

UNIWERSYTET
TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY



WYDZIAŁ BUDOWNICTWA,
ARCHITEKTURY
I INŻYNIERII ŚRODOWISKA



ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Łukasz Aleksander Kumor

ANALIZA WPŁYWU ZAGĘSZCZANIA
KOLEJNYCH WARSTW ZASYPOWYCH
NA STAN NASYPU BUDOWLANEGO

PROMOTOR

PROF. DR HAB. INŻ. ZYGMUNT MEYER

**BYDGOSZCZ
2014**

Praca powstała przy wsparciu projektu
„Realizacja II etapu Regionalnego Centrum Innowacyjności”
współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego
w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego
Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2007-2013

Pracę dedykuję najbliższej rodzinie

Spis treści

1. WSTĘP	11
1.1. WPROWADZENIE	11
1.2. TEZA PRACY	12
1.3. CEL PRACY	12
1.4. ZAKRES PRACY	13
2. PRZEGLĄD I OCENA STANU WIEDZY W ZAKRESIE PRZEDMIOTU PRACY	14
2.1. NASYPY WYKONYWANE NA GRUNTACH SŁABYCH I ICH WZMOCNIENIE	14
2.2. BADANIA LABORATORYJNE I <i>IN-SITU</i> PARAMETRÓW MECHANICZNYCH NASYPÓW	14
2.3. MATERIAŁY ZASYPOWE DO BUDOWY NASYPÓW I TECHNOLOGIA REALIZACJI	16
2.4. PODSUMOWANIE LITERATURY	16
3. NASYP BUDOWLANY	18
3.1. OPIS KONSTRUKCJI	18
3.2. OGÓLNE ZASADY WYKONYWANIA NASYPÓW	18
3.3. RODZAJE I PODZIAŁ MATERIAŁÓW DO BUDOWY NASYPÓW ZIEMNYCH	20
3.3.1. Materiał gruntowy – wprowadzenie	20
3.3.2. Materiał gruntowy	21
3.3.3. Kruszywo według PN-EN 12620	23
3.4. OGÓLNE ZASADY WBUDOWYWANIA I ZAGĘSZCZANIA GRUNTU W NASYP	24
4. BADANIA ZAGĘSZCZENIA NASYPÓW	25
4.1. WPROWADZENIE	25
4.1.1. Stany zagęszczenia gruntu gruboziarnistego	25
4.1.2. Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych	26
4.2. METODY BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU	26
4.3. WYBRANE METODY BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU	27
4.3.1. Badania płytą typu VSS	28
4.3.2. Badania płytą dynamiczną typu HMP-LFG	33

5. METODYKA I PROGRAM BADAŃ	37
5.1. OPIS POLIGONU DOŚWIADCZALNEGO	40
5.2. MATERIAŁ ZASYPOWY	43
5.2.1. Badania laboratoryjne materiałów	43
5.2.2. Wybór materiału zasypowego do budowy nasypu	45
5.3. ZAŁOŻENIA TECHNICZNE I TECHNOLOGIA BUDOWY NASYPU	48
5.3.1. Wymagania projektowe	48
5.3.2. Ustalenie technologii wykonania nasypu	50
5.4. BADANIA <i>IN-SITU</i> MATERIAŁU ZASYPOWEGO	51
5.4.1. Testy technologii zagęszczania na poletku doświadczalnym	53
5.4.2. Weryfikacja technologii zagęszczenia na poligonie	57
6. WYNIKI BADAŃ	59
6.2. WYNIKI BADAŃ ETAPU I	60
6.3. WYNIKI BADAŃ ETAPU II	62
6.4. WYNIKI BADAŃ ETAPU III	64
6.5. WYNIKI BADAŃ DODATKOWYCH – KONTROLA WSTECZNA SONDĄ DPSH I CPT	69
6.5.1. Badanie sondą ciężką typu DPSH	70
6.5.2. Badanie sondą statyczną CPT	72
6.5.3. Odwierty geotechniczne	72
7. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW	74
7.1. WPŁYW WBUDOWANIA JEDNEJ WARSTWY KRUSZYWA NA ZMIANĘ WARTOŚCI PARAMETRÓW NIŻSZEJ WARSTWY ZASYPOWEJ	74
7.1.1. Analiza statystyczna zmian wartości modułu pierwotnego	74
7.1.2. Analiza statystyczna zmian wartości modułu wtórnego	82
7.1.3. Analiza statystyczna zmian wartości wskaźnika odkształcenia	89
7.2. WPŁYW WBUDOWANIA DWÓCH WARSTWY KRUSZYWA NA ZMIANĘ WARTOŚCI PARAMETRÓW NIŻSZEJ WARSTWY ZASYPOWEJ	96
7.2.1. Analiza statystyczna zmian wartości modułu pierwotnego – E_1	96
7.2.2. Analiza statystyczna zmian wartości modułu wtórnego – E_2	99
7.2.3. Analiza statystyczna zmian wartości wskaźnika odkształcenia – I_0	102
7.3. PODSUMOWANIE ANALIZY STATYSTYCZNEJ	105

8. ANALIZA ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY PARAMETRAMI GEOTECHNICZNYMI ZAGĘSZCZENIA	107
8.1. Zmiany wartości modułu pierwotnego – E_1	108
8.1.1. Funkcja regresji zmian wartości modułu pierwotnego – E_1	108
8.1.2. Wyznaczenie błędu szacunku funkcji regresji – s_{E_1}	109
8.1.3. Wyznaczenie minimalnej wartości modułu pierwotnego spągowej warstwy zasypowej – $E_{1,min}$	109
8.2. ZMIANY WARTOŚCI MODUŁU WTÓRNEGO – E_2	110
8.2.1. Wyznaczenie funkcji regresji zmian wartości modułu wtórnego – E_2	110
8.2.2. Wyznaczenie błędu szacunku funkcji regresji – s_{E_2}	111
8.2.3. Wyznaczenie minimalnej wartości modułu wtórnego spągowej warstwy zasypowej – $E_{2,min}$	111
8.3. ZMIANY WARTOŚCI WSKAŹNIKA ODKSZTAŁCENIA – I_0	112
8.3.1. Wyznaczenie funkcji regresji zmian wartości wskaźnika odkształcenia I_0	112
8.3.2. Wyznaczenie błędu szacunku funkcji regresji – s_{I_0}	113
8.3.3. Wyznaczenie minimalnej wartości wskaźnika odkształcenia spągowej warstwy zasypowej – $I_{0,min}$	113
8.4. ZMIANY WARTOŚCI ŚREDNICH PARAMETRÓW WARSTWY SPĄGOWEJ PO DOGĘSZCZENIU DWOMA WARSTWAMI ZASYPOWYMI	114
8.4.1. Wpływ wbudowania dwóch warstw zasypowych na zmianę wartości średnich modułów pierwotnych – E_1	114
8.4.2. Wpływ wbudowania dwóch warstw zasypowych na zmianę wartości średnich modułów wtórnych – E_2	115
8.4.3. Wpływ wbudowania dwóch warstw zasypowych na zmianę wartości średnich wskaźnika odkształcenia – I_0	116
8.5. PODSUMOWANIE CZĘŚCI ANALITYCZNEJ	117
9. PODSUMOWANIE	118
9.1. ANALIZA KOŃCOWA	119
9.1.1. Zestawienie ilości wykonanych badań	119
9.1.2. Wnioski geotechniczne dotyczące zmian zagęszczenia warstwy spągowej	120
9.1.3. Zastosowania praktyczne technologii	121

9.2. WNIOSKI, ZALECENIA PRAKTYCZNE I KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ	122
9.2.1. Zalecenia praktyczne	122
9.2.2. Nowe zagadnienia przedstawione w pracy	122
9.2.3. Propozycje dalszych badań	123
Wykaz literatury i norm	124
Literatura	124
Normy i Instrukcje	127
Załączniki do pracy	129
Załącznik nr 1. Wyniki badań uziarnienia gruntu	129
Załącznik nr 2. Wyniki badań Proctora	133
Załącznik nr 3. Wyniki badań testów VSS na poletku doświadczalnym	137
Załącznik nr 4. Wyniki badań testów VSS na poletku doświadczalnym etap I	147
Załącznik nr 5. Wyniki badań testów VSS na poletku doświadczalnym etap II	179
Załącznik nr 6. Wyniki badań testów VSS na poletku doświadczalnym etap III	197
Załącznik nr 7. Wyniki badań sondą ciężką typu DPSH	223

Ważniejsze oznaczenia stosowane w pracy

- C_u – wskaźnik różnoziarnistości gruntu
- C_c – wskaźnik krzywizny uziarnienia gruntu
- d_{10} – średnica oczek sita, przez które przechodzi 10% gruntu podłoża w [mm]
- d_{30} – średnica oczek sita, przez które przechodzi 30% gruntu podłoża w [mm]
- d_{60} – średnica oczek sita, przez które przechodzi 60% gruntu podłoża w [mm]
- E_1 – pierwotny moduł statyczny odkształcenia podłoża wyznaczony na podstawie badania płytą sztywną typu VSS w [MPa]
- E_2 – wtórny moduł statyczny odkształcenia podłoża wyznaczony na podstawie badania płytą sztywną typu VSS w [MPa]
- E_1' – pierwotny moduł odkształcenia warstwy spągowej po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową grubości 30 cm wyznaczony na podstawie badania płytą sztywną typu VSS w [MPa]
- E_2' – wtórny moduł statyczny odkształcenia warstwy spągowej po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową grubości 30 cm wyznaczony na podstawie badania płytą sztywną typu VSS w [MPa]
- E_1'' – pierwotny moduł odkształcenia warstwy spągowej po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi grubości 30 cm wyznaczony na podstawie badania płytą sztywną typu VSS w [MPa]
- E_2'' – wtórny moduł statyczny odkształcenia warstwy spągowej po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi grubości 30 cm wyznaczony na podstawie badania płytą sztywną typu VSS w [MPa]
- E_{vd} – dynamiczny moduł odkształcenia podłoża wyznaczony na podstawie badania płytą dynamiczną HMP-LFG w [MPa]
- E_o – wartość oczekiwana badanego parametru modułu odkształcenia wyrażona w [MPa]
- h – wysokość warstwy zasypowej [m]
- I_0 – wskaźnik odkształcenia podłoża wyznaczony z badań płytą sztywną VSS
- I_0' – wskaźnik odkształcenia podłoża po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową gr. 30 cm wyznaczony z badań płytą sztywną VSS
- I_0'' – wskaźnik odkształcenia podłoża po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi grubości 30 cm wyznaczony z badań płytą sztywną VSS

I_D	–	stopniem zagęszczenia gruntu
I_s	–	wskaźnik zagęszczenia gruntu
k_{10}	–	współczynnik filtracji
r	–	współczynnik korelacji
ρ_d	–	gęstość objętościowa szkieletu gruntowego gruntu w nasypie w $\frac{t}{m^3}$
ρ_{ds}	–	maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego $\frac{t}{m^3}$
\hat{s}	–	odchylenie standardowe
\hat{s}^2	–	wariancja
w_n	–	wilgotność naturalna gruntu w [%]
w_{opt}	–	wilgotność optymalna gruntu w [%]
\bar{x}	–	średnia arytmetyczna

1. WSTĘP

1.1. WPROWADZENIE

Geotechnika jest jedną ze specjalizacji inżynierii lądowej i jest nauką interdyscyplinarną obejmującą: gruntoznawstwo, mechanikę gruntów, fundamentowanie, geologię-inżynierską oraz teorię sprężystości i plastyczności. Od zarania dziejów ludzie wykorzystują różnego rodzaju budowle ziemne. Nie ma praktycznie możliwości wykonania jakiegokolwiek obiektu inżynierskiego bez przeprowadzenia robót ziemnych. Do podstawowych prac budowlanych w zakresie robót ziemnych należy zaliczyć wykonywanie wykopów i nasypów. Wraz z rozwojem cywilizacji, urbanizacją miast i rozwojem infrastruktury rola geotechniki we współczesnych aplikacjach budownictwa wzrasta. W realizacjach inwestycji coraz większego znaczenia nabierają wielkoskalowe roboty ziemne oraz złożone i nietypowe budowle ziemne. Wraz ze wzrostem kubatury wykonywanych robót ziemnych pojawiły się nowe problemy techniczne związane zarówno z projektowaniem, jak i osiągnięciem docelowych parametrów geotechnicznych gruntów. Rozwiązuje się w takich przypadkach szereg zagadnień związanych ze statecznością, odkształcalnością oraz doбором technologii prac gruntowych z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych przedsięwzięć budowlanych.

Podstawową budowlą ziemną jest nasyp budowlany, który jest wykonany z określonego zagęszczonego materiału zasypowego. Nasypy spotykamy zarówno w budownictwie kubaturowym, jak i budownictwie drogowym. Zasadniczą kwestią w przypadku formowania nasypów jest:

- dobór odpowiedniego materiału zasypowego,
- zaprojektowanie parametrów mechanicznych, zapewniających bezpieczną pracę budowli ziemnej z uwagi na stateczność i odkształcalność,
- realizacja budowy zgodnie ze sztuką inżynierską,
- kontrola *in-situ* uzyskanych parametrów geotechnicznych w odniesieniu do wartości zaprojektowanych.

Technologia budowy wielowarstwowych nasypów budowlanych zakłada stosowanie podstawowych zasad technicznych:

- nasyp należy wykonywać metodą warstwową, gdzie grubość pojedynczej warstwy zasypowej powinna być dostosowana do sprzętu zagęszczającego, umożliwiającego uzyskanie odpowiednich parametrów,
- wbudowanie kolejnej warstwy zasypowej nasypu powinno nastąpić po uprzednim osiągnięciu projektowanych parametrów mechanicznych warstwy poprzedniej.

Z zasad tych wynika prawidłowość, że formowanie nasypów należy wykonywać warstwami. Każda kolejna warstwa nasypu może być formowana dopie-

ro wtedy, gdy zostaną osiągnięte zaprojektowane parametry mechaniczne warstwy niższej (spągowej).

Przeprowadzone przez autora badania analityczne i terenowe wskazują, że zagęszczenie warstw głębszych gruntu zasypowego zwiększa się również w trakcie wykonywania warstw położonych wyżej. W związku z tym efekt końcowy zagęszczenia nasypu, jego warstw wbudowywanego gruntu należy projektowo uwzględniać łącznie z wpływem zagęszczenia poszczególnych warstw na siebie. Takie wnioski stały się podstawą badań naukowych. Tezę pracy postawiono następująco.

1.2. TEZA PRACY

Wychodząc z założenia, że nasyp budowlany jest rzeczywistym układem wielowarstwowym formowanym poprzez fizyczne zagęszczenie kolejnych warstw zasypowych, autor postawił następująco tezę:

- w przypadku budowy nasypów z kruszywa mineralnego nie ma geotechnicznej konieczności zagęszczenia każdej nowo wbudowywanej warstwy materiału o określonej grubości i dostosowanej do sprzętu zagęszczającego, do uzyskania pełnej wartości zaprojektowanej miary zagęszczenia, bowiem każda następna wbudowywana warstwa dogęszcza ułożoną wcześniej warstwę spągową materiału zasypowego.

1.3. CEL PRACY

Celem pracy jest:

- zbadanie i przeanalizowanie, czy każda wbudowywana warstwa materiału o określonej grubości, zwiększa zagęszczenie w nasypie wcześniej ułożonej warstwy gruntu zasypowego,
- stwierdzenie, czy istnieje wpływ dogęszczania wbudowywanej nowo warstwy zasypowej o grubości 30 cm, na dwie niższe warstwy nasypu budowlanego,
- przeanalizowanie, w jakim stopniu możliwe jest osiągnięcie docelowych zaprojektowanych wartości liczbowych parametrów mechanicznych przy warstwowej budowie nasypu, bez konieczności zagęszczania każdej warstwy zasypowej do maksymalnej wartości zaprojektowanej oraz ustalenie zależności analitycznych określających ten wpływ,
- przeanalizowanie i opracowanie nowego podejścia geotechnicznego przy realizacji wielowarstwowych nietypowych nasypów budowlanych z uwzględnieniem rozpatrywanego efektu dogęszczania.

1.4. ZAKRES PRACY

Zakres pracy obejmuje:

- przedstawienie na podstawie przeglądu literatury dotyczącej przedmiotu badań, zasadniczych problemów geotechnicznych, jakie dotyczą realizacji wielowarstwowych nasypów budowlanych oraz ustalenie programu badań eksperymentalnych i analitycznych,
- przedstawienie parametrów brzegowych z zakresu zastosowanych metod badawczych, technologii formowania nasypu i doboru materiału zasypowego,
- dokładny opis poligonu doświadczalnego do testowania metod realizacji i metodyk szczegółowych,
- omówienie wybranych badań *in-situ* identyfikujących zasadnicze parametry geotechniczne materiału zasypowego,
- przedstawienie założeń do tzw. próby geotechnicznej technologii i weryfikacji założeń do wykonania warstwowej budowy nasypu,
- badania parametrów pośrednich i bezpośrednich miar zagęszczenia materiału wbudowanego w nasyp,
- analizę wyników badań zmian stanu zagęszczenia warstw dolnych na skutek układania kolejnych warstw materiału zasypowego,
- podsumowanie, analizę oraz przedstawienie wniosków geotechnicznych z przeprowadzonych badań i analizy matematycznej,
- przedstawienie możliwości praktycznego zastosowania proponowanej technologii robót zasypowych w budownictwie ziemnym.

2. PRZEGLĄD I OCENA STANU WIEDZY W ZAKRESIE PRZEDMIOTU PRACY

W literaturze technicznej istnieje wiele prac poświęconych zagęszczeniu gruntów, w szczególności zajmujących się identyfikacją właściwości mechanicznych i określeniem zakresu zmienności parametrów mechanicznych różnych materiałów budujących nasypy budowlane. W związku z szerokim spektrum wykonanych analiz geotechnicznych oraz obszerną problematyką dotyczącą formowania nasypów, należy im przyporządkować trzy podstawowe zagadnienia techniczne:

- wykonywanie nasypów na gruntach słabych i ich wzmocnienie,
- badań laboratoryjnych i *in situ* parametrów mechanicznych gruntów w nasypach,
- ocena przydatności materiałów zasypowych do budowy nasypów.

W poniższych podrozdziałach zamieszczono przegląd zagadnień ich zakres i opis badań związanych z nasypami ziemnymi.

2.1. NASYPY WYKONYWANE NA GRUNTACH SŁABYCH I ICH WZMOCNIENIE

Realizacja budowli ziemnych, stanowiących w praktyce zawsze nasyp budowlany, na gruntach słabych jest złożonym problemem inżynierskim, w skład którego wchodzi zagadnienia zarówno wzmocnienia podłoża, jak i znajomości szczególnego wykonawstwa nasypów budowlanych. Zagadnienia samego wzmocnienia podłoża nie obejmują tematu pracy. W podrozdziale skupiono się na przeanalizowaniu kwestii technologii realizacji wielowarstwowych nasypów budowlanych.

W pracach [5,11,22,23,38,40,42,45] zajmowano się tematyką stateczności, osiadania i realizacji nasypów budowlanych na podłożu wzmocnianym. Podano szeroki zakres rodzajów modyfikacji podłoża gruntowego oraz sposobów wykonania na wcześniej przygotowanym podłożu nasypów ziemnych.

W pracach tych nie zajmowano się jednak wpływem przestrzennych efektów zagęszczania warstw zasypowych na zmianę parametrów zagęszczenia nasyp jako całości konstrukcji budowlanej.

2.2. BADANIA LABORATORYJNE I *IN-SITU* PARAMETRÓW MECHANICZNYCH NASYPÓW

Zagęszczanie jest to podstawowa metoda ulepszania właściwości geotechnicznych gruntów w robotach ziemnych. Efektem zagęszczenia jest wzrost gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_d przy stałej wilgotności, z powodu zmniejszania się objętości w masywie gruntowym, ściślejszego ułożenia i zazębiania się oraz reorientacji cząstek szkieletu mineralnego w wyniku zewnętrz-

nego wymuszania, pod wpływem energii przekazywanej od urządzenia zagęszczającego, np.: walca wibracyjnego, [46].

W warunkach realizacji robót ziemnych prawidłowy dobór metod *in-situ* badania zagęszczenia materiału zasypowego, możliwości korelacji parametrów mechanicznych pomiędzy urządzeniami są podstawową kwestią inżynierską. Na szczególną uwagę zasługują przede wszystkim metody dynamicznego badania stanu zagęszczenia gruntu, z uwagi na szybkość i prostotę ich wykonywania oraz metody analizy przyspieszeń drgań (MAD). W pracach [19,21,34,36,45,46] zajmowano się problematyką dotyczącą sposobów i metody szybkiej kontroli parametrów zagęszczenia gruntów. Wykonywano badania umożliwiające korelację oraz określono związki funkcyjne i możliwości ich aplikacji w praktyce. W pracach tych zajmowano się jednak związkami i zależnościami dla pojedynczych cienkich warstw zasypowych nasypów budowlanych. Nie analizowano wzajemnego oddziaływania formowanych warstw zasypowych.

Interpretacja techniczna i możliwość zastosowania uzyskanych wyników z testów *in-situ* płytą sztywną typu VSS w obliczeniach inżynierskich jest kwestią niezwykle ważną w dzisiejszym projektowaniu geotechnicznym. Problemami tymi zajmuje się w swojej pracy naukowej Katedra Geotechniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego pod kierownictwem prof. dr. hab. inż. Zygmunta Meyera. W pracach [24-29] przedstawiono wykorzystanie uzyskanych wyników z badań płytą sztywną typu VSS do wyznaczenia modułu odkształcenia podłoża E_0 oraz do wyznaczenia głębokości strefy aktywnej z_{max} . Na podstawie wyników możliwe jest dokładniejsze projektowanie posadowienia obiektów, obliczenia rzeczywistych głębokości aktywnej dla fundamentów, co przekłada się na optymalizację procesów projektowych.

Stosowanymi w chwili obecnej coraz częściej metodami do wyznaczenia parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego są metody sondowania statycznego typu CPT, CPTU, SCPTU. Umożliwiają one określenie wszystkich istotnych parametrów geotechnicznych metodą A – wg [N9], koniecznych do poprawnego projektowania inżynierskiego obiektów budowlanych. W pracach [9,30,31,53] zajmowano się porównaniem parametrów geotechnicznych uzyskiwanych z metod laboratoryjnych i bezpośrednich polowych. Prekursorem badań nad zastosowaniem sondowań statycznych oraz ich teoretyczną interpretacją jest zespół prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Młynarka. Na podstawie rezultatów z podsumowania prac możliwe jest przewidywanie z badań statycznych parametrów wytrzymałościowych, modułów odkształcenia i współczynników prekonsolidacji OCR. Są to badania nowoczesne odnoszące się modelowo do rzeczywistych procesów fizycznych, z jakimi mamy do czynienia w obciążonym podłożu.

W literaturze przedmiotu badań, mimo realizacji w ostatnim okresie w Polsce szeregu dużych inwestycji, obejmujących wielkogabarytowe nasypy budowlane, nie znajduje się publikacji dotyczących analizy przestrzennego wpływu efektów zagęszczania warstwy zasypowej i jej roli w kształtowaniu wzrost parametrów zagęszczenia nasypu jako konstrukcji budowlanej.

