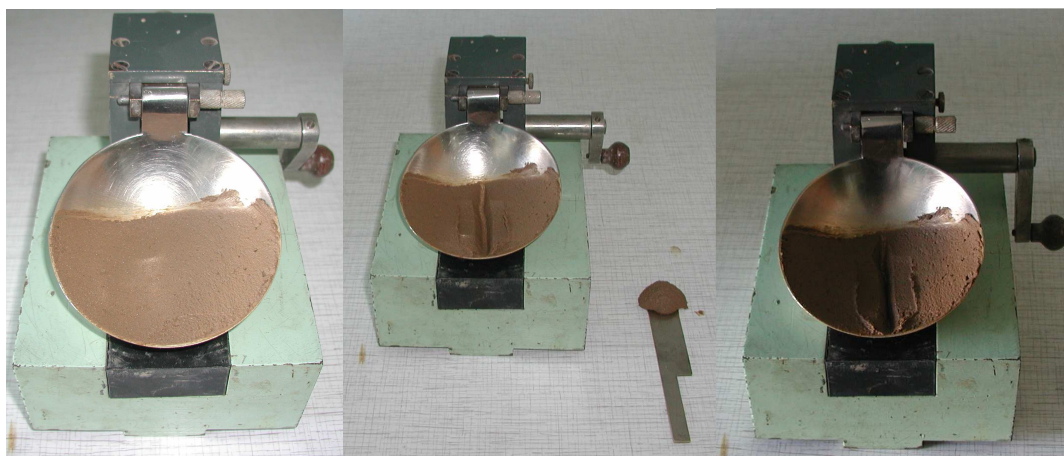
Badania laboratoryjne realizowane były w akredytowanym Laboratorium Geotechniki (nr akredytacji PCA AB 421), Zakładu Geotechniki i Fundamentowania, Instytutu Badawczego Dróg i Mostów.

Przeprowadzenie badań laboratoryjnych przebiegało etapowo. W etapie pierwszym wykonano określenie składu granulometrycznego gruntu metodą analizy areometrycznej (rys. 8.1) zgodnie z PN-88/B-04481 [1].



Rys. 8.1 Wykonywanie badania składu granulometrycznego gruntu
– analiza areometryczna

Po określeniu, na podstawie wyników tej analizy, nazwy gruntu wykonano badania metodą Casagrande'a w celu określenia granic plastyczności i płynności gruntu (rys. 8.2). Badania te przeprowadzono zgodnie z PN-88/B-04481 [1].



Rys. 8.2 Badanie granicy płynności metodą Casagrande'a

W celu określenia CBR i CBR_d dla każdego z badanych gruntów przygotowano dwie próbki. Próbkę gruntu zagęszczono metodą Proctora w pięciu warstwach w cylindrach o stałej objętości (2200 cm^3). Przygotowanie próbek do badań zilustrowano na rysunku 8.3. Jedną z próbek przeznaczono do określenia CBR na prasie, a drugą przeznaczono do określenia modułów nośności na stanowisku laboratoryjnym. Obydwie próbki, po obróceniu cylindrów przeznaczono do badania dynamicznego CBR_d na zestawie dynamicznym.



Rys. 8.3 Przygotowanie próbek gruntu w aparacie Proctora

Badanie CBR przeprowadzono na specjalnie do tego celu przystosowanej prasie. Na rysunku 8.4 przedstawiono trzpień penetracyjny, prasę CBR z cylindrem wypełnionym gruntem przeznaczonym do badania oraz próbkę badanego gruntu po penetracji. Cylinder z gruntem po badaniu przeznaczono do badania dynamicznego wskaźnika CBR_d .



Rys. 8.4 Badanie wskaźnika nośności gruntu CBR

Drugą z przygotowanych w ubijaku Proctora próbek przeznaczono do badania modułów odkształcenia E_1 i E_2 na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku badawczym. Na próbce gruntu umieszczono pierścień obciążający z opartymi na nim czujnikami zegarowymi pozwalającymi na rejestrowanie przemieszczenia przy zmianie obciążenia. Zmiana obciążenia badanej próbki gruntu zapewniona jest przez zwiększanie obciążników pierścieniowych na jednej ze stron układu dźwigniowego. Zasada przeprowadzenia badania jest taka sama jak wykonywania oznaczenia modułów odkształcenia przy pomocy aparatury VSS, lecz wykonywana w warunkach laboratoryjnych (rys. 8.5).



Rys. 8.5 Badanie nośności gruntu

Dwie próbki gruntu po badaniach CBR i modułów nośności po ich obróceniu przeznaczone są do określenia dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d . Na każdą z próbek po nałożeniu pierścieni obciążających zamontowano zestaw do badania CBR_d , na rysunku 8.5 przedstawiono praktyczne wykonanie badania.



Rys. 8.5 Badanie dynamicznego wskaźnika nośności gruntu CBR_d

9. Analiza wyników badań – zależności korelacyjne

Podczas realizacji tematu wykonano cały zakres badań. Programem badań objęto grunty spoiste o zróżnicowanej gęstości objętościowej i wilgotności optymalnej.

Badaniom poddano:

- pospółki gliniaste,
- piaski gliniaste,
- pyły piaszczyste,
- pyły,
- gliny piaszczyste,
- gliny,
- gliny pylaste,
- gliny pylaste zwarte,
- gliny zwarte,
- gliny pylaste zwarte.

Wyniki badań zamieszczono na obowiązujących i stosowanych w Laboratorium Geotechniki IBDiM karatach badań, na których zamieszczono kolejno dla każdego z badanych gruntów:

- uziarnienie (skład granulometryczny) gruntu, granice płynności w_L i plastyczności w_P , maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego ρ_{dmax} i wilgotność optymalną w_{opt} ,
- wartości kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR, wskaźnika zagęszczenia I_s , dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d ,
- wartości pierwotnego modułu odkształcenia E_1 , wtórnego modułu odkształcenia E_1 E_2 i wskaźnika odkształcenia I_0 .

Karty badań korelacyjnych przechowywane są w Laboratorium Geotechniki IBDiM. Zależności pomiędzy parametrami geotechnicznymi wynikające bezpośrednio z uzyskanych wyników pomiarów przedstawiono w formie graficznej.

Uzyskane wyniki badań poddano przeglądowi i analizie a następnie dla wybranych parametrów geotechnicznych sporządzono zobrazowanie graficzne oraz określono matematyczne zależności korelacyjne przy poziomie ufności 0,95.

Po przeprowadzeniu analizy uzyskanych wyników wykonano ich zestawienia zbiorcze zamieszczone w tabelach 9.1 do 9.10 dla badań laboratoryjnych i w tabelach 9.11 i 9.12 dla badań terenowych.

W oparciu dane zawarte w zestawieniach zbiorczych opracowano zestawienia graficzne i określono zależności korelacyjnych dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR, wtórnego modułu odkształcenia E_2 , wskaźnika zagęszczenia I_s , wskaźnika odkształcenia I_0 oraz zależność korelacyjną kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu nośności E_2 .

W wyniku uzyskanych wyników przeprowadzono zgrupowania danych w celu określenia powyżej określonych zależności korelacyjnych dla gruntów przypisanych do tych grup. Grunty spoiste podzielono na trzy grupy, do których zaliczono:

- grupa pierwsza - pospółki gliniaste, piaski gliniaste,
- grupa druga - pyły piaszczyste,
- grupa trzecia - gliny piaszczyste, gliny, gliny pylaste, gliny pylaste zwięzłe, gliny zwięzłe, gliny pylaste zwięzłe.

9.1. Zbiornicze zestawienie wyników badań

W poniżej zamieszczonych tabelach przedstawiono zbiornicze zestawienia wyników badań. W każdej z tabel zamieszczono wyniki danego rodzaju gruntu dla dwóch gruntów o różnych maksymalnych gęstościach objętościowych i wilgotnościach optymalnych. Zestawienia zbiornicze zamieszczone są w tabelach 9.1 do 9.10 dla badań laboratoryjnych i 9.11 i 9.12 dla badań terenowych.

Tabela 9.1

**Zbiornicze zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „I” – pospółki gliniaste**

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	I Pospółka gliniasta W_{opt} 15,30 % ρ_{dmax} 2,185g/cm ³	w [%]	9,66	11,65	13,45	15,26	17,58
		ρ_d [g/cm ³]	2,112	2,134	2,162	2,185	2,144
		I_s	0,97	0,98	0,99	1,00	0,98
		CBR [%]	22	29	34	20	12
		CBR _d [%]	24	29	32	20	10
			23	30	34	22	11
		E ₁ [MPa]	40,8	45,7	41,2	34,1	11
		E ₂ [MPa]	68,2	91,5	81,5	65,8	15,6
		I_0	1,67	2,00	1,98	1,93	1,42
2	Ia Pospółka gliniasta W_{opt} 14,10 % ρ_{dmax} 2,130g/cm ³	w [%]	8,70	10,59	12,37	14,12	16,47
		ρ_d [g/cm ³]	2,050	2,076	2,105	2,130	2,089
		I_s	0,97	0,98	0,99	1,00	0,98
		CBR [%]	22	28	34	19	12
		CBR _d [%]	24	29	32	20	10
			23	30	34	22	11
		E ₁ [MPa]	43,1	43,6	37,9	34,1	10,3
		E ₂ [MPa]	70,8	96,2	91,5	65,8	15,6
		I_0	1,64	2,21	2,41	1,93	1,51

Tabela 9.2

Zbiornicze zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „II” - piasek gliniasty

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	II Piasek gliniasty W_{opt} 9,2 % ρ_{dmax} 1,977g/cm ³	w [%]	3,29	5,23	6,97	9,18	11,17
		ρ_d [g/cm ³]	1,798	1,844	1,921	1,977	1,945
		I_s	0,909	0,933	0,972	1,000	0,984
		CBR [%]	28	31	28	18	6
		CBR _d [%]	30	34	34	31	22
			28	35	33	30	20
		E_1 [MPa]	75,0	51,4	62,5	43,6	3,4
		E_2 [MPa]	125,0	81,5	101,4	70,8	10,6
		I_0	1,67	1,59	1,62	1,62	3,12
2	IIa Piasek gliniasty W_{opt} 8,6 % ρ_{dmax} 2,103g/cm ³	w [%]	3,15	4,98	6,70	8,63	10,21
		ρ_d [g/cm ³]	1,908	1,959	2,039	2,103	2,072
		I_s	0,907	0,931	0,969	1,000	0,985
		CBR [%]	31	33	32	11	6
		CBR _d [%]	37	39	36	24	20
			36	40	36	23	19
		E_1 [MPa]	89,3	68,2	48,7	8,3	3,4
		E_2 [MPa]	170,5	110,3	91,5	16,7	10,6
		I_0	1,91	1,62	1,88	2,01	3,12

Tabela 9.3

Zbiorne zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „III” – pył piaszczysty

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	III Pył piaszczysty W_{opt} 10,60 % ρ_{dmax} 1,944g/cm ³	w [%]	4,58	6,42	8,15	10,62	12,37
		ρ_d [g/cm ³]	1,727	1,806	1,873	1,944	1,913
		I_s	0,89	0,93	0,96	1,00	0,98
		CBR [%]	32	38	29	19	11
		CBR _d [%]	31	33	26	24	16
			30	34	28	22	14
		E_1 [MPa]	40,8	45,7	41,2	34,1	8,7
		E_2 [MPa]	68,2	91,5	81,5	65,8	15,6
		I_0	1,67	2,00	1,98	1,93	1,79
2	IIIa Pył piaszczysty W_{opt} 11,00 % ρ_{dmax} 1,885g/cm ³	w [%]	6,01	7,55	10,06	11,22	13,55
		ρ_d [g/cm ³]	1,821	1,844	1,870	1,883	1,828
		I_s	0,89	0,93	0,96	1,00	0,98
		CBR [%]	29	36	35	27	6
		CBR _d [%]	26	27	28	30	23
			27	26	30	29	24
		E_1 [MPa]	40,8	46,9	26,8	14,7	2,8
		E_2 [MPa]	72,1	150,0	50,7	35,4	9,3
		I_0	1,77	3,2	1,89	2,41	3,32

Tabela 9.4

Zbiornicze zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „IV” – pył

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	IV Pył W_{opt} 13,50 % ρ_{dmax} 1,795g/cm ³	w [%]	7,58	9,55	11,27	13,47	15,19
		ρ_d [g/cm ³]	1,690	1,719	1,752	1,795	1,772
		I_s	0,94	0,96	0,98	1,00	0,99
		CBR [%]	41	43	46	42	24
		CBR _d [%]	39	40	42	33	23
			40	42	45	35	24
		E ₁ [MPa]	40,8	45,7	35,4	34,1	8,7
		E ₂ [MPa]	68,2	91,5	57,7	65,8	15,6
		I_0	1,67	2,00	1,63	1,93	1,79
2	IVa Pył W_{opt} 15,70 % ρ_{dmax} 1,760g/cm ³	w [%]	9,38	11,44	13,39	15,74	17,16
		ρ_d [g/cm ³]	1,662	1,690	1,719	1,760	1,743
		I_s	0,94	0,96	0,98	1,00	0,99
		CBR [%]	37	43	46	42	24
		CBR _d [%]	36	40	44	40	23
			38	42	45	41	24
		E ₁ [MPa]	46,3	52,1	44,1	34,1	9,1
		E ₂ [MPa]	68,2	85,2	54,3	48,7	15,5
		I_0	1,47	1,64	1,23	1,43	1,70

Tabela 9.5

Zbiornicze zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „V” – glina piaszczysta

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	V Glina Piaszczysta W_{opt} 9,0 % ρ_{dmax} 2,005g/cm ³	w [%]	3,05	4,76	6,38	8,55	10,72
		ρ_d [g/cm ³]	1,848	1,875	1,919	2,003	1,976
		I_s	0,921	0,935	0,957	0,999	0,986
		CBR [%]	29	33	27	21	7
		CBR _d [%]	30	34	32	24	17
			31	36	31	25	18
		E_1 [MPa]	38,3	48,1	42,6	60,5	4,8
		E_2 [MPa]	93,8	98,7	85,2	93,8	10,3
		I_0	2,45	2,05	2,00	1,55	2,15
2	V Glina Piaszczysta W_{opt} 10,60 % ρ_{dmax} 1,944g/cm ³	w [%]	4,81	6,48	8,34	10,71	12,37
		ρ_d [g/cm ³]	1,817	1,845	1,885	1,964	1,947
		I_s	0,93	0,94	0,96	1,00	0,99
		CBR [%]	33	40	27	19	7
		CBR _d [%]	30	40	28	20	8
			31	41	29	19	9
		E_1 [MPa]	38,3	48,1	42,6	60,5	4,8
		E_2 [MPa]	93,8	89,3	85,2	104,2	8,4
		I_0	2,45	1,86	2,0	1,72	1,75

Tabela 9.6

Zbiorne zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „VI” – glina

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	VI Glina W _{opt} 10,8 % ρ _{dmax} 2,116g/cm ³	w [%]	4,41	6,65	8,81	10,79	12,63
		ρ _d [g/cm ³]	1,909	1,920	1,996	2,116	2,074
		I _s	0,902	0,907	0,943	1,000	0,980
		CBR [%]	30	36	25	14	7
		CBR _d [%]	34	35	31	20	18
			35	34	30	19	17
		E ₁ [MPa]	68,2	75,0	59,5	3,4	2,8
		E ₂ [MPa]	121,0	125,0	138,9	10,6	9,3
		I ₀	1,77	1,67	2,33	3,12	3,32
2	VIa Glina W _{opt} 9,0 % ρ _{dmax} 2,005g/cm ³	w [%]	3,56	5,78	7,69	8,99	11,69
		ρ _d [g/cm ³]	1,925	1,936	1,977	2,005	1,960
		I _s	0,96	0,97	0,99	1,00	0,98
		CBR [%]	30	36	25	14	7
		CBR _d [%]	29	35	25	15	9
			28	34	27	16	8
		E ₁ [MPa]	30,5	40,8	26,8	14,7	2,8
		E ₂ [MPa]	70,8	72,1	50,7	35,4	9,3
		I ₀	2,32	1,77	1,89	2,41	3,32

Tabela 9.7

Zbiornicze zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „VII” – gliny pylaste

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	VII Gлина pylasta W_{opt} 10,60 % ρ_{dmax} 1,944g/cm ³	w [%]	10,64	12,64	14,10	16,08	18,67
		ρ_d [g/cm ³]	1,672	1,720	1,760	1,794	1,727
		I_s	0,93	0,96	0,98	1,00	0,96
		CBR [%]	22	24	20	7	4
		CBR _d [%]	27	29	22	17	7
			29	30	23	15	6
		E_1 [MPa]	48,7	32,6	16,7	3,0	1,3
		E_2 [MPa]	71,5	45,7	37,9	8,7	4,7
		I_0	1,88	1,40	2,27	2,90	3,62
2	VIIa Gлина pylasta W_{opt} 15,00 % ρ_{dmax} 1,811g/cm ³	w [%]	9,66	11,60	13,10	14,99	17,67
		ρ_d [g/cm ³]	1,687	1,736	1,776	1,811	1,741
		I_s	0,93	0,96	0,98	1,00	0,96
		CBR [%]	19	27	20	7	4
		CBR _d [%]	18	27	21	10	5
			19	28	22	8	6
		E_1 [MPa]	48,7	38,7	21,6	3,6	1,3
		E_2 [MPa]	91,5	45,7	28,8	8,7	4,7
		I_0	1,88	1,18	1,33	2,42	3,62

Tabela 9.8

Zbiornicze zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „VIII” – gliny piaszczyste zwięzłe

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	VIII Gлина piaszczysta zwięzła W_{opt} 11,60 % ρ_{dmax} 1,844g/cm ³	w [%]	5,84	7,69	9,32	11,61	13,66
		ρ_d [g/cm ³]	1,785	1,808	1,823	1,844	1,819
		I_s	0,97	0,98	0,99	1,00	0,99
		CBR [%]	33	36	34	24	13
		CBR _d [%]	28	38	32	23	12
			30	36	35	25	14
		E_1 [MPa]	40,8	26,8	35,4	14,7	2,8
		E_2 [MPa]	72,1	50,7	78,1	35,4	9,3
		I_0	1,77	1,89	2,21	2,41	3,32
2	VIIIa Gлина piaszczysta zwięzła W_{opt} 10,60 % ρ_{dmax} 1,894g/cm ³	w [%]	4,44	6,59	8,24	10,61	12,45
		ρ_d [g/cm ³]	1,782	1,808	1,841	1,894	1,866
		I_s	0,94	0,95	0,97	1,00	0,98
		CBR [%]	37	43	24	18	10
		CBR _d [%]	36	40	24	19	12
			38	42	26	20	11
		E_1 [MPa]	35,4	26,8	14,7	4,8	2,8
		E_2 [MPa]	78,1	50,7	35,4	10,3	9,3
		I_0	2,21	1,89	2,41	2,15	3,32

Tabela 9.9

Zbiornicze zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „IX” – gliny zwięzłe

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	IX Gлина zwięzła W_{opt} 13,60 % ρ_{dmax} 1,784g/cm ³	w [%]	7,76	9,58	11,87	13,61	15,79
		ρ_d [g/cm ³]	1,685	1,701	1,748	1,784	1,752
		I_s	0,94	0,95	0,98	1,00	0,98
		CBR [%]	22	24	18	7	4
		CBR _d [%]	20	25	20	7	7
			21	26	19	8	6
		E_1 [MPa]	48,1	75,0	34,1	8,7	2,8
		E_2 [MPa]	98,7	125,0	65,8	15,6	9,3
		I_0	2,05	1,67	1,93	1,79	3,32
2	IXa Gлина zwięzła W_{opt} 12,80 % ρ_{dmax} 1,806g/cm ³	w [%]	6,88	8,60	10,71	12,82	14,78
		ρ_d [g/cm ³]	1,699	1,744	1,783	1,806	1,778
		I_s	0,94	0,97	0,99	1,00	0,98
		CBR [%]	21	24	17	8	5
		CBR _d [%]	20	25	18	7	5
			21	26	17	8	6
		E_1 [MPa]	30,5	26,8	31,0	14,7	3,0
		E_2 [MPa]	70,8	50,7	70,8	35,4	8,7
		I_0	2,32	1,89	2,28	2,41	2,90

Tabela 9.10

Zbiornicze zestawienie wyników badań
Symbol grupy gruntu „X” – gliny pylaste zwięzłe

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań					
1	X Gлина pylasta zwięzła W_{opt} 15,90 % ρ_{dmax} 1,805g/cm ³	w [%]	9,66	11,39	13,84	15,89	17,62
		ρ_d [g/cm ³]	1,687	1,725	1,779	1,805	1,776
		I_s	0,93	0,96	0,99	1,00	0,98
		CBR [%]	29	35	35	17	11
		CBR _d [%]	30	33	25	20	10
			29	34	24	18	9
		E_1 [MPa]	35,4	30,5	31,0	16,9	6,9
		E_2 [MPa]	78,1	70,8	70,8	45,2	30,0
		I_0	2,21	2,32	2,28	2,67	4,35
2	Xa Gлина pylasta zwięzła W_{opt} 15,90% ρ_{dmax} g/cm ³	w [%]	10,64	12,39	15,01	16,96	18,81
		ρ_d [g/cm ³]	1,672	1,710	1,761	1,789	1,758
		I_s	0,93	0,96	0,99	1,00	0,98
		CBR [%]	29	36	34	17	11
		CBR _d [%]	30	36	35	17	10
			29	38	34	18	9
		E_1 [MPa]	34,7	34,7	31,0	16,9	5,9
		E_2 [MPa]	78,1	70,8	70,8	40,3	30,0
		I_0	2,25	2,04	2,28	2,38	5,08

Tabela 9.11

Zbiornicze zestawienie wyników badań terenowych
Symbol grupy gruntu „I” – *pospółki gliniaste*

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań				
1	I Pospółka gliniasta W_{opt} 15,30 % ρ_{dmax} 2,185g/cm ³	I_s	0,97	0,98	0,98	0,98
		CBR _d [%]	31	32	30	29
		E_1 [MPa]	45,7			
		E_2 [MPa]	91,6			
		I_0	2,00			
2	I Pospółka gliniasta W_{opt} 15,30 % ρ_{dmax} 2,185g/cm ³	I_s	0,96	0,97	0,98	0,97
		CBR _d [%]	30	29	29	29
		E_1 [MPa]	43,6			
		E_2 [MPa]	89,3			
		I_0	2,05			

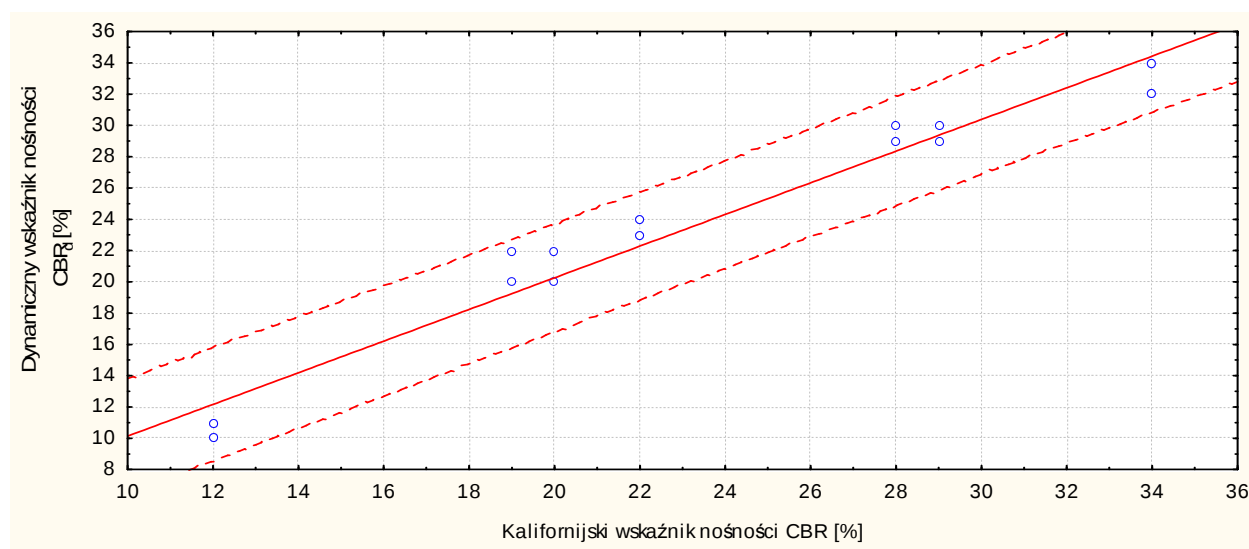
Tabela 9.12

Zbiornicze zestawienie wyników badań terenowych
Symbol grupy gruntu „II” – *piasek gliniasty*

Lp.	Rodzaj gruntu	Wyniki badań				
1	II Piasek gliniasty W_{opt} 9,20 % ρ_{dmax} 1,977g/cm ³	I_s	0,97	0,96	0,97	0,98
		CBR _d [%]	34	36	35	35
		E_1 [MPa]	46,3			
		E_2 [MPa]	98,7			
		I_0	2,13			
2	II Piasek gliniasty W_{opt} 9,20 % ρ_{dmax} 1,977g/cm ³	I_s	0,98	0,98	0,97	0,97
		CBR _d [%]	34	34	31	33
		E_1 [MPa]	50,7			
		E_2 [MPa]	101,4			
		I_0	2,60			

9.2. Zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR.

Na poniższych rysunkach (rysunek 9.1 do 9.10) przedstawiono obliczone statystycznie zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności dla badanych gruntów. Ponadto podano współczynniki korelacji dla poszczególnych zależności.