2.3. MATERIAŁY ZASYPOWE DO BUDOWY NASYPÓW I TECHNOLOGIA REALIZACJI

Dobór prawidłowego materiału zasypowego, jego składu granulometrycznego, determinuje sposób i technologię wykonywania nasypów ziemnych. Wraz z nieustającym rozwojem infrastruktury drogowej i przemysłowej w Polsce aspekty techniczne i ekonomiczne determinują konieczność poszukiwania możliwości zastosowania materiałów sztucznych i z recyklingu. Obecnie w budownictwie coraz częściej wykorzystuje się materiały sztuczne, modyfikowane lub ulepszone chemicznie. Prowadzi się coraz szersze badania opisujące ich właściwości fizyczne i określające ich możliwy zakres wykorzystania.

W pracach [1,14,16,35,36,41,45] zajmowano się możliwościami wykorzystania kruszyw sztucznych i pochodzących z recyklingu w budownictwie. Opisano właściwości fizyczne tych kruszyw oraz przedstawiono problematykę dotyczącą ich stosowania. Na uwagę zasługują w tym przypadku wnioski z pracy [35], w których autor podnosi istotną sprawę związaną z różnorodnością uzyskiwanych parametrów zagęszczenia dla gruntów o zbliżonym uziarnieniu pochodzących z jednej kopalni lub wykopu. Możliwe jest więc wyciągnięcie następującego wniosku, iż stosowanie kruszyw sztucznych, przygotowywanych w sposób z góry zaplanowany jest inżyniersko uzasadnione.

Technologie wbudowywania i zagęszczania materiałów zasypowych do cienkich warstw w nasypy budowlane są tematem szerokich badań naukowych, które umożliwiają stosowanie coraz nowocześniejszych metod zagęszczania gruntu. W pracach [5,6,17,45,46,N4] zajmowano się technologią i rodzajem sprzętu, w odniesieniu do zagęszczenia materiału zasypowego. Na szczególną uwagę zasługuje technologia *rolling dynamic compaction* – RDC, opisana w pracy [17]. Dzięki tej technologii, możliwe jest zagęszczenie i dogęszczenie podłoża do głębokości 3,0 m poniżej poziomu zagęszczenia, co jest zdecydowanie korzystne w przypadku formowania nasypów obiektów liniowych.

W powyższych pracach nie analizowano jednak wpływu dogęszczania warstw niżej leżących (dolnych) przez zagęszczanie tą samą technologią kolejnych warstw górnych nasypu budowlanego.

2.4. PODSUMOWANIE LITERATURY

Z analizy dostępnej literatury można wyciągnąć następujące wnioski:

- znaczna liczba prac dotyczy efektów zagęszczania cienkiej warstwy gruntu, w zależności od składu tego materiału (krzywa granulometryczna), wilgotności oraz sposobu zagęszczania,
- w dostępnej literaturze brak jest badań, które pozwalałyby na analizę przestrzennego rozkładu efektów zagęszczenia, w zależności od rodzaju zagęszczanego materiału i technologii zagęszczania,

- brak jest prac dotyczących efektu przestrzennego rozkładu efektów zagęszczenia w podłożu uwarstwowionym, gdzie warstwy różnią się od siebie stopniem zagęszczania.

Na podstawie analizy autor sformułował następujący program badań:

- przygotowanie poligonu doświadczalnego w skali naturalnej, który umożliwi ocenę wpływu zagęszczenia warstw nadległych (wyższych) na zagęszczenie wbudowanej wcześniej warstwy gruntu zalegającego głębiej,
- przygotowanie narzędzi do analizy parametrów efektu zagęszczenia w warunkach naturalnych, tzn. odpowiednie wykalibrowanie sond i aparatury do badań właściwości mechanicznych gruntu,
- analiza uzyskanych w badaniach terenowych zbiorów wartości pomierzonych parametrów geotechnicznych, które określają efekt zagęszczenia gruntów, w szczególności z wykorzystaniem metod statystycznych,
- opracowanie zależności analitycznych, które pozwalają na prognozę efektów zagęszczenia warstw głębszych.

3. NASYP BUDOWLANY

3.1. OPIS KONSTRUKCJI

Nasypem nazywamy warstwę lub zaprojektowaną budowlę ziemną z materiału gruntowego, która powstała w wyniku działalności człowieka¹. Nasypy budowlane wykonywane są zarówno od powierzchni terenu, jaki i we wcześniej wykonanych wykopach np. przy wymianie gruntów. Konstrukcja ziemna o zaprojektowanych parametrach mechanicznych stanowi „budowlę ziemną”².

Nasypy budowlane można podzielić ze względu na ich techniczną funkcję:

- nasypy drogowe,
- nasypy kolejowe,
- nasypy zapór i wałów – budowle hydrotechniczne,
- nasypy pod konstrukcję kubaturowe np. poduszki kompensacyjne.

Pod względem miejsca ich wykonania należy je podzielić na:

- nasypy wykonywane w wykopach, gdzie poziom robót ziemnych będzie znajdował się poniżej poziomu pierwotnego terenu,
- nasypy wykonywane powyżej powierzchni pierwotnego terenu.

Z uwagi na sposób ich wykonania nasypy budowlane podzielić można na:

- nasypy ziemne – tradycyjnie wykonywane tylko z materiału zasypowego,
- nasypy wzmocnione – wykonywane jako konstrukcji kompozytowe np. nasypy zbrojone.

3.2. OGÓLNE ZASADY WYKONYWANIA NASYPÓW

Nasypy budowlane muszą być wykonywane z uwzględnieniem trzech podstawowych warunków, według [37,51,N15]:

1. Zapewnienia stateczności nasypu.
2. Równomiernego osiadania nasypu i konstrukcji na nim wykonanej.
3. Spełnienia warunków nośności podłoża gruntowego, na którym są wykonane.

Poniżej zamieszczono podstawowe zasady budowy nasypów:

- Nasyp należy wykonywać metodą warstwową, gdzie grubość pojedynczej warstwy powinna być dostosowana do sprzętu zagęszczającego.
- Wbudowanie kolejnej warstwy nasypu powinno nastąpić po uprzednim osiągnięciu projektowanych parametrów mechanicznych warstwy wykonanej.

¹ Według normy PN-B-02481

² Konstrukcja wykonana z materiału gruntowego lub w podłożu gruntowym.

- Grunty o różnych właściwościach należy wbudowywać w oddzielnych warstwach o jednakowej grubości na całej szerokości nasypu.
- Górną warstwę nasypu o miąższości minimum 0,5 m należy wykonać z gruntów niewysadzinowych o wskaźniku wodoprzepuszczalności $k_{10} \geq 6 \times 10^{-5}$ [m/s] i wskaźniku różnoziarnistości $C_u \geq 5$.
- Niezależnie od materiału zasypowego powinien on być wbudowywany przy jego wilgotności naturalnej w_n równej wilgotności optymalnej w_{opt} .
- Minimalny wskaźnik różnoziarnistości gruntu powinien być nie mniejszy niż $C_u > 3$ ³.
- Nie należy wykonywać robót ziemnych przy budowie nasypów w warunkach zimowych, a przede wszystkim wbudowywać gruntu zamrożonego.

W przypadku budowy nasypów z gruntów kamienistych lub gruboziarnistych, należy przestrzegać następujących zasad technicznych wykonywania tego typu budowli ziemnej:

1. Wykonywanie nasypów z wypełnieniem wolnych przestrzeni

- Grubość pojedynczej wbudowywanej warstwy nie powinna być większa od $h > 0,3$ m.
- Każdą rozłożoną warstwę należy przykryć warstwą żwiru, pospółki, piasku lub gruntu drobnoziarnistego, w celu wypełnienia wolnych przestrzeni w kruszywie gruboziarnistym.

2. Wykonywanie nasypów bez wypełnienia wolnych przestrzeni

- Warstwy nasypu wykonane według tej metody powinny być zbudowane z materiałów mrozoodpornych.
- Warstwy te należy oddzielić od podłoża gruntowego pod nasypem oraz od górnej strefy nasypu około 10-centymetrową warstwą żwiru, pospółki lub nieodsianego kruszywa łamanego, zawierającego od 25 do 50% ziaren mniejszych od 2 mm i spełniających warunek:

$$4 d_{85} \geq D_{15} \geq 4 d_{15}$$

gdzie:

- d_{85} i d_{15} – średnica oczek sita, przez które przechodzi 85% i 15% gruntu podłoża lub gruntu górnej warstwy nasypu (mm),
- D_{15} – średnica oczek sita, przez które przechodzi 15% materiału gruboziarnistego (mm).

³ Dopuszcza się na podstawie badań próbnych wykorzystanie gruntów o wskaźniku różnoziarnistości mniejszym niż 3.

3.3. RODZAJE I PODZIAŁ MATERIAŁÓW DO BUDOWY NASYPÓW ZIEMNYCH

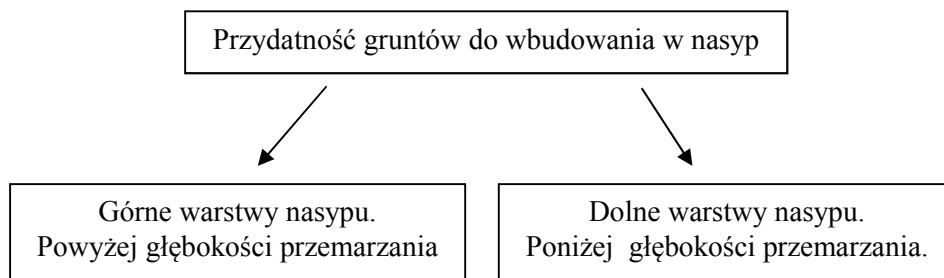
3.3.1. Materiał gruntowy – wprowadzenie

Właściwości mechaniczne nasypów zależą przede wszystkim od rodzaju użytego materiału zasypowego. W zależności od dostępności, potrzeb i projektowanych parametrów mechanicznych, do budowy ziemnych można stosować rozmaite materiały naturalne lub antropogeniczne. Podstawowym parametrem ekonomicznym dotyczącym doboru rodzaju materiału zasypowego powinna być jego dostępność w miejscu lub sąsiedztwie wykonywanych robót. Należy przy tym pamiętać, że grunt początkowo niezdatny do bezpośredniego wbudowania w nasyp po jego modyfikacji może być stosowany bez ograniczeń. Kryterium technicznym doboru materiału jest osiągnięcie przez niego po zagęszczeniu odpowiednich parametrów wytrzymałości, odkształcalności, trwałości i musi on zapewniać wystarczającą przepuszczalność hydrauliczną.

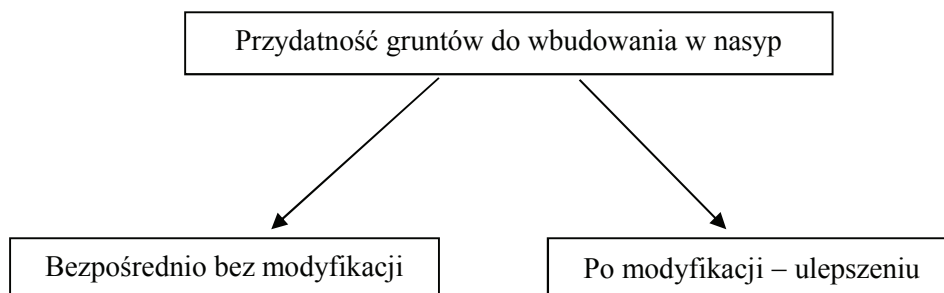
Materiał gruntowy z definicji jest to „grunt naturalny lub antropogeniczny o właściwościach pozwalających zastosować go bezpośrednio lub po uzdatnieniu do wykonania budowali ziemnej”, według PN-B 02481.

Z uwagi na właściwości fizyczne przydatność gruntów do wbudowania w nasyp można podzielić z uwagi na:

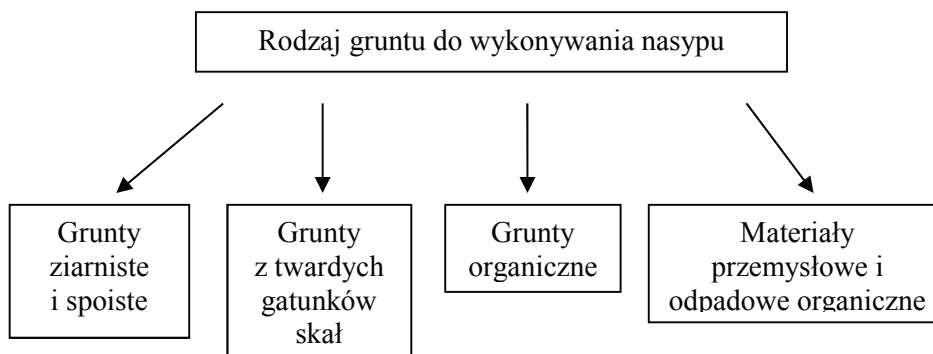
- Miejsca ich wbudowania



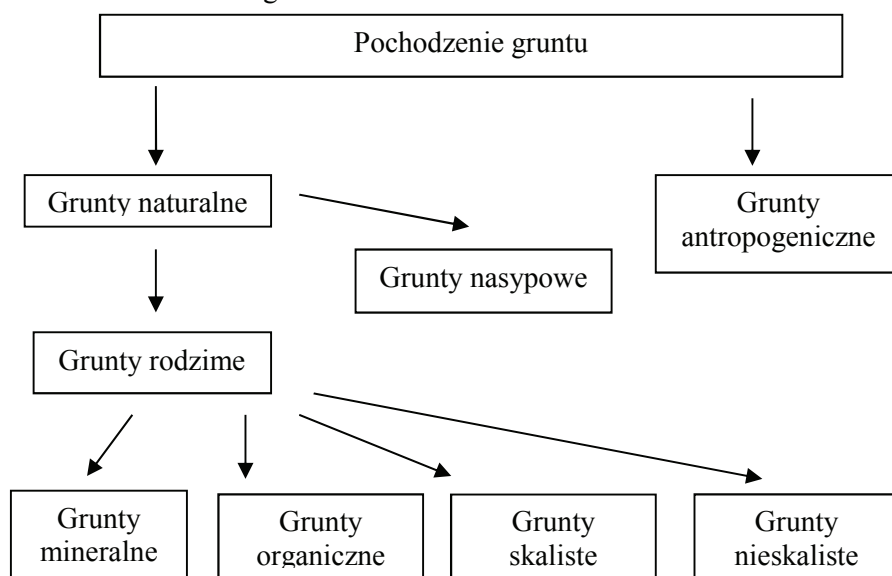
- Możliwość zastosowania



- Rodzaj gruntu



- Pochodzenie gruntu



3.3.2. Materiał gruntowy

Do wykonywania nasypów budowlanych, niezależnie od ich przeznaczenia, należy stosować materiały o możliwie jak najbardziej zróżnicowanym uziarnieniu. Przydatności materiału do wbudowania niezależnie od rodzaju gruntu określają dwa podstawowe parametry:

- wskaźnik różnoziarnistości gruntu $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$,
- wskaźnik krzywizny uziarnienia $C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$.

Przy doborze materiału zasypowego należy kierować się podstawową zasadą opartą na tych dwóch parametrach. Za graniczną wartością liczbową, przy której grunt nadaje się do bezpośredniego wybudowania, należy przyjąć dla

wskaźnika różnoziarnistości $C_u > 3$ oraz wskaźnika krzywizny uziarnienia $C_c > 1,0$. Wraz ze wzrostem wartości tych parametrów wzrasta przydatność materiału do użycia w budowlach ziemnych.

Klasyfikacja gruntów oparta jest na zawartości frakcji dominującej w gruncie, czyli na składzie granulometrycznym, który wyznaczany jest w warunkach laboratoryjnych. Poniżej przedstawiono klasyfikację gruntów według polskiej normy i euro kodu (tab.1).

Tabela 1. Klasyfikacja gruntów z uwagi na zawartość poszczególnych frakcji

PN-EN ISO 14688-1:2006				PN-86/B-02480				
GRUNTY	FRAKCJE	SYMBOL	WYMIAR CZĄSTEK [mm]		SYMBOL	FRAKCJE	GRUNTY	
BARDZO GRUBOZIARNISTE	DUŻE GŁAZY	LBo	>630	---	---	---	KAMIENISTE	
	GŁAZY	Bo	>200-630					
	KAMIENIE	Co	>63-200					
GRUBOZIARNISTE	ŻWIR	GRUBY	CGr	>20-63	>2,0 - 40	f _z	ŻWIROWA	GRUBO-ZIARNISTE
		ŚREDNI	MGr	>6,3-20				
		DROBNY	FGr	>2,0-6,3				
	PIASEK	GRUBY	CSa	>0,63-2,0	>0,5-2,0	f _p	GRUBY	
		ŚREDNI	MSa	>0,2-0,63	>0,25-0,5		ŚREDNI	
		DROBNY	FSa	>0,063-0,2	>0,05-0,25		DROBNY	
DROBNOZIARNISTE	PYŁ	Si	>0,002 - 0,063	>0,002- 0,05	f _{II}	PYŁOWA	DROBNOZIARNISTE	
	IŁ	Cl	≤0,002	≤0,002	f _I	IŁOWA		

Grunty gruboziarniste o frakcji z zakresu 0,063 do 63 mm, można podzielić ze względu na wskaźnik: różnoziarnistości C_u i krzywizny C_c . Przy czym należy pamiętać, że w przypadku braku jakiegoś wymiaru cząstek, gruntu należy zaklasyfikować do żle uziarnionego (tab.2).

Tabela 2. Podział gruntów gruboziarnistych z uwagi na krzywą uziarnienia

PODZIAŁ GRUNTÓW	CHARAKTERYSTYKI KRZYWEJ UZIARNIENIA	
	WSK. RÓŻNOZIARNISTOŚCI C_u	WSK. KRZYWIZNY UZIARNIENIA C_c
WIELOFRAKCYJNE	>15	1-3
KILKUFRAKCYJNE	6-15	<1
JEDNOFRAKCYJNE	< 6	<1
ŻLE UZIARNIONE	0-3	<1

3.3.3. Kruszywo według PN-EN 12620

Z uwagi na stosowanie w budownictwie kruszyw o różnym uziarnieniu, właściwościach, a przede wszystkim właściwościach modyfikowanych na potrzeby danej budowli ziemnej należy przytoczyć podział kruszyw zgodny z normą PN-EN 12620.

Kruszywo – materiał ziarnisty stosowany w budownictwie. Zgodnie z zapisem normy PN-EN 12620 można je podzielić na naturalne, sztuczne lub z recyklingu.

Podział kruszyw:

- **naturalne** – pochodzenia mineralnego, które poza obróbką nie zostało poddane żadnej innej obróbce,
- **ciągłym uziarnieniu** – kruszywo będące mieszanką kruszyw grubych i drobnych,
- **sztuczne** – pochodzenia mineralnego, uzyskane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego termiczną lub inną modyfikację,
- **z recyklingu** – powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzedni w budownictwie.

Podział kruszyw z uwagi na wielkość ziaren:

- **kruszywo drobne** – kruszywo o wymiarach ziaren równych lub mniejszych niż $D \leq 4 \text{ mm}$ i $d = 0 \text{ mm}$,
- **kruszywo grube** – kruszywo o wymiarach ziaren $D \geq 4 \text{ mm}$ i $d \geq 2 \text{ mm}$,
- **ciągły uziarnieniu** – kruszywo o wymiarach ziaren $D \leq 45 \text{ mm}$ i $d = 0 \text{ mm}$.

3.4. OGÓLNE ZASADY WBUDOWYWANIA I ZAGĘSZCZANIA GRUNTU W NASYP

Prawidłowe wbudowanie materiału w nasyp ocenia się poprzez zagęszczenie gruntu, które opisane może być następującymi parametrami mechanicznymi:

- I_s – wskaźnikiem zagęszczenia,
- I_D – stopniem zagęszczenia,
- $E_{1,2}$ – modułami odkształcenia podłoża,
- E_{vd} – modułem dynamicznego odkształcenia podłoża.

Wbudowywany grunt w nasyp powinien być – w zależności od sprzętu mechanicznego – układany warstwami o miąższości dobranymi do sprzętu zagęszczającego. Bardzo ważnym i istotnym parametrem przy formowaniu budowli ziemnej jest wilgotność naturalna używanego materiału. Wilgotność wbudowywanego gruntu powinna być zbliżona do jego wilgotności optymalnej tj., $w_n = w_{opt} \pm 2\%$. Istotnym elementem, przy warstwowej budowie nasypów, jest zgodna ze sztuką inżynierską, konieczność zagęszczenia każdej warstwy nasypu do uzyskania zaprojektowanego parametru mechanicznego. W tabeli 3 podano dane zależność grubości pojedynczych warstw od rodzaju gruntu i sprzętu zagęszczającego, zgodnie z PN-B-06050.

Tabela 3. Orientacyjne dane przy doborze sprzętu zagęszczającego według PN-B-06050.

Rodzaje urządzeń zagęszczających		Rodzaje gruntu					
		niespoiste		spoiste		gruboziarniste i kamieniste	
		grubość warstwy [m]	liczba przejść n	grubość warstwy [m]	liczba przejść n	grubość warstwy [m]	liczba przejść n
Walce statyczne	gładkie	0,1 do 0,2	4 do 8	0,1 do 0,2	4 do 8	0,2 do 0,3	4 do 8
	okołkowane	-	-	0,2 do 0,3	8 do 12	0,2 do 0,3	8 do 12
	ogumione	0,2 do 0,5	6 do 8	0,2 do 0,4	6 do 10	-	-
Walce wibracyjne	gładkie	0,4 do 0,7	4 do 8	0,2 do 0,4	3 do 4	0,3 do 0,6	3 do 5
	okołkowane	0,3 do 0,6	3 do 6	0,2 do 0,4	6 do 10	0,2 do 0,4	6 do 10
Zagęszczarki wibracyjne		0,3 do 0,5	4 do 8	-	-	0,2 do 0,5	4 do 8

4. BADANIA ZAGĘSZCZENIA NASYPÓW

4.1. WPROWADZENIE

Zagęszczenie jest to podstawowa metoda ulepszania gruntów w robotach ziemnych. Jego efektem jest wzrost gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_d przy stałej wilgotności. Dzieje się tak w wyniku zmniejszenia się w gruncie objętości porów i usuwaniem z porów powietrza. Miarą zagęszczenia gruntów są dwa podstawowe parametry:

- I_D – stopień zagęszczenia gruntu niespoistego w stanie naturalnym – nienaruszonym,
- I_S – wskaźnik zagęszczenia, opisujących zagęszczenie gruntów zarówno spoistych jak i niespoistych sztucznie zagęszczanych.

Parametry te służą do klasyfikacji zagęszczenia gruntu, które można wyznaczać w sposób bezpośredni i pośredni.

4.1.1. Stany zagęszczenia gruntu gruboziarnistego

Stopień zagęszczenia gruntu niespoistego klasyfikuje grunty gruboziarniste pod względem stopnia zagęszczenia. Stopień zagęszczenia gruntu wyznacza się ze wzoru:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 \quad (1)$$

gdzie:

- e_{\max} – wskaźnik porowatości maksymalnej – najluźniejsze ułożenie gruntu,
- e_{\min} – wskaźnik porowatości minimalnej – najbardziej gęste ułożenie gruntu,
- e – wskaźnik porowatości gruntu aktualnie badanego.