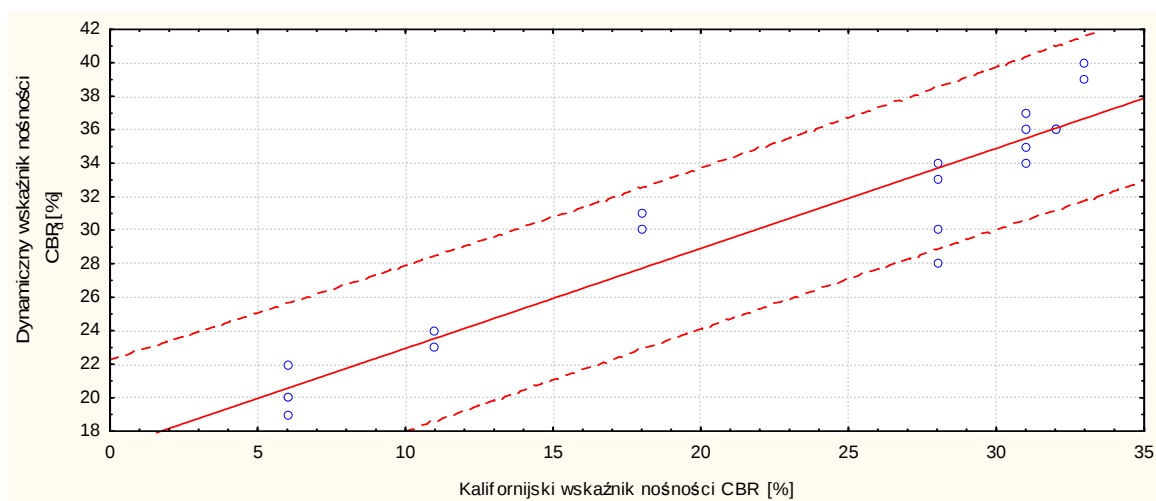


Rysunek 9.1 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "I" i „Ia” – pospółka gliniasta

Dla pospółki gliniastej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 0,012 + 1,012 \cdot CBR \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,9622$$

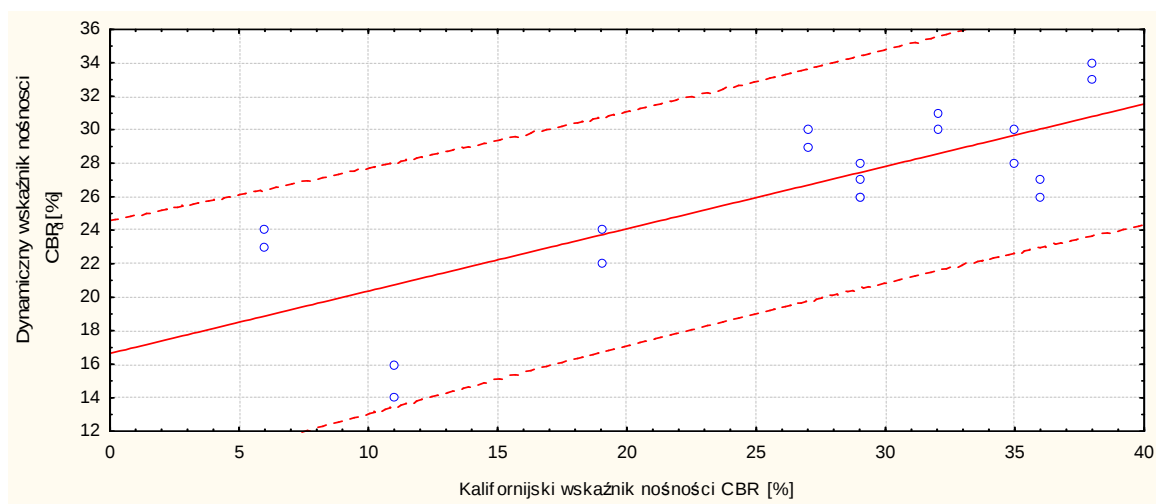


Rysunek 9.2 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "II" i „IIa” – piasek gliniasty

Dla piasku gliniastego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 16,968 + 0,597 \cdot CBR [\%]$$

$$R^2 = 0,8978$$

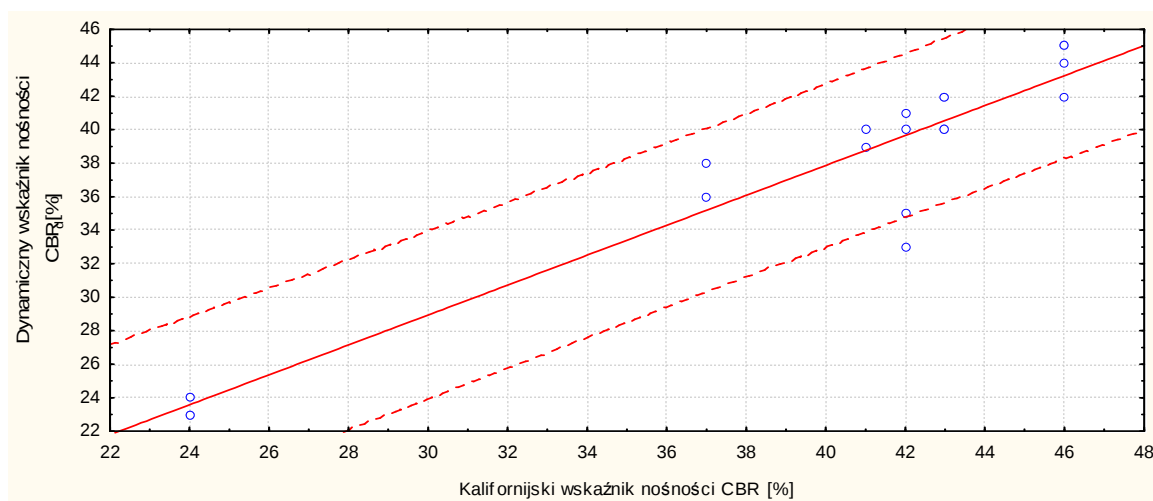


Rysunek 9.3 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "III" i „IIIa” – pył piaszczysty

Dla pyłu piaszczystego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 16,647 + 0,372 \cdot CBR [\%]$$

$$R^2 = 0,6098$$

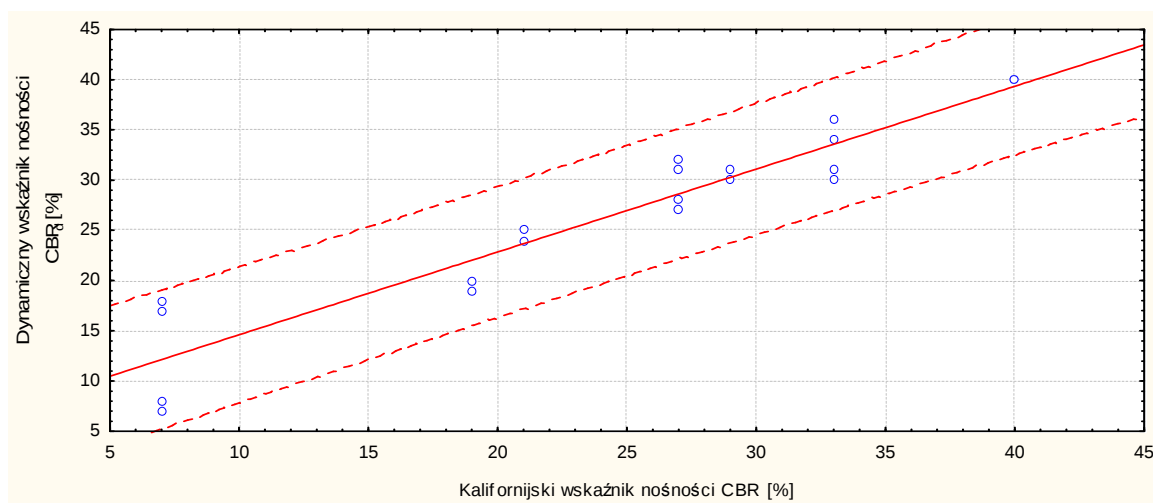


Rysunek 9.4 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "IV" i „IVa” – pył

Dla pyłu dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 2,132 + 0,895 \cdot CBR \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,9129$$

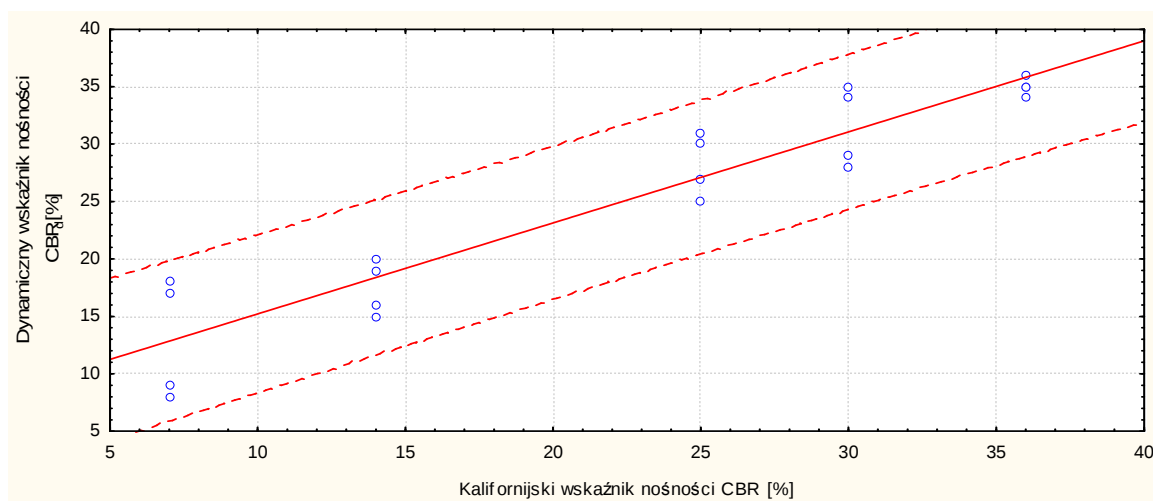


Rysunek 9.5 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "V" i „Va” – glina piaszczysta

Dla gliny piaszczystej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 6,368 + 0,824 \cdot CBR \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,8990$$

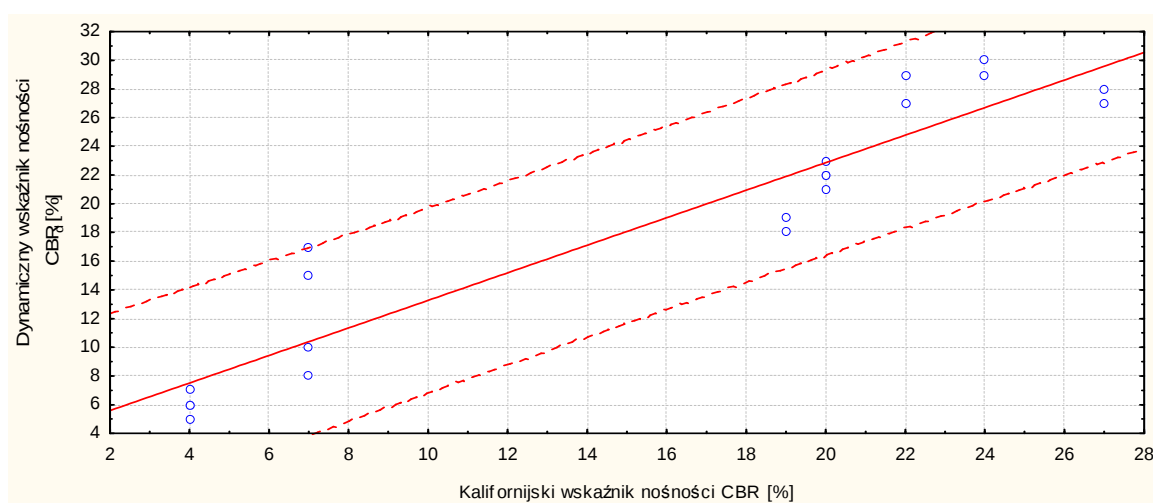


Rysunek 9.6 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "VI" i „VIa” – glina

Dla glin dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR}_d = 7,295 + 0,793 \cdot \text{CBR} [\%]$$

$$R^2 = 0,8902$$

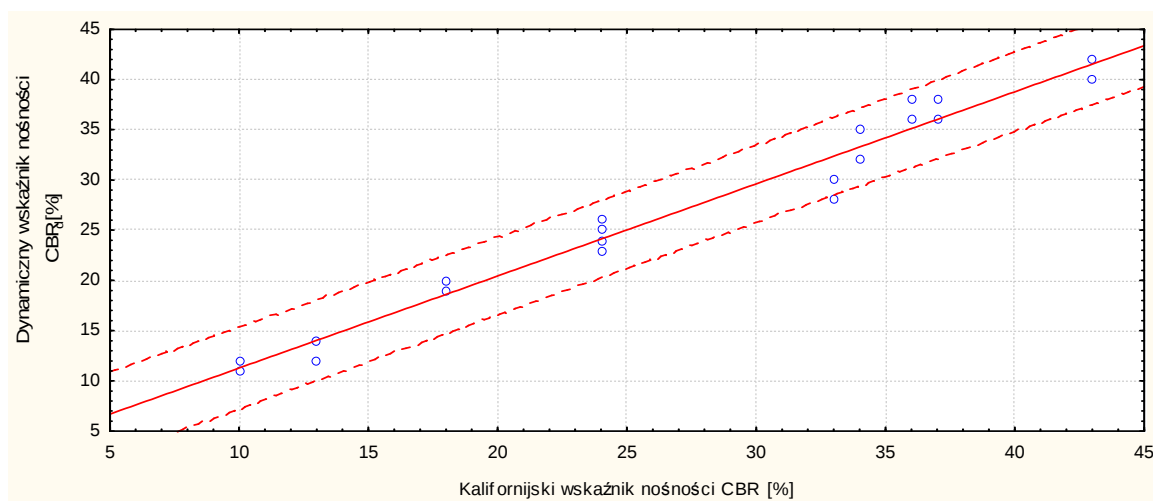


Rysunek 9.7 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "VII" i „VIIa” – glina pylasta

Dla glin pylastych dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR}_d [\%] = 3,674 + 0,960 \cdot \text{CBR}$$

$$R^2 = 0,8916$$

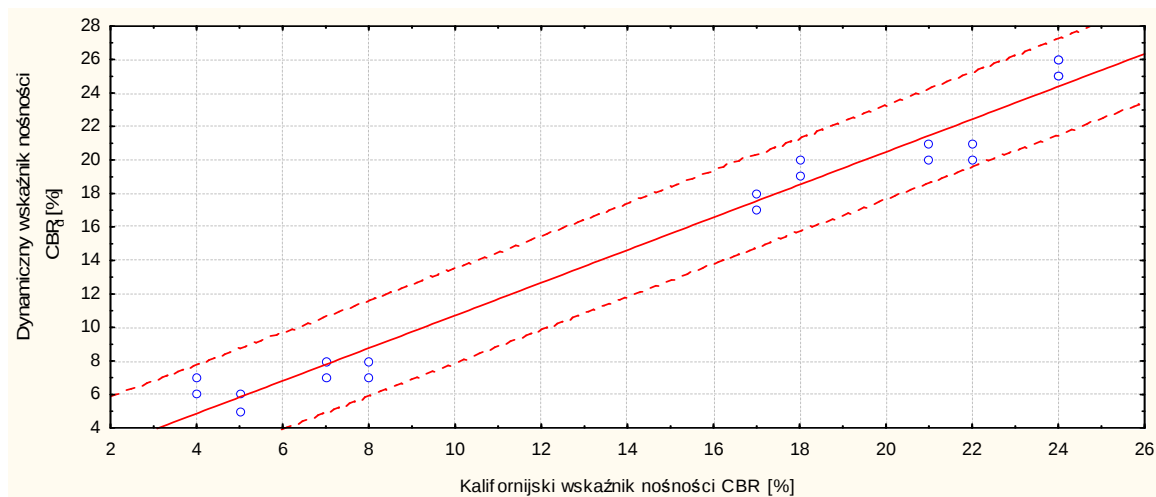


Rysunek 9.8 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "VIII" i „VIIIa” – glina piaszczysta zwięzła

Dla glin piaszczystych zwięzłych dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d [\%] = 2,118 + 0,917 \cdot CBR$$

$$R^2 = 0,9701$$

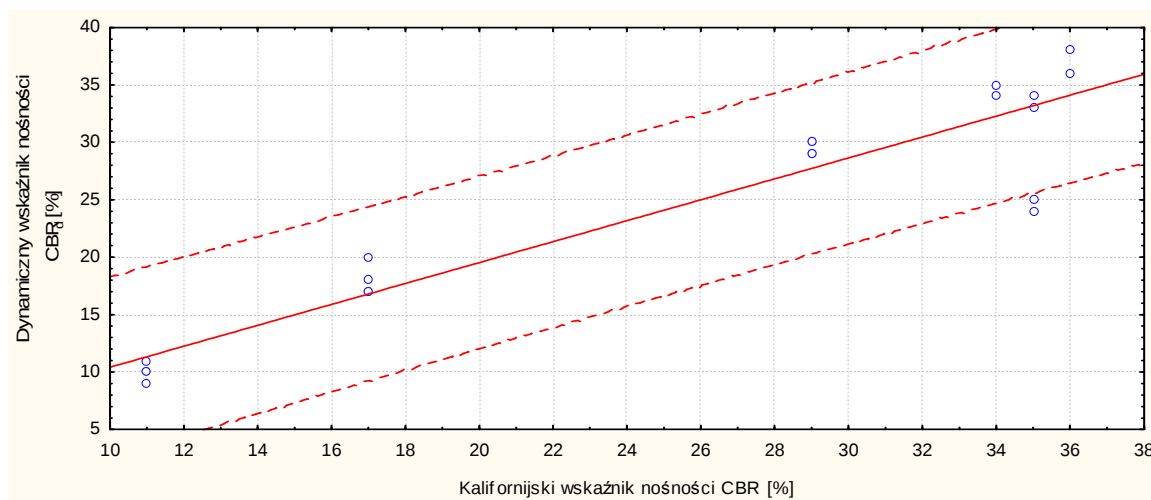


Rysunek 9.9 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "IX" i „IXa” – glina zwięzła

Dla gliny zwięzłej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 0,954 + 0,976 \cdot CBR [\%]$$

$$R^2 = 0,9741$$



Rysunek 9.10 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla gruntu "X" i „Xa”
– glina pylasta zwięzła

Dla gliny pylastej zwięzłej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR}_d = 1,309 + 0,911 \cdot \text{CBR} [\%]$$

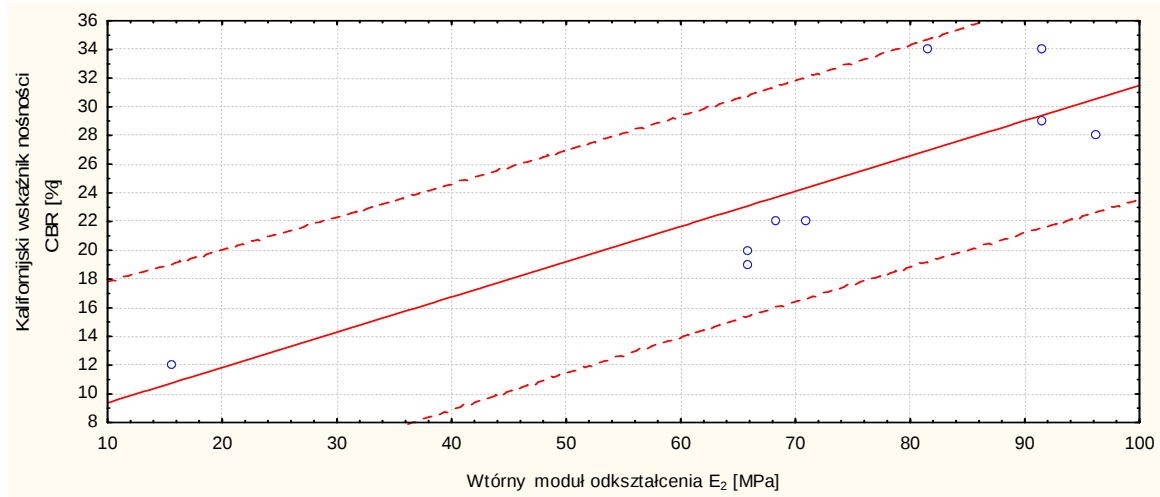
$$R^2 = 0,8799$$

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań urządzenia określającego wartość dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d zależna jest od rodzaju gruntu i wykazuje największą stabilność wskazań w zakresie:

- pospółki gliniaste – 16 – 34 [%]
- piaski gliniaste – 7 -34 [%]
- pyły piaszczyste – 10 – 37 [%]
- pyły – 34 – 46 [%]
- gliny piaszczyste – 15 – 40 [%]
- gliny – 10 – 35 [%]
- gliny pylaste – 8 – 26[%]
- gliny pylaste zwięzłe – 10 – 42 [%]
- gliny zwięzłe – 8 – 24 [%]
- gliny pylaste zwięzłe – 12 – 34 [%]

9.3. Zależności korelacyjne kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 .

Na poniższych rysunkach (rysunek 9.11 do 9.20) przedstawiono obliczone statystycznie zależności korelacyjne kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla badanych gruntów. Ponadto podano współczynniki korelacji dla poszczególnych zależności.

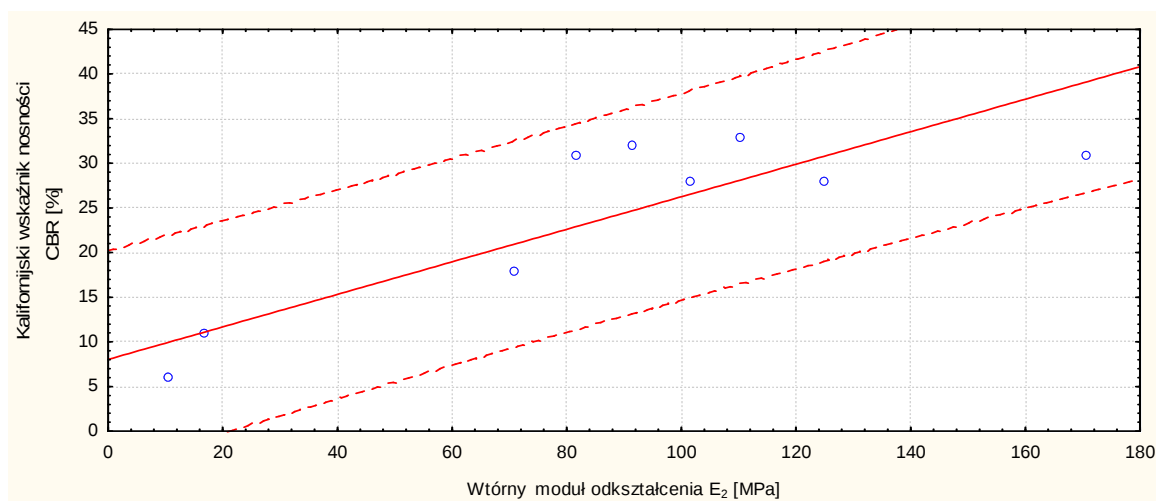


Rysunek 9.11 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "I" i „Ia” – pospółka gliniasta

Dla pospółki gliniastej kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 6,922 + 0,246 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,7986$$

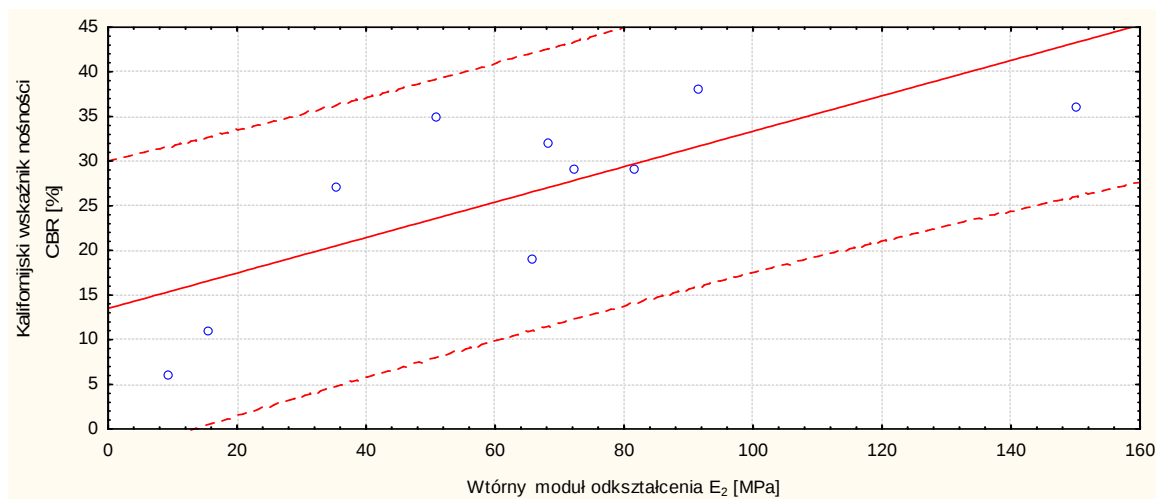


Rysunek 9.12 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E₂ dla gruntu "II" i „IIa” – piasek gliniasty

Dla piasku gliniastego kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E₂ opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 8,032 + 0,182 \cdot E_2 [\%]$$

$$R^2 = 0,7654$$

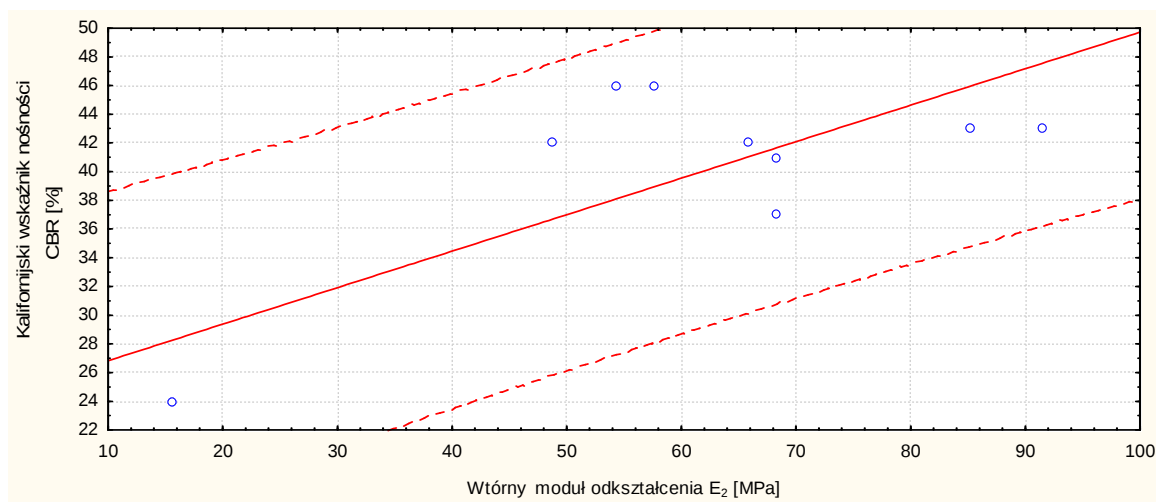


Rysunek 9.13 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E₂ dla gruntu "III" i „IIIa” – pył piaszczysty

Dla pyłu piaszczystego kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E₂ opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 13,501 + 0,198 \cdot E_2 [\%]$$

$$R^2 = 0,5557$$

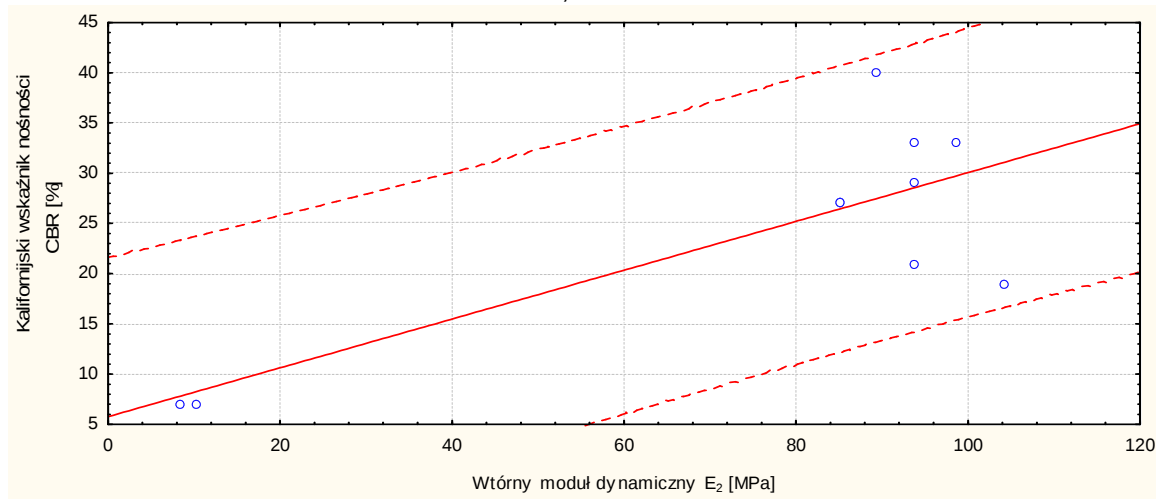


Rysunek 9.14 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "IV" i „IVa” – pył

Dla pyłu kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 24,285 + 0,254 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,6224$$

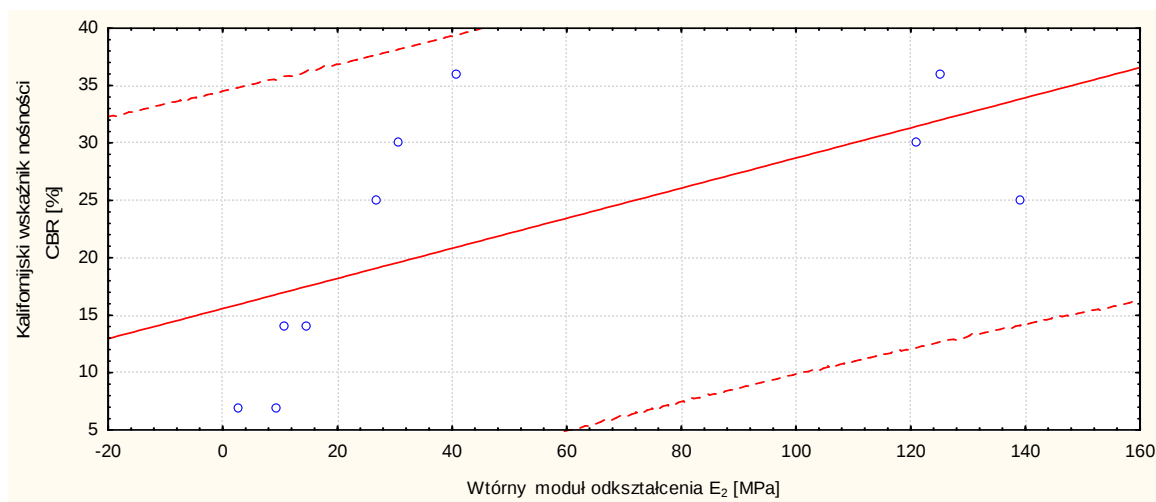


Rysunek 9.15 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "V" i „Va” – glina piaszczysta

Dla gliny piaszczystej kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 5,769 + 0,243 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,6328$$

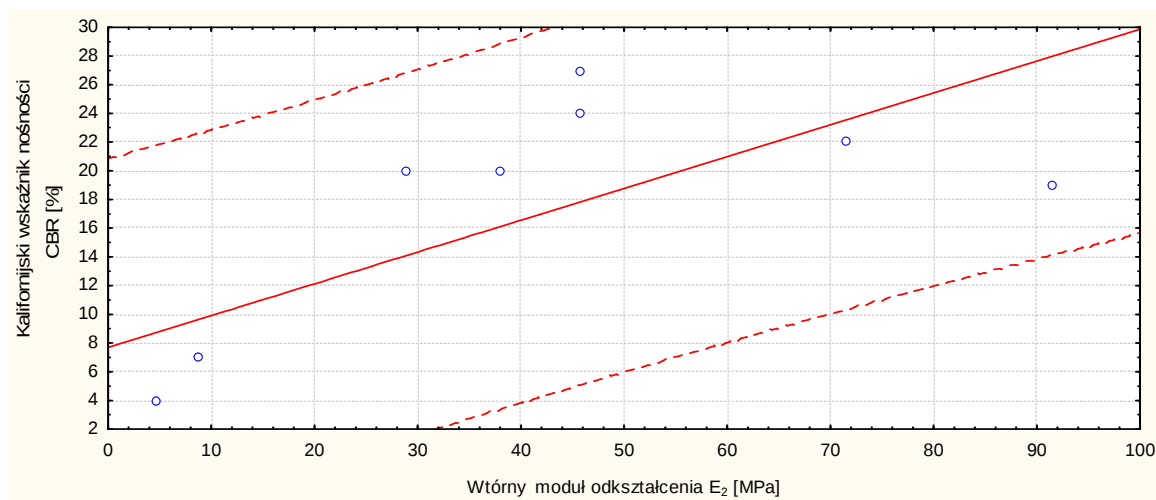


Rysunek 9.16 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E₂ dla gruntu "VI" i „VIa” – glina

Dla gliny kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E₂ opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 15,574 + 0,131 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,4047$$

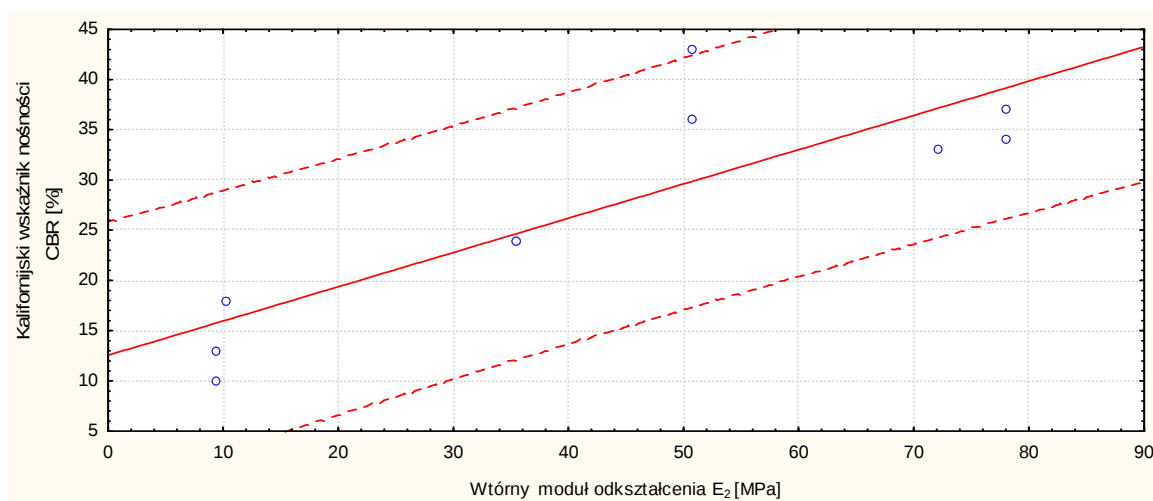


Rysunek 9.17 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E₂ dla gruntu "VII" i „VIIa” – glina pylasta

Dla gliny pylastej kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E₂ opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 7,687 + 0,222 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,5564$$

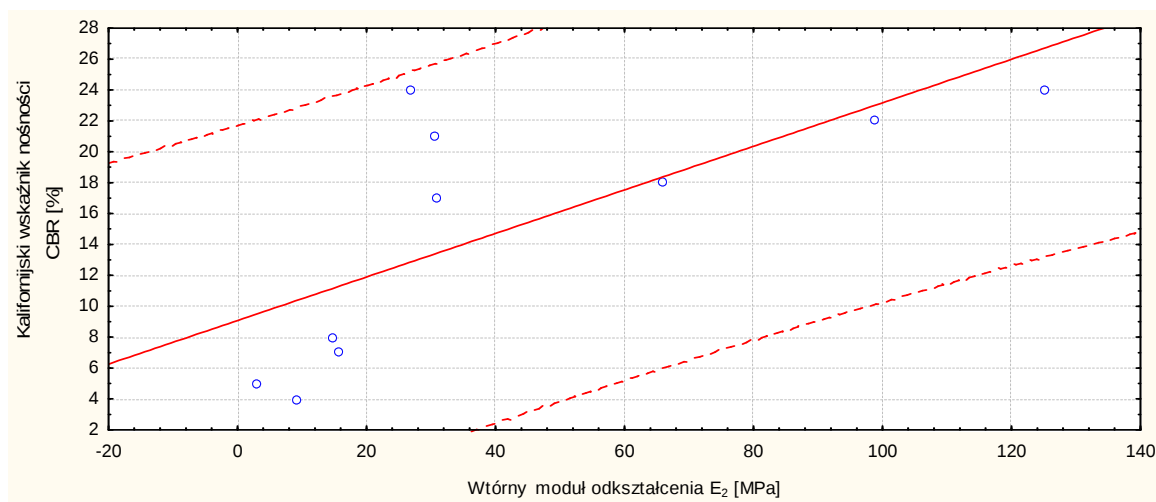


Rysunek 9.18 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "VIII" i „VIIIa” – glina piaszczysta zwięzła

Dla gliny piaszczystej zwięzłej kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 12,554 + 0,341 \cdot \text{CBR} [\%]$$

$$R^2 = 0,7245$$

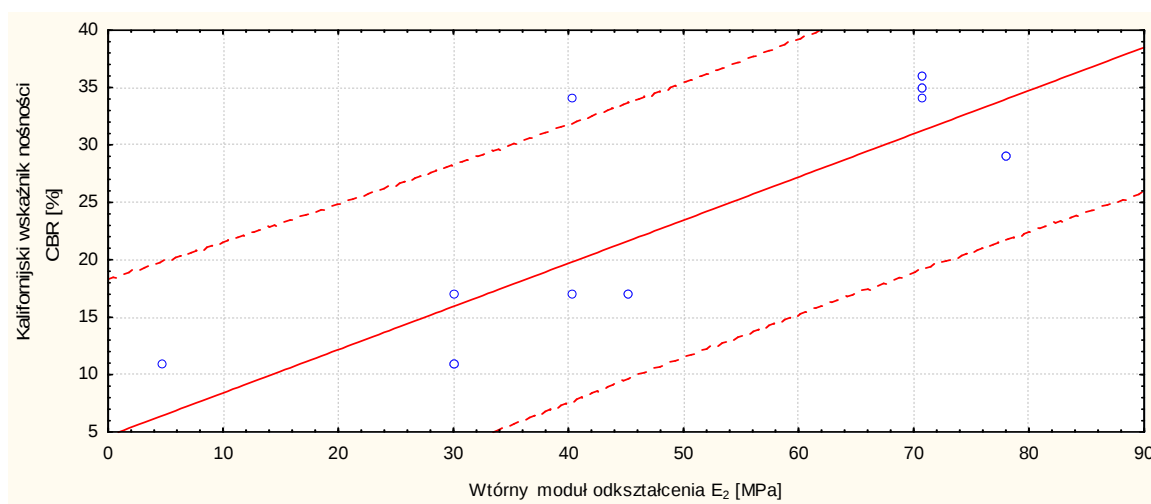


Rysunek 9.19 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "IX" i „IXa” – glina zwięzła

Dla gliny zwięzłej kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 9,078 + 0,141 \cdot E_2 [\%]$$

$$R^2 = 0,5074$$



Rysunek 9.20 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "X" i „Xa” – glina pylasta zwięzła

Dla gliny pylastej zwięzłej kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 4,646 + 0,376 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

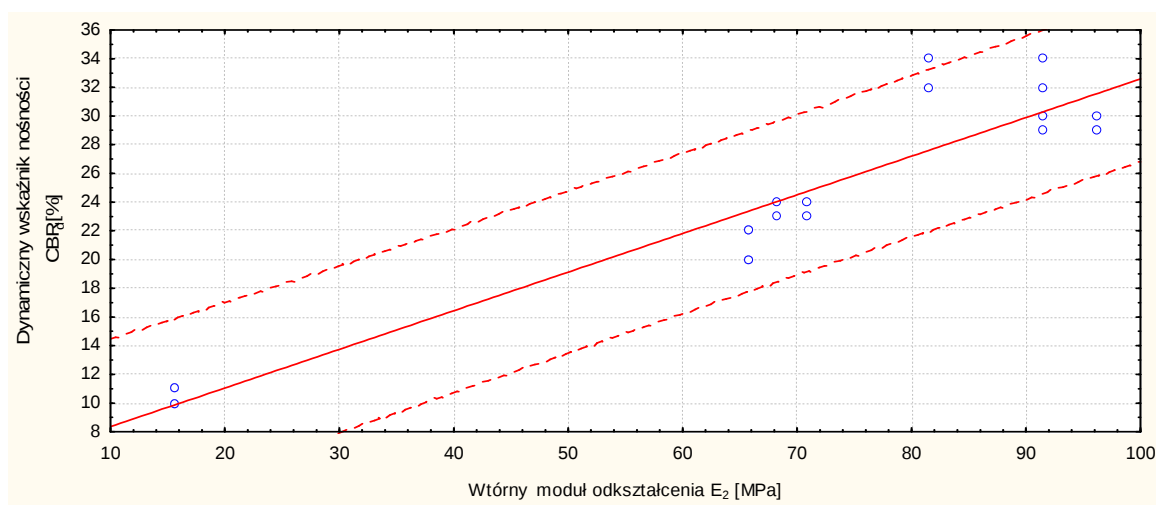
$$R^2 = 0,7081$$

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań urządzenia określającego wartość dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d zależna jest od rodzaju gruntu i wykazuje największą stabilność wskazań w zakresie:

- pospółki gliniaste – 60 – 90 [MPa]
- piaski gliniaste – 40 -120 [MPa]
- pyły piaszczyste – 45 – 90 [MPa]
- pyły – 80 – 100 [MPa]
- gliny piaszczyste – 40 – 120 [MPa]
- gliny – 30 – 80 [MPa]
- gliny pylaste – 30 – 80 [MPa]
- gliny pylaste zwięzłe – 40 – 80 [%]
- gliny zwięzłe – 40 – 120 [MPa]
- gliny pylaste zwięzłe – 30 – 80 [MPa]

9.4. Zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 .

Na poniższych rysunkach (rysunek 9.21 do 9.30) przedstawiono obliczone statystycznie zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla badanych gruntów. Ponadto podano współczynniki korelacji dla poszczególnych zależności.