W tabeli 4 podano podział gruntów gruboziarnistych z uwagi na wartość liczbową stopnia zagęszczenia I_D .

Tabela 4. Klasyfikacja zagęszczenia gruntów gruboziarnistych

STAN ZAGĘSZCZENIA	SYMBOL	STOPIEŃ ZAGĘSZCZENIA [%]
BARDZO LUŻNE	bln	0 - 15
LUŻNE	ln	15 - 35
ŚREDNIO ZAGĘSZCZONE	szg	35 - 65
ZAGĘSZCZONE	zg	65 - 85
BARDZO ZAGĘSZCZONE	bzg	85 - 100

4.1.2. Zagęszczalność gruntów gruboziarnistych

Zagęszczalnością gruntu nazywa się jego zdolność do uzyskania określonej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_d , w zależności od użytej energii (sprzętu mechanicznego), rodzaju gruntu i jego wilgotności – w . W celu wyznaczenia wartości liczbowej wskaźnika zagęszczalności I_s niezbędne jest określenie maksymalnej gęstości objętościowej ρ_{ds} występującej przy wilgotności optymalnej w_{opt} . Wartość liczbową wskaźnika zagęszczalności I_s wyznacza się ze wzoru:

$$I_s = \frac{\rho_d}{\rho_{ds}} \quad (2)$$

gdzie:

- ρ_d – gęstość objętościowa szkieletu gruntowego gruntu w nasypie w $\frac{t}{m^3}$,
- ρ_{ds} – maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego przy wilgotności optymalnej w_{opt} gruntu $\frac{t}{m^3}$.

4.2. METODY BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU

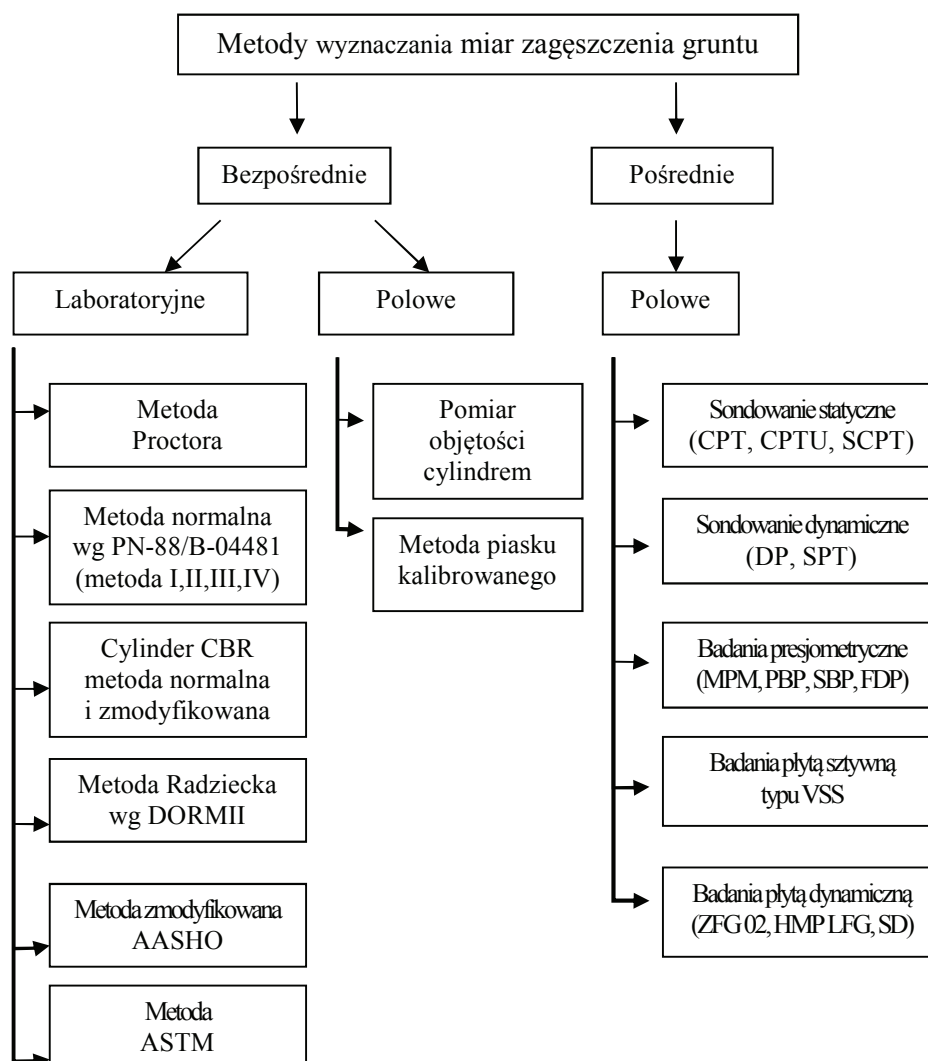
W praktyce inżynierskiej metody badań zagęszczenia i zagęszczalności gruntu należy podzielić na:

- **laboratoryjne** – polegające na wyznaczeniu metodami ubijania maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_{ds} i wilgotności optymalnej w_{opt} gruntu,
- **polowe** – bezpośrednie i pośrednie metody wyznaczenia miar zagęszczenia gruntu w warunkach budowy – *in situ*.

Wyznaczenie miar zagęszczenia należy podzielić przede wszystkim na metody bezpośrednie i pośrednie.

- **Metody bezpośrednie** polegają na wyznaczeniu gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_d na podstawie pomiaru *in situ* gęstości objętościowej gruntu ρ i porównaniu wyników liczbowych z wartością maksymalną gęstości objętościowej ρ_{ds} wyznaczoną w warunkach laboratoryjnych.
- **Metody pośrednie** polegają na wyznaczeniu zagęszczenia gruntu I_D lub wskaźnika zagęszczalności I_s za pomocą badań, na podstawie których wyznaczane są parametry geotechniczne, służące później do obliczenia miar zagęszczenia.

Przykładowymi parametrami pośrednimi określenia miar zagęszczenia są np. moduły sztywności podłoża E_2 i E_1 , moduł dynamiczny odkształcenia podłoża E_{vd} lub liczba uderzeń wpeędu sondy na 10 cm N_{10} . Na schemacie poniżej przedstawiono metody bezpośrednie i pośrednie wyznaczania miar zagęszczenia.



4.3. WYBRANE METODY BADAŃ ZAGĘSZCZALNOŚCI GRUNTU

Wybór metody badania zagęszczenia gruntów uwarunkowany jest przede wszystkim od rodzaju gruntu i w zależności od niego należy dobrać odpowiednią metodę badawczą. W przypadku gruntów gruboziarnistych piaszczystych możliwe jest zastosowanie wszystkich metod badawczych zarówno bezpośrednich, jak i pośrednich. Problem pojawią się natomiast w przypadku badania materiałów zasypowych o frakcjach żwirowych tzn. powyżej 2 mm. W tym przypadku możliwe do zastosowania są metody:

- bezpośrednie laboratoryjne: np. metoda Proctora,
- bezpośrednie polowe: np. metoda piasku kalibrowanego,
- pośrednie polowe: badanie płytą VSS i badanie płytą dynamiczną.

Zastosowanie metod bezpośrednich jest procesem długotrwałym i trudnym do szybkiego weryfikowania prawidłowości zagęszczenia w warunkach budowy, gdzie najistotniejsza jest możliwość szybkiej oceny prawidłowości wbudowania materiału ziemnego. W celu przyspieszenia realizacji oraz ułatwienia badań polowych stosuje się obecnie w przypadku materiałów gruboziarnistych odpowiadających frakcją żwirowym dwie podstawowe metody badań polowych: badanie płytą typu VSS i badanie płytą dynamiczną.

4.3.1. Badania płytą typu VSS

Badania *in situ* za pomocą aparatu VSS polega na wyznaczeniu pierwotnego modułu odkształcenia E_1 , wtórnego modułu odkształcenia E_2 – tzw. modułu odkształcenia sprężystego oraz wskaźnika odkształcenia I_0 tzn. stosunku modułów wtórnego do pierwotnego $I_0 = \frac{E_2}{E_1}$. Pomiar „płytą VSS” dokonuje się w dwóch cyklach obciążenia, pomiędzy którymi przeprowadza się proces odciążenia podłoża. Obciążenie odbywa się stopniami co 0,05 MPa do wymaganej wartości końcowej natomiast odciążenie realizuje się stopniami co 0,1 MPa.

Moduły odkształcenia określa się z zależności:

$$E_1 = \frac{3\Delta p_1 D}{4\Delta s_1}, \quad E_2 = \frac{3\Delta p_2 D}{4\Delta s_2}, \quad (3)$$

gdzie:

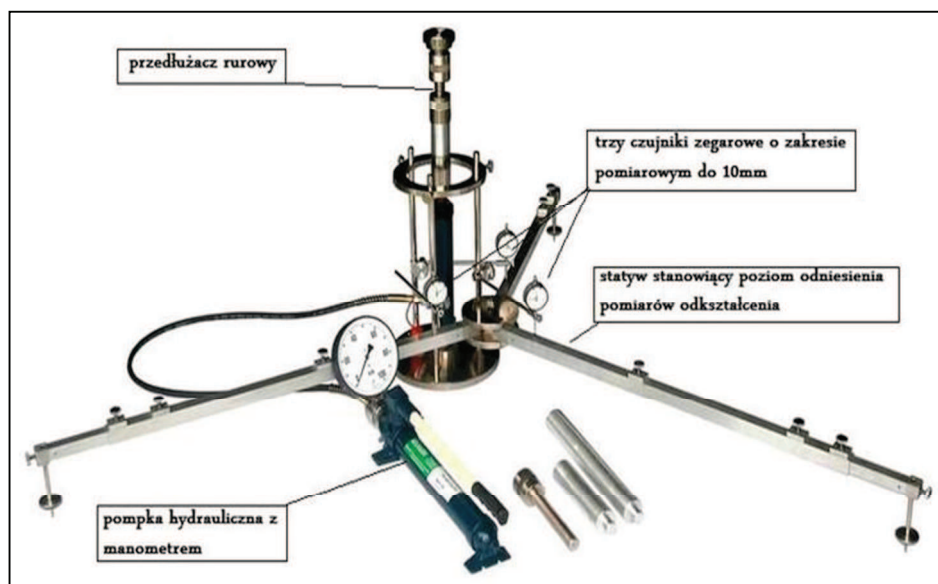
- E_1 – pierwotny moduł odkształcenia [MPa],
- E_2 – wtórny moduł odkształcenia [MPa],
- $\Delta p_{1,2}$ – różnica obciążeń w pierwszym (1) i drugim (2) cyklu obciążenia w [MPa], w zakresach zależnych od rodzaju podłoża, gdzie dla podłoża gruntowego zakres wynosi 0,05 ÷ 0,15 MPa a dla ulepszonego 0,15 ÷ 0,25,
- $\Delta s_{1,2}$ – przyrost osiadań w pierwszym (1) i drugim (2) cyklu obciążenia w [mm], odpowiadający zakresom obciążeń,
- D – średnica płyty pomiarowej i $D=300$ mm.

Na polskim rynku dostępne są następujące aparaty VSS:

- 3a – aparat trzypunktowy z licznikami analogowymi,
- 3e – aparat trzypunktowy z licznikami elektronicznymi,
- 1a – aparat jednopunktowy z licznikiem analogowym,
- 1e – aparat jednopunktowy z licznikiem elektronicznym,

Jedno- lub trzy-punktowy odnosi się tutaj do liczby liczników zamieszczonych na statywie teleskopowym – w przypadku aparatu 1e i 1a lub statywie w kształcie trójnogu – dla aparatów 3a i 3e. Niezależnie od rodzaju narzędzia procedura badania pozostaje niezmienna, różnica polega jedynie na tym, że w przypadku aparatu trzypunktowego bierze się średnią wartość osiadania odczytaną z trzech liczników, a w przypadku aparatu jednopunktowego wartość

osiadania otrzymujemy bezpośrednio. Poniżej na rysunku 1 i fotografii 1 przedstawiono budowę aparatu trzypunktowego.

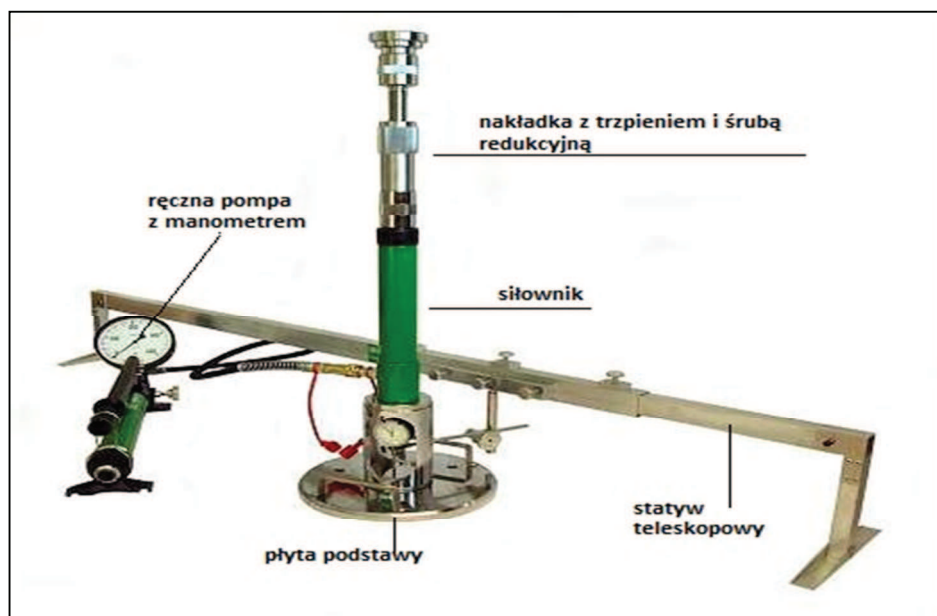


Rys. 1. Budowa aparatu VSS-3a



Fot. 1. Aparat VSS-3a w trakcie wykonywania badania

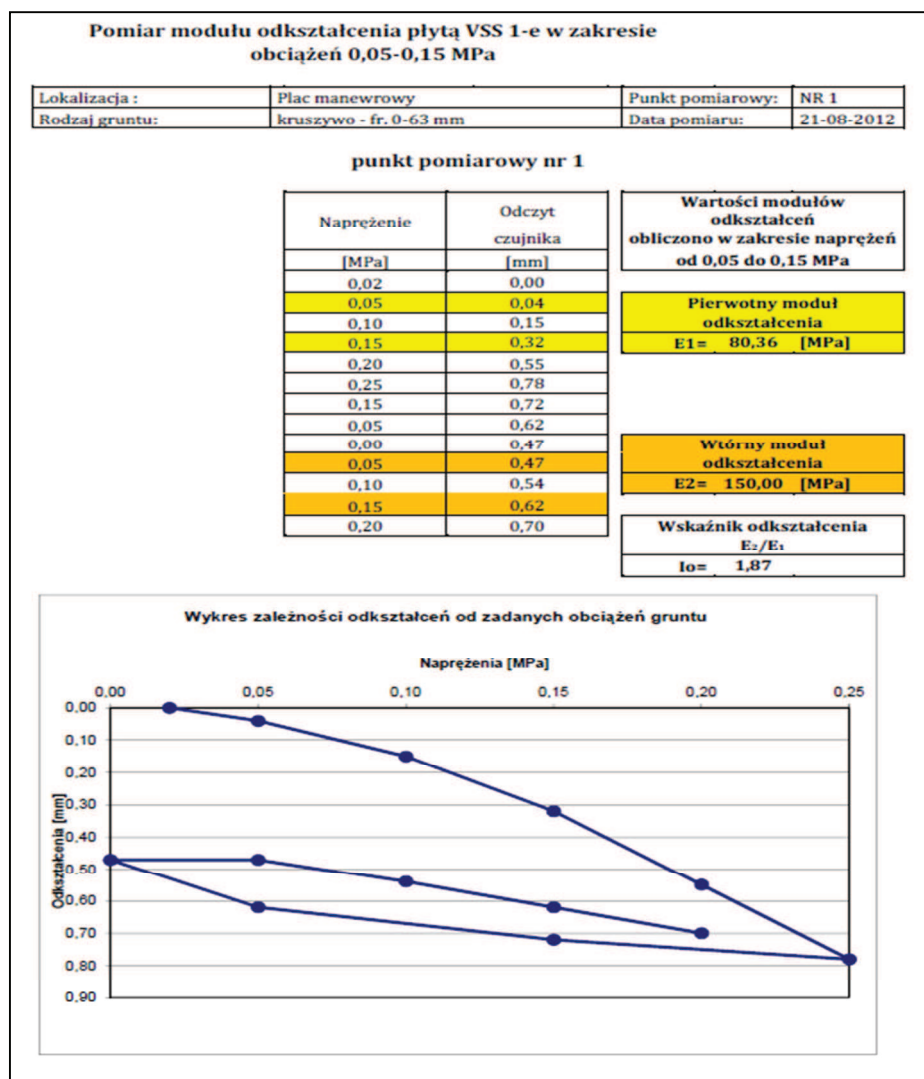
Poniżej na rysunku 2 i fotografii 2 przedstawiono budowę aparatu jednopunktowego.



Rys. 2. Budowa aparatu VSS-1a



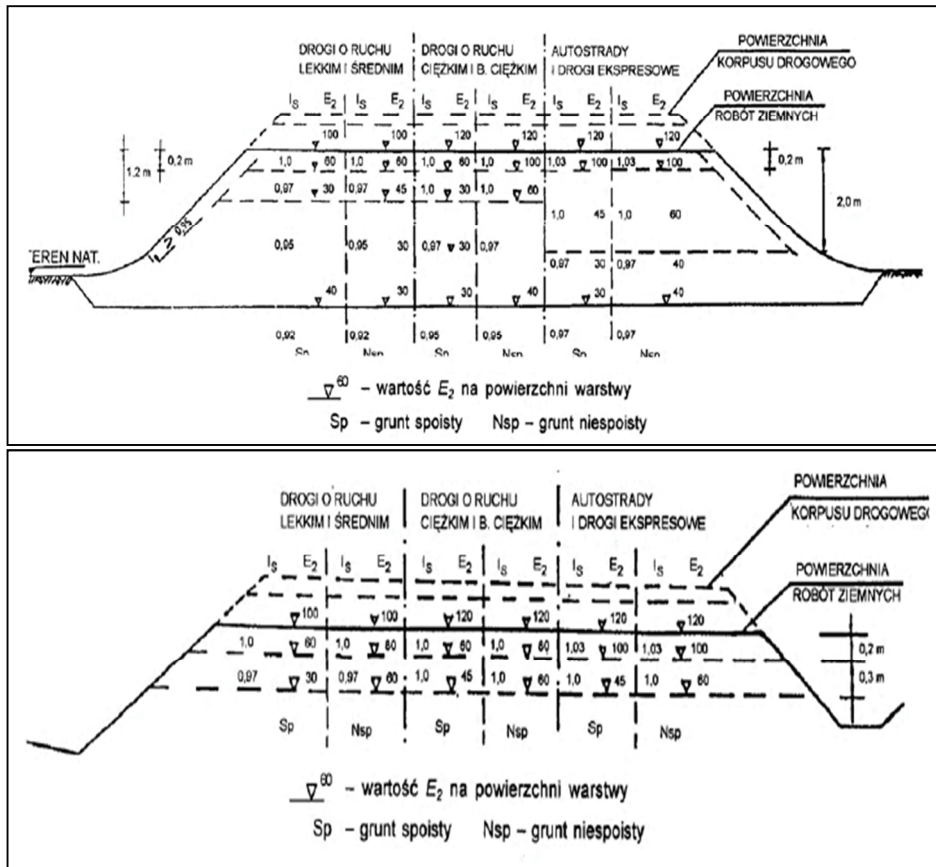
Fot. 2. Aparat VSS-1e w trakcie badań *in situ*



Rys. 3. Graficzne przedstawienie wyników badań z testu VSS

Ocenę prawidłowości zagęszczenia nasypów w zależności od ich funkcji wykonuje się na podstawie porównania otrzymanych wartości modułów odkształceń $E_{1,2}$ i wskaźnika odkształcenia I_0 z wartościami wymaganymi.

Wymagania zagęszczenia gruntów w nasypach i wykopach w odniesieniu do wymagań normy drogowej PN-S-02205:1998.



Rys. 4. Wymagane wg PN-S wartości parametrów geotechnicznych do nasypów drogowych według PN-S-02205:1998

Zgodnie ze sztuką inżynierską przy ocenie prawidłowości zagęszczenia materiału należy kierować się uzyskaniem projektowanych wartości modułów odkształcenia podłoża E_1 i E_2 oraz, w zależności od rodzaju gruntu otrzymaniem prawidłowej wartości odkształcenia podłoża I_0 , która zależnie od rodzaju gruntu wynosi:

- dla gruntów piaszczystych $I_0 \leq 2,2$ i $I_s \geq 1,0$, oraz $I_0 \leq 2,5$ i $I_s < 1,0$,
- dla gruntów drobnoziarnistych $I_0 \leq 2,0$,
- dla gruntów różnoziarnistych $I_0 \leq 3,0$,
- dla narzutów kamiennych rumoszy $I_0 \leq 4,0$,
- dla gruntów antropogenicznych I_0 – wyznacza się doświadczalnie,
- dla gruntów ulepszonych spoiwami $I_0 \leq 2,2$.

W realizacjach bardzo często spotyka się wymagania – w przypadku budowy nasypów pod obiekty kubaturowe – dotyczące do wartości liczbowych modułów odkształcenia podłoża na poziomie $E_1 > 60$ MPa, $E_2 > 120$ dla $I_0 \leq 2,5$.

4.3.2. Badania płytą dynamiczną typu HMP-LFG

Do metod pośrednich polowych coraz częściej używana jest lekka płyta dynamiczna. Jest to urządzenie służące określeniu nośności, jak i stanu zagęszczenia gruntu. Została skonstruowana i zastosowana w praktyce w Niemczech, gdzie w 1980 roku została wprowadzona jako metoda normowa. W 1981 roku wprowadziła ją do swojej normy Czechosłowacja, a w 1981 roku została wpisana do niemieckich wytycznych drogowych. Wraz z rozwojem dynamicznego pomiaru zagęszczenia inne kraje zaczęły stosować tę metodę, która w zależności od państwa została różnie nazwana:

- Niemcy – Leichten Fallgewichtsgerat,
- Anglia – German Dynamic Plate Bearing Test,
- USA – Light Drop Weight, Dynamic Load Plate,
- Izrael – Light Drop Weight,
- inne kraje Europy – Light Drop-Weight Tester lub Light Falling Weight Device
- Polska – Lekka płyta dynamiczna, Ugiętościomierz dynamiczny (rys 5,6).

Zasadą działania lekkiej płyty dynamicznej jest wywołanie w podłożu pod płytą naciskową o średnicy $D = 300$ mm impulsu, spowodowanego uderzeniem obciążnika. Do rejestracji odkształcenia podłoża służy system elektroniczny, w skład którego wchodzi:

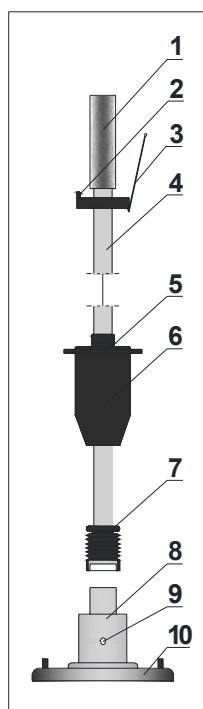
- miernik elektroniczny (komputer),
- czujniki piezoelektryczne znajdujące się w obudowie płyty naciskowej.