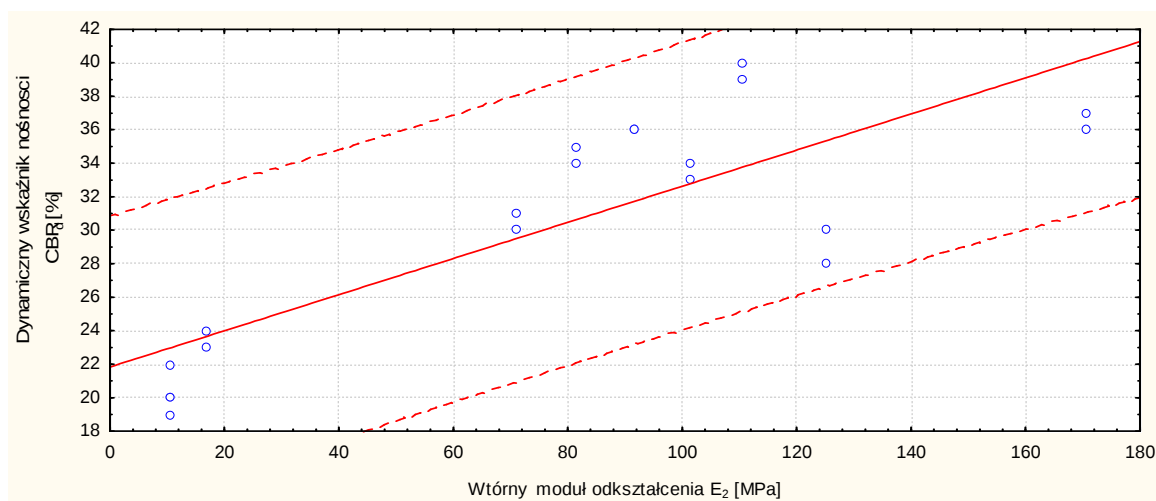


Rysunek 9.21 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "I" i „Ia” – pospółka gliniasta

Dla pospółki gliniastej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 5,67 + 0,269 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,9003$$

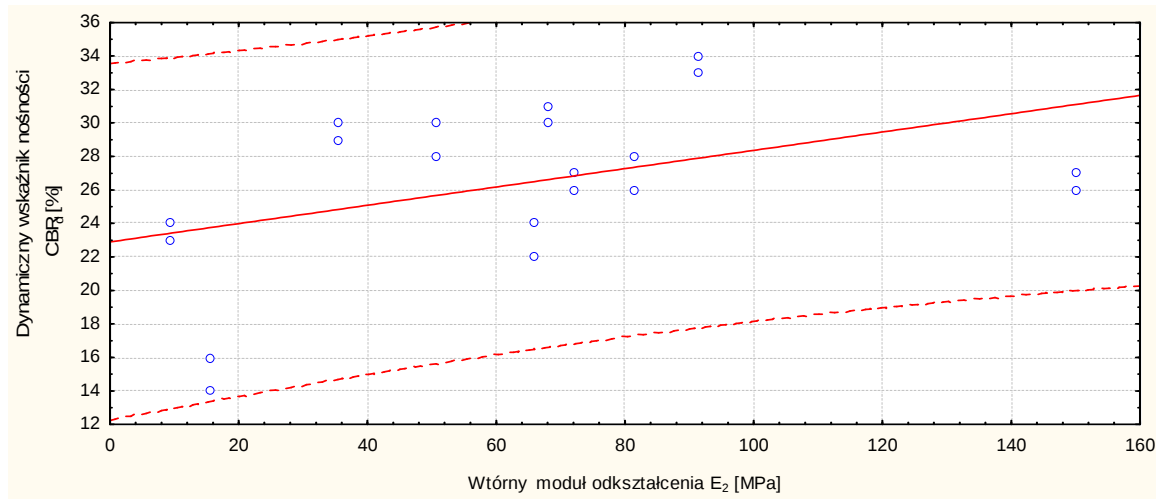


Rysunek 9.22 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "II" i „IIa” – piasek gliniasty

Dla piasku gliniastego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna

$$CBR_d = 21,835 + 0,108 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,6763$$

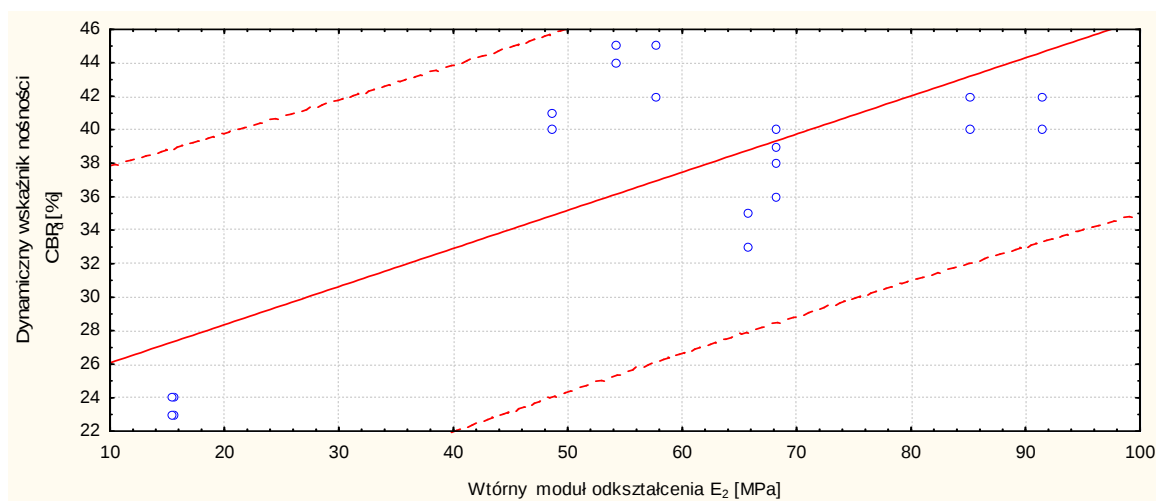


Rysunek 9.23 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "III" i „III” – pył piaszczysty

Dla pyłu piaszczystego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna

$$CBR_d = 22,900 + 0,055 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,1858$$

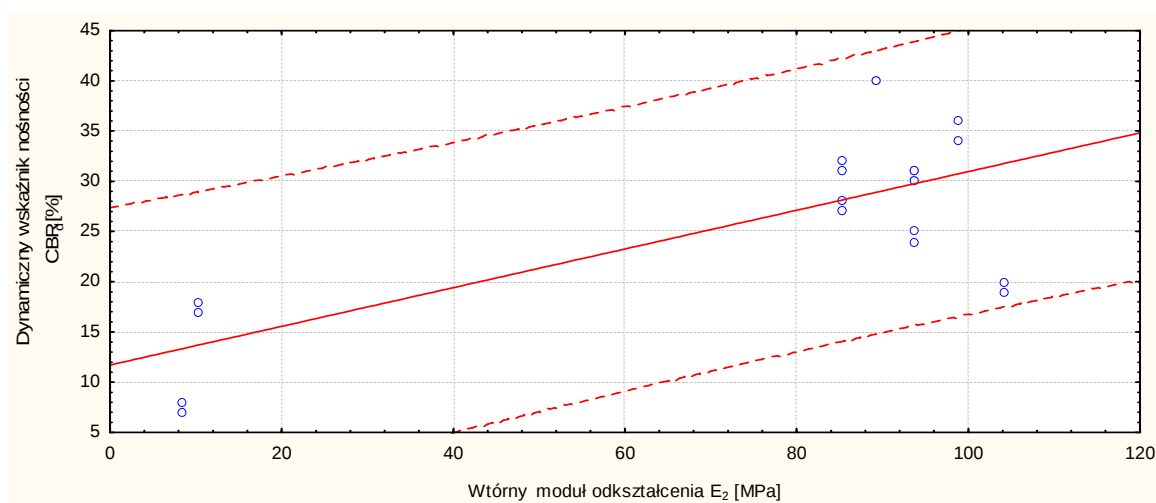


Rysunek 9.24 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "IV" i „IVa” – pył

Dla pyłu dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 23,803 + 0,228 \cdot E_2 \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,5706$$

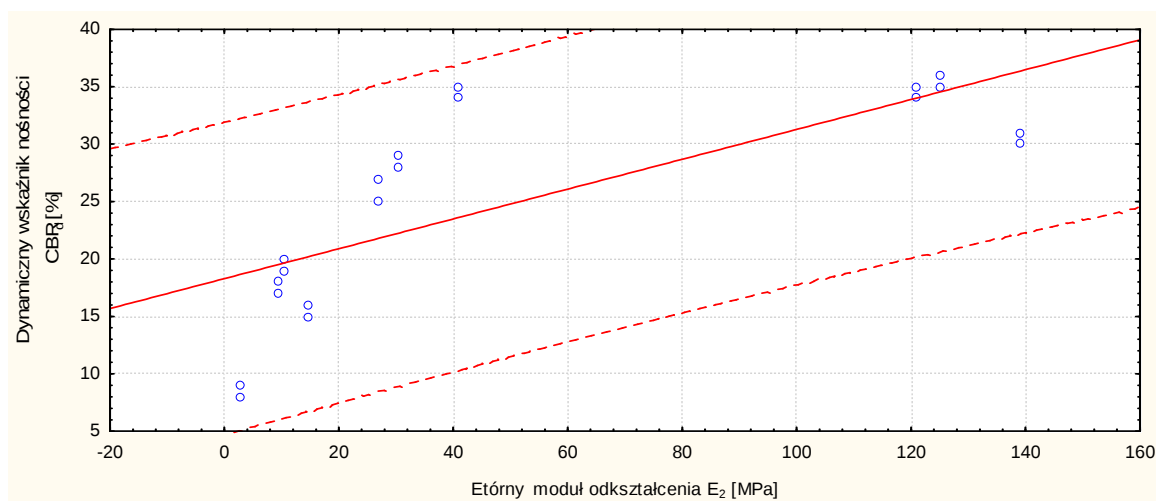


Rysunek 9.25 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "V" i „Va” – glina piaszczysta

Dla gliny piaszczystej wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 11,713 + 0,193 \cdot E_2 \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,5259$$

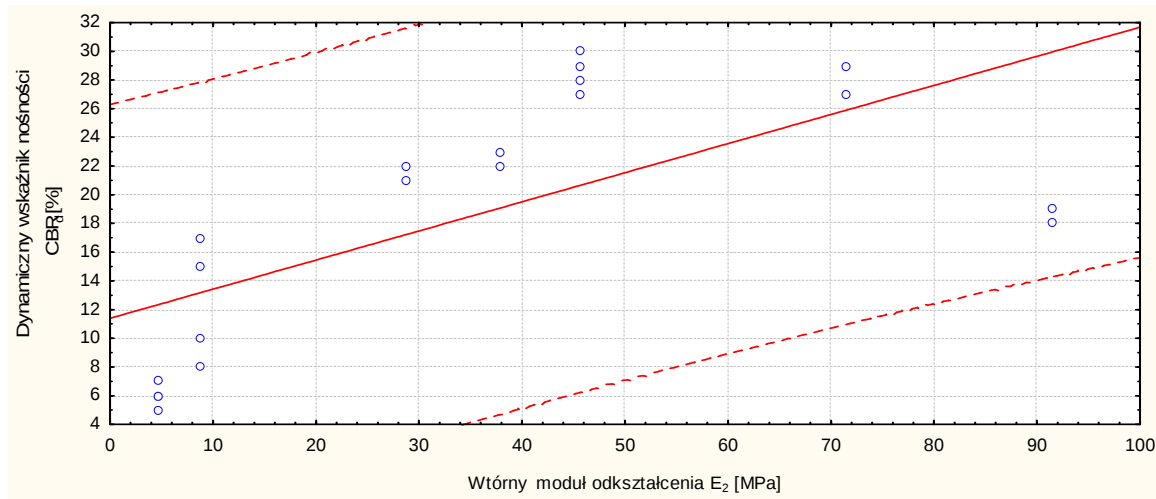


Rysunek 9.26 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "VI" i „Via” – glina

Dla gliny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 18,286 + 0,130 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,4047$$

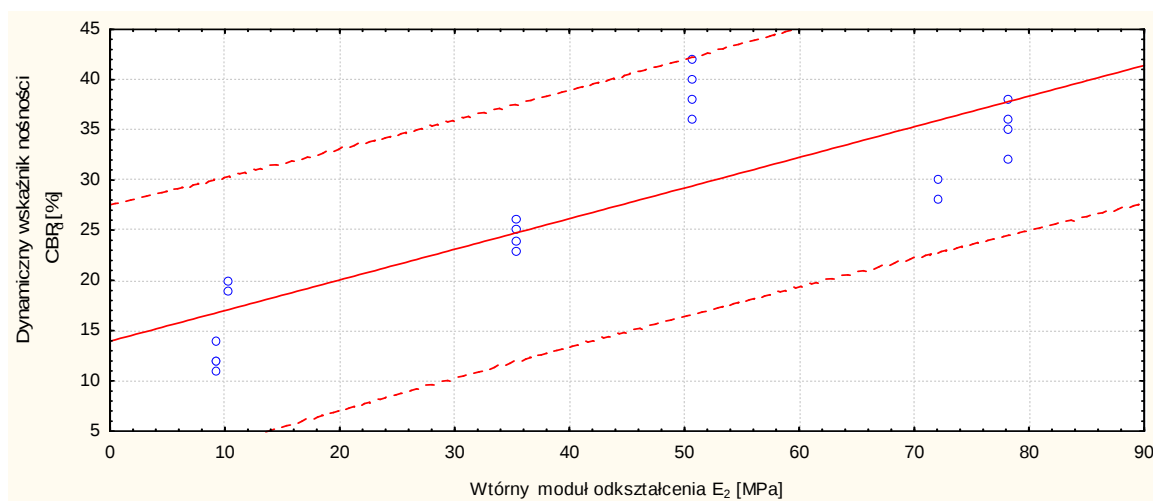


Rysunek 9.27 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "VII" i „VIIa” – glina pylasta

Dla gliny pylastej wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 11,393 + 0,203 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,4511$$

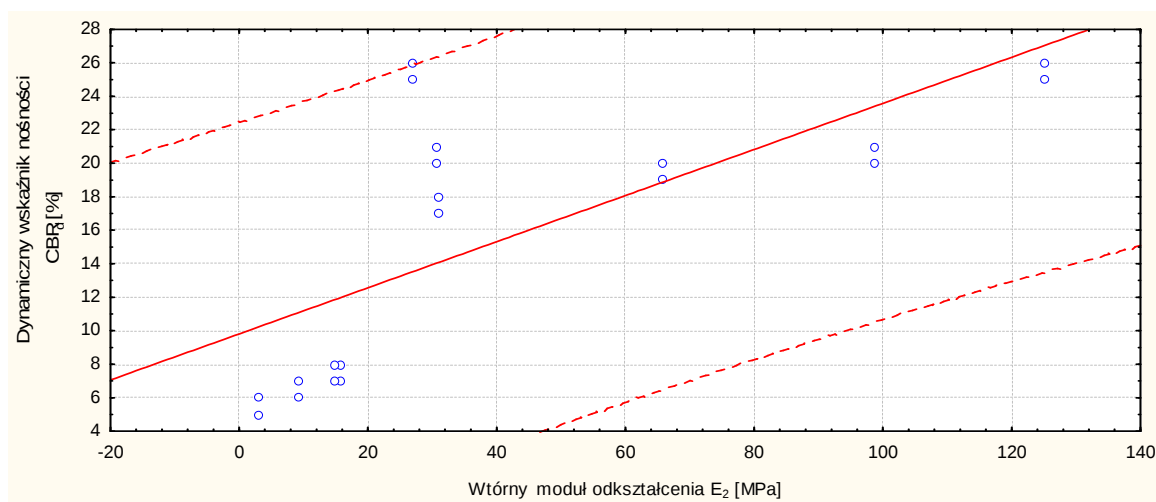


Rysunek 9.28 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E₂ dla gruntu "VIII" i „VIIIa” – glina piaszczysta zwięzła

Dla gliny piaszczystej zwięzłej wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E₂ opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR}_d = 13,957 + 0,305 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,6686$$

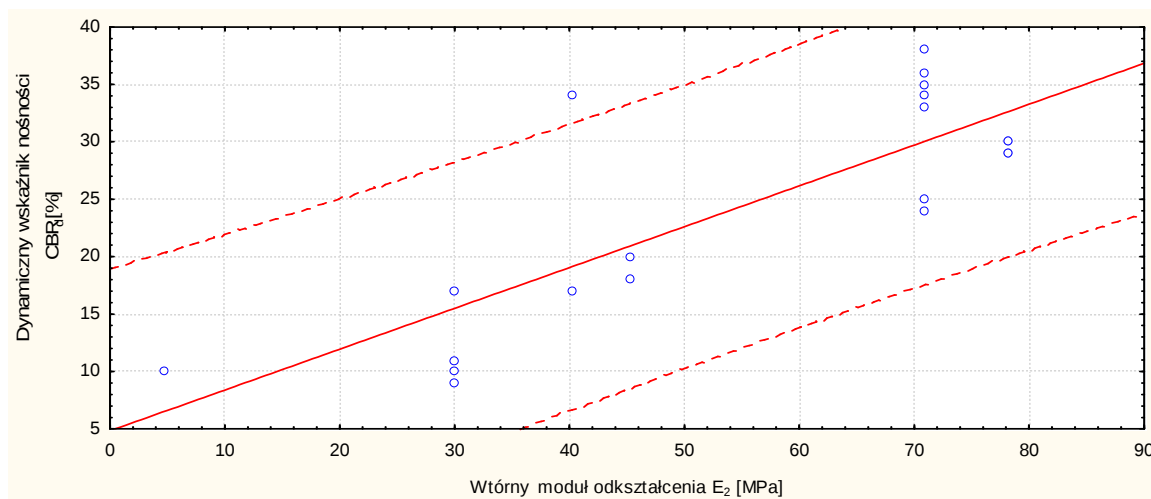


Rysunek 9.29 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E₂ dla gruntu "IX" i „IXa” – glina zwięzła

Dla gliny zwięzłej wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E₂ opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR}_d = 9,812 + 0,136 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,4952$$



Rysunek 9.30 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla gruntu "X" i „Xa” – glina pylasta zwięzła

Dla gliny pylastej zwięzłej wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 4,830 + 0,356 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

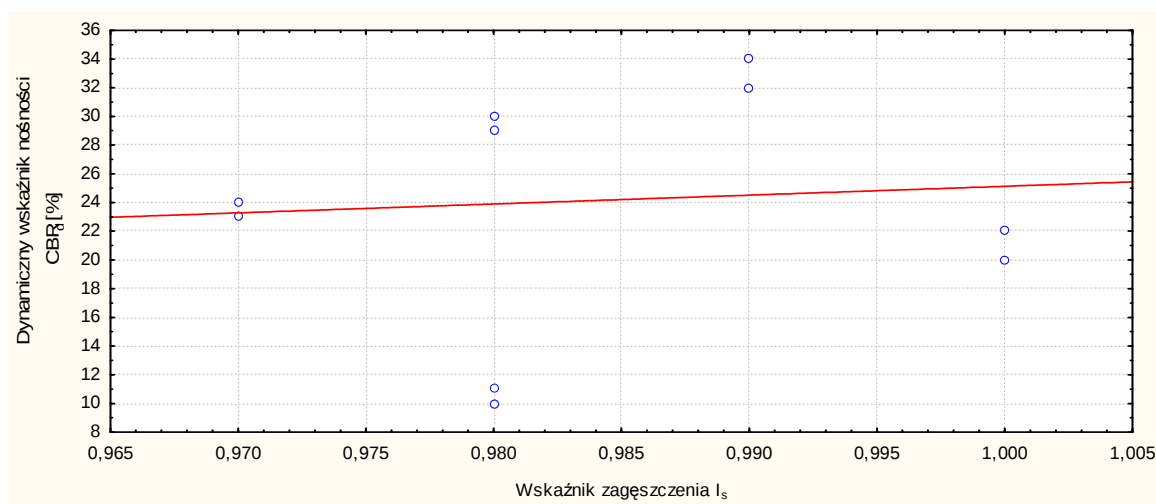
$$R^2 = 0,7081$$

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań urządzenia określającego wartość dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d zależna jest od rodzaju gruntu i wykazuje największą stabilność wskazań w zakresie:

- pospółki gliniaste – 60 – 100 [MPa]
- piaski gliniaste – 40 -120 [MPa]
- pyły piaszczyste – 40 – 100 [MPa]
- pyły – 40 – 90 [MPa]
- gliny piaszczyste – 70 – 100 [MPa]
- gliny – 40 – 120 [MPa]
- gliny pylaste – 30 – 90 [MPa]
- gliny pylaste zwięzłe – 30 – 80 [%]
- gliny zwięzłe – 40 – 100 [MPa]
- gliny pylaste zwięzłe – 30 – 80 [MPa]

9.5. Zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s .

Na poniższych rysunkach (rysunek 9.31 do 9.40) przedstawiono obliczone statystycznie zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla badanych gruntów. Ponadto podano współczynniki korelacji dla poszczególnych zależności.

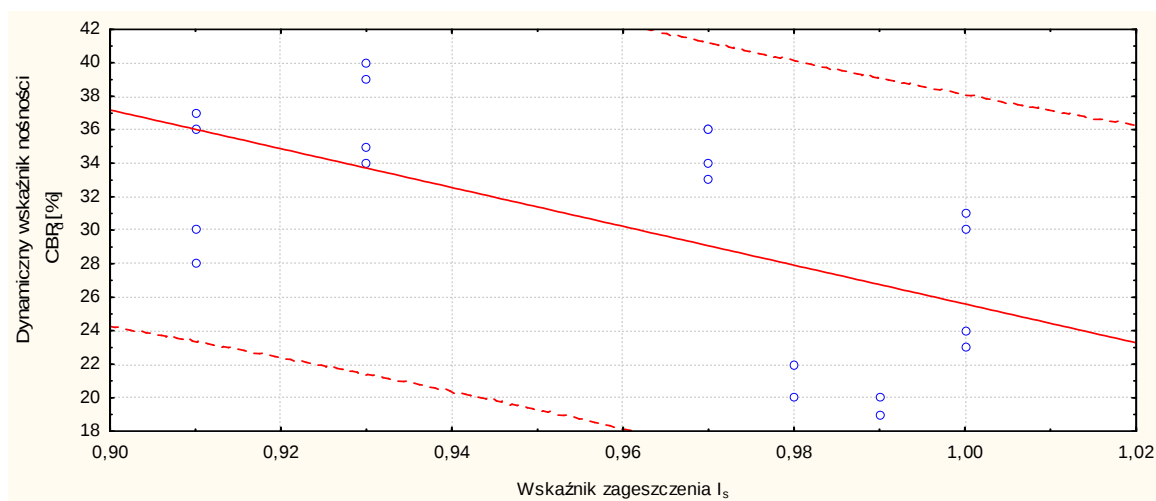


Rysunek 9.31 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "I" i „Ia” – pospółka gliniasta

Dla pospółki gliniastej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = -36,602 + 61,735 \cdot I_s \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,0075$$

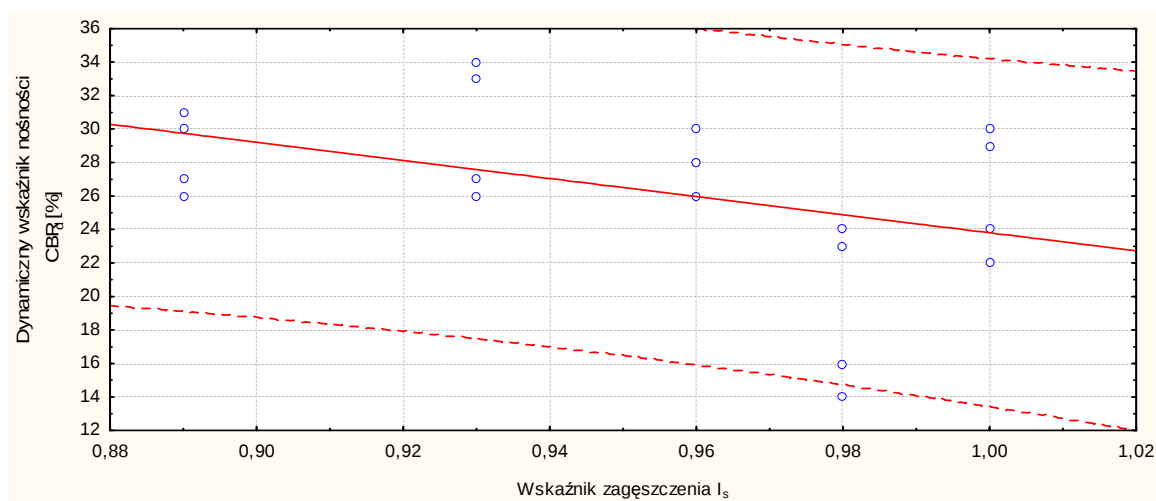


Rysunek 9.32 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "II" i „IIa” – piasek gliniasty

Dla piasku gliniastego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 141,482 - 115,88 \cdot I_s \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,3521$$

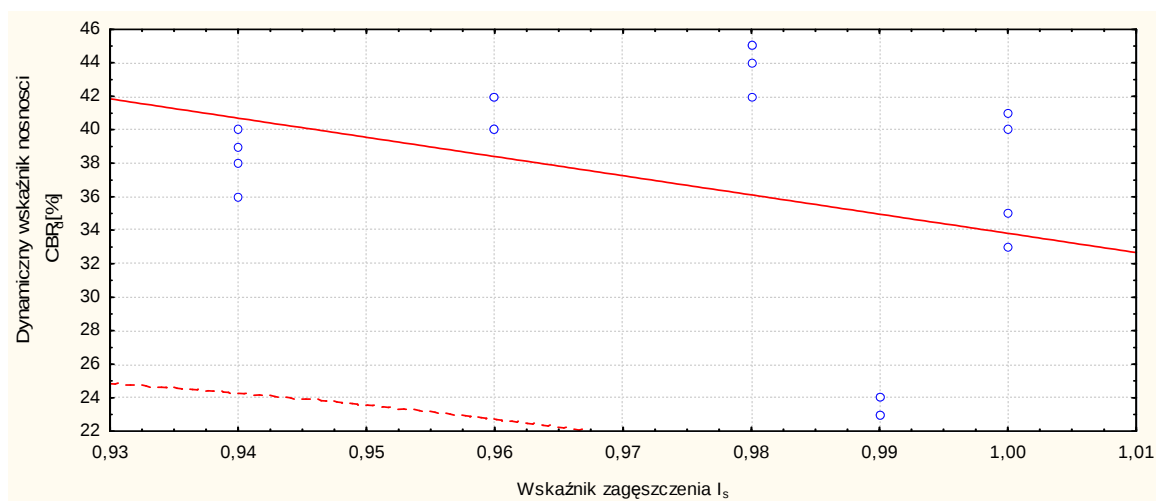


Rysunek 9.33 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "III" i „IIIa” – pył piaszczysty

Dla pyłu piaszczystego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 77,818 - 54,011 \cdot I_s \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,1823$$

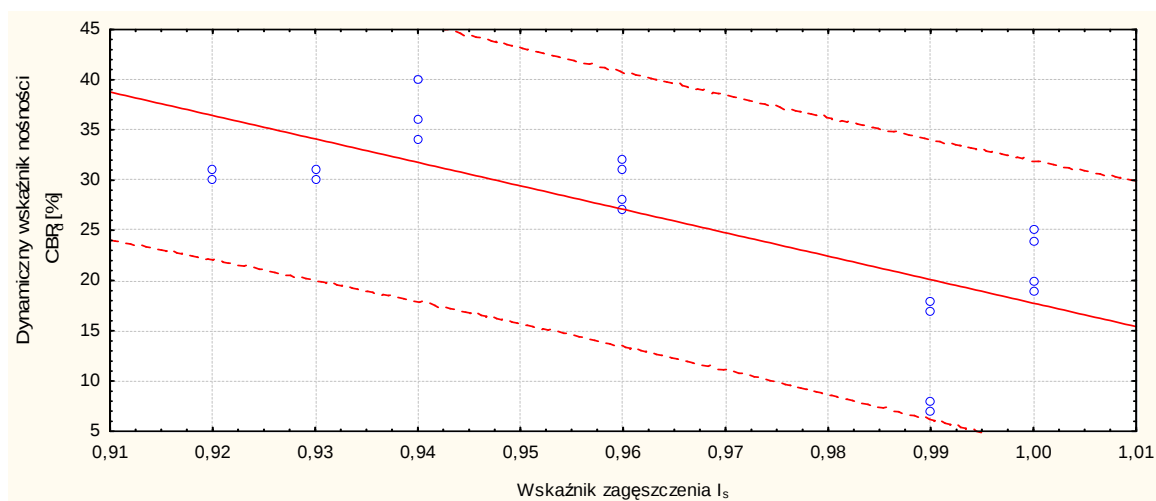


Rysunek 9.34 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "IV" i „IVa” – pył

Dla pyłu dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 148,474 - 114,655 \cdot I_s \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,1152$$

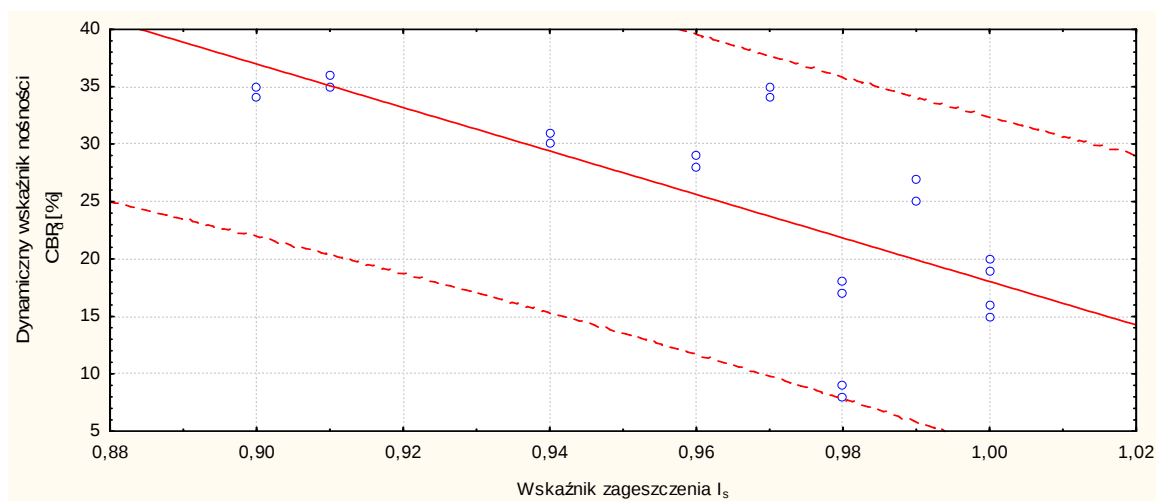


Rysunek 9.35 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "V" i „Va” – glina piaszczysta

Dla gliny piaszczystej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 251,256 - 233,496 \cdot I_s \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,5523$$

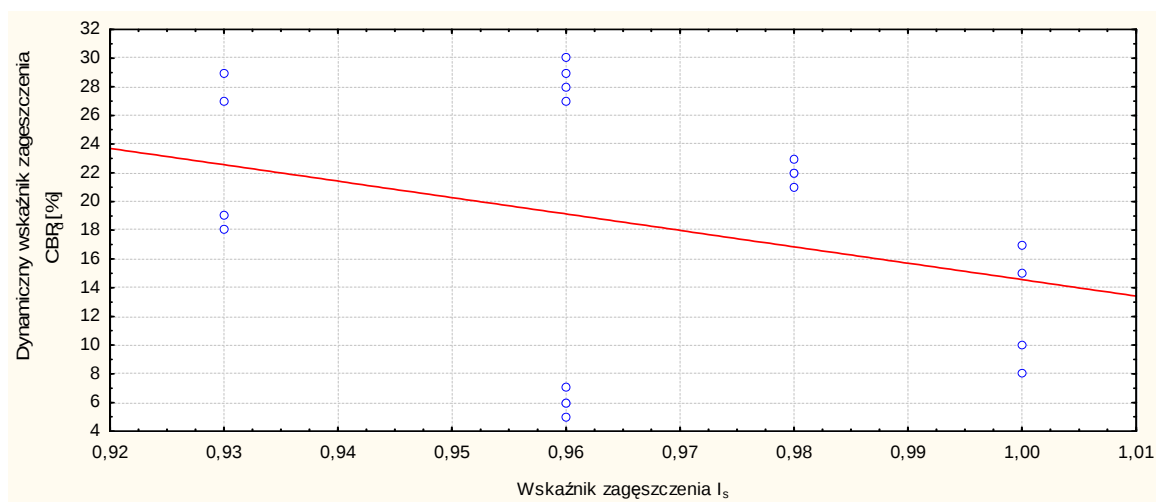


Rysunek 9.36 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "VI" i „VIa” – glina

Dla gliny dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 207,480 - 189,439 \cdot I_s \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,5206$$

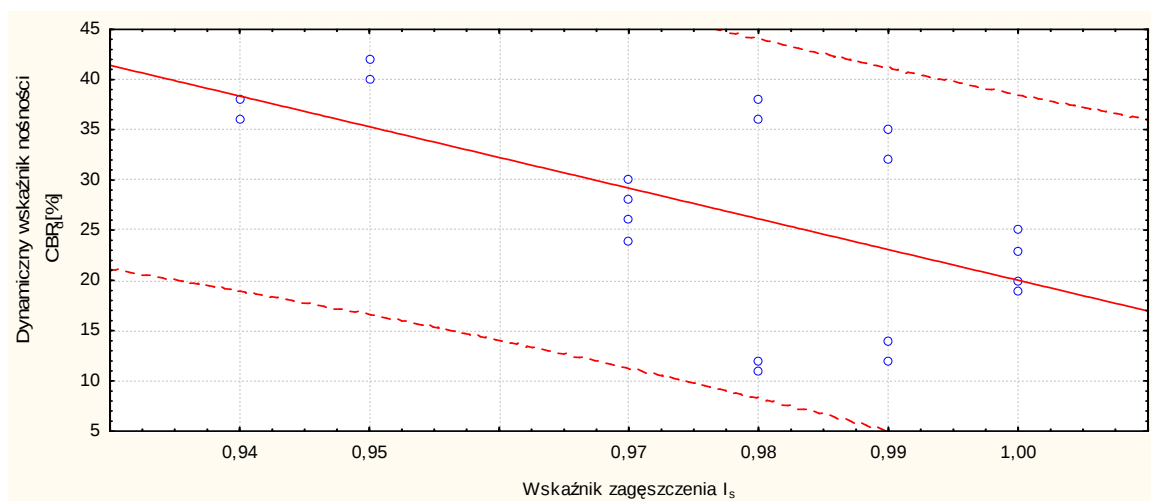


Rysunek 9.37 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "VII" i „VIIa” – glina pylasta

Dla gliny pylastej wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 128,901 - 114,338 \cdot I_s \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,0972$$

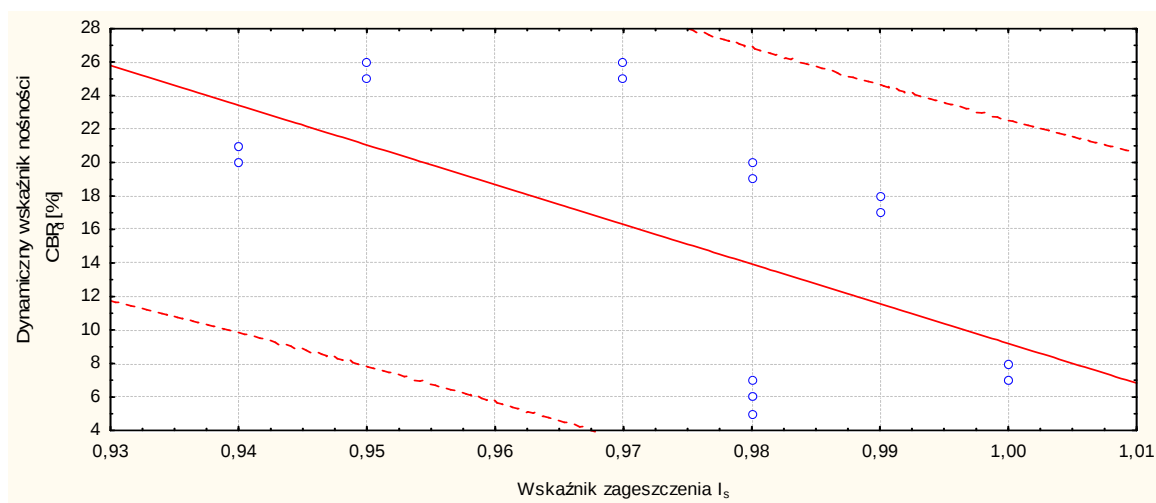


Rysunek 9.38 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "VIII" i „VIIIa” – glina piaszczysta zwięzła

Dla gliny piaszczystej zwięzłej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 325,698 - 305,679 \cdot I_s [\%]$$

$$R^2 = 0,3523$$

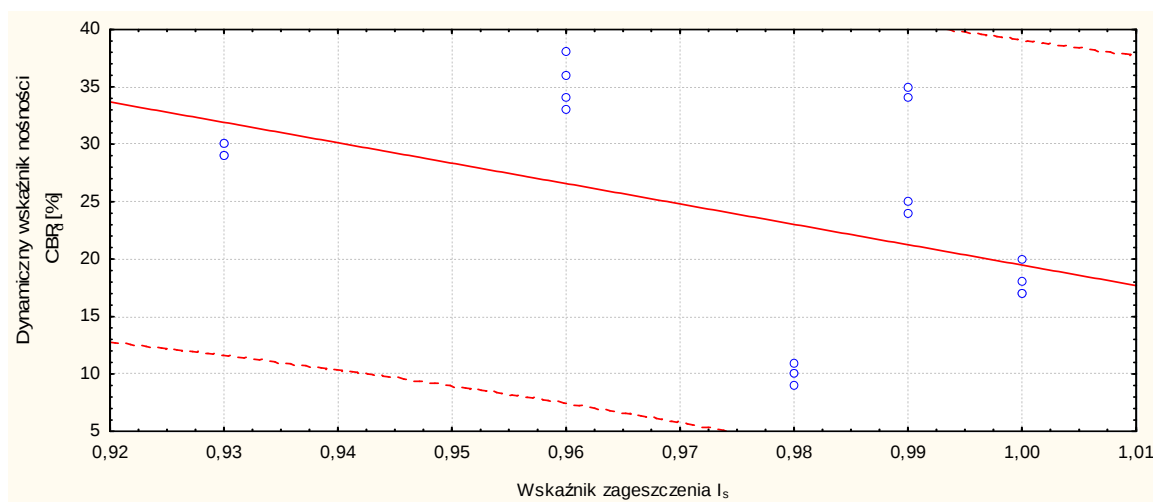


Rysunek 9.39 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "IX" i „IXa” – glina zwięzła

Dla gliny zwięzłej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 246,292 - 237,093 \cdot I_s [\%]$$

$$R^2 = 0,4457$$



Rysunek 9.40 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla gruntu "X" – glina pylasta zwięzła

Dla gliny piaszczystej zwięzłej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 197,075 - 177,597 \cdot I_s \text{ [%]}$$

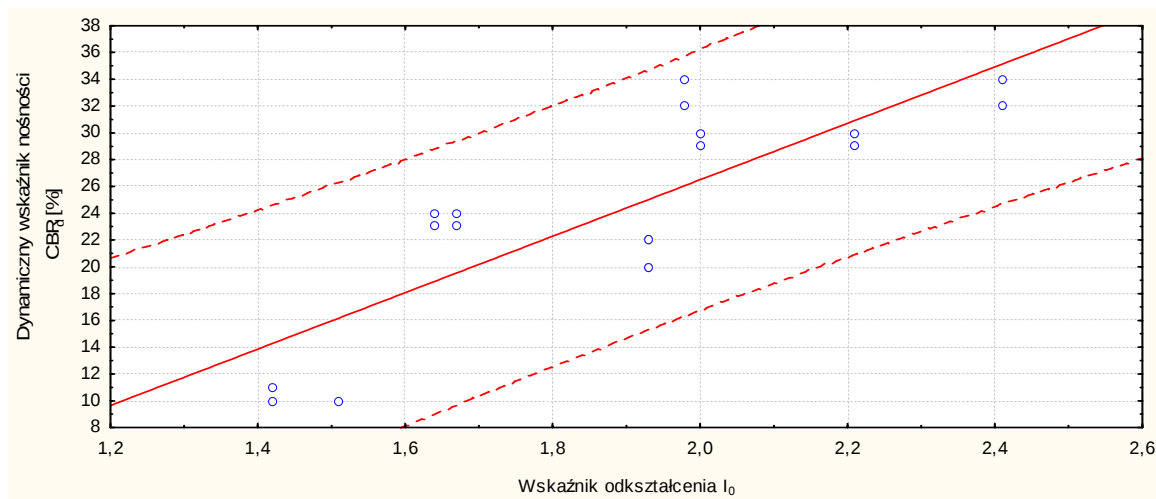
$$R^2 = 0,2162$$

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań urządzenia określającego wartość dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d zależna jest od rodzaju gruntu i wykazuje największą stabilność wskazań w zakresie:

- pospółki gliniaste – 0,97 – 1,00 (brak stabilności wskazań w zakresie I_s od 0,98 do 0,90)
- piaski gliniaste – 0,96 – 1,00
- pyły piaszczyste – 0,90 – 1,00
- pyły – 0,94 – 1,00
- gliny piaszczyste – 0,93 – 1,00
- gliny – 0,92 – 1,00
- gliny pylaste – brak stabilności wskazań I_s w zakresie od 0,93 do 1,00
- gliny pylaste zwięzłe – 0,94 – 1,00
- gliny zwięzłe – 0,94 – 1,00
- gliny pylaste zwięzłe – 0,93 – 1,00

9.6. Zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0 .

Na poniższych rysunkach (rysunek 9.41 do 9.50) przedstawiono obliczone statystycznie zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_0 dla badanych gruntów. Ponadto podano współczynniki korelacji dla poszczególnych zależności.