Wynikiem pomiaru jest wartość liczbową dynamicznego modułu odkształcenia E_{vd} wyrażona w MPa. Obliczana jest ona ze wzoru:

$$E_{vd} = 1,5 \frac{r_p \sigma_D}{s} = \frac{22,5}{s} \quad (4)$$

gdzie:

- r_p – promień płyty naciskowej (150 mm)
- σ_D – amplituda naprężenia dynamicznego pod płytą naciskową równa 0,1 MPa
- s – średnie osiadanie płyty naciskowej, wyznaczone z 3 uderzeń badawczych po wstępnym obciążeniu podłoża trzema udarami.



Urządzenie obciążające

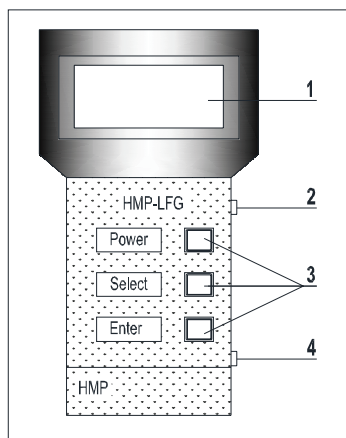
- 1. Uchwyt
- 2. Poziomnica
- 3. Urządzenie wczepiające
- 4. Prowadnica
- 5. Bijak
- 6. Zabezpieczenie transportowe

Płyta bazowa

- 8. Kołpak z czujnikiem rejestrującym
- 9. Gniazdo do podłączenia przewodu
- 10. Uchwyt płyty bazowej

Rys. 5. Budowa lekkiej płyty dynamicznej typu HMP-LFG

- 1. Wyświetlacz graficzny LCD
- 2. Wyjście do przewodu pomiarowego
- 3. Klawiatura opcji
 Power – zasilanie
 Select – wybór
 Enter – czynność
- 4. Wyjście na drukarkę lub PC



Rys. 6. Urządzenie rejestrujące (komputer)

Istotą każdego badania pośredniego jest uzyskanie wyniku liczbowego parametru, dzięki któremu można w sposób bezpośredni wyznaczyć miary zagęszczenia gruntu, tj. I_s oraz I_D . W przypadku płyty dynamicznej uzyskuje się parametr zagęszczenia w postaci modułu dynamicznego, na podstawie którego można wyznaczyć wartość wskaźnika zagęszczenia I_s oraz wartość wtórnego modułu odkształcenia gruntu E_2 . W Polsce stosuje się niemieckie wytyczne do przeliczania wartości modułu dynamicznego na opisane powyżej parametry gruntu (tab. 5 i 6).

Tabela 5. Zestawienie wartości modułu dynamicznego w odniesieniu do I_s i E_2 , według (niemieckiej literatury)

Wytyczne wg:	Zależności		Parametr		
			E_{vd}	I_s	E_2
Niemiecka kolej Deutsche Bahn NGT 39 [xxx] (nasypy)	torowiska przelotowe głównych linii kolejowych	$C_u > 15$	50	1,00	120
	torowiska przelotowe linii S-bahn oraz pobocznic	$C_u > 15$	45	1,00	100
	torowiska linii pozostałych	$C_u > 15$	40	0,97	80
Niemiecka kolej Deutsche Bahn NGT 39 [xxx] (podłoże gruntowe)	torowiska przelotowe głównych linii kolejowych	żwiry i piaski	40	1,00	80
		pozostałe grunty	35		
	torowiska przelotowe linii S-bahn oraz pobocznic	żwiry i piaski	35	0,97	60
		pozostałe grunty	30		
	torowiska linii pozostałych	żwiry i piaski	30	0,95	45
		pozostałe grunty	25		
ZTVA-StB 97 ⁴	zasyпки przekopów i wykopów w budownictwie komunikacyjnym		60	-	120
			50	-	100
			40	-	80
			25	-	45

⁴ Instytut Badawczy Drogownictwa i Komunikacji grupa: Komunalne Budownictwo Drogowe.

cd. Tabela 5. Zestawienie wartości modułu dynamicznego w odniesieniu do I_s i E_2 , według (niemieckiej literatury)

ZTVE-StB 94 ⁵	roboty ziemne w budownictwie drogowym	żwir	≥ 55	$\geq 1,00$	≥ 100
			≥ 45	$\geq 0,98$	≥ 80
			≥ 40	$\geq 0,97$	≥ 70
		żwiry i piaski	≥ 40	$\geq 1,00$	≥ 80
			≥ 35	$\geq 0,98$	≥ 70
			≥ 32	$\geq 0,97$	≥ 60
		grunty mieszane drobnoziarniste	≥ 25	$\geq 1,00$	≥ 45
			≥ 15	$\geq 0,97$	≥ 30
			≥ 10	$\geq 0,95$	≥ 20

Tabela 6. Zestawienie wartości modułu dynamicznego w odniesieniu do wymagań ZTVT

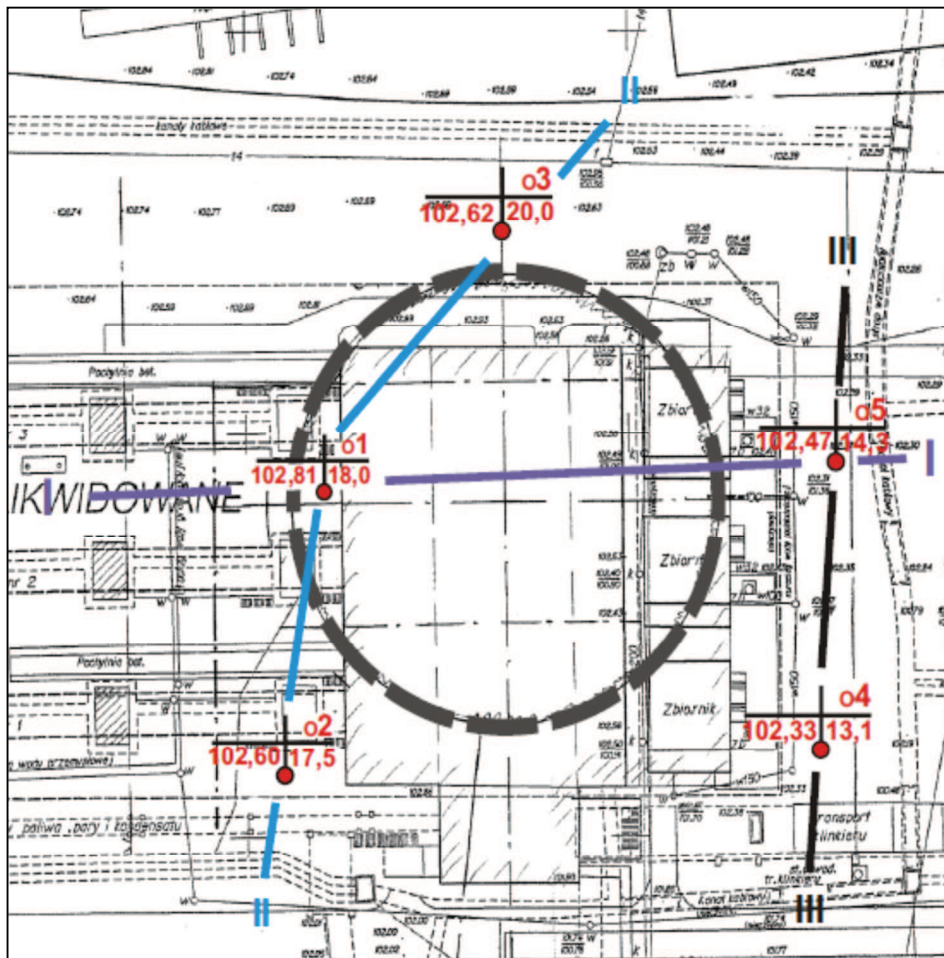
Typ gruntu		Wskaźnik zagęszczalności	Moduł odkształcenia	
		I_s	E_2 [MPa]	E_{vd} [MPa]
Równoziałniste	Z domieszką ziaren $d \leq 2$ mm poniżej 60% wagi oraz $d \leq 0,063$ mm pon. 7% wagi	$\geq 1,03$	≥ 120	≥ 60
	Z domieszką ziaren $d \leq 2$ mm poniżej 60% wagi	$\geq 1,00$	≥ 100	≥ 50
		$\geq 0,98$	≥ 80	≥ 40
		$\geq 0,97$	≥ 70	≥ 35
	O ziarnie równym	$\geq 1,00$	≥ 80	≥ 40
		$\geq 0,98$	≥ 70	≥ 35
Różnoziarniste	Z udziałem ziaren $d \leq 0,063$ mm od 7 do 15 % wagi oraz $d \leq 2$ mm poniżej 60% wagi	$\geq 1,00$	≥ 70	≥ 35
		$\geq 0,97$	≥ 45	≥ 25
	Z udziałem ziaren $d \leq 0,063$ mm od 15 do 40% wag. oraz $d \leq 2$ mm poniżej 60% wagi	$\geq 0,97$	≥ 45	≥ 25
		$\geq 0,95$	≥ 30	≥ 20

⁵ Instytut Badawczy Drogownictwa i Komunikacji grupa: Budownictwo Ziemne i Fundamentowanie.

5. METODYKA I PROGRAM BADAŃ

Przed przystąpieniem do sporządzenia metodyki oraz programu badań wykonano badania geotechniczne podłoża gruntowego, na podstawie których opracowano założenia brzegowe do celów realizacji obiektu i jego posadowienia.

Na poligonie doświadczalnym rozpoznano dokładnie podłoże gruntowe do głębokości 20 m poniżej istniejącego poziomu terenu za pomocą 5 otworów badawczych o średnicy 200 mm. Pobrano reprezentatywne próbki gruntu, które poddano badaniu w laboratorium Katedry Geotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Lokalizacja miejsc wykonanych badań została przedstawiona na rysunku 7.



Rys. 7. Lokalizacja miejsc wykonania badań geotechnicznych w planie silosu

Na podstawie analizy wykonanych badań terenowych i laboratoryjnych ustalono parametry mechaniczne i fizyczne gruntów – zgodnie z przyjętymi zasadami w geotechnice oraz w odniesieniu do normy projektowej PN-81/B-03020. Wydzielono w podłożu trzy serie geotechniczne zbudowane z utworów czwartorzędowych i jurajskich. Z klasyfikacji geotechnicznej wyłączono nasypy niekontrolowane. Wyznaczono następujące serie i warstwy geotechniczne:

Seria geotechniczna – I, pochodzenia glacialnego, zbudowana z gruntów rodzimych, mineralnych, spoistych. Zalegała ona poniżej warstwy nasypów niekontrolowanych, od głębokości 1,7-3,1 m p.p.t., do głębokości 11,8-12,3 m p.p.t. Ze względu na zróżnicowaną wartość stopnia plastyczności I_L serię I podzielono na dwie warstwy geotechniczne, gdzie:

- warstwa Ia zbudowana jest z glin piaszczystych w stanie twardoplastycznym o wartości charakterystycznej stopnia plastyczności $I_L^{(n)} = 0,21$ przy $\gamma_m = 1+/-0,10$,
- warstwa Ib zbudowana z piasków gliniastych przewarstwionych piaskiem drobnym o wartości charakterystycznej stopnia plastyczności $I_L^{(n)} = 0,31$ przy $\gamma_m = 1+/-0,10$.

Seria geotechniczna – II, pochodzenia glacialnego, zbudowana z gruntów rodzimych, mineralnych, spoistych. Zalega ona poniżej warstwy geotechnicznej Ia i Ib, od głębokości 12,3 m p.p.t., do głębokości stropu utworów wieku jurajskiego. Charakterystyczna wartość liczbowa stopnia plastyczności dla serii geotechnicznej II wynosi $I_L^{(n)} = 0,00$ przy $\gamma_m = 1+/-0,10$.

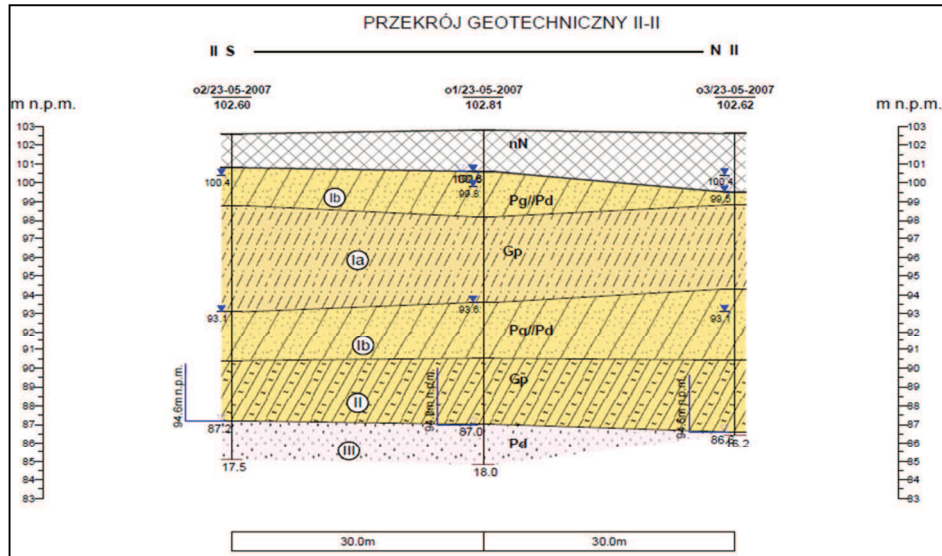
Seria geotechniczna – III, pochodzenia morskiego, zbudowana jest z gruntów rodzimych, mineralnych, niespoistych i występowała bezpośrednio pod utworami serii II. Niespoiste grunty reprezentowane są przez piaski drobne i piaski pylaste, częściowo zliityfikowane. Charakterystyczna wartość liczbowa stanu zagęszczenia gruntów serii III wynosi $I_D^{(n)} > 0,80$ przy $\gamma_m = 1+/-0,10$.

Na podstawie badań terenowych ustalono, że woda występuje w dwóch warstwach wodonośnych:

- I warstwa wodonośna (czwartorzędowa) – nieciągła, występowała w postaci sączeń śródglinowych w przewarstwiowaniach piaszczystych w przedziale głębokości około 0,0 do 8,5 m p.p.t.
- II warstwa wodonośna (jurajska) – o charakterze ciągłym, występowała w utworach jurajskich i charakteryzowała się napiętym zwierciadłem wody gruntowej nawierconym na głębokości 11,3-13,3 m p.p.t. i stabilizującym się na głębokości 7,5-7,9m; ciśnienie piezometryczne $\Delta H = 3,9-5,9$ m/słupa wody.

Środowisko gruntowo-wodne na podstawie wyników analizy chemicznej oceniono jako słabo agresywne i zaklasyfikowano do klasy środowiska gruntowo-wodnego: **E-C.3.m Ia**.

Szczegółową charakterystykę warunków gruntowo-wodnych oraz parametrów fizykomechanicznych gruntów budujących podłoże poligonu doświadczalnego przedstawiono na rysunkach 8 i 9.



Rys. 8. Przekrój geotechniczny przez warstwy podłoża gruntowego

OBJASNIENIA GEOLOGICZNE		PARAMETRY GEOTECHNICZNE wg PN-81/B-03020													
		wartości charakterystyczne $x^{(*)}$						a - parametr ustalony metodą A b - parametr ustalony metodą B c - parametr ustalony metodą C							
		wartości obliczeniowa $x^{(r)} = x^{(*)} \cdot \gamma_m$													
Profil Stratygraficzny Litologiczny	Opis Litologiczno-Genetyczno Stratygraficzny	Nr warstwy geotechnicznej	Sygnatury wg PN-80/B-2480	Sygnatury geotechniczne	Stan gruntu		Włgłość naturalna	Ciężar objętościowy	Spójność	Kąt tarcia wewnętrznego	Edometryczny moduł ściśliwości		Wytrzymałość na ściskanie		
					Stopień zagęszczenia	Stopień plastyczności					Pierwotnej	Wolnej	Średnia obrotowa SO-1	Sonda obrotowa PS01	Panometry łuckowy
					I _b	I _c	W _n %	γ_s kNm ⁻³	C_u kPa	ϕ_u °	M_2 MPa	M MPa	$r_{1,1}$ kPa	$r_{1,2}$ kPa	$r_{2,2}$ kPa
	Nasyty niebudowlane składające się z kruszywa i piasku drobnego	nN	(H/Pd)		NIE BRANO POD UWAGĘ W KLASYFIKACJI, WARSTWA GRUNTU W CAŁOŚCI DO USUNIĘCIA										
Czerwonoziółca	Spoiste osady glacialne morenowe gliny i piaski gliniaste niekonsolidowane	Ia	Pg/Gp	B	---	0,21 ^a	14 ^a	21,5 ^b	31 ^b	18 ^b	36 ^b	48 ^b			
		Ib	Gp/G	B	---	0,37 ^a	17 ^a	21,0 ^b	25 ^b	15 ^b	25 ^b	33 ^b			
	Gliny i gliny pylaste zwalowa, skonsolidowane	II	G _z /G _z	A	---	0,0 ^a	12,8 ^a	21,0 ^b	50 ^b	22 ^b	65 ^b	87 ^b			
JURA-J	Niespoiste utwory morskie piaski drobne, pylaste i piaszczyste częściowo złyfikowane	III	Pd/P _z	---	0,80	---	14,0	21,0	---	40	220	220			

Uwagi: $\gamma_m = 1 \rightarrow 0,10$

Opracował: Mgr inż. L. Kuzar Wykonał: dr hab. inż. M. Kuzar

Rys. 9. Parametry geotechniczne podłoża gruntowego silosu

Na podstawie rozpoznanych warunków gruntowo-wodnych zakres programu badań oraz sposób jego realizacji uwarunkowany był następującymi czynnikami:

- założeniami technicznymi i warunkami brzegowymi do projektowanego obiektu – silos (rys. 16-18),
- wymaganiami i projektowanymi parametrami mechanicznymi nasypu budowlanego,
- doбором odpowiedniego kruszywa do wykonania nasypu,
- opracowaniem technologii warstwowego wykonywania robót ziemnych,
- dostępnymi nowoczesnymi technologiami i metodami badawczymi parametrów mechanicznych materiałów zasypowych w warunkach *in situ*,
- czas realizacji zadania technicznego.

Wyżej wymienione czynniki warunkowały niezbędny zakres programu, sposób realizacji badań oraz technologie wykonania robót ziemnych, które determinowały sposób formowania nasypów warstwowych bez konieczności zagęszczenia każdej wbudowywanej warstwy materiału do uzyskania 100% projektowanego stanu zagęszczenia.

5.1. OPIS POLIGONU DOŚWIADCZALNEGO

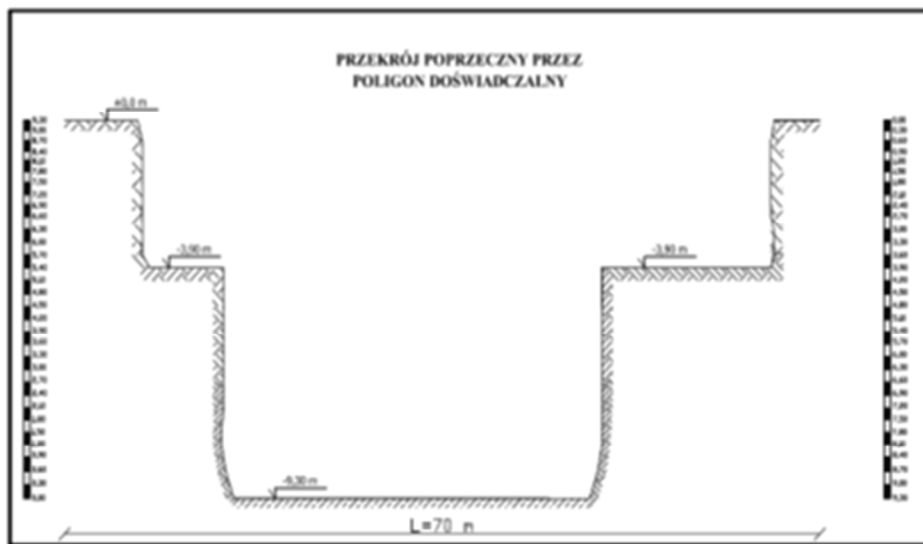
Poligon doświadczalny stanowił nasyp ziemny pod projektowany obiekt – silos na klinkier o pojemności odpowiadającej masie składowanego materiału 200 tysięcy ton, który realizowany był na terenie cementowni Lafarge.

Wykop pod silos powstał w wyniku rozbiórki starych fundamentów pieców obrotowych, do poziomu gruntu rodzimego. Po zakończeniu prac rozbiórkowych w miejscu lokalizowanego silosu powstało wyrobisko osiągające miejscami głębokość – 9,0 m p.p.t., które zostało przeznaczone do wypełnienia. Należało wykonać nasyp budowlany, który stanowił podłoże gruntowe nowo projektowanego silosu. W planie obiekt silosu miał kształt walca o średnicy około $D=70$ m oraz wysokość $H=37$ m. Posadowienie płaszcza obiektu zaprojektowano jako pośrednie w postaci pali wierconych, które realizowane były z poziomu nasypu ziemnego od rzędnej – 1,0 m p.p.t. Płytę denną silosu zaprojektowano w technologii monolitycznej żelbetowej posadowionej bezpośrednio na nasypie budowlanym. Nasyp stanowił jednocześnie poligon badawczy w skali 1:1.

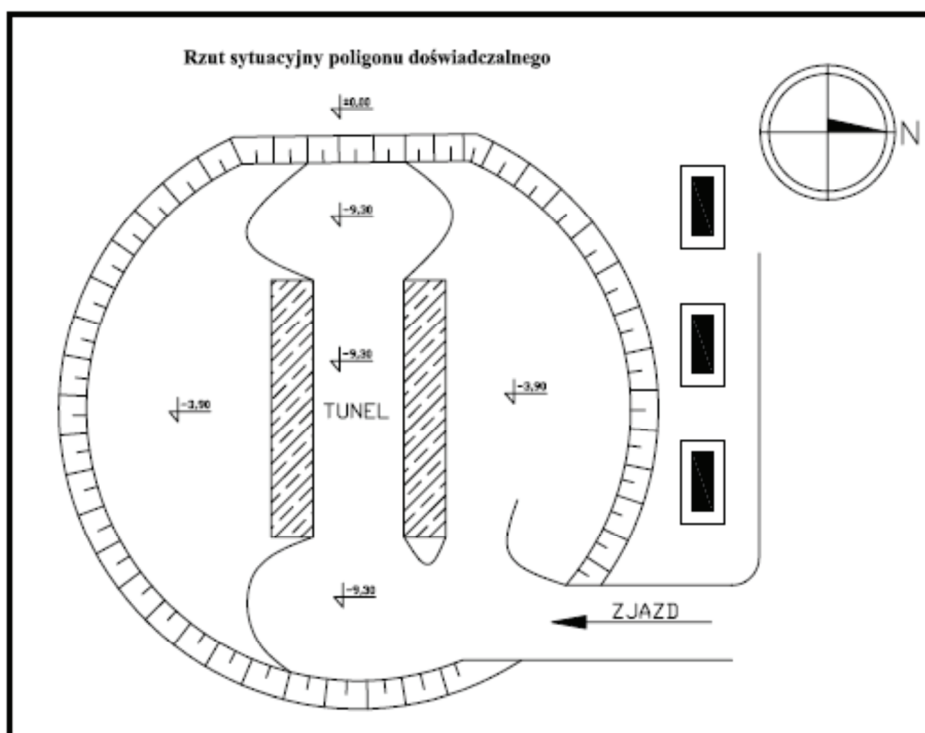
Wymiary geometryczne wykopu pod projektowany nasyp wynosiły:

- średnica $D \approx 70,0$ m
- głębokość/wysokość $H_1 = -10,0$ m , $H_2 = -4,0$ m
- objętość $V = 16\,500$ m³

Szkic poligonu doświadczalnego przedstawiono na rysunkach 10 i 11 i fotografiach 3 i 4.