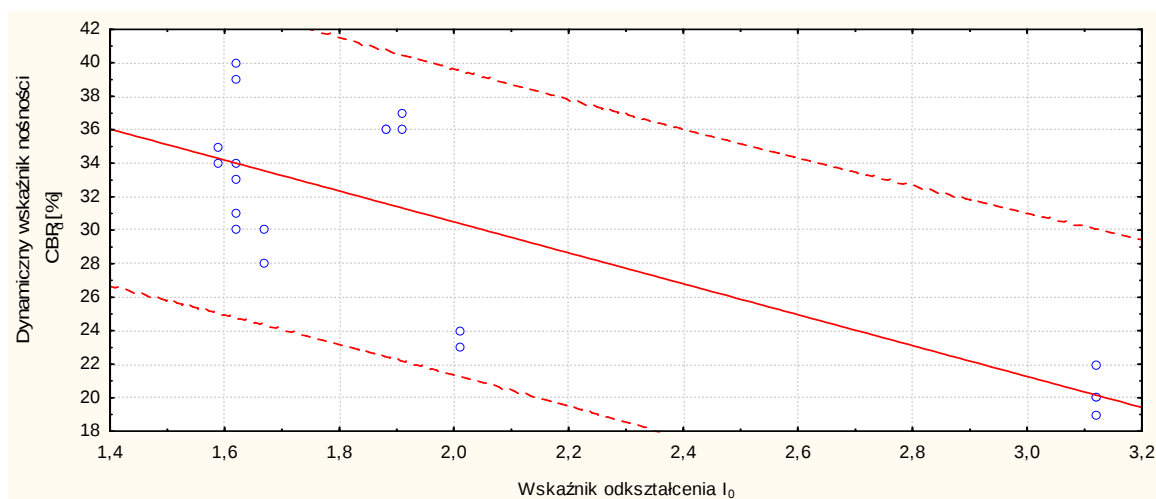


Rysunek 9.41 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0 dla gruntu "I" i „Ia” – pospółka gliniasta

Dla pospółki gliniastej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_0 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = -15,634 + 21,066 \cdot I_0 [\%]$$

$$R^2 = 0,6748$$

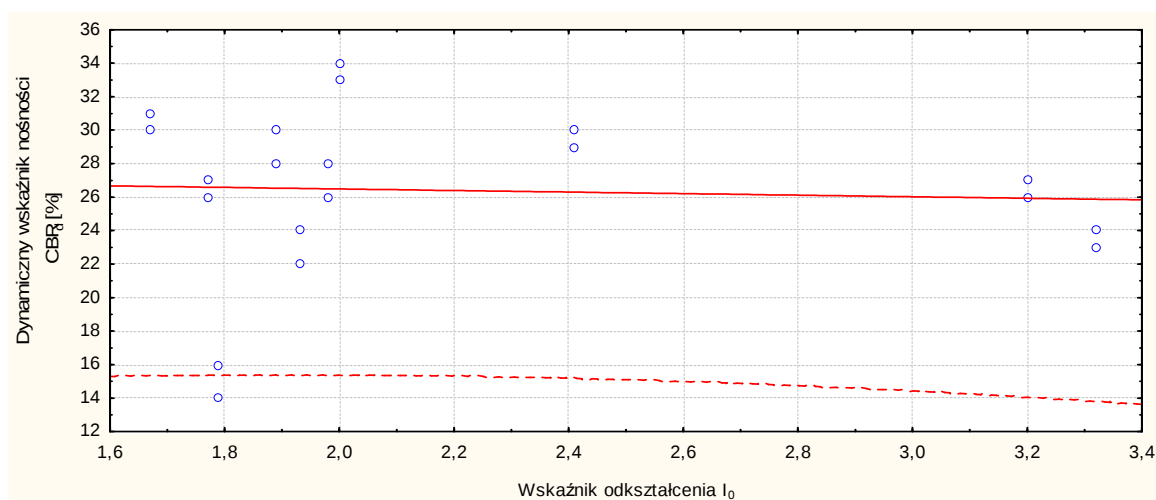


Rysunek 9.42 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0 dla gruntu "II" i „IIa” – piasek gliniasty

Dla piasku gliniastego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_0 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 48,967 - 9,235 \cdot I_0 \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,6302$$

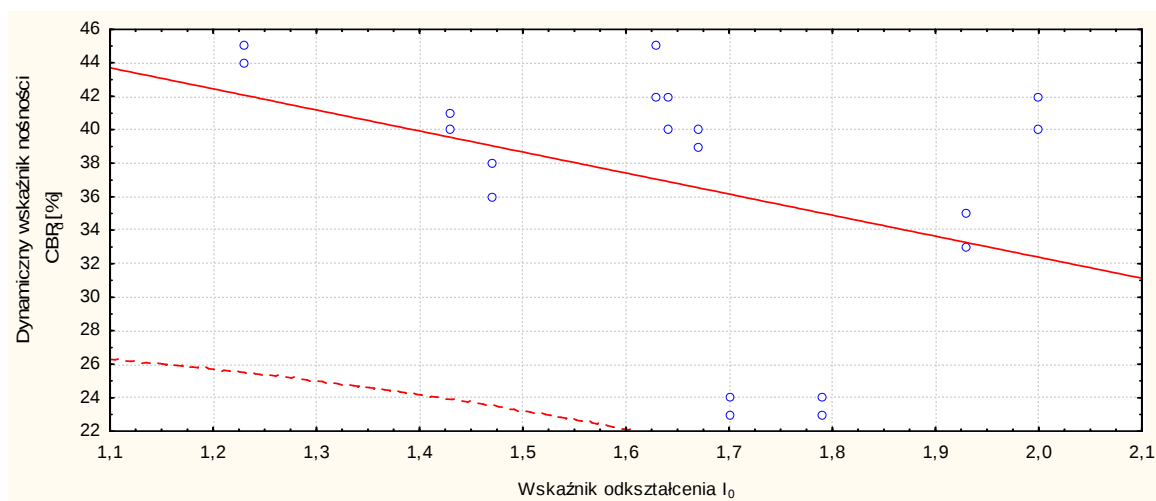


Rysunek 9.43 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0 dla gruntu "III" i „IIIa” – pył piaszczysty

Dla pyłu piaszczystego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_0 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 27,418 - 0,464 \cdot I_0 \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,0029$$

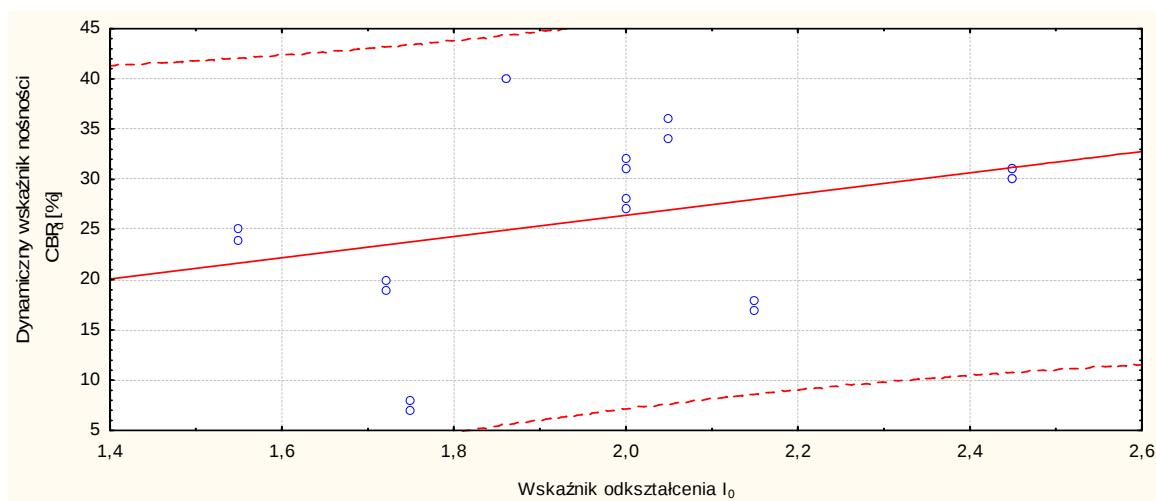


Rysunek 9.44 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_p dla gruntu "IV" i „IVa” – pył

Dla pyłu dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_p opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 57,527 - 12,569 \cdot I_p \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,1435$$

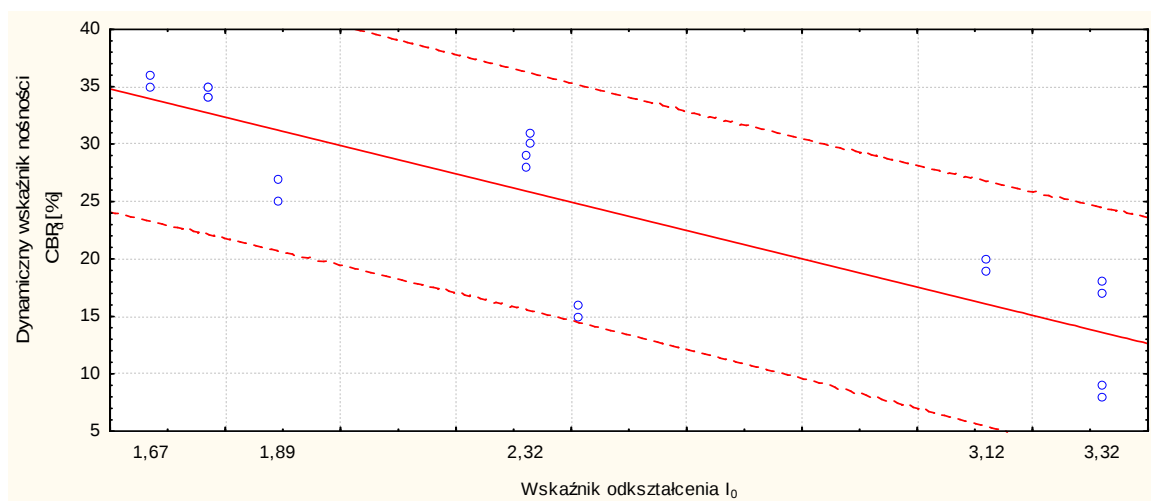


Rysunek 9.45 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_p dla gruntu "V" i „Va” – glina piaszczysta

Dla gliny piaszczystej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_p opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 5,252 + 10,584 \cdot I_p \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,1096$$

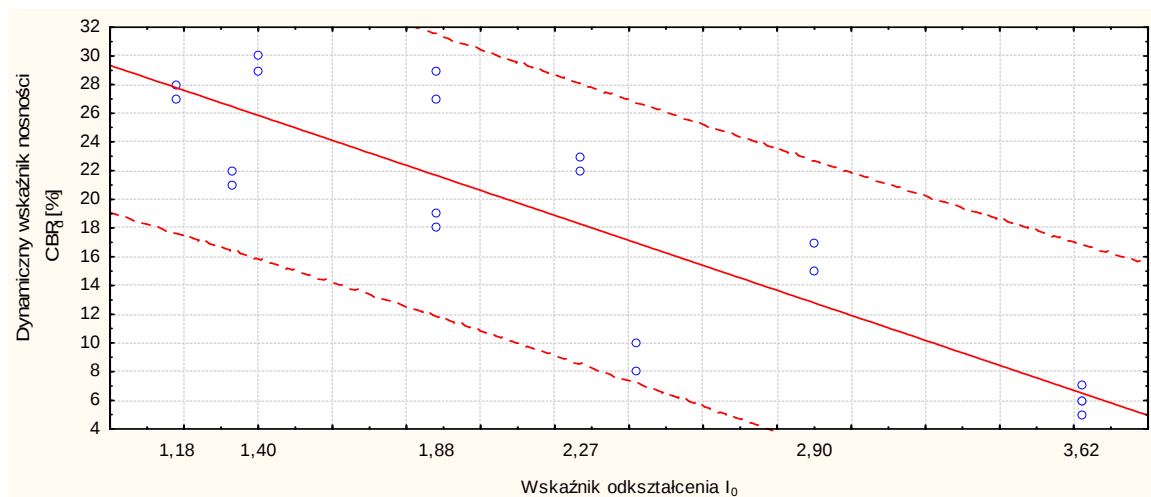


Rysunek 9.46 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_p dla gruntu "VI" i „Via” – glina

Dla gliny dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_p opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 54,530 - 12,325 \cdot I_p \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,7356$$

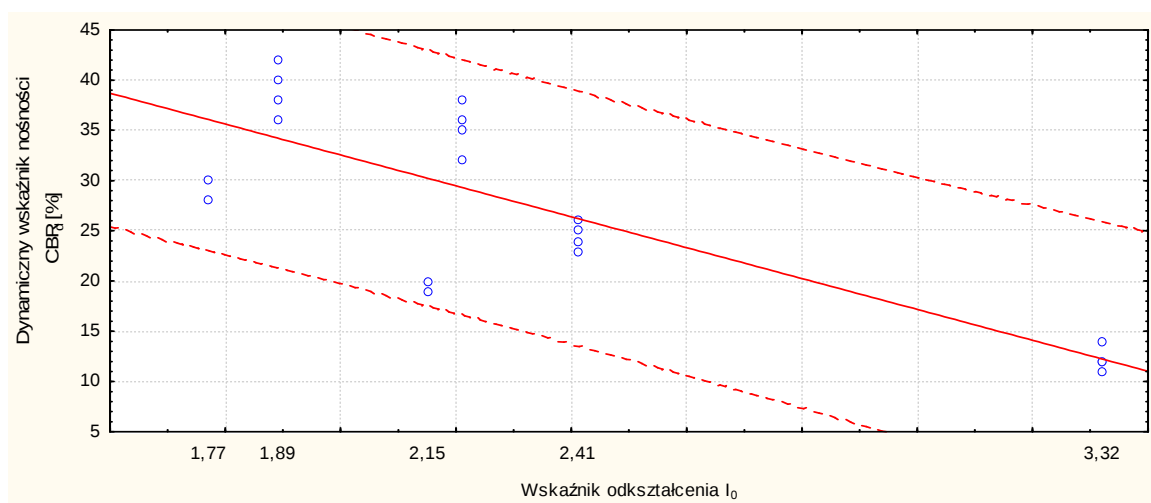


Rysunek 9.47 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_p dla gruntu "VII" i „VIIa” – glina pylasta

Dla gliny pylastej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_p opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 38,051 - 8,712 \cdot I_p \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,7463$$

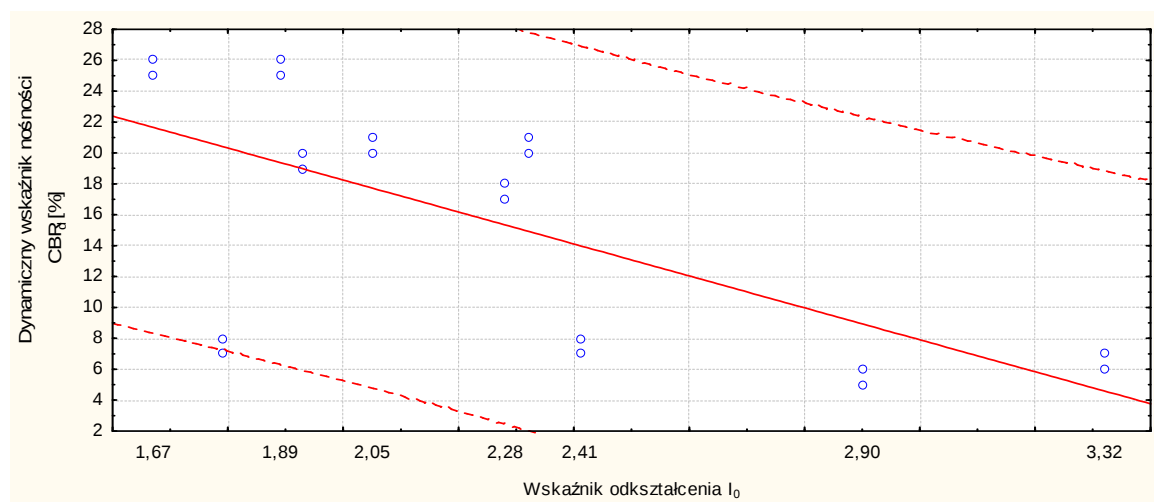


Rysunek 9.48 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0 dla gruntu "VIII" i „VIIIa” – glina piaszczysta zwięzła

Dla gliny piaszczystej zwięzłej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_0 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 63,303 - 15,375 \cdot I_0 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,6733$$

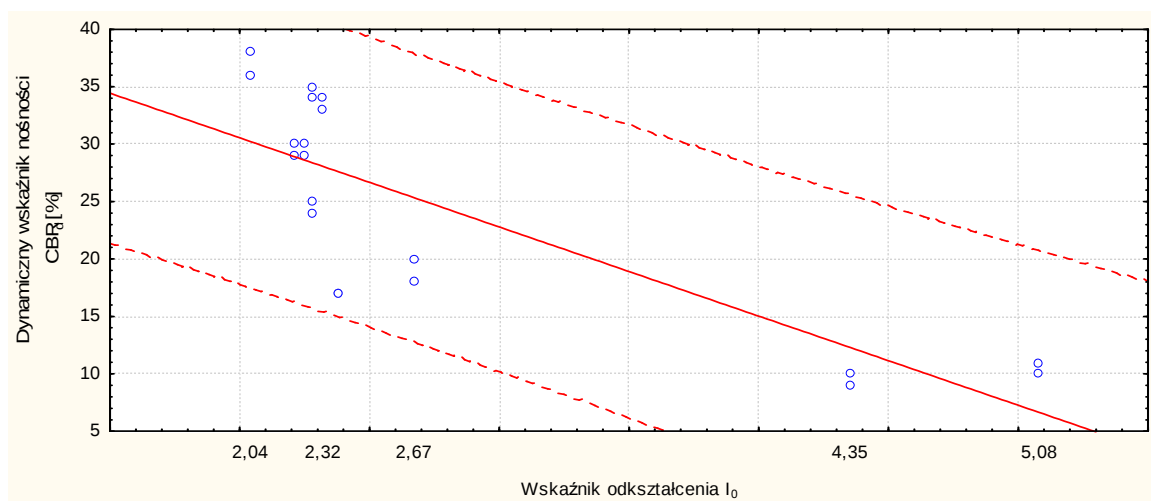


Rysunek 9.49 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0 dla gruntu "IX" i „IXa” – glina zwięzła

Dla gliny zwięzłej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_0 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 38,926 - 10,340 \cdot I_0 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,4447$$



Rysunek 9.50 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_p dla gruntu "X" i „Xa” – glina pylasta zwięzła

Dla gliny pylastej zwięzłej dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_p opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 46,083 - 7,765 \cdot I_p \text{ [%]}$$

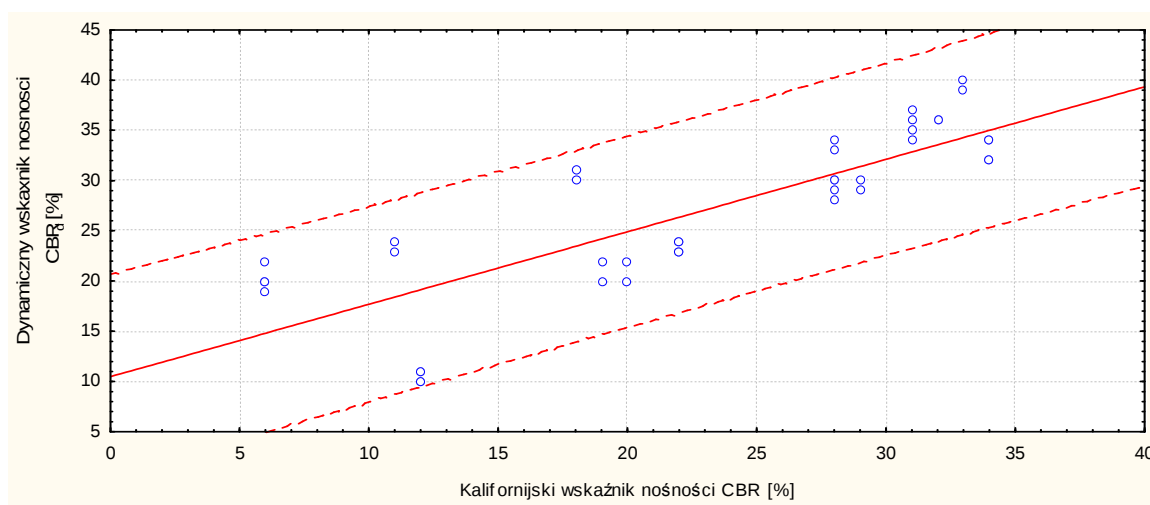
$$R^2 = 0,6571$$

Analiza uzyskanych wyników wskazuje, iż stabilność wskazań urządzenia określającego wartość dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d zależna jest od rodzaju gruntu i wykazuje największą stabilność wskazań w zakresie:

- pospółki gliniaste – 1,4 – 2,4
- piaski gliniaste – 1,6 – 2,00
- pyły piaszczyste – 1,8 – 2,4
- pyły – 1,4 – 1,6
- gliny piaszczyste – 1,6 – 2,4
- gliny – 1,7 – 3,2
- gliny pylaste – 1,2 – 3,6
- gliny pylaste zwięzłe – 1,8 – 3,00
- gliny zwięzłe – 1,9 – 3,00
- gliny pylaste zwięzłe – 2,0 – 4,00

9.7 Zgrupowane zależności korelacyjne dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego

Na poniższych rysunkach (rysunek 9.51 do 9.55) przedstawiono obliczone statystycznie zgrupowane zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR, wtórnego modułu odkształcenia E_2 , wskaźnika zagęszczenia I_s , wskaźnika odkształcenia I_0 oraz kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu nośności E_2 dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego. Ponadto podano współczynniki korelacji dla poszczególnych zależności.

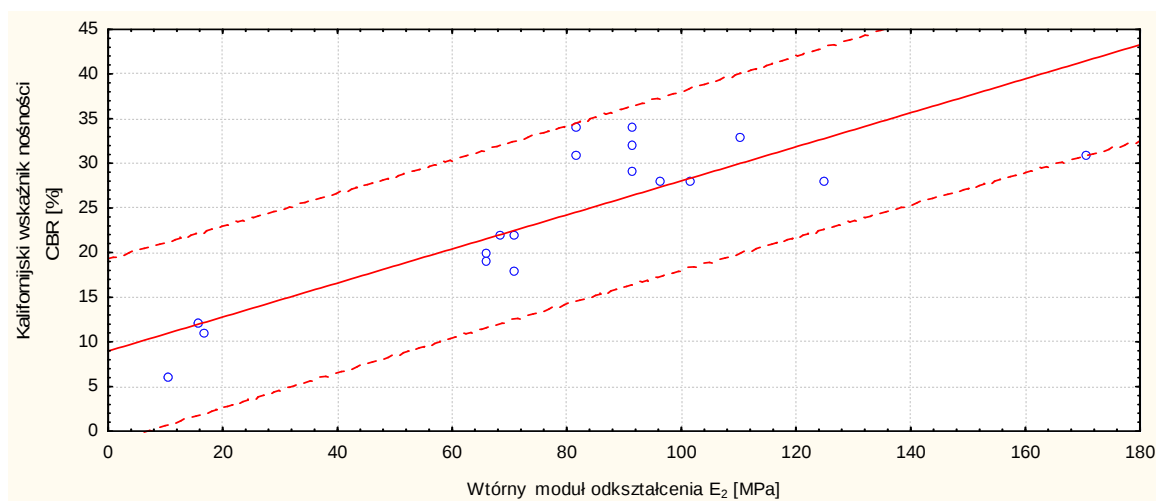


Rysunek 9.51 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego

Dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 10,480 + 0,721 \cdot CBR [\%]$$

$$R^2 = 0,6809$$

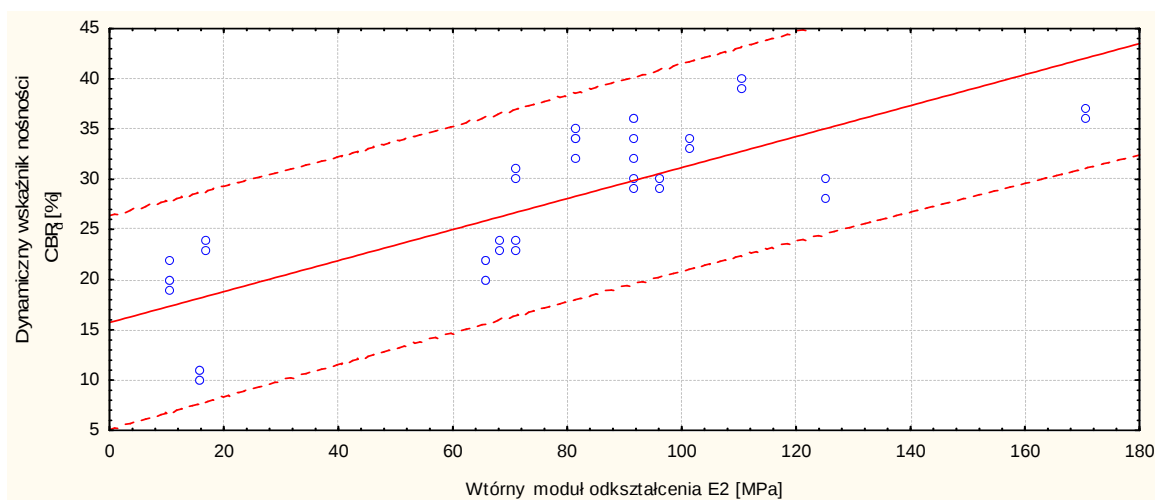


Rysunek 9.52 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego

Dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 8,971 + 0,191 \cdot E_2 [\%]$$

$$R^2 = 0,7317$$

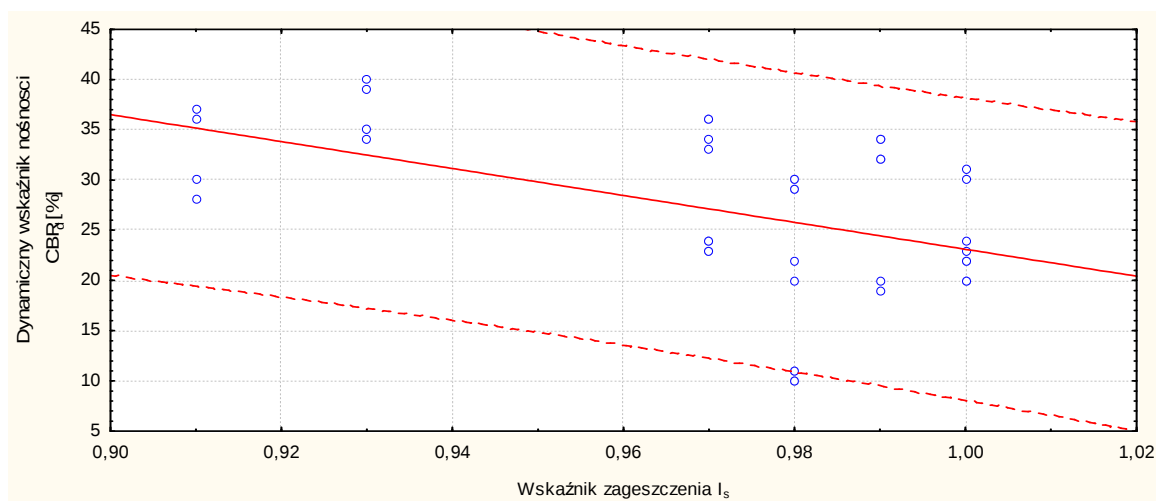


Rysunek 9.53 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego

Dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR}_d = 15,7298 + 0,1543 \cdot E_2 [\%]$$

$$R^2 = 0,6277$$

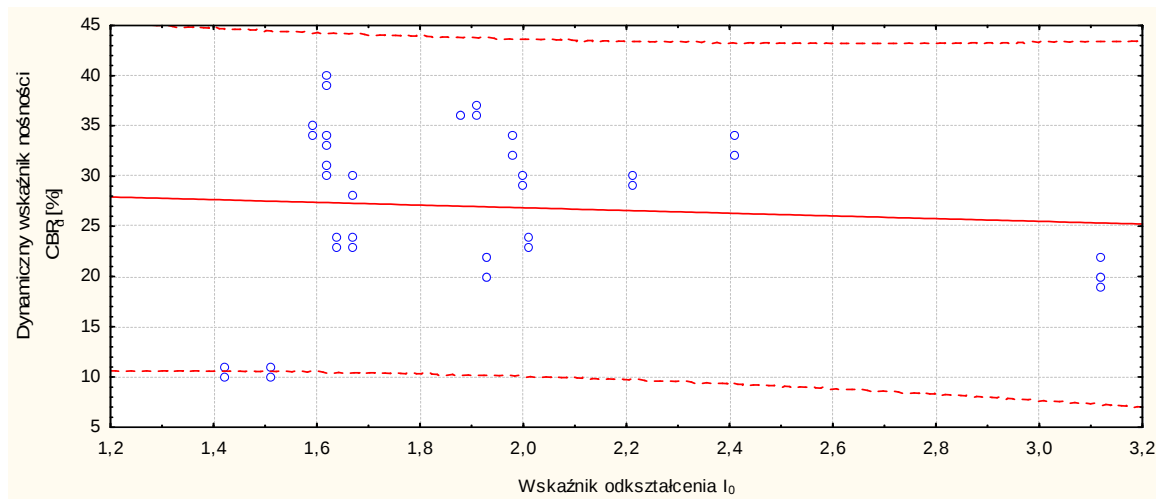


Rysunek 9.54 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego

Dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 157,109 - 133,999 \cdot I_s \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,2194$$



Rysunek 9.55 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0 dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego

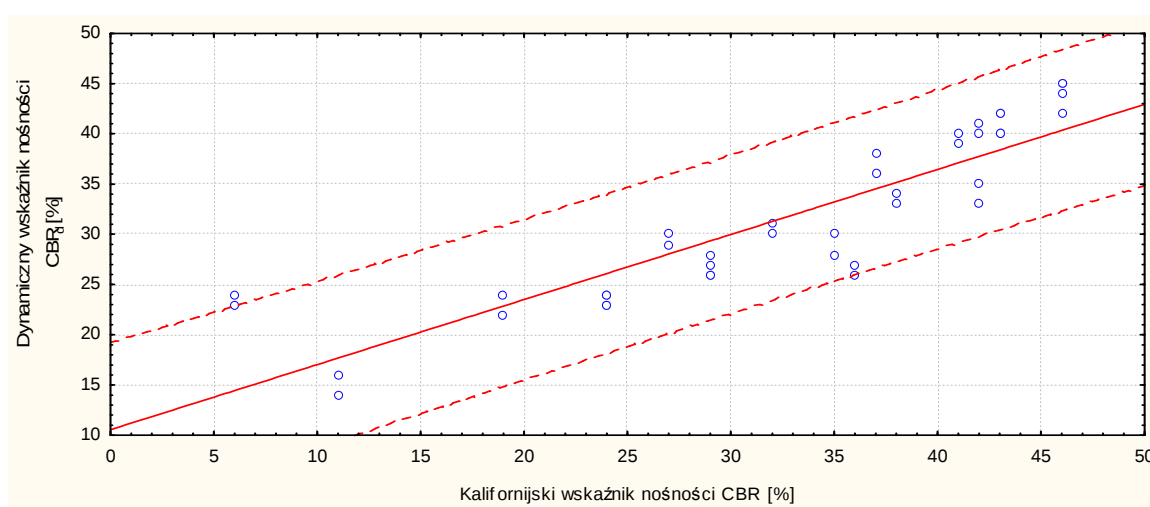
Dla pospółki gliniastej i piasku gliniastego dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_0 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 29,547 - 1,349 \cdot I_0 \quad [\%]$$

$$R^2 = 0,0060$$

9.8 Zgrupowane zależności korelacyjne dla pyłów piaszczystych i pyłów.

Na poniższych rysunkach (rysunek 9.56 do 9.60) przedstawiono obliczone statystycznie zgrupowane zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR, wtórnego modułu odkształcenia E_2 , wskaźnika zagęszczenia I_s , wskaźnika odkształcenia I_0 oraz kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu nośności E_2 dla pyłu piaszczystego i pyłu. Ponadto podano współczynniki korelacji dla poszczególnych zależności.

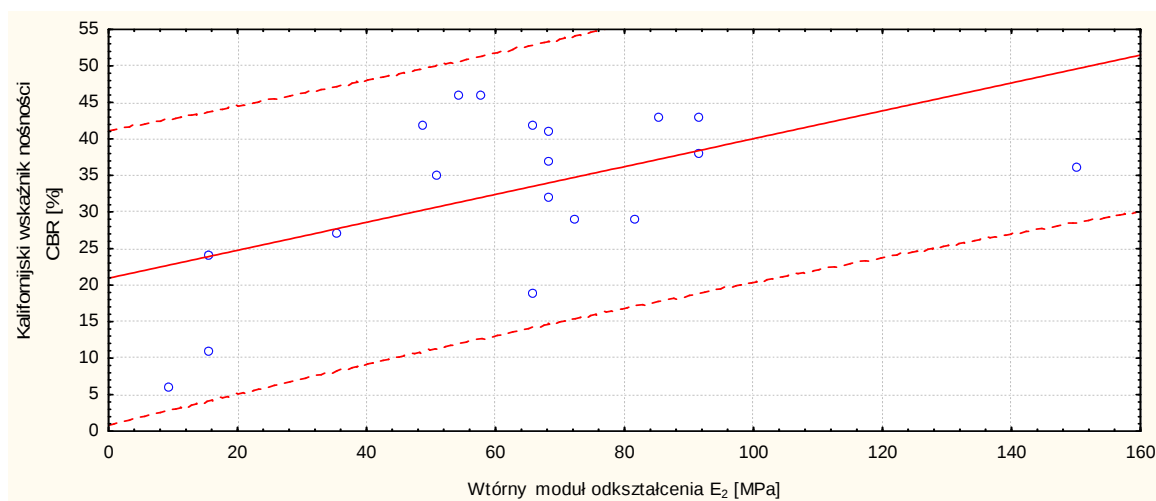


Rysunek 9.56 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla pyłu piaszczystego i pyłu

Dla pyłu piaszczystego i pyłu dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 10,554 + 0,648 \cdot CBR \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,7854$$

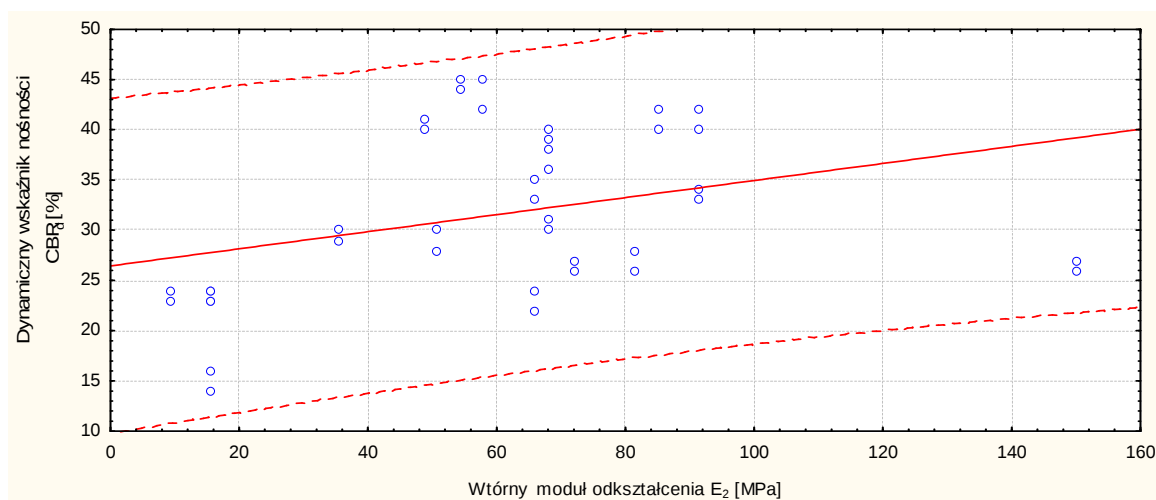


Rysunek 9.57 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla pyłu piaszczystego i pyłu

Dla pyłu piaszczystego i pyłu kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 20,949 + 0,191 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,3108$$

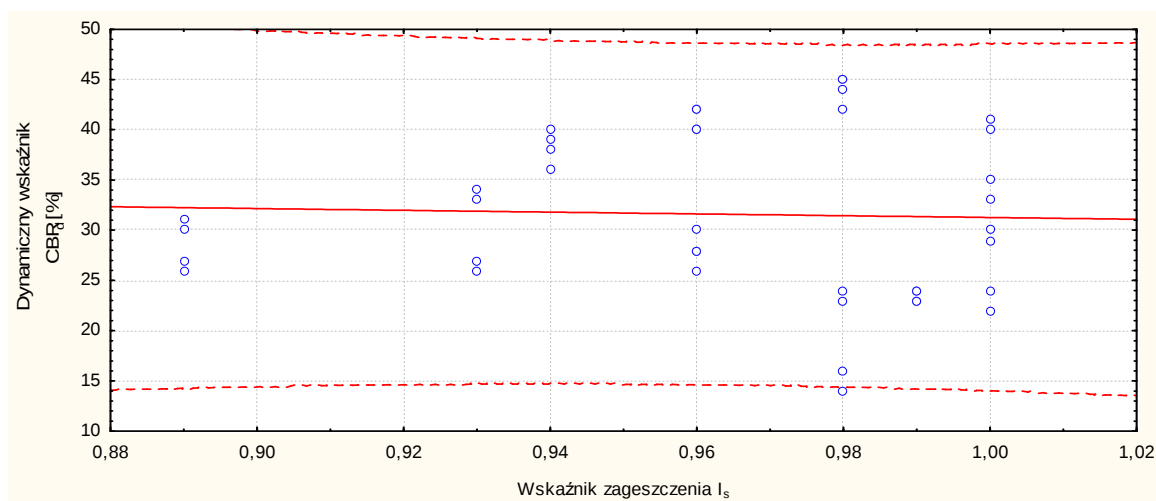


Rysunek 9.58 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla pyłu piaszczystego i pyłu

Dla pyłu piaszczystego i pyłu dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu odkształcenia E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR}_d = 26,456 + 0,085 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,1154$$

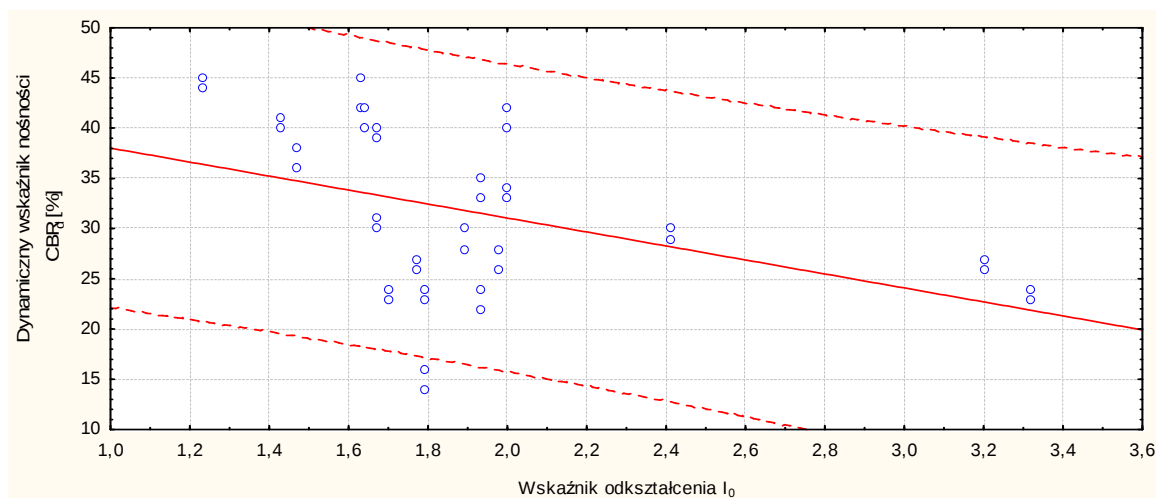


Rysunek 9.59 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla pyłu piaszczystego i pyłu

Dla pyłu piaszczystego i pyłu dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 40,172 - 8,90 \cdot I_s \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,0013$$



Rysunek 9.60 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0 dla pyłu piaszczystego i pyłu

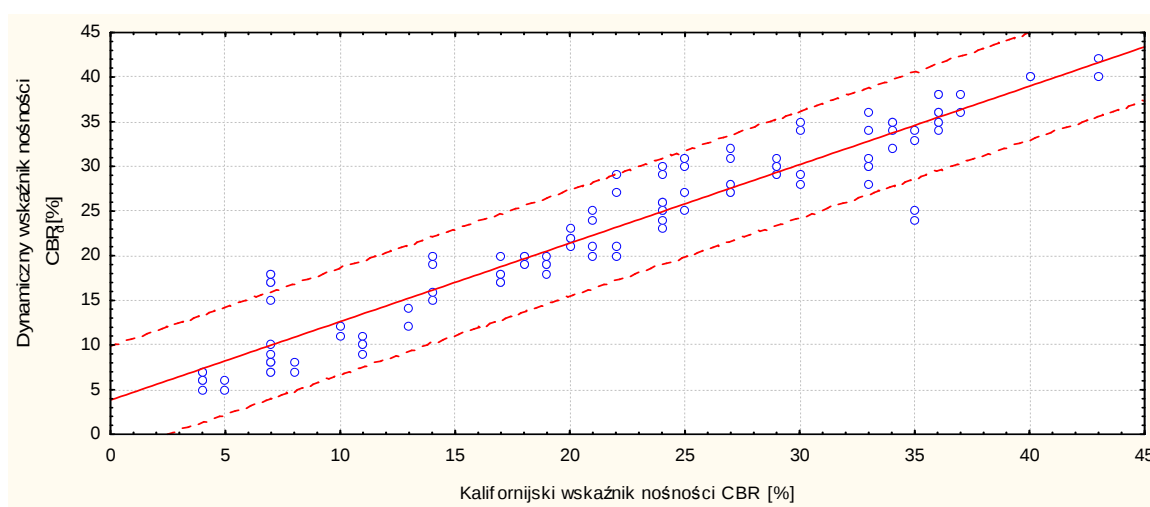
Dla pyłu piaszczystego i pyłu dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 44,984 - 6,962 \cdot I_0 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,1912$$

9.9 Zgrupowane zależności korelacyjne dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych.

Na poniższych rysunkach (rysunek 9.51 do 9.65) przedstawiono obliczone statystycznie zgrupowane zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR, wtórnego modułu odkształcenia E_2 , wskaźnika zagęszczenia I_s , wskaźnika odkształcenia I_0 oraz kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu nośności E_2 dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych. Ponadto podano współczynniki korelacji dla poszczególnych zależności.

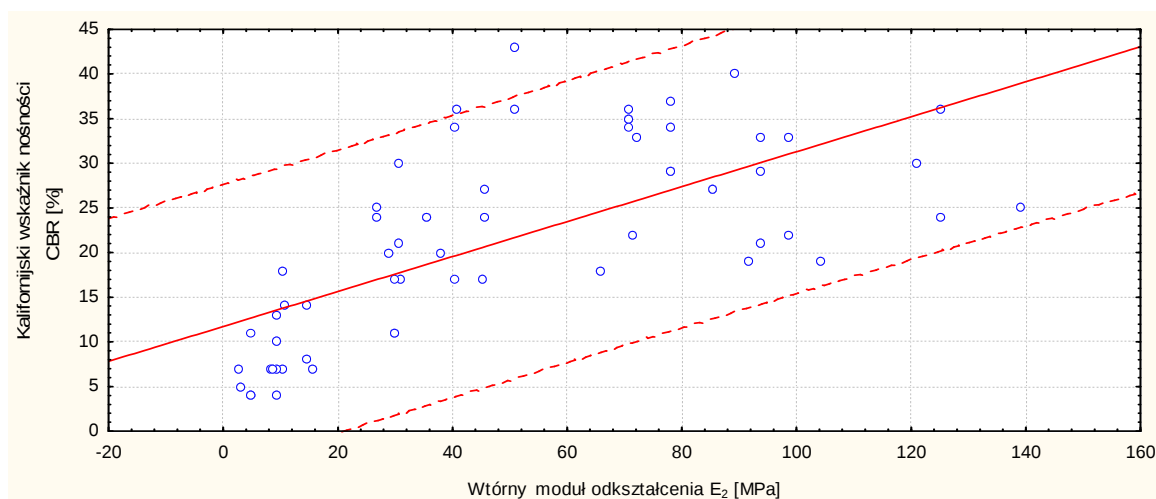


Rysunek 9.61 Zależność dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych

Dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 3,833 + 0,879 \cdot CBR [\%]$$

$$R^2 = 0,9101$$

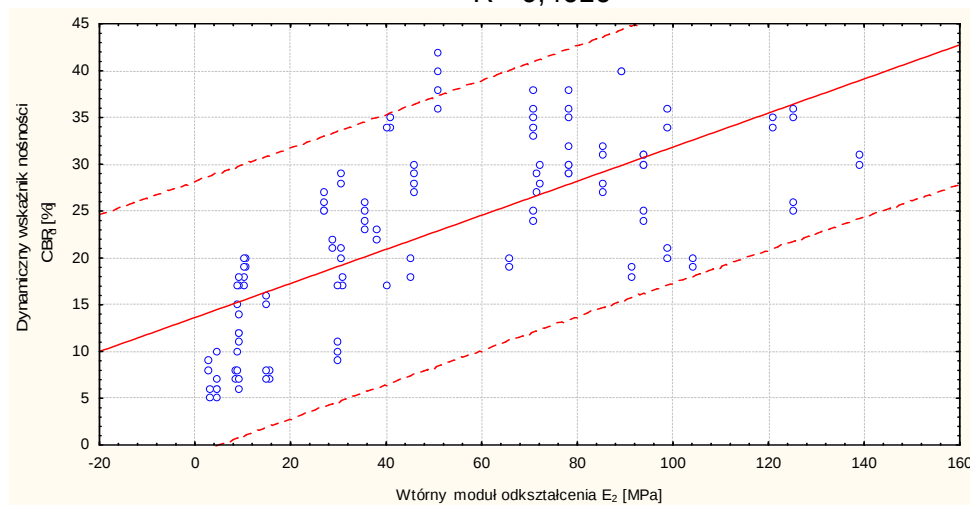


Rysunek 9.62 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych

Dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych kalifornijski wskaźnik nośności CBR w zależności od wtórnego modułu nośności E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR} = 11,724 + 0,196 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,4616$$