Rys. 10. Przekrój przez poligon doświadczalny



Rys. 11. Rzut poligonu doświadczalnego



Fot. 3. Widok poligonu doświadczalnego od południa



Fot. 4. Etap I realizacji nasypu poziom – 10,0 m p.p.t.

5.2. MATERIAŁ ZASYPOWY

5.2.1. Badania laboratoryjne materiałów

Z uwagi na zakres ilościowy prac – 35 tys. ton kruszywa potrzebnego do wykonania nasypu budowlanego, bardzo istotną sprawą był właściwy dobór materiału zasypowego. Do podstawowych kryteriów, którymi kierowano się przy wyborze materiału zaliczono:

- właściwości granulometryczne kruszywa – parametry C_u i C_c ,
- jakość kruszywa i jego niezmienność uziarnienia – parametr ρ_{ds} ,
- możliwości ciągłego dostarczenia kruszywa o stałej wilgotności – parametr $w_n \approx w_{opt}$,
- metody standardowe kontroli miar zagęszczenia materiału polowe i laboratoryjne,
- możliwość zastosowania metod polowych pośrednich w odniesieniu do metod bezpośrednich laboratoryjnych,
- miejsce i głębokość wbudowania kruszywa – kwestia przemarzania gruntu,
- warunki pracy kruszywa w nasypie – odporność na korozję chemiczną i mechaniczną oraz trwałość,
- dostępność kruszywa – możliwość technologiczne producenta,
- sprawna technologia formowania nasypu – rodzaj sprzętu do zagęszczenia,
- kryteria ekonomiczne – istotne dla inwestora,

Spośród dostępnych zwirowni w rejonie poligonu doświadczalnego, wybrano do analizy laboratoryjnej grunty naturalne pochodzące z 6 wyrobisk komercyjnych. Z uwagi na fakt bliskości wytwórni kruszyw Lafarge Kruszywa Wapienno do badań przeznaczono także materiał „sztuczny” – według podpunktu 3.3.3. Do badań laboratoryjnych pobrano następujące kruszywa naturalne z wyrobisk:

- Wojdał VII – grunt mineralny, piasek średni frakcji 0-2 mm,
- Wojdał VIII – grunt mineralny, piasek średni frakcji 0-4 mm,
- Wojdał X – grunt mineralny, piasek średni frakcji 0-2 mm,
- Smogorzewo – grunt mineralny piasek drobny frakcji 0-2 mm,
- Łabiszyn I – grunt mineralny żwir frakcji 0-10 mm,
- Łabiszyn II – grunt mineralny piasek gruby 0-2 mm,

oraz dwie próbki materiału sztucznego z wytwórni kruszyw Lafarge:

- niesort wapienny (I) frakcji 0-31,5 mm,
- niesort wapienny (II) frakcji 0-31,5 mm.

Wykonano badania laboratoryjne gruntów i kruszyw w zakresie analizy granulometrycznej oraz badań metodą Proctora. Celem analiz laboratoryjnych było oznaczenia następujących parametrów fizycznych:

- $C_u, C_c, k_{10}, d_{10}, d_{60}, d_{30},$
- $\rho_{ds}, W_{opt},$

Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano wyniki cech fizycznych oraz zaklasyfikowano materiały do odpowiedniej grupy kruszyw zgodnie z wymogami technicznymi. Wyniki przedstawiono w tabelach 7,8,9.

Tabela 7. Wyniki badań laboratoryjnych analizowanych materiałów zasypowych

Lp.	Nazwa handlowa materiału	Parametry i cechy fizyczne							
		C_u	C_c	k_{10}	d_{10}	d_{30}	d_{60}	ρ_{ds}	W_{opt}
		-	-	10^4 m/s	mm	mm	mm	t/m^3	%
1	Wojdal VII	3,22	1,24	0,25	0,18	0,36	0,58	1,787	4,95
2	Wojdal VIII	2,65	1,33	0,29	0,19	0,36	0,51	1,785	4,93
3	Wojdal X	2,30	1,57	0,39	0,22	0,43	0,52	1,701	4,90
4	Smogorzewo	2,57	0,40	0,02	0,07	0,07	0,18	1,603	9,81
5	Łabiszyn I	2,71	0,96	20,5	1,60	2,10	4,10	1,872	4,23
6	Łabiszyn II	2,71	0,96	0,77	0,31	0,50	0,84	1,872	4,23
7	Niesort wapienny(I)	62,1	1,20	5,7	0,22	1,89	13,8	1,884	4,56
8	Niesort wapienny(II)	21,6	1,30	28	0,48	2,57	10,5	1,949	6,17

Tabela 8. Klasyfikacja materiału z uwagi na krzywą uziarnienia

Lp.	Nazwa handlowa materiału	Parametry fizyczne		Klasyfikacja materiału
		C_u	C_c	
		-	-	
1	Wojdal VII	3,22	1,24	JEDNOFRAKCYJNE
2	Wojdal VIII	2,65	1,33	JEDNOFRAKCYJNE
3	Wojdal X	2,30	1,57	JEDNOFRAKCYJNE
4	Smogorzewo	2,57	0,40	JEDNOFRAKCYJNE
5	Łabiszyn I	2,71	0,96	JEDNOFRAKCYJNE
6	Łabiszyn II	2,71	0,96	JEDNOFRAKCYJNE
7	Niesort wapienny(I)	62,1	1,20	WIELOFRAKCYJNE
8	Niesort wapienny(II)	21,6	1,30	WIELOFRAKCYJNE

Tabela 9. Wyniki badań laboratoryjnych – klasyfikacja materiału

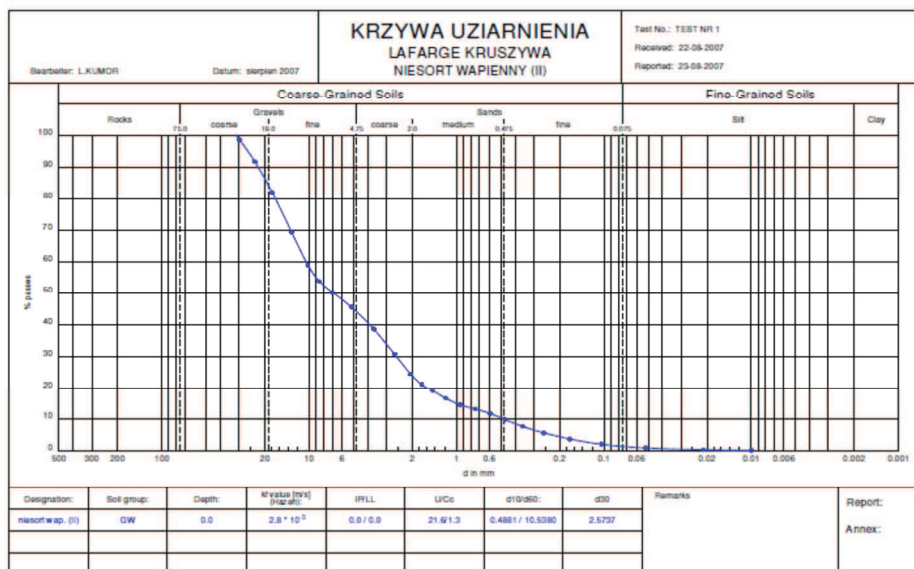
Lp.	Nazwa handlowa materiału	Klasyfikacja materiału		
		PN-EN 12620	PN-86/B-02480	PN-EN ISO 14688-1:2006
1	Wojdal VII	naturalne kruszywo drobne	kruszywo gruboziarniste (Ps)	kruszywo gruboziarniste (MSa)
2	Wojdal VIII	naturalne kruszywo drobne	kruszywo gruboziarniste (Ps)	kruszywo gruboziarniste (MSa)
3	Wojdal X	naturalne kruszywo drobne	kruszywo gruboziarniste (Ps)	kruszywo gruboziarniste (MSa)
4	Smogorzewo	naturalne kruszywo drobne	kruszywo gruboziarniste (Pd)	kruszywo gruboziarniste (FSa)
5	Łabiszyn I	naturalne kruszywo grube	kruszywo gruboziarniste (Ż)	kruszywo gruboziarniste (FGr)
6	Łabiszyn II	naturalne kruszywo drobne	kruszywo gruboziarniste (Pr)	kruszywo gruboziarniste (CSa)
7	Niesort wapienny(I)	szuczne kruszywo o ciągłym uziarnieniu	kruszywo gruboziarniste (Ż)	kruszywo gruboziarniste (MGr)
8	Niesort wapienny(II)	szuczne kruszywo o ciągłym uziarnieniu	kruszywo gruboziarniste (Ż)	kruszywo gruboziarniste (MGr)

5.2.2. Wybór materiału zasypowego do budowy nasypu

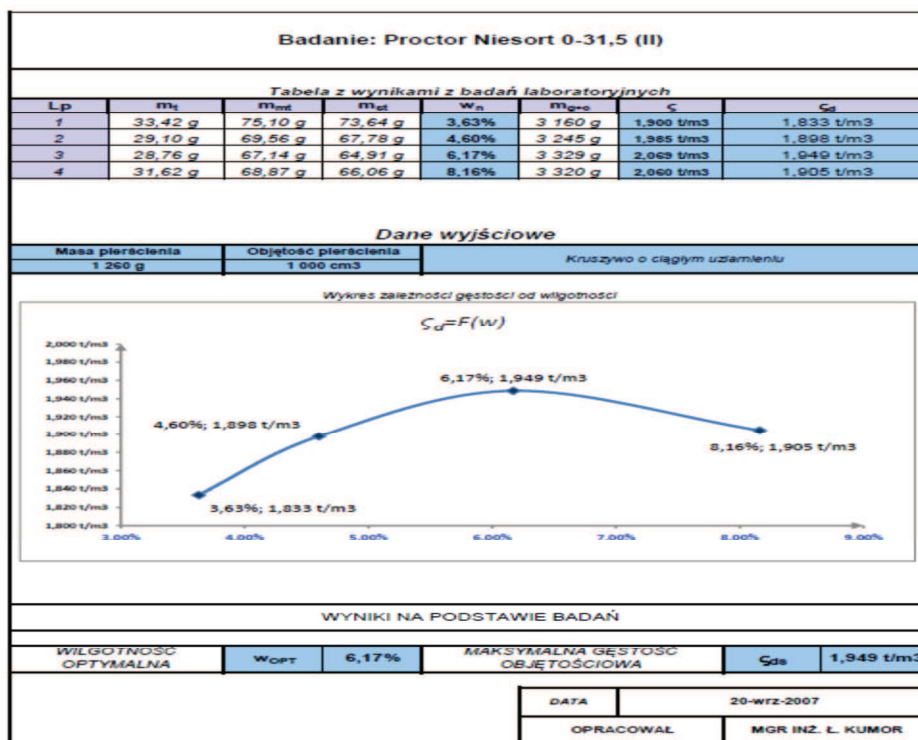
Na podstawie wyników z wykonanych badań zestawionych w tabelach 7-9, do wbudowania w nasyp zaklasyfikowano dwa materiały:

- niesort wapienny (I) frakcji 0-31,5 mm,
- niesort wapienny (II) frakcji 0-31,5 mm.

Na rysunkach 12-15 przedstawiono parametry geotechniczne z badań laboratoryjnych obu kruszyw.



Rys. 14. Krzywa granulometryczna niesortu wapiennego (II)



Rys. 15. Wyniki badań metodą Proctora niesortu wapiennego (II)

Tabela 10. Parametry fizyczne oraz dodatkowe kryteria wyboru materiału zasypowego

Lp.	Parametr fizyczne gruntu	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu	
		Niesort wapienny (I)	Niesort wapienny (II)
1.	Wskaźnik różnoziarnistości C_u	62,1	21,6
2.	Wskaźnik krzywizny uziarnienia C_c	1,20	1,30
3.	Współczynnik filtracji k_{10}	$5,7 \times 10^{-4}$ m/s	28×10^{-4} m/s
4.	Gęstość maksymalna ρ_{ds}	1,884 t/m ³	1,949 t/m ³
5.	Wilgotność optymalna w_{opt}	4,56 %	6,17 %
	Dodatkowe kryteria wyboru		
6.	Niezmienność składu granulometrycznego	NIE	TAK
7.	Dostarczenie kruszywa o stałej wilgotności	TAK	TAK
8.	Możliwość wbudowania gruntu poniżej strefy przemarzania	TAK	TAK
9.	Rodzaj sprzętu do zagęszczania	Walce ciężkie z gładkim bębnem	Walce ciężkie z gładkim bębnem
10.	Kryteria ekonomiczne – koszt kruszywa	Droższe	Tańsze
11.	Wrażliwość na zmiany wilgotności (warunki atmosferyczne)	Większa	Mniejsza

Na podstawie porównania cech obu materiałów (tab. 10) zdecydowano się na wybór kruszywa **niesortu wapiennego (II) w nasyp**. Decydującymi czynnikami, które wpłynęły na wybór kruszywa były:

- parametry fizyczne – $C_u = 21,6$ i $C_c = 1,3$,
- możliwość dostarczenia kruszywa o niezmiennym uziarnieniu w wymaganej ilości 60 tys ton,
- wrażliwość na zmianę wilgotności – wyższe wartość w_{opt} niesortu wapiennego II, gdzie planowany termin realizacji nasypu był w okresie jesienno-zimowym.

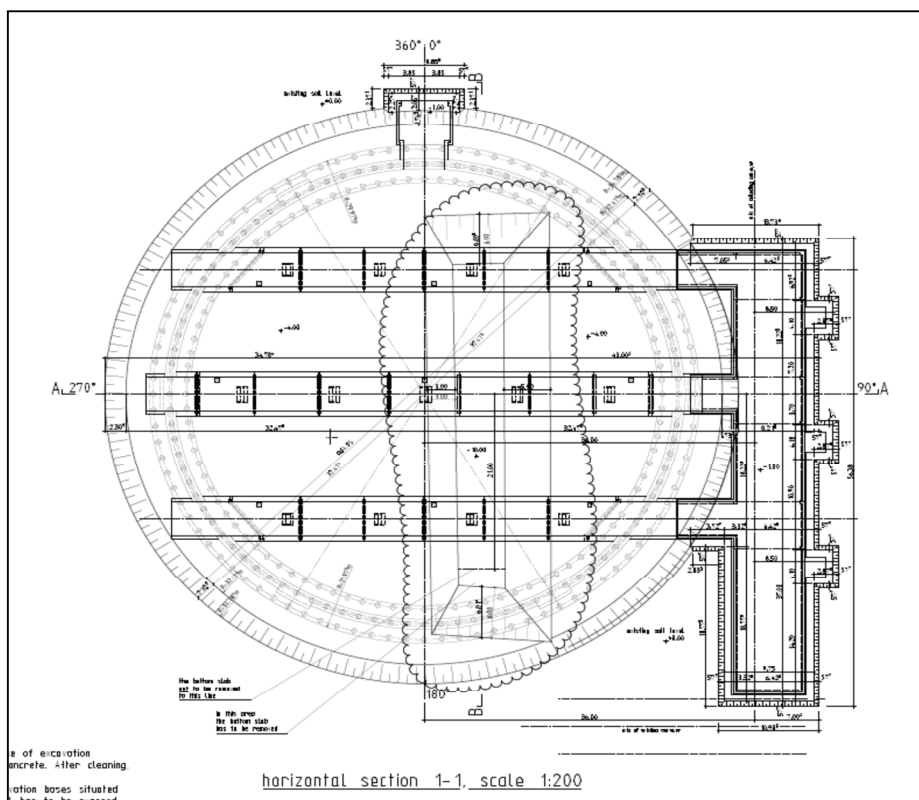
5.3. ZAŁOŻENIA TECHNICZNE I TECHNOLOGIA BUDOWY NASYPU

5.3.1. Wymagania projektowe

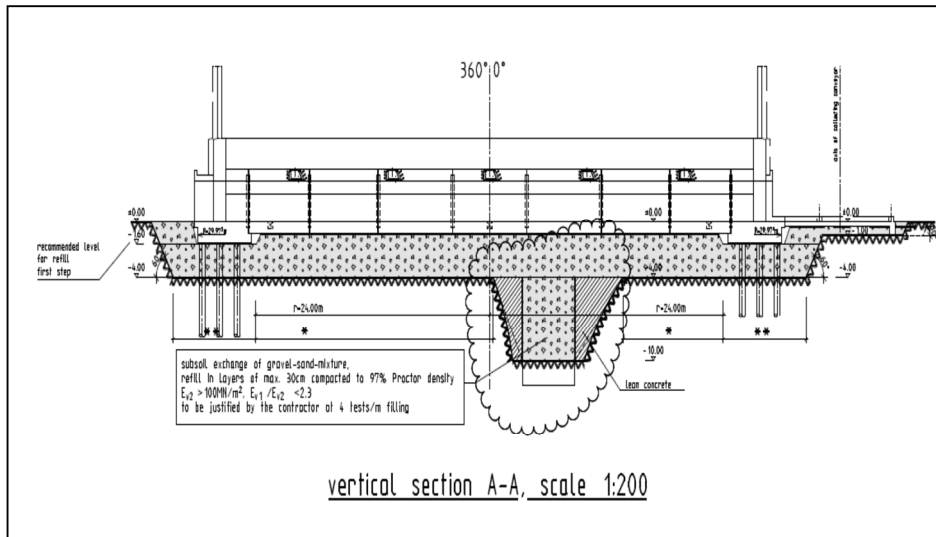
Poniżej przedstawiono następujące warunki brzegowe dotyczące - nasypu ziemnego zaproponowane w dokumentacji projektowej (rys. 16-18):

- wysokość nasypu – $H = 9,30$ m,

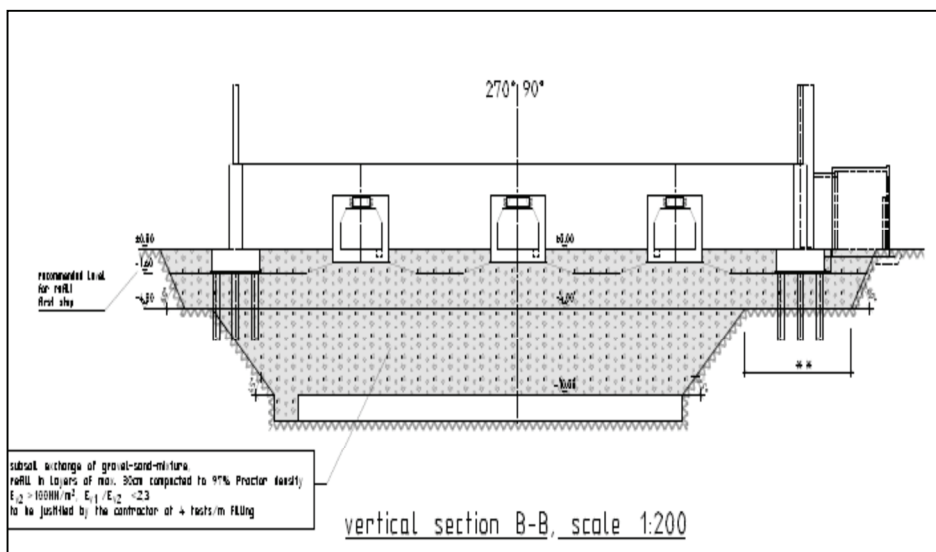
- materiał zasypowy – grunt niespoisty, kruszywo mineralne,
- objętość kruszywa do wbudowania – $V = 16059 \text{ m}^3$,
- wymagany wskaźnik zagęszczenia według Proctora – $I_s > 0,97$,
- parametry mechaniczne - $E_{1,\text{min}} \geq 43,4 \text{ MPa}$ $E_2 \geq 100$ dla $I_0 < 2,3$,
- zakres badań materiału zasypowego: badania w warunkach *in-situ* i laboratoryjnych.