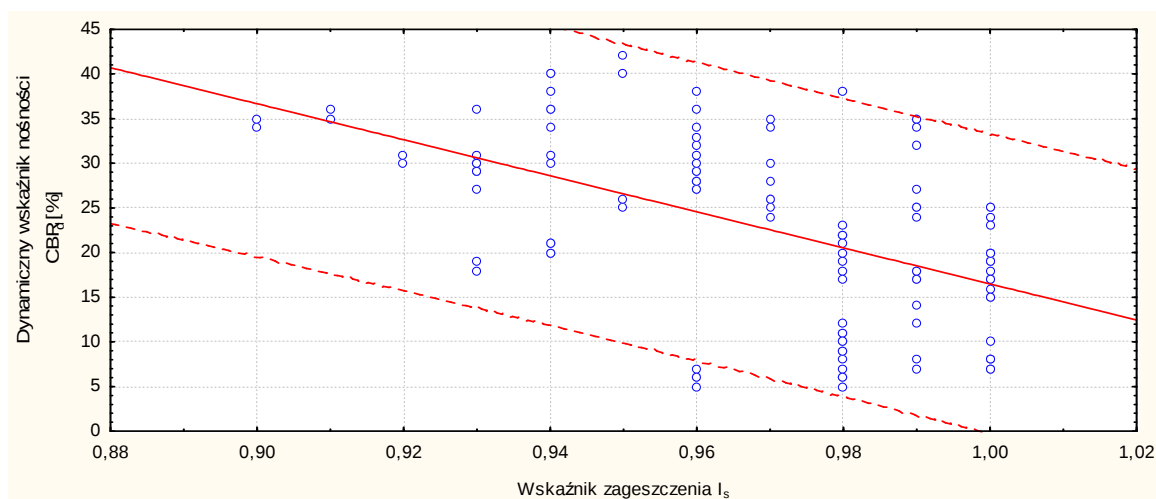


Rysunek 9.63 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR_d od wtórnego modułu odkształcenia E_2 dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych

Dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wtórnego modułu nośności E_2 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$\text{CBR}_d = 13,634 + 0,182 \cdot E_2 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,4702$$

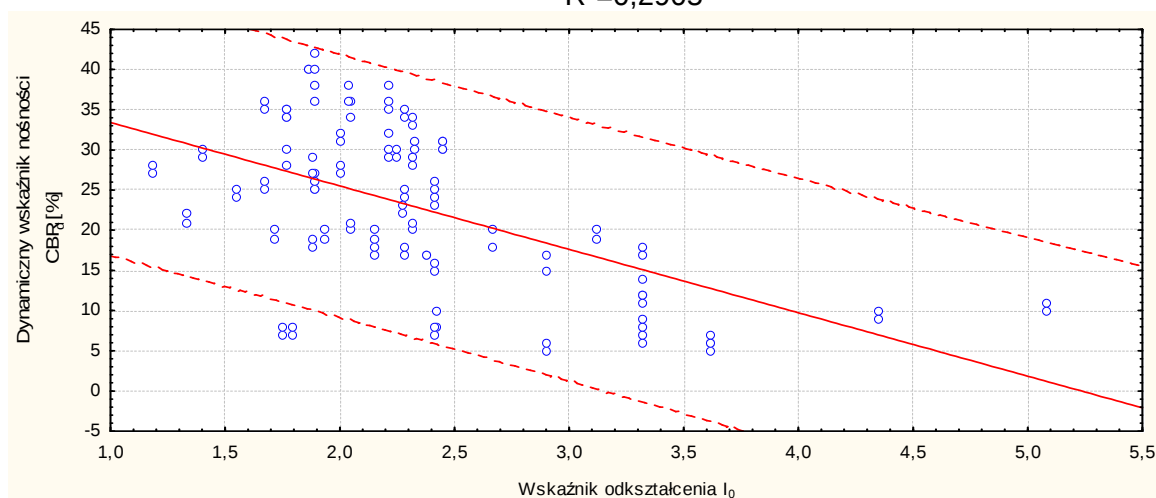


Rysunek 9.64 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika zagęszczenia I_s dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych

Dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika zagęszczenia I_s opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 218,246 - 201,751 \cdot I_s \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,2905$$



Rysunek 9.65 Zależność kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR_d od wskaźnika odkształcenia I_0 dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych

Dla glin piaszczystych, glin, glin pylastych, glin piaszczystych zwięzłych, glin zwięzłych i glin pylastych zwięzłych dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od wskaźnika odkształcenia I_0 opisuje następująca zależność matematyczna:

$$CBR_d = 41,293 - 7,889 \cdot I_0 \text{ [%]}$$

$$R^2 = 0,3191$$

W wyniku przeprowadzonej analizy należy stwierdzić, iż zależności korelacyjne pomiędzy dynamicznym wskaźnikiem nośności CBR_d a wskaźnikiem zagęszczenia I_s oraz dynamicznym wskaźnikiem nośności CBR_d a wskaźnikiem odkształcenia I_0 wymagają dalszych badań, ponieważ zaobserwowano brak stabilności uzyskiwanych wyników.

10. Wstępne wytyczne określania dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d

10.1 Przeznaczenie metody badawczej

Dynamiczny CBR_d z zastosowaniem lekkiego urządzenia z obciążnikiem opadowym jest urządzeniem kontrolnym, skonstruowanym w celu ustalenia dynamicznego wskaźnika nośności gruntów w warunkach laboratoryjnych i terenowych.

Badanie to prowadzone jest za pomocą stalowego stempla obciążającego, przekazującego uderzeniowe obciążenie na grunt. Urządzenie obciążnikowe składa się z obciążnika opadowego, prowadzonego po wyczepieniu wzdłuż pręta i osiadającego na elemencie sprężynującym - amortyzującym (ze stali lub tworzywa sztucznego). Urządzenie obciążnikowe osadzone jest na kuli centrującej w środkowej górnej części stempla obciążającego tak, aby na stempel obciążeniowy mogły być przekazywane tylko pionowe siły nacisku. W dolnej i centralnej części stempla wbudowany jest czujnik, do którego podłączony jest miernik elektroniczny mierzący ruchy stempla w trakcie przeprowadzania badania.

Po wykonanym badaniu obliczane jest przemieszczenie stempla na podstawie, którego bezpośrednio określana jest wartość dynamicznej wartości CBR_d .

10.2 Zakres stosowania

Dynamiczne badanie CBR można stosować jako alternatywnie wobec statycznego badania CBR wykonywanego zgodnie z PN-S-02205:1998 zał. A „Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania”. Jest ono wykorzystywane ze względu na krótki czas wykonywania przede wszystkim jako szybka metoda kontrolna w ramach własnej kontroli wewnętrznej wykonywanych prac gruntowych. Zaletą w stosunku do badania CBR według PN-S-02205:1998 zał. A jest uzyskanie bezpośrednio po badaniu wyniku pomiaru oraz stosowanie prostego w użyciu zestawu pomiarowego bezpośrednio w terenie. W porównaniu z badaniem terenowym z zastosowaniem aparatury VSS zaletą jest brak ramy lub urządzenia obciążającego.

Metoda badawcza przeznaczona jest do badania gruntów, których:

- największe ziarno ma wielkość 22 mm,
- udział nadziarna wynosi nie więcej niż 50 %,
- wartość dynamicznego wskaźnika nośności mieści się w zakresie od 20 % $\leq CBR_d \leq 150$ %.

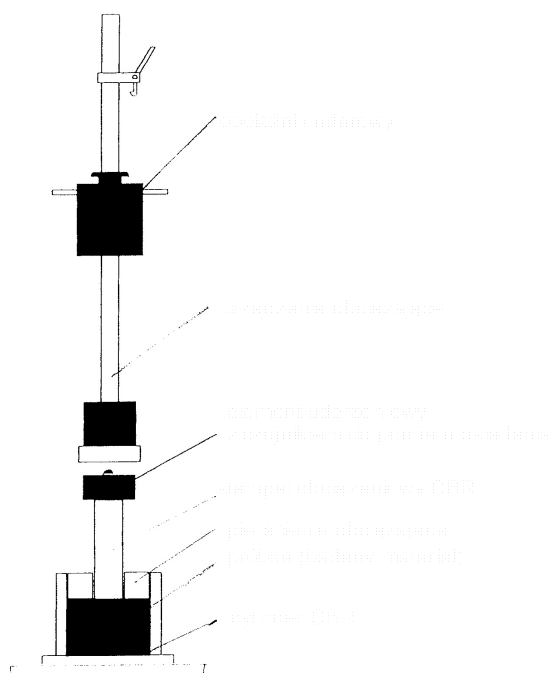
10.3 Aparatura badawcza

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 w czasie oddziaływania poprzez uderzenie 18 ms.

Stempel obciążeniowy o średnicy u podstawy 50 mm wyposażony jest w dwa uchwyty oraz czujnik obciążenia z kulą osiującą. Czujnik obciążenia znajduje się w specjalnej obudowie wraz z sensorem do pomiaru przemieszczenia (rys. 10.1)

Częścią nieodłączną zestawu dynamicznego CBR jest urządzenie elektroniczne służące do pomiaru osiadania. Rozróżnia się następujące tryby pracy:

- tryb pomiaru poprzez wykonanie jednego uderzenia obciążającego badanego podłoża z natychmiastowym wskazaniem dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d ,
- tryb kalibrowania przyrządu pomiarowego, przeprowadzanie dowolnej ilości pomiarów bez tworzenia średniej wartości, kontrola funkcji przyrządu pomiarowego.



Rys. 10.1 Elementy dynamicznego urządzenia CBR_d z obciążnikiem opadowym

Ze względu na utworzenie jednolitych warunków brzegowych do przeprowadzenia badań dynamicznymi urządzeniami tego typu, przez różnych producentów określono stałe i miarodajne dla nich parametry. Poszczególne elementy dynamicznego urządzenia CBR charakteryzują się następującymi wymaganiami:

Stempel obciążeniowy ze stali min ST 52-3 (tolerancja pomiaru 1%):

- średnica 50 mm,
- waga 9,046 kg (łącznie z uchwytemi).

Miernik osiadania:

- zakres frekwencji 8-10 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. ± 2 % mm).

Urządzenie obciążające:

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

10.4 Metodyka przeprowadzenia badania

10.4.1 Metodyka przeprowadzenia badania w warunkach laboratoryjnych

W warunkach laboratoryjnych badanie dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d przebiega dwuetapowo. W etapie pierwszym przygotowuje się próbkę do badania, a w drugim wykonuje samo badanie.

Przygotowanie próbki do badania wykonywane jest zgodnie z PN-S-02205:1998 i PN-B-04481 przy uprzednio określonej wilgotności i zagęszczane warstwowo metodą II w cylindrze poprzez przekazanie na warstwę stałej ustalonej energii. Tak przygotowaną próbkę (rys. 10.2) przeznaczają się do badania dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d .



Rys. 10.2 Próbkę do badań przygotowana w ubijaku Proctora

Przebieg badania w tym przypadku jest następujący:

- cylinder z zagęszczonym gruntem ustawiamy na płaskiej i równej powierzchni,
- na gruncie w cylindrze centralnie układamy dwie płyty naciskowe,
- na górną krawędź cylindra nakładamy pierścień nasadkowy (rys. 10.3).



Rys. 10.4 Próbką z pierścieniami obciążającymi i pierścieniem nasadczym

- w otwór pierścienia nasadczego wkładamy stempel naciskowy,
- na kulę centrującą nakładamy urządzenie obciążające,



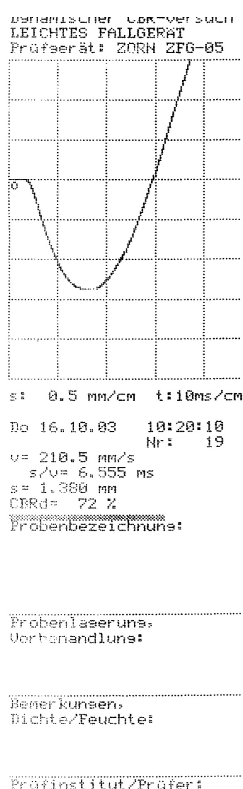
Rys. 10.5 Zestaw CBR_d gotowy do wykonania badania

- rejestrator łączymy kablem ze stemplem naciskowym i nastawiamy rejestrator na tryb pracy CBR (rys. 10.5),
- odbezpieczamy obciążnik i podnosimy w górę do zablokowania w zaczepie,
- na rejestratorze ustawiamy funkcję badania CBR_d,
- ustawiamy pionowo urządzenie obciążające,
- zwalniamy zaczep obciążnika a po jego opadnięciu przechwytujemy jedną ręką obciążnik celem wykluczenia ponownego uderzenia (rys. 10.6),



Rys. 10.6 Pomiar CBR_d w cylindrze

- spisujemy przedstawiony na rejestratorze wynik badania (wartość CBR_d), zapisujemy wynik badania bezpośrednio na karcie magnetycznej lub drukujemy na drukarce zainstalowanej w urządzeniu rejestrującym (rys. 10.7).



Rys. 10.7 wydruk wyniku badania CBR_d

10.4.2 Metodyka przeprowadzenia badania w warunkach terenowych

Zestawem do badania dynamicznego CBR_d można oznaczenie przeprowadzić bezpośrednio w terenie. W tym przypadku metodyka przeprowadzenia badania jest następująca:

- wyrównanie powierzchni badanego podłoża,
- ułożenie na badanej powierzchni pierścienia stabilizującego,
- założenie na pierścień stabilizacyjny pierścienia nasadczego,
- wprowadzenie w pierścień nasadczy stempla obciążającego,
- ustawienie na kuli centrującej stempla obciążającego urządzenia obciążającego,
- odbezpieczenie obciążnika i podniesienie w górę do zablokowania w zaczepie,
- na rejestratorze ustawienie funkcji badania CBR_d,
- ustawienie pionowo urządzenia obciążającego,
- zwolnienie zaczepu obciążnika i po jego opadnięciu przechwycenie jedną ręką obciążnika celem wykluczenia ponownego uderzenia,
- zarejestrowanie przedstawionego na rejestratorze wyniku badania (wartość CBR_d) w raporcie z badań lub na karcie magnetycznej.

Z reguły przeprowadza się pomiar podwójny. Gdy obie poszczególne wartości z podwójnego pomiaru różnią się od siebie o więcej niż 15 % w odniesieniu do średniej arytmetycznej, lub

gdy wystąpią inne nadzwyczajne wyniki pomiarów, należy powtórzyć badanie CBR z nową próbką.

10.4.3 Wyniki badań i ich raportowanie

Uzyskany wynik badania CBR_d zawsze musi być identyfikowalny zarówno z obiektem badań jak i aparaturą, którą zostało ono przeprowadzone. Dlatego też protokół z badań oprócz samego wyniku powinien również zawierać szereg informacji dodatkowych.

W protokole z badań powinny być zawarte następujące informacje:

- nr badania / data badania / personel wykonujący badanie,
- rodzaj urządzenia obciążnikowego i opadowego,
- uwagi o odstępstwach od ustalonych procedur oraz o zjawiskach nadzwyczajnych,
- dane o rodzaju materiału, na którym wykonano badania,
- metoda przygotowania próbki,
- metoda zagęszczania próbki,
- przechowywanie próbki do momentu przeprowadzenia badania CBR, np. badanie bezpośrednio po zagęszczeniu próbki, badanie po przechowywaniu próbek w wodzie, badanie po zamrażaniu i rozmrażaniu próbek,
- gęstość i wilgotność badanego materiału,
- amplituda osiadania stempla, w mm,
- wartość dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d , w %,
- średnia arytmetyczna z podwójnych pomiarów.

10.5 Zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od wybranych cech geotechnicznych gruntów spoistych

W wyniku wykonanych badań, przeprowadzeniu uzyskanych w ich rezultacie wyników analiz określono zależności korelacyjne dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR, wtórnego modułu odkształcenia E_2 , wskaźnika zagęszczenia I_s , wskaźnika odkształcenia I_0 .

Zależności korelacyjne określone w tabeli 10.1 należy traktować jako orientacyjne podlegające dalszej weryfikacji w celu ich dokładnego określenia w celu stosowania jako podstawę kryteriów odbioru wykonywanych prac i określenia stanu i rodzaju gruntów spoistych.

Określone w tabeli 10.1 zależności pomiędzy cechami geotechnicznymi zaleca się stosować dla:

- kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR w zakresie 10 – 35 %,
- wtórnego modułu odkształcenia E_2 w zakresie 40 -100 MPa

Określane w oparciu o zamieszczone w tabeli zależności matematyczne cechy:

- wskaźnik zagęszczenia I_s
- wskaźnik odkształcenia I_0

traktować należy jako szacunkowe.

abela 10.1

**Zależności korelacyjne
dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d
od kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR, wtórnego modułu odkształcenia E_2 ,
wskaźnika zagęszczenia I_s , wskaźnika odkształcenia I_0**

Lp.	Rodzaj gruntu	Dynamiczny wskaźnik nośności CBR_d w zależności od			
		Kalifornijski wskaźnik nośności CBR [%]	Wtórny moduł odkształcenia E_2 [MPa]	Wskaźnik zagęszczenia I_s	Wskaźnik odkształcenia I_0
1	Pospółki i piaski gliniaste	10,480 +0,721*CBR	15,7298 +0,1543* E_2	157,109 -133,999* I_s	29,547 -1,349* I_0
2	Pyły	10,554 +0,648*CBR	26,456 +0,085* E_2	40,172 -8,90* I_s	44,984 -6,962* I_0
3	Gliny	3,833 +0,879*CBR	13,634 +0,182* E_2	218,246 -201,751* I_s	41,293 -7,889* I_0

11. Wnioski

Przeprowadzony w pracy zakres tematyczny obejmował:

- analizę stosowanych metod określania kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR,
- wykonanie badań pilotażowych kalifornijskiego wskaźnika nośności CBR metodą tradycyjną i metodą dynamiczną,
- opracowanie programu badań umożliwiających opracowanie wstępnych zależności korelacyjnych pomiędzy metodą statyczną a metodą dynamiczną,
- przeprowadzenie wstępnej kwalifikacji rodzajów gruntów spoistych do badań oraz opracowanie programu badań,
- wyspecyfikowanie rodzaju gruntów spoistych podlegających badaniu,
- wykonanie badań dla wybranych rodzajów gruntu.
- wykonanie badań dla pozostałych rodzajów gruntu zgodnie z programem badań,
- zgrupowanie wyników badań,
- przeprowadzenie analizy uzyskanych wyników badań,
- określenie zależności korelacyjne dla poszczególnych parametrów geotechnicznych,
- określenie zależności korelacyjnych dla trzech grup gruntów,
- opracowanie wstępnych wytycznych stosowania metody badawczej w budownictwie drogowym.

Przeprowadzone analizy i badania pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- analiza literatury wskazuje duże zainteresowanie, ze strony wykonawców, metodyką badań dynamicznych jako przydatnych w szybkiej diagnostyce wykonywanych prac ziemnych,
- aktualny stan wiedzy na temat dynamicznej metody określania wskaźnika nośności CBR_d jest skromny i odnosi się przeważnie do zastosowań eksperymentalnych,
- określanie dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i terenowych jest metodą szybką, ergonomiczną i umożliwia bezpośrednio określanie tego parametru geotechnicznego,
- dla gruntów spoistych wartość dynamicznego wskaźnika nośności CBR_d określana powinna być do wilgotności naturalnej niższej o 2% od wilgotności optymalnej,
- zaobserwowano, iż zagęszczenie gruntu spoistego nie ma wpływu na wartość wskaźnika odkształcenia I_0 czyli stosunku wtórnego modułu odkształcenia E_2 i pierwotnego modułu odkształcenia E_1 ,
- dla gruntów spoistych stwierdzono występowanie sprzecznej zmienności wskaźnika odkształcenia I_0 (E_2/E_1) od wskaźnika zagęszczenia I_s , wzrost zagęszczenia gruntu tzn. wzrost wskaźnika zagęszczenia I_s powoduje spadek wskaźnika odkształcenia I_0 co jest w sprzeczności w dotychczas przyjętymi zależnościami,
- w wyniku przeprowadzonych badań metodą VSS określony wskaźnik odkształcenia I_s nie może być podstawą do oceny zagęszczenia gruntu,
- przeprowadzone badania ze względu na szczególną specyfikę gruntów spoistych pozwoliły na określenie zależności korelacyjnych, które należy traktować jako wstępne, istnieje konieczność przeprowadzenia dalszych badań w celu jednoznacznego sprecyzowania tych zależności.

Celowym jest kontynuowanie prac dotyczących stosowania tej metody badawczej w celu opracowania metodyki i wstępnych wytycznych.

12 Bibliografia

- 1) PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
- 2) Procedura badawcza, Badanie modułu odkształcenia warstw konstrukcyjnych nawierzchni PB/TG-1/1, Laboratorium Geotechniki TG-1 IBDiM w Warszawie.
- 3) PN-B-04452:2002 Geotechnika.
- 4) Instrukcja obsługi Urządzenia lekkiego obciążnika opadowego ZFG 01”.
- 5) Sulewska M.J., Doświadczenia ze stosowania lekkiego ugięciomierza dynamicznego” Politechnika Białostocka.
- 6) BN-64/8931-02 Drogi samochodowe. Oznaczenie modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą.
- 7) Wiłun Z., Zarys geotechniki.
- 8) PN-77/8931-12 Oznaczenie wskaźnika zagęszczenia gruntu.
- 9) Baden Clegg, Uderzeniowy tester Clegg’a 2,25 kg. Średni młot. Instrukcja obsługi, Trowbridge, Anglia, 1993 r.
- 10) Compattometro elettronico Impact soil tester. Instruction manual. Contrlols, Milano 1994 r.
- 11) Weingart, Lekkie urządzenie z obciążnikiem opadowym (wolnospadem) ZFG 200. Instrukcja obsługi, Koln, 1996 r.
- 12) Strasse und Verkehr, nr 3/2000, Badanie płytą naciskową M_E .Str.u.Ver. Krytyka starej normy s.74-76, 95-97.
- 13) Kraszewski C., Szpikowski M., Borowczyk M., Kierunki badań i metody kontroli przypowierzchniowej warstwy gruntu do głębokości 1 m, Warszawa, IBDiM, 2002 r.
- 14) H. Schmidt, J. Volm Dynamiczne badanie CBR – nowa kontrola jakości w robotach ziemnych, Stuttgart, 1998 r.
- 15) PN-S-02205:2998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- 16) StraBe und Autobahn, nr 12/96, Dyskusja na temat artykułu. Pierwsze uwagi o precyzji pomiarów płytą naciskową do oznaczenia modułu odkształcenia., nr 12 s.729, 730, 1996 r
- 17) Leichtes Fallgewichtsgerat ZFG 02 nach Technischer Prufvorschrift fur Boden und Fels im Straßenbau TP BF – StB Teil B 8.3

- 18) Szpikowski M., Metodyka badania kalifornijskiego wskaźnika CBR" Warszawa, WAT, 1989 r.
- 19) Leichtes Fallgewichtsgerat ZFG 02 nach Technischer Prüfvorschrift für Boden und Fels im Straßenbau TP BF – StB Teil B 8.3