Rys. 16. Rzut projektowanego silosu z zaznaczeniem stref głębokiego nasypu



Rys. 17. Przekrój przez projektowany nasyp A-A



Rys. 18. Przekrój przez projektowany nasyp B-B

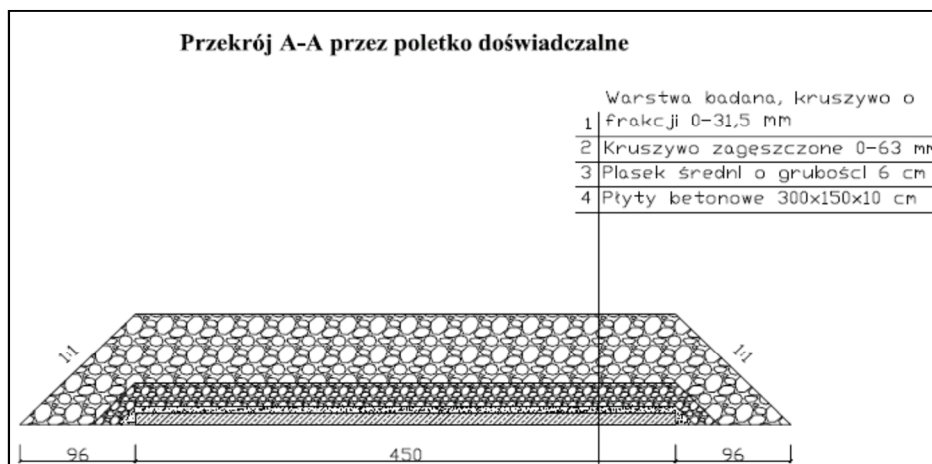
5.3.2. Ustalenie technologii wykonania nasypu

Na podstawie warunków brzegowych zawartych w dokumentacji projektowej oraz zasad technicznych formowania nasypów ostatecznie przyjęto następujące założenia do wykonania budowli ziemnej:

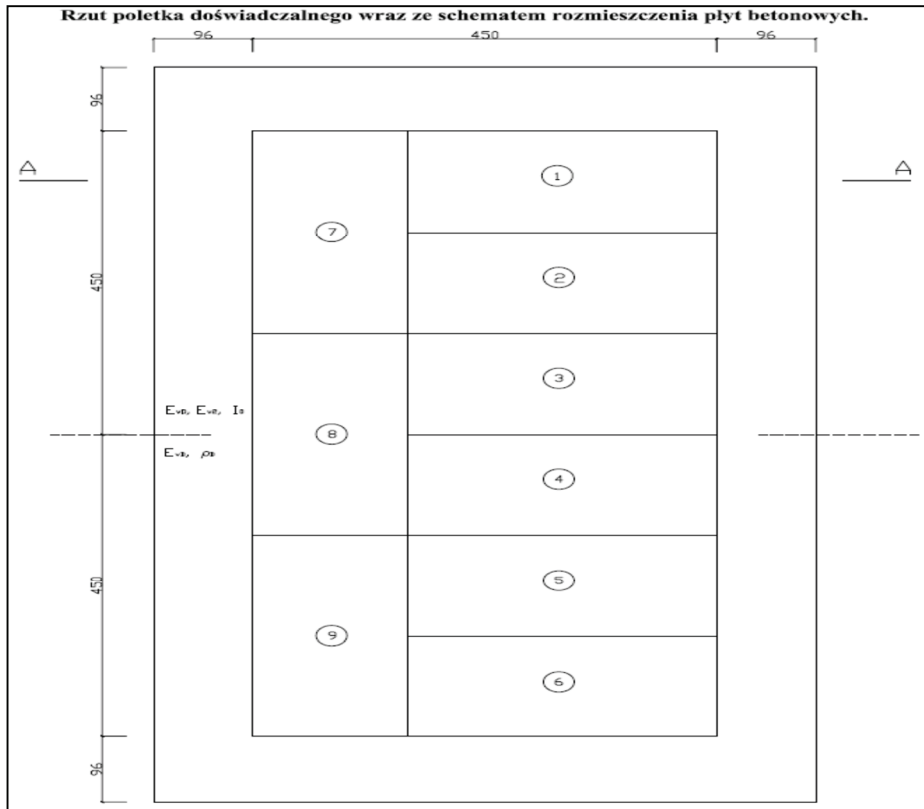
- warstwowa budowa nasypu, przy grubości pojedynczej warstwy $h = 0,3$ m,
- materiał zasypowy kruszywo frakcji 0-31,5 mm – niesort wapienny (II),
- zagęszczenie mechaniczne walcem o masie 10 ton z bębnum gładkim,
- badanie parametrów mechanicznych w każdej warstwie w ilości 1 badanie na powierzchnię 500 m^2 ,
- odbiorowe parametry mechaniczne przyjęto $E_1 \geq 60 \text{ MPa}$ i $E_2 \geq 120 \text{ MPa}$ dla $I_0 \leq 2,5$ przy $I_s \geq 1,0$,
- badanie miar zagęszczenia nasypu metodami pośrednimi połowymi oraz metodami bezpośrednimi połowymi w odniesieniu do metod laboratoryjnych bezpośrednich,
- możliwość wykonywania metodą warstwową realizacji nasypu przy założeniu nie osiągnięcia wymaganych parametrów na warstwie zagęszczanej – założenie, że warstwa kolejna dogęści warstwę poprzednią (spągową) do wymaganych wartości parametrów.

5.4. BADANIA *IN-SITU* MATERIAŁU ZASYPOWEGO

Przed przystąpieniem do wykonywania nasypu na poligonie doświadczalnym stwierdzono konieczność wykonania dodatkowego poletka doświadczalnego, dzięki któremu możliwe byłoby porównanie parametrów miar zagęszczenia z wykorzystaniem dwóch metod pomiaru. Poletko doświadczalne przedstawiono na rysunku 19 i 20 oraz fotografii 5.



Rys. 19. Przekrój przez poletko doświadczalne



Rys. 20. Rzut poletka doświadczalnego



Fot. 5. Widok poletka doświadczalnego

Jako metodę odbiorową stanu zagęszczenia warstw zasypowych nasypu przyjęto miary zagęszczenia za pomocą modułów statycznych E_1 , E_2 wyznaczonych z płyty statycznej typu VSS. W celu przyspieszenia i ułatwienia prac ziemnych dodatkowo porównano moduły statyczne z modułem dynamicznym E_{vd} oraz wskaźnikiem zagęszczenia I_s . Badanie te miały przede wszystkim na celu wyznaczenie wartości minimalnego modułu dynamicznego $E_{vd,min}$, przy którym spełniony zostałby warunek odbiorowy:

- $E_1 \approx 60$ MPa , $E_2 \approx 120$ MPa i $I_0 \approx 2,5$,
- $I_s \approx 1,0$.

5.4.1. Testy technologii zagęszczenia na poletku doświadczalnym

Na podstawie badań i wytycznych zawartych w tabelach 5 i 6 wstępnie przyjęto, że dla materiału zasypowego o wskaźniku różnoziarnistości $C_u = 21,6$ tzn. $C_u \geq 15$, poszukiwana wartość liczbowa modułu dynamicznego E_{vd} powinna oscylować w granicy $E_{vd} \approx 60$ MPa.

Dodatkowo w trakcie badań wstępnych na poletku doświadczalnym określono także minimalną liczbę przejazdów sprzętu zagęszczającego w celu uzyskania projektowanego zagęszczenia. Razem wykonano trzy testy różnych sposobów zagęszczenia materiału zasypowego. W tabelach 11, 12 i 13 przedstawiono wyniki końcowe prób.

Tabela 11. Badanie zmian zagęszczenia od rodzaju i liczby przejazdów – próba nr I

Moduł początkowy $E_{vd,0}$ ⁶	Metodyka przejazdu	Lp.	Kierunek przejazdu ⁷	Wartość modułu dynamicznego $E_{vd,i}$	Przyrost modułu dynamicznego $\Delta E_{vd,j-i}$
[MPa]				[MPa]	[MPa]
15,92	Wibracje 2 bieg	1	P	42,53	26,61
	Bez wibracji	2	W	55,01	12,48
	Wibracje 1 bieg	3	P	37,38	-17,63
	Bez wibracji	4	W	53,44	16,06
	Bez wibracji	5	P	48,81	-4,63
	Bez wibracji	6	W	57,40	8,59
Wartość końcowa modułu dynamicznego $E_{vd,k}$ [MPa]				57,40	
Liczba przejazdów walca razem:				6	

⁶ $E_{vd,0}$ – określony dla stanu luźnego gruntu po usypaniu.

⁷ Kierunek jazdy walca: P – do przodu, W – do tyłu.

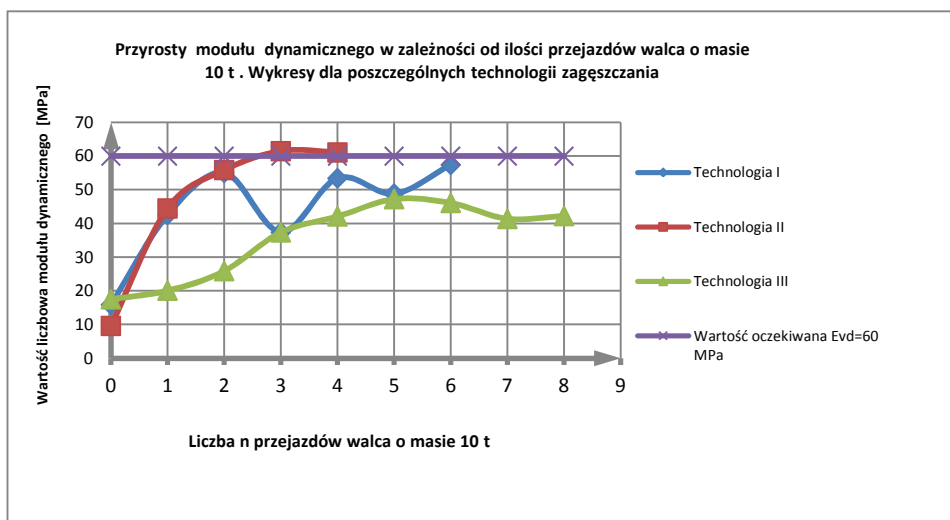
Tabela 12. Badanie zmian zagęszczenia od rodzaju i liczby przejazdów – próba nr II

Moduł początkowy $E_{vd,0}$	Metodyka przejazdu	Lp.	Kierunek przejazdu	Wartość modułu dynamicznego $E_{vd,i}$	Przyrost modułu dynamicznego $\Delta E_{vd,j-i}$
[MPa]				[MPa]	[MPa]
9,66	Wibracje 2 bieg	1	P	44,47	34,81
	Bez wibracji	2	W	55,83	11,36
	Bez wibracji	3	P	61,48	5,65
	Bez wibracji	4	W	61,14	-0,34
Wartość końcowa modułu dynamicznego $E_{vd,k}$ [MPa]					61,14
Liczba przejazdów walca razem:					4

Tabela 13. Badanie zmian zagęszczenia od rodzaju i liczby przejazdów – próba nr III

Moduł początkowy $E_{vd,0}$	Metodyka przejazdu	Lp.	Kierunek przejazdu	Wartość modułu dynamicznego $E_{vd,i}$	Przyrost modułu dynamicznego $\Delta E_{vd,j-i}$
[MPa]				[MPa]	[MPa]
17,50	Bez wibracji	1	P	20,04	2,54
	Bez wibracji	2	W	25,86	5,82
	Bez wibracji	3	P	37,35	11,49
	Bez wibracji	4	W	42,07	4,72
	Bez wibracji	5	P	47,20	5,13
	Bez wibracji	6	W	46,05	-1,15
	Wibracja 2 bieg	7	P	41,36	-4,69
	Bez wibracji	8	W	42,21	0,85
Wartość końcowa modułu dynamicznego $E_{vd,k}$ [MPa]					42,21
Liczba przejazdów walca razem:					8

Na rysunku 21 przedstawiono przyrost modułu dynamicznego E_{vd} , w zależności od technologii zagęszczenia oraz wartość oczekiwaną $E_{vd,min} = 60$ MPa.



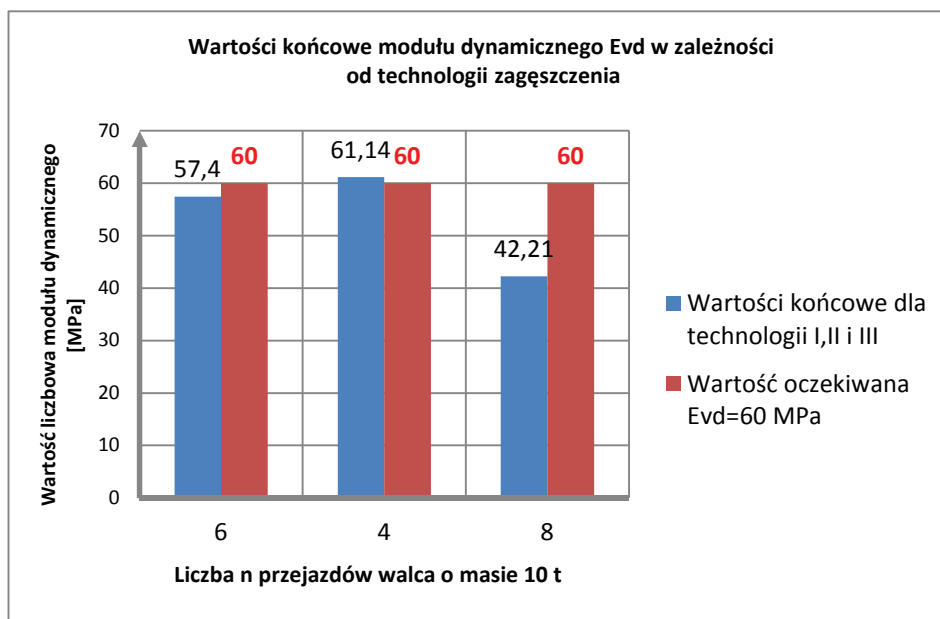
Rys. 21. Przyrost modułu dynamicznego, w zależności od technologii zagęszczenia

Dla uzyskanych wyników badań wykonano, po zakończeniu próbnych zagęszczeń, testy płytą sztywną typu VSS w celu określenia wartości liczbowych modułów odkształcenia podłoża, odpowiadających wartością liczbowym analogicznych modułów dynamicznych (tab. 14).

Tabela 14. Parametry zagęszczenia materiału na poletku doświadczalnym

Nr testu	Liczba przejazdów walca	E_{vd}	E_1	E_2	I_0	I_s
	[n]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]
1	6	57,40	40,91	140,63	3,44	<1,0
2	4	61,14	52,22	140,63	2,69	≈1,0
3	8	42,21	36,89	93,75	2,54	<1,0

Na rysunku 22 przedstawiono wartości końcowe modułu dynamicznego, w zależności od liczby przejazdów dla danej technologii zagęszczenia.



Rys. 22. Wartości końcowe modułu dynamicznego, w zależności od technologii i liczby przejazdów walca

Na podstawie przeprowadzonych testów na poletku doświadczalnym i uzyskanych wartości liczbowych miar zagęszczenia gruntu przyjęto do wbudowania materiału zasypowego warstw nasypu następujące dane:

- technologia przejazdów według próby nr 2 – z modyfikacją i weryfikacją na poligonie doświadczalnym,
- warunki kontroli miar zagęszczenia – kontrolne na podstawie badań płytą dynamiczną HMP-LFG i odbiorowe na podstawie testów płytą statyczną typu VSS,
- sposób badania miar zagęszczenia – warstwowy z analizą zagęszczenia warstw wykonanych wcześniej do głębokości maksymalnej – 0,6 m (dwie warstwy poniżej warstwy układanej).

Ustalone warunki brzegowe wynikały bezpośrednio z faktu, iż na poletku doświadczalnym nie było możliwości wykonania zagęszczenia zgodnie z zasadami sztuki inżynierskiej (tj. przejazd poprzeczny sprzętu zagęszczającego) oraz z uwagi na fakt nie uzyskania założonych parametrów w warunkach brzegowych (tj. $E_1 \geq 60$ MPa). Dlatego stwierdzono konieczność badań zagęszczenia poszczególnych warstw z jednoczesną kontrolą wsteczną minimum do głębokości 1 warstwy zasypowej spągowej poniżej 0,30 m.

5.4.2. Weryfikacja technologii zagęszczenia na poligonie

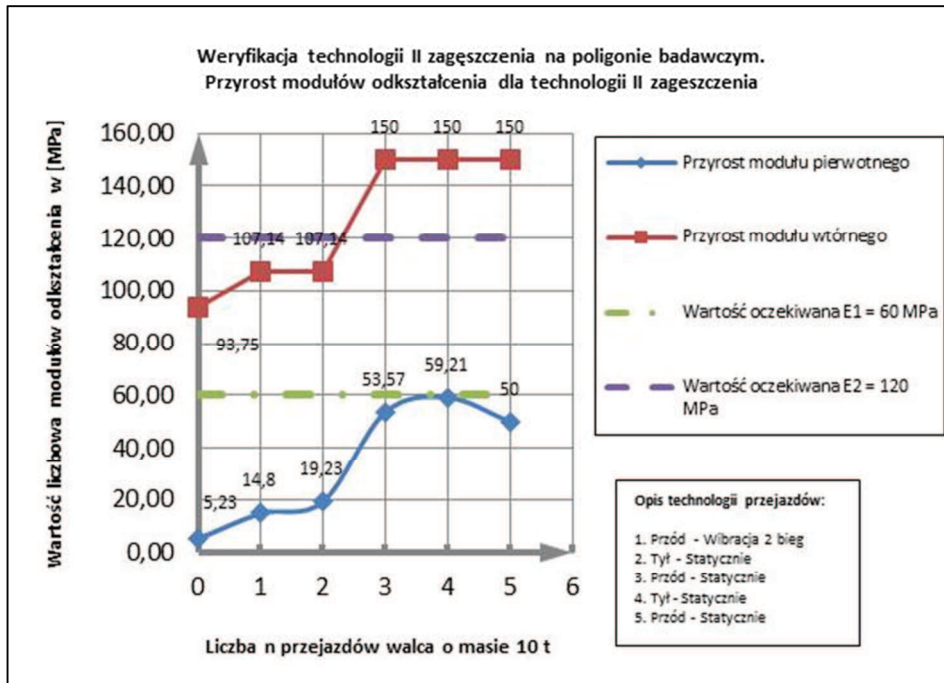
Po ustaleniu technologii zagęszczania, w celu weryfikacji przyjętych założeń przeprowadzono pełny test na poligonie doświadczalnym. Na podstawie testu sprawdzono zgodność założeń technicznych przedstawionych w punkcie 5.4.1, wartości początkowe modułów odkształcenia oraz ich przyrosty w stosunku do liczby przejazdów walca o masie 10 t. Wyniki przedstawiono w tabeli 15 oraz na rysunku 23.

Tabela 15. Wyniki badań VSS – weryfikacja technologii II

Moduły początkowy $E_{1,0}, E_{2,0}$ ⁸		Metodyka przejazdu	Lp.	Kierunek przejazdu	Wartość modułów statycznych		Przyrost modułów statycznych	
					$E_{1,i}$	$E_{2,i}$	$\Delta E_{1,i}$	$\Delta E_{2,i}$
[MPa]								
$E_{1,0}$	5,23	Wibracje 2	1	P	14,80	107,14	9,57	13,39
		Statycznie	2	W	19,23	107,14	4,43	0
$E_{2,0}$	93,75	Statycznie	3	P	53,57	150,00	34,34	42,86
		Statycznie	4	W	59,21	150,00	5,64	0
		Statycznie	5	P	50,00	150,00	-9,21	0
Wartość końcowa modułów statycznych ⁹				$E_{1,k}$	59,21	[MPa]		
				$E_{2,k}$	150,00			

⁸ $E_{1,0}, E_{2,0}$ – wartość liczbowa modułu pierwotnego i wtórnego odkształcenia dla luźno usypanej warstwy.

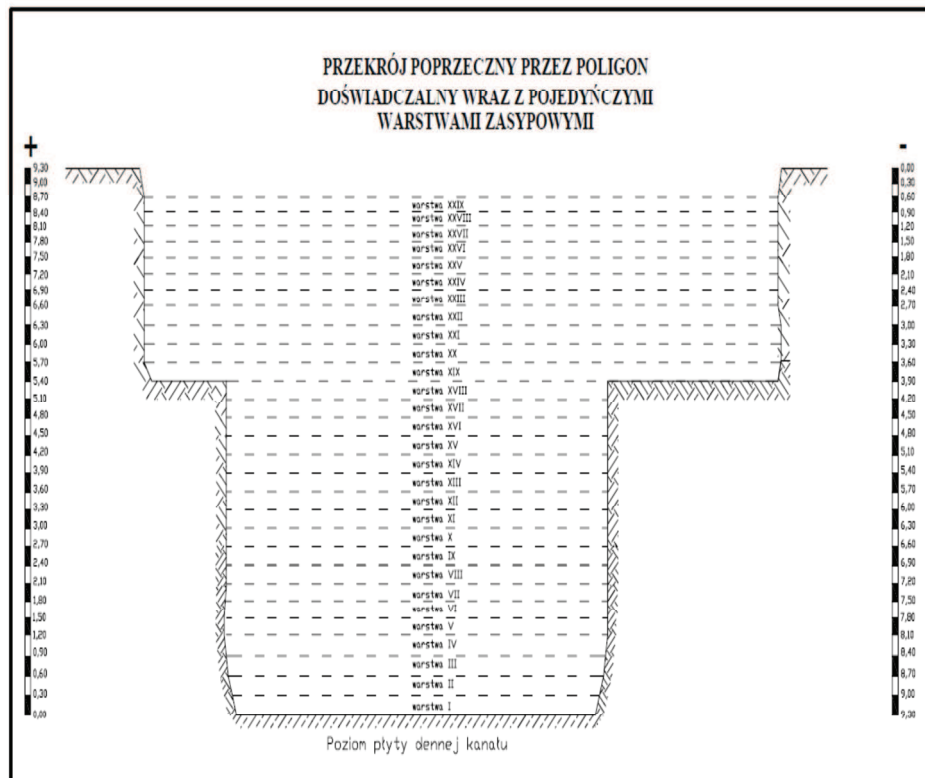
⁹ $E_{1,k}, E_{2,k}$ – wartość końcowa modułu pierwotnego i wtórnego odkształcenia dla zagęszczonej warstwy.



Rys. 23. Zależność przyrostu wartości liczbowej modułów statycznych od przejazdów walca 10 ton

6. WYNIKI BADAŃ

Z uwagi na nieregularny kształt i formę przestrzenną wykopu pod nasypu poligону doświadczalnego (rys. 24), podzielono go łącznie na 29 warstw o grubości każdej warstwy $h=30$ cm według zasad i założeń podanych w punkcie 5.



Rys. 24. Przekrój przez poligon doświadczalny wraz z pokazaniem pojedynczych warstw zasypowych nasypu

Ustalono wykonywanie badań na poligonie doświadczalnym według następujących etapów:

- **ETAP I** – od głębokości $-9,30$ m / $+0,00$ m do $-3,90$ m / $+5,40$ m (wysokość kanału wewnętrznego $h = 5,40$ m) według technologii zagęszczenia nr 2 wraz z kontrolą wsteczną parametrów geotechnicznych do głębokości jednej warstwy zasypowej,
- **ETAP II** – od głębokości $-3,90$ m / $+5,40$ m do $-1,50$ m / $7,80$ m z wykorzystaniem zmodyfikowanej technologii zagęszczenia nr 2 tzn. z uwzględnieniem przejazdów poprzecznych walca wraz z kontrolą wsteczną parametrów geotechnicznych do głębokości jednej warstwy.

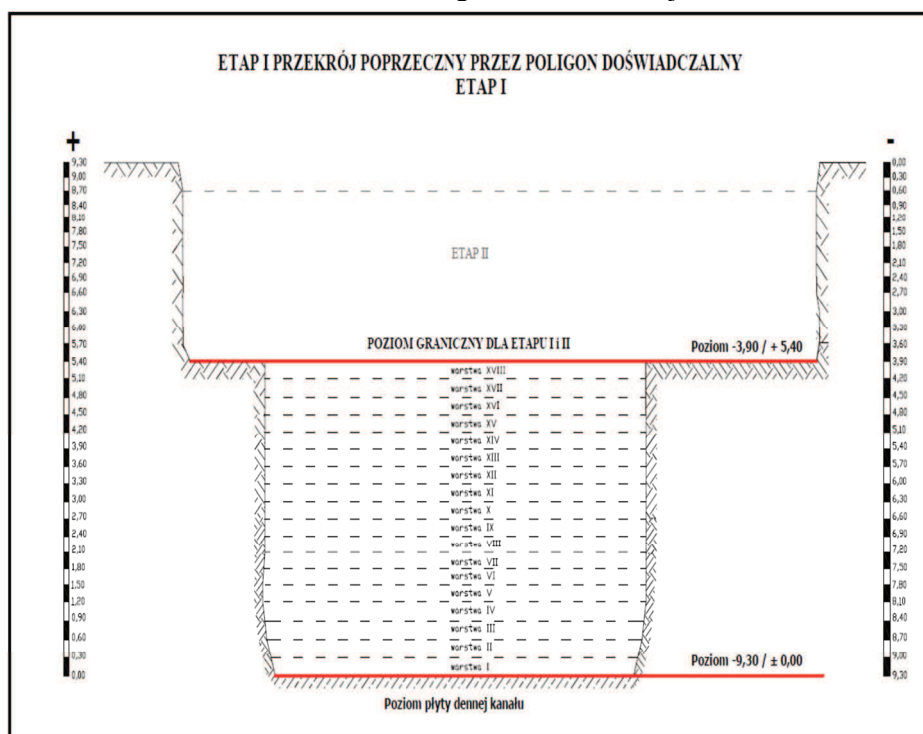
Na podstawie otrzymanych wyników testów z etapów I i II w trzeciej części badań założono wykonanie ostatecznych końcowych badań wpływu układanych warstw na zagęszczenie warstw dolnych do głębokości dwóch warstw poniżej. Badania te wykonano na trzech ostatnich formowanych warstwach.

- **ETAP III** – od głębokości -1,50 m/+5,40 m do -0,60 m/+8,70 m przy wykorzystaniu zmodyfikowanej technologii zagęszczenia nr 2 tzn. z uwzględnieniem przejazdów poprzecznych walca wraz z kontrolą wsteczną parametrów geotechnicznych do głębokości dwóch warstw spągowych wstecz.

Wyniki badań testów VSS przedstawiono w załącznikach nr 3,4 i 5.

6.2. WYNIKI BADAŃ ETAPU I

Etap I badań wykonywano od głębokości -9,30 m do głębokości -3,90 m, podzielono go na 18 warstw o grubości 30 cm każda. Schemat poglądowy poligonu etapu I przedstawiono na rysunku 25 i fotografiach 6 i 7. W sumie w trakcie etapu I wykonano łącznie 30 sztuk badań płytą typu VSS, płytą dynamiczną HMP-LFG 60 sztuk oraz 15 badań wilgotności naturalnej.



Rys. 25. Przekrój poprzeczny przez poligon doświadczalny dla etapu I



Fot. 6. Poligon doświadczalny – etap I. Widok tyczenia poszczególnych warstw



Fot. 7. Poligon doświadczalny – etap I. Układanie kolejnej warstwy kruszywa

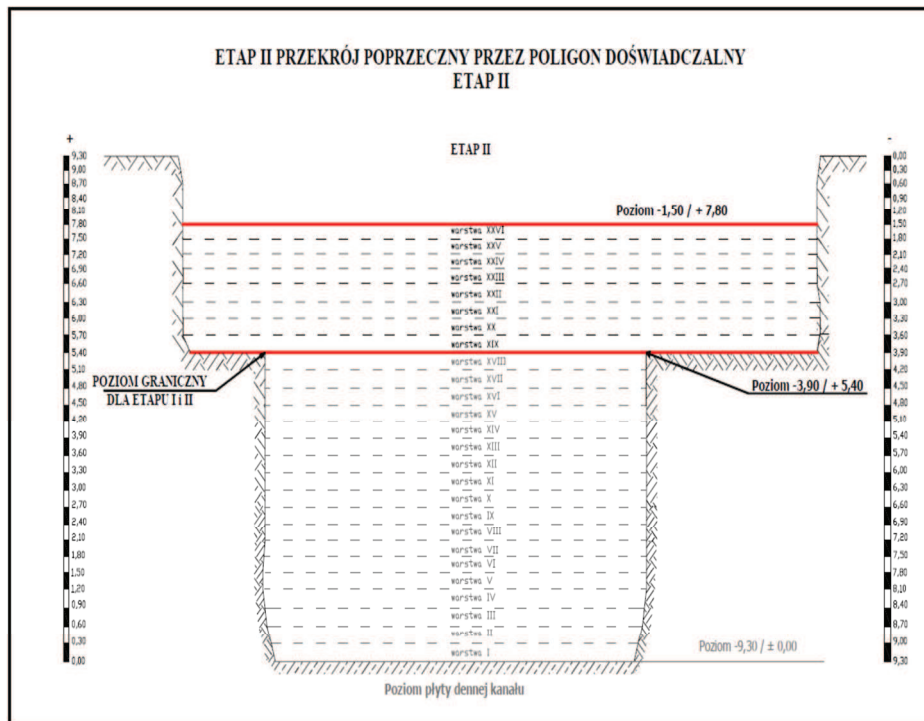
W tabeli 16 zestawiono uzyskane wartości liczbowe z wyników badań polowych dla etapu I.

Tabela 16. Zestawienie wyników testów polowych dla etapu I badań

Lp.	Nr warstwy	Poziom warstwy	Wyniki badań – pierwotne				Wyniki badań – wsteczne (-0,30)			
		h	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}
		[m]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]
1	I	0,30/9,00	<i>Warstwa separacyjna beton B10 gr. 25 cm</i>							
2	II	0,60/8,70	<i>Warstwa filtracyjna – kruszywo frakcji 31,5-63,0 mm</i>							
3	III	0,90/8,40	<i>Warstwa filtracyjna – kruszywo frakcji 31,5-63,0 mm</i>							
4	IV	1,20/8,10	35,16	112,5	3,20	38,95	75,0	173,1	2,31	62,21
5	V	1,50/7,80	36,89	93,75	2,54	35,99	60,81	140,6	2,31	63,40
6	VI	1,80/7,50	53,57	187,5	3,50	69,02	70,31	187,5	2,67	74,03
7	VII	2,10/7,20	68,18	160,7	2,36	68,82	80,36	187,5	2,33	71,10
8	VIII	2,40/6,90	54,87	204,5	3,73	69,05	80,36	225,0	2,80	72,67
9	IX	2,70/6,60	47,87	187,5	3,92	68,70	75,00	204,6	2,73	80,33
10	X	3,00/6,30	45,92	160,7	3,50	65,87	93,75	187,5	2,00	82,67
11	XI	3,30/6,00	42,45	107,1	2,52	44,33	90,00	150,0	1,67	74,00
12	XII	3,60/5,70	22,73	140,6	6,19	43,68	59,21	150,0	2,53	57,67
13	XIII	3,90/5,40	41,67	140,6	3,38	42,32	72,58	173,1	2,38	66,33
14	XIV	4,20/5,10	20,64	125,0	6,06	42,80	70,31	187,5	2,67	67,83
15	XV	4,50/4,80	28,48	140,6	4,94	50,40	59,21	173,1	2,92	64,11
16	XVI	4,80/4,50	52,33	173,1	3,31	57,72	107,1	160,7	1,50	77,67
17	XVII	5,10/4,20	21,63	118,4	5,47	40,00	54,88	132,4	2,41	53,67
18	XVIII	5,40/3,90	36,29	140,6	3,88	49,77	62,50	160,7	2,57	76,25

6.3. WYNIKI BADAŃ ETAPU II

Etap II badań wykonywano od głębokości -3,90 m do -1,50 m, podzielono go na 8 warstw o grubości 30 cm każda. Schemat poglądowy poligonu etapu II przedstawiono na rysunku 26 i fotografiach 8 i 9. W trakcie etapu II wykonano łącznie 16 sztuk badań płytą typu VSS, płytą dynamiczną HMP-LFG 32 sztuk oraz 8 badań wilgotności naturalnej.



Rys. 26. Przekrój poprzeczny przez poligon doświadczalny dla etapu II



Fot. 8. Widok poligonu doświadczalnego – etap II



Fot. 9. Widok poligonu – etap II. Badanie VSS na warstwie wierzchniej – badanie pierwotne

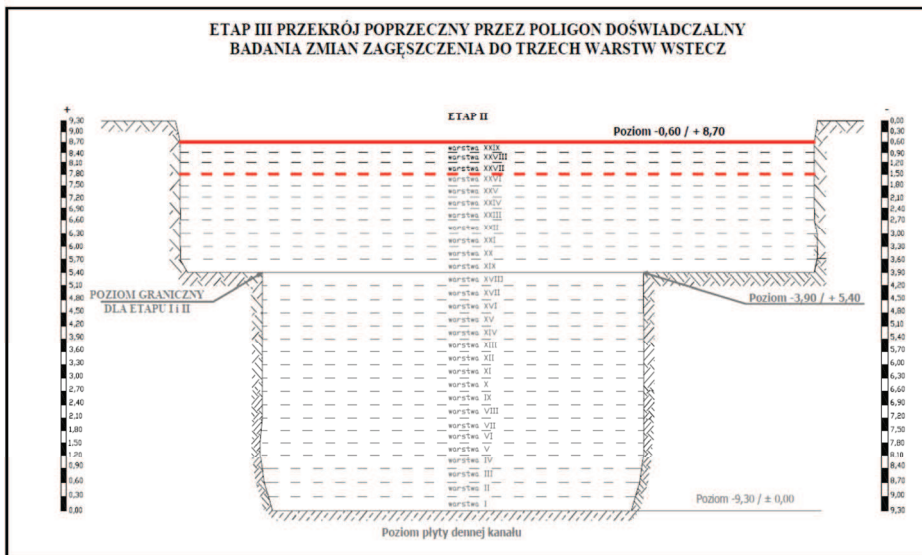
W tabeli 17 zestawiono uzyskane wartości liczbowe z wyników badań polowych dla etapu II.

Tabela 17. Wyniki testów polowych dla badań etapu II

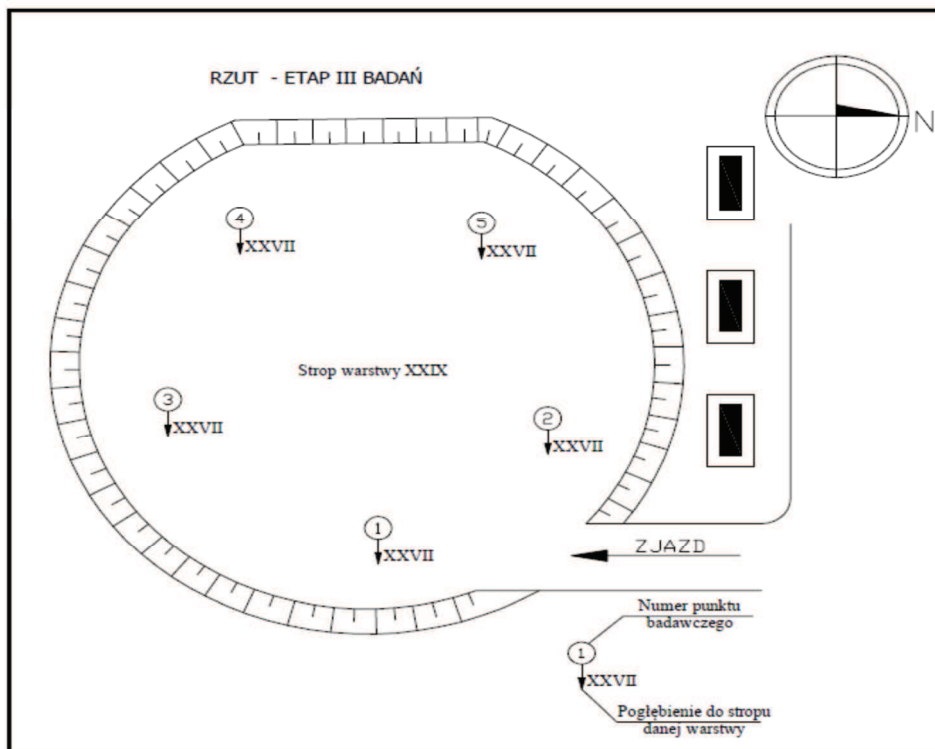
Lp.	Nr warstwy	Poziom warstwy	Wyniki badań – pierwotne				Wyniki badań – wsteczne (-0,30)			
		h	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}
		[m]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]
1	XIX	5,70/3,60	36,29	187,5	5,17	77,67	60,81	204,6	3,36	44,33
2	XX	6,00/3,30	23,68	173,1	7,31	47,07	75,00	204,6	2,73	57,30
3	XXI	6,30/3,00	30,41	112,5	3,70	41,10	75,00	150,0	2,00	74,10
4	XXII	6,60/2,70	30,41	112,5	3,70	42,87	77,59	173,1	2,23	83,02
5	XXIII	6,90/2,40	21,03	102,3	4,86	53,30	50,00	150,0	3,0	57,50
6	XXIV	7,20/2,10	36,89	140,6	3,81	54,22	60,81	150,0	2,47	62,67
7	XXV	7,50/1,80	64,29	187,5	2,92	58,94	90,0	173,1	1,92	53,37
8	XXVI	7,80/1,50	36,89	132,4	3,59	34,88	107,1	173,1	1,62	50,00

6.4. WYNIKI BADAŃ ETAPU III

Etap III badań wykonywano od głębokości -1,50 m do -0,60 m, podzielono go na 3 warstwy o grubości 30 cm każda. Schemat poglądowy poligonu etapu III przedstawiono na rysunku 27 i 28 i fotografiach 10-13. W sumie w trakcie etapu III wykonano łącznie 25 sztuk badań płytą typu VSS, płytą dynamiczną HMP-LFG 45 sztuk oraz 6 badań wilgotności naturalnej. Wyniki zestawiono w tabelach 18-20.



Rys. 27. Przekrój poprzeczny przez poligon doświadczalny dla etapu III



Rys. 28. Rzut poligonu doświadczalnego dla etap III



Fot. 10. Widok poligonu – etap III. Przygotowanie do badania wstecznego poziom – 0,60 m



Fot. 11. Widok poligonu – etap III. Widok wbudowywania kolejnej warstwy



Fot. 12. Widok poligonu – etap III. Przygotowanie do badania warstwy 27 poziom -0,60 m



Fot. 13. Widok poligonu – etap III. Badanie warstwy 28 badanie VSS poziom – 0,30 m

Tabela 18. Wyniki badań polowych dla etapu III – kontrola wsteczna do głębokości -0,30 m

Lp.	Nr warstwy/ punktu	Poziom warstwy	Wyniki badań – pierwotne				Wyniki badań – wsteczne (-0,30)			
		h	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}
		[m]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]
1	XXVII/1	8,10/-1,20	37,50	107,1	2,86	38,95	75,00	150,0	2,00	92,98
2	XXVII/2	8,10/-1,20	35,71	160,7	4,50	65,53	86,54	225,0	2,60	57,64
3	XXVII/3	8,10/-1,20	52,33	125,0	2,39	47,96	102,27	204,6	2,00	85,53
4	XXVII/4	8,10/-1,20	39,47	132,4	3,35	47,05	70,31	173,1	2,46	53,96
5	XXVII/5	8,10/-1,20	47,87	112,5	2,35	41,23	97,83	160,7	1,64	77,85
6	XXVIII/1	8,40/-0,90	23,44	132,4	5,65	48,74	56,25	160,7	2,86	56,69
7	XXVIII/2	8,40/-0,90	48,91	173,1	3,54	72,30	77,59	187,5	2,42	79,05
8	XXVIII/3	8,40/-0,90	59,21	140,6	2,38	53,39	83,33	187,5	2,25	58,52
9	XXVIII/4	8,40/-0,90	39,47	132,4	3,35	47,05	66,18	150,0	2,27	58,21
10	XXVIII/5	8,40/-0,90	39,47	140,6	3,56	49,24	64,29	140,6	2,19	53,82

Tabela 19. Wyniki badań polowych dla etapu III – kontrola wsteczna do głębokości -0,60 m

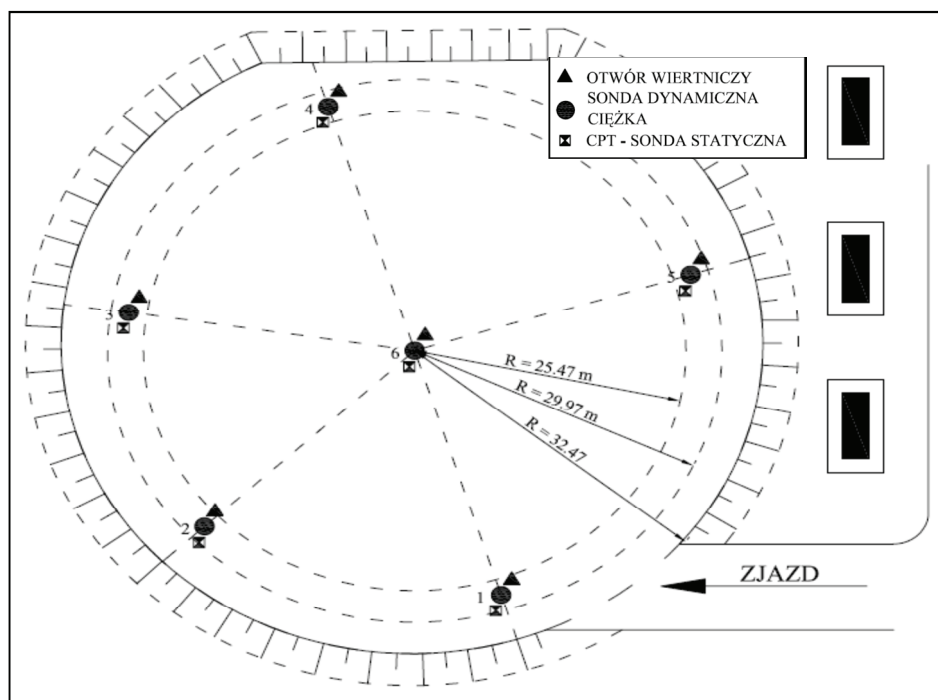
Lp.	Nr warstwy/ punktu	Poziom warstwy	Wyniki badań – pierwotne				Wyniki badań – wsteczne (-0,60)			
		h	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}
		[m]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]
1	XXVII/1	8,10/-1,20	37,50	107,1	2,86	38,95	107,14	187,50	1,75	85,30
2	XXVII/2	8,10/-1,20	35,71	160,7	4,50	65,53	102,27	204,55	2,00	77,85
3	XXVII/3	8,10/-1,20	52,33	125,0	2,39	47,96	173,08	321,43	1,86	104,0
4	XXVII/4	8,10/-1,20	39,47	132,4	3,35	47,05	97,83	204,55	2,09	69,30
5	XXVII/5	8,10/-1,20	47,87	112,5	2,35	41,23	250,53	370,00	1,50	98,63

Tabela 20. Wyniki badań polowych dla etapu III – kontrola wsteczna między od -0,30 do -0,60 m

Lp.	Nr warstwy/ punktu	Poziom warstwy	Wyniki badań – wsteczne (-0,30)				Wyniki badań – wsteczne (-0,60)			
		h	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}	E ₁	E ₂	I ₀	E _{VD}
		[m]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]
1	XXVII/1	8,10-1,20	75,00	150,0	2,00	92,98	107,14	187,50	1,75	85,30
2	XXVII/2	8,10-1,20	86,54	225,0	2,60	57,64	102,27	204,55	2,00	77,85
3	XXVII/3	8,10-1,20	102,27	204,6	2,00	85,53	173,08	321,43	1,86	104,0
4	XXVII/4	8,10-1,20	70,31	173,1	2,46	53,96	97,83	204,55	2,09	69,30
5	XXVII/5	8,10-1,20	97,83	160,7	1,64	77,85	250,53	370,00	1,50	98,63

6.5. WYNIKI BADAŃ DODATKOWYCH – KONTROLA WSTECZNA SONDĄ DPSH I CPT

Po wykonaniu nasypu budowlanego do projektowanej rzędnej uznano za konieczne wykonanie dodatkowych badań stanu zagęszczenia, w celu kompleksowego sprawdzenia poprawności zagęszczenia materiału zasypowego – szczególnie przedstawiono na rysunku nr 29.



Rys. 29. Mapa z lokalizacją badań weryfikacyjnych

Przewidziano następujący zakres badań:

- sondowania dynamiczne sondą ciężką typu DPSH – 6 sztuk,
- sondowania statyczne CPT – 6 sztuk,
- wiercenia geotechniczne wraz z pobraniem prób gruntu – 6 sztuk.

6.5.1. Badanie sondą ciężką typu DPSH

Projektowana głębokość testu wynosiła 3,0 m p.p.t. tj. poniżej warstwy nr 29. Z uwagi na fakt przekroczenia w trakcie testu zagęszczenia liczby uderzeń powyżej $n > 60$, na głębokości -0,80 m wykonano łącznie 6 badań do maksymalnej głębokości -0,80 m poniżej warstwy XXIX. Na fotografiach 14 i 15 testy zagęszczenia.



Fot. 14. Sondowanie sondą ciężką typu DPSH nasypu budowlanego – weryfikacja stanu zagęszczenia



Fot. 15. Sondowanie sondą ciężką typu DPSH w nasypie budowlanym

W tabelach 21 i 22 zestawiono wyniki badań sondą ciężką typu DPSH. Wyniki stopnia zagęszczenia po kalibracji dla kruszywa 0-31,5 mm przyjęto $I_D = 1,0$.

Tabela 21. Wyniki liczbowe z badań stopnia zagęszczenia I_D dla badania sondą DPSH

Lp.	Nr warstwy	Poziom warstwy	Wyniki badań stopnia zagęszczenia I_D					
		h	Punkty badawcze – numer					
		[m]	1	2	3	4	5	6
1	XXIX	8,70/-0,60	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	XXVIII	8,40/-0,90	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	XXVII	8,10/-1,20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Tabela 22. Wyniki liczbowe z badań wskaźnika zagęszczenia I_s dla badania sondą DPSH

Lp.	Nr warstwy	Poziom warstwy	Wyniki badań wskaźnika zagęszczenia I_s					
		h	Punkty badawcze – numer					
		[m]	1	2	3	4	5	6
1	XXIX	8,70/-0,60	1,04	1,04	1,04	1,05	1,04	1,04
2	XXVIII	8,40/-0,90	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
3	XXVII	8,10/-1,20	1,07	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07

Badanie weryfikacyjne stanu zagęszczenia wykazały poprawność zagęszczenia poszczególnych warstw nasypu budowlanego oraz prawidłowości i skuteczności technologii, według której materiał był wbudowywany.

6.5.2. Badanie sondą statyczną CPT

Projektowana głębokość testu wynosiła 3,0 m p.p.t. tj. poniżej warstwy nr 29. W trakcie badania nie było możliwe wciśnięcie stożka do głębokości większej niż 20 cm poniżej poziomu terenu. Wynika to bezpośrednio z faktu doskonałego zagęszczenia materiału zasypowego do $I_D = 1,0$. Po trzech próbach wykonania testu stwierdzono brak możliwości technicznej wykonania badań sondą statyczną. Potwierdza to bezpośrednio fakt uzyskania pełnej poprawności wykonanego nasypu budowlanego.

6.5.3. Odwierty geotechniczne

Projektowana głębokość odwiertów wynosiła 3,0 m p.p.t. tj. poniżej warstwy nr 29. Na podstawie wierceń geotechnicznych zamierzano pobrać próbki gruntu do analizy granulometrycznej. W trakcie badania – niestety mimo ciężkiego zestawu wiertniczego – możliwe było wykonanie wiercenia tylko do głębokości -0,8 m p.p.t. Wiercenia przedstawiono na fotografiach nr 16 i 17.

Brak możliwości przewiercenia warstw zasypowych nasypu potwierdza pośrednio fakt poprawności zagęszczenia nasypu budowlanego.



Fot. 16. Widok ciężkiego zestawu wiertniczego



Fot. 17. Widok świdra spiralnego. Widoczny zakres spenetrowanej głębokości na świdrze

7. ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW

Przeprowadzone badania eksperymentalne oraz uzyskane w tych badaniach wyniki pomiarów stanowiły podstawę do analizy statystycznej. Istotą poniższej analizy statystycznej jest potwierdzenie sformułowanych w pracy hipotez, tzn., że:

- istnieje wpływ wbudowywanej warstwy zasypowej o grubości 30 cm na dwie niżej wykonane warstwy gruntu,
- możliwe jest osiągnięcie projektowanych wartości parametrów mechanicznych przy warstwowej budowie nasypu, bez konieczności pełnego zagęszczania każdej warstwy zasypowej do wartości zaprojektowanej.

Wykonana analiza obejmowała:

- ustalenie minimalnej liczebności próby - n_{\min} ,
- zbadanie struktury zbiorowości (obliczono wartość średnią, wariancję i odchylenie standardowe),
- ustalenie przedziałów ufności dla wartości średnich,
- przeprowadzenie testów istotności dla otrzymanych wartości średnich,
- wykonanie testów dla współczynników korelacji – r.

7.1. WPŁYW WBUDOWANIA JEDNEJ WARSTWY KRUSZYWA NA ZMIANĘ WARTOŚCI PARAMETRÓW NIŻSZEJ WARSTWY ZASYPOWEJ

Analizie poddano następujące przypadki:

- zmianę wartości modułu pierwotnego warstwy zasypowej po dogęszczeniu E'_1 w odniesieniu do wartości modułu pierwotnego przed dogęszczeniem E_1 ,
- zmianę wartości modułu wtórnego warstwy zasypowej po dogęszczeniu E'_2 w odniesieniu do wartości modułu wtórnego przed dogęszczeniem E_2 ,
- zmianę wartości wskaźnika odkształcenia podłoża po dogęszczeniu I'_0 w odniesieniu do wartości wskaźnika odkształcenia przed dogęszczeniem I_0 .

7.1.1. Analiza statystyczna zmian wartości modułu pierwotnego

W tabeli 23 zestawiono wyniki pomiarów wartości modułu pierwotnego E_1 w warstwie zasypowej przed jej dogęszczeniem oraz modułu pierwotnego warstwy po dogęszczeniu E'_1 pierwszą warstwą zasypową o miąższości $h = 30$ cm.

Tabela 23. Zestawienie wyników pomiarów modułów pierwotnych E_1 i E'_1

Lp.	Moduł pierwotny [MPa]		Lp.	Moduł pierwotny [MPa]		Lp.	Moduł pierwotny [MPa]	
	E_1	E'_1		E_1	E'_1		E_1	E'_1
1	35,16	75,0	13	52,33	107,14	25	35,71	86,54
2	36,89	60,81	14	21,63	54,88	26	52,33	102,2
3	53,57	70,31	15	36,29	62,50	27	39,47	70,31
4	68,18	80,36	16	36,29	60,81	28	47,87	97,83
5	54,87	80,36	17	23,68	75,00	29	23,44	56,25
6	47,87	75,00	18	30,41	75,00	30	48,91	77,59
7	45,92	93,75	19	30,41	77,59	31	59,21	83,33
8	42,45	90,00	20	21,03	50,00	32	39,47	66,18
9	22,73	59,21	21	36,89	60,81	33	39,47	64,29
10	41,67	72,58	22	64,29	90,0	X		
11	20,64	70,31	23	36,89	107,14			
12	28,48	59,21	24	37,50	75,00			

Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów bezpośrednich obliczono parametry charakteryzujące analizowane zmienne. Wartość statystyk przedstawiono w tabeli 24.

Tabela 24. Parametry statystyczne obliczone na podstawie danych z tabeli 23

Lp.	Nazwa parametru	Symbol	Wartość parametru dla E_1	Wartość parametru dla E'_1
1	Średnia Arytmetyczna	\bar{x}	39,8 MPa	75,0 MPa
2	Odchylenie Standardowe	\hat{s}	12,6	15,3
3	Wariancja	\hat{s}^2	157,5	233,6
4	Współczynnik korelacji	r	0,58	

Ponadto do dalszych rozważań przyjęto następujące dane, wynikające z geotechnicznych wymagań jakościowych:

- za wartość oczekiwaną m uznano wartość projektowaną E_1 i E'_1 :
 $m = 60$ MPa,
- wartość błędu pomiaru na poziomie $\pm 6,0$ MPa,
- poziom współczynnika ufności 0,95.

7.1.1.1. Ustalenie niezbędnej minimalnej liczebności próby

W celu ustalenia niezbędnej minimalnej liczebności próby przy nieznanym odchyleniu standardowym wykorzystano poniższą zależność według [32 i 44]:

$$n_{\min} = \frac{t_{\alpha, n_0-1}^2 \cdot \hat{S}^2}{d^2} \quad (5)$$

gdzie:

- \hat{S}^2 – wariancja z próby wstępnej,
- t – wartość odczytana z tablic rozkładu t -Studenta dla α i $n_0 - 1$ stopni swobody,
- d – maksymalny błąd szacunku.

Przyjmując jako wyjściową początkową liczebność próby wstępnej $n_0 = 33$ oraz zakładając dopuszczalny błąd szacunku 6 MPa przy współczynniku ufności 0,95 określono wg wzoru (1):

- dla zmiennej E_1 minimalna liczebność próby $n_{\min} = 18$,
- dla zmiennej E_1' minimalna liczebność próby $n_{\min} = 27$.

Wnioski:

Z powyższego wywodu wynika, że $n_0=33 > n_{\min}=18$, oraz $n_0=33 > n_{\min}=27$, co oznacza, że liczba wykonanych pomiarów modułu pierwotnego (liczebność próby) w warstwach zasypowych jest wystarczająca ze względów statystycznych.

7.1.1.2. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{E}_1 i \bar{E}_1'

Na podstawie uzyskanych wyników badań zamieszczonych w tabeli 23 i 24, zgodnie z [32 i 44] oraz otrzymanych wartości średnich modułów pierwotnych warstwy zasypowej przed jej dogęszczeniem \bar{E}_1 i modułu pierwotnego po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową \bar{E}_1' , obliczono przedziały ufności i wyznaczono półprzedziały ufności charakteryzujące precyzję oszacowania parametru. Wartość przedziału ufności obliczono ze wzoru (2):

$$P\left(\bar{x} - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{\hat{s}}{\sqrt{n}} < m < \bar{x} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{\hat{s}}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha \quad (6)$$

Półprzedział ufności obliczono ze wzoru (3):

$$\delta = \frac{t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{\hat{s}}{\sqrt{n}}}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (7)$$

Przedziału ufności dla wartości średniej pierwotnego modułu odkształcenia przed dogęszczeniem spągowej warstwy zasypowej \bar{E}_1 :

$$36,08 \text{ [MPa]} < \bar{E}_1 < 43,52 \text{ [MPa]}$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej pierwotnego modułu odkształcenia warstwy zasypowej przed dogęszczeniem \bar{E}_1 ze wzoru (7):

$$\delta = 9,8\%$$

Wartość procentowa na poziomie 9,8% wyznaczonej wartości średniej modułu pierwotnego przed dogęszczeniem \bar{E}_1 jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu.

Przedział ufności wartości średniej pierwotnego modułu odkształcenia po dogęszczeniu warstwą zasypową \bar{E}'_1 :

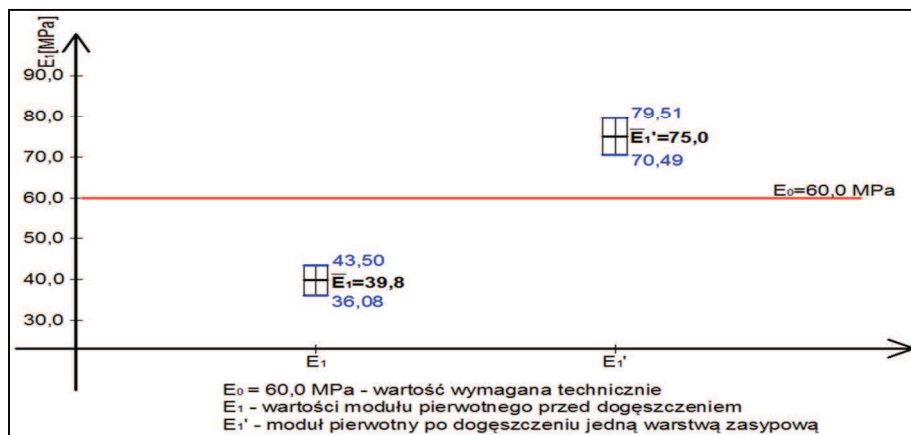
$$70,49 \text{ [MPa]} < \bar{E}'_1 < 79,51 \text{ [MPa]}$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej pierwotnego modułu odkształcenia spągowej warstwy kruszywa po dogęszczeniu warstwą zasypową \bar{E}'_1 ze wzoru (7):

$$\delta = 7,2\%$$

Wartość procentowa na poziomie 7,2% wyznaczonej wartości średniej modułu pierwotnego po dogęszczeniu \bar{E}'_1 jest wystarczająca.

Przedziały ufności dla wartości średnich modułów pierwotnych przed dogęszczeniem \bar{E}_1 i po dogęszczeniu \bar{E}'_1 przedstawiono na rysunku 30. Na rysunku tym pokazano również E_0 – wartość wymaganą technicznie.



Rys. 30. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{E}_1 i \bar{E}'_1

Wnioski:

Stosowanie analizowanej technologii warstwowego zagęszczenia do wbudowywania kruszywa w nasyp budowlany powoduje znaczące praktycznie polepszenie wartości liczbowych pierwotnych modułów odkształcenia każdej zasypowej warstwy spągowej (dolnej). Dodatkowo należy zauważyć, że w praktyce nie musi być jednocześnie spełniony wysoki próg wymagań początkowych i nie jest konieczny warunek podstawowy dla wartości liczbowej modułu pierwotnego przed dogęszczeniem tej warstwy tzn. $E_1 > 60$ MPa. Natomiast warunek projektowy dla wartości modułu pierwotnego warstwy zasypowej po dogęszczeniu E_1' został w nasypie budowlanym spełniony. Z praktycznego i technicznego punktu widzenia jest to istotna i racjonalna cecha geotechniczna nowej technologii wbudowywania i formowania kolejnych warstw zasypowych gruntu w nasypie budowlanym.

7.1.1.3. Test istotności zmiany wartości średnich modułów \overline{E}_1 i \overline{E}_1'

Na podstawie wyników badań zawartych w tabeli 23 i 24 obliczono według [32 i 44] wartości średnich modułów pierwotnych przed dogęszczeniem \overline{E}_1 i po dogęszczeniu kolejną jedną warstwą zasypową \overline{E}_1' . W celu sprawdzenia, czy jest istotny wpływ dogęszczenia jedną warstwą zasypową na uzyskiwaną wartość modułu pierwotnego warstwy spągowej postawiono następującą hipotezę:

Hipoteza:

H_0 : *średnia różnica modułu pierwotnego po dogęszczeniu i przed równa się zero*

$$H_0: \mu_R = 0 \quad (\overline{E}_1' = \overline{E}_1)$$

natomiast hipotezę alternatywną sformułowano natomiast następująco:

H_1 : *średnia różnica modułu pierwotnego po i przed dogęszczeniem jest większa od zera*

$$H_1: \mu_R > 0 \quad (\overline{E}_1' > \overline{E}_1)$$

Hipotezę zweryfikowano na podstawie statystyki zgodnie ze wzorem (8):

$$t = \frac{\overline{Z}}{\hat{s}_z} \sqrt{n-1} = 15,34 \quad (8)$$

gdzie:

t – wartość obliczona testowej,

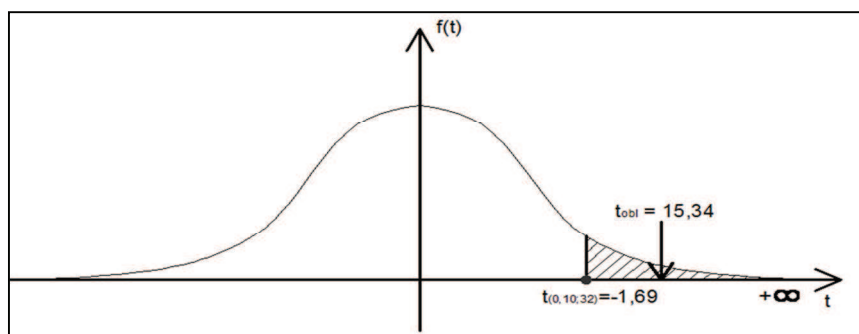
\overline{Z} – średnia arytmetyczna z różnic $z_i = E'_{1,i} - E_{1,i}$

\hat{s} – odchylenie standardowe.

Wartość krytyczna dla 2α i $n-1$ stopniach swobody wynosi:

$$t_{(2\alpha; n-1)} = t_{(0,10; 32)} = 1,69$$

Prawostronny przedział krytyczny odrzucenia hipotezy H_0 wygląda następująco: $(1,69; +\infty)$ (rys. 31).



Rys. 31. Obszar krytyczny odrzucenia hipotezy zerowej w teście istotności wartości średnich \bar{E}_1 i \bar{E}'_1

Obliczona wartość $t = 15,34$ wpada w obszar krytyczny, więc odrzucamy hipotezę zerową H_0 i przyjmujemy hipotezę alternatywną. Pozwala to wnioskować, że na poziomie istotności 0,05 hipoteza alternatywna $\bar{E}'_1 > \bar{E}_1$ jest prawdziwa, czyli średnia obliczona na podstawie wartości modułu pierwotnego po dogęszczeniu jest istotnie większa od uzyskanej z wartości modułu pierwotnego przed dogęszczeniem.

Wnioski:

Stosowanie badanej technologii warstwowego zagęszczenia do wbudowywania kruszywa powoduje znaczące praktycznie polepszenie wartości pierwotnych modułów odkształcenia i jest istotne statystycznie.

7.1.1.4 Test istotności wartości średniej modułu pierwotnego E'_1

Na podstawie wyników badań przedstawionych w tabeli 24 i 25 oraz geotechnicznie wymaganej wartości oczekiwanej $E_0 = 60$ MPa według [32 i 44] przeprowadzono test istotności dla wartości średniej modułu odkształcenia po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową E'_1 , w stosunku do wartości geotechnicznie oczekiwanej E_0 . W celu wykonania testu postawiono następującą hipotezę:

Hipoteza:

H_0 : wartość średnia modułu pierwotnego po dogęszczeniu \bar{E}'_1 jest równa wartości $E_0 = 60$ MPa

$$H_0: E'_1 = E_0$$

oraz postawiono hipotezę alternatywną:

H_1 : wartość średnia modułu pierwotnego po dogęszczeniu \bar{E}'_1 jest większa od wartości $E_0 = 60$ MPa

$$H_1: E'_1 > E_0$$

Statystykę t obliczono ze wzoru (9)

$$t = \frac{\bar{E}'_1 - E_0}{\hat{S}} \sqrt{n} = 5,64 \quad (9)$$

gdzie:

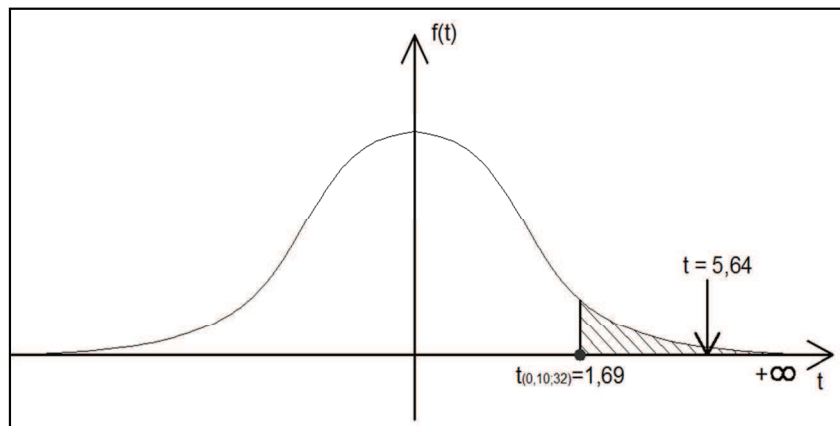
t – wartość obliczona z próby,

\hat{s} – odchylenie standardowe dla $n-1$ stopni swobody.

Wartość krytyczna dla obszaru jednostronnego jest następująca:

$$t_{(2\alpha; n-1)} = t_{(0,10; 32)} = 1,69$$

Prawostronny obszar krytyczny odrzucenia hipotezy H_0 (rys. 32) wygląda następująco $\langle 1,69, +\infty \rangle$.



Rys. 32. Obszar krytyczny odrzucenia hipotezy zerowej w teście istotności wartości średniej \bar{E}'_1

Obliczona wartość $t = 5,55$ wpada w obszar krytyczny, zatem odrzucamy hipotezę zerową H_0 i przyjmujemy hipotezę alternatywną. Pozwala to wnioskować, że na poziomie istotności 0,05 hipoteza alternatywna $E'_1 > E_0$ jest prawdziwa, czyli wartość średnia \bar{E}'_1 jest istotnie większa od wartości geotechnicznie oczekiwanej E_0 . Wynika z tego, że zastosowana technologia warstwowego zagęszczenia nasypu budowlanego daje w spągowej warstwie zasypowej większe wartości liczbowe modułu pierwotnego niż jest to technologicznie wymagane.

Wnioski:

Większa wartość liczbową średniego modułu odkształcenia pierwotnego po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową w stosunku do wartości liczbowej modułu pierwotnego $E'_1 > E_0 = 60$ MPa wymaganej projektowo jest istotna statystycznie. W związku z powyższym dodatkowo potwierdza to istotę przyjętej hipotezy i ważność pod względem geotechnicznym technologii warstwowego budowy nasypów z dogęszczeniem warstwy spągowej, do parametrów geotechnicznie dla niej wymaganych.

7.1.1.5. Test istotności współczynnika korelacji liniowej r Pearsona

Na podstawie wyników badań zestawionych w tabeli 23 i 24 sprawdzono według [32 i 44], czy obliczony współczynnik korelacji r między zmiennymi E_1 a E_1' jest istotny statystycznie. W tym celu przeprowadzono test istotności Pearsona. Postawiono następującą hipotezę:

Hipoteza:

H_0 : nie ma związku między wartością liczbową modułu pierwotnego przed do-
gęszczeniem i po dogęszczeniu.

$$H_0: \rho = 0$$

oraz przeciwstawiono poniższą hipotezę alternatywną

H_1 : jest związek istotny pomiędzy wartością liczbową modułu pierwotnego
przed dogęszczeniem i po dogęszczeniu.

$$H_1: \rho \neq 0$$

Hipotezę zweryfikowano na podstawie statystyki według wzoru (10)

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2} = 3,96 \quad (10)$$

gdzie:

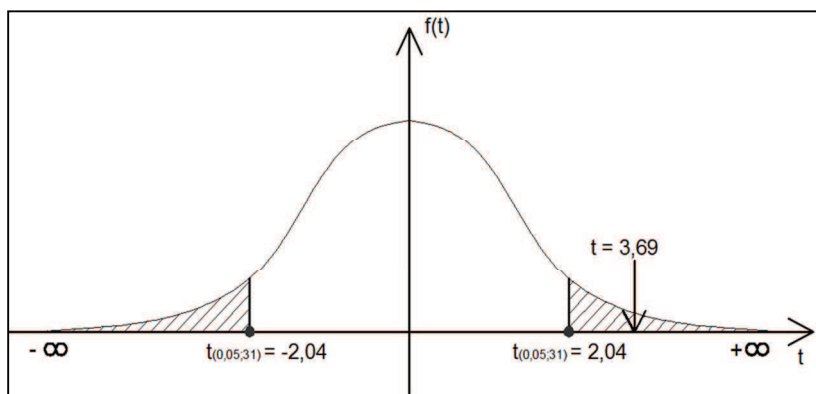
t – wartość obliczona z próby,

r – wartość współczynnika korelacji.

Wartość krytyczna t rzędu dla poziomu istotności α i $n-2$ stopni swobody wynosi:

$$t_{(\alpha;n-2)} = t_{(0,05;31)} = 2,04$$

Dwustronny obszar krytyczny odrzucenia hipotezy H_0 (rys. 33) jest nastę-
pujący $(-\infty; -2,04) \cup (2,04; +\infty)$.



Rys. 33. Obszar krytyczny odrzucenia hipotezy zerowej w teście istotności współczynnika korelacji między zmiennymi E_1 E_1'

Obliczona wartość $t = 3,69$ wpada w obszar krytyczny, zatem odrzucamy hipotezę zerową H_0 i przyjmujemy hipotezę alternatywną. Wynika z tego, że obliczony współczynnik korelacji $r = 0,58$ jest statystycznie istotny. Zjawisko fizyczne, które opisuje współczynnik r , można przedstawić za pomocą funkcji regresji.

Wnioski:

Obliczony współczynnik korelacji $r = 0,58$ jest istotny statystycznie. Wynika z tego testu, że zjawisko fizyczne wpływu dogęszczenia nasypu jedną warstwą zasypową na zmianę wartości liczbowej modułu pierwotnego można opisać funkcją regresji w postaci $Y = f(x) + \varepsilon$.

7.1.1.6. Wnioski z analizy statystycznej wartości modułu pierwotnego

Z przeprowadzonych powyżej analiz można sformułować następujące istotne wnioski:

- istnieje statystycznie istotny wpływ zmian (wzrost) wartości parametru E_1 , warstwy spągowej po dogęszczeniu jej jedną warstwą zasypową,
- uzyskana wartość średnia modułu pierwotnego po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową jest korzystniejsza w odniesieniu do wartości geotechnicznej oczekiwanej (projektowej) $E'_1 > 60$ MPa,
- wartość liczbową współczynnika korelacji jest istotna statystycznie, co pozwala na ustalenie wpływu dogęszczenia warstwy spągowej (jedną warstwą zasypową, grubości 0,30 m) na zmianę wartości modułu pierwotnego i opisać za pomocą równania prostej regresji dla całej populacji.

7.1.2. Analiza statystyczna zmian wartości modułu wtórnego

W tabeli 25 zawarto wyniki pomiarów modułu wtórnego E_2 w warstwie zasypowej – spągowej (dolnej) przed jej dogęszczeniem oraz po dogęszczeniu E'_2 , pierwszą warstwą zasypową o miąższości $h = 0,30$ m.

Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów bezpośrednich modułów obliczono parametry charakteryzujące analizowane zmienne. Wartości parametrów przedstawiono w tabeli 26.

Ponadto do dalszych rozważań przyjęto następujące dane wynikające z geotechnicznych wymagań jakościowych:

- za wartość oczekiwaną m uznano wartość projektowaną E_2 i E'_2 : $m = 120$ MPa,
- wartość błędu pomiaru na poziomie $\pm 12,0$ MPa,
- poziom współczynnika ufności 0,95.

Tabela 25. Zestawienie wyników pomiarów modułów wtórnych E_2 i E'_2

Lp.	Moduł wtórny [MPa]		Lp.	Moduł wtórny [MPa]		Lp.	Moduł wtórny [MPa]	
	E_2	E'_2		E_2	E'_2		E_2	E'_2
1	112,5	173,1	13	173,1	160,7	25	160,7	225,0
2	93,75	140,63	14	118,4	132,4	26	125,0	204,6
3	187,5	187,5	15	140,6	160,71	27	132,4	173,1
4	160,7	187,5	16	187,5	204,6	28	112,5	160,7
5	204,5	225,0	17	173,1	204,6	29	132,4	160,7
6	187,5	204,6	18	112,5	150,0	30	173,1	187,5
7	160,7	187,5	19	112,5	173,1	31	140,6	187,5
8	107,1	150,0	20	102,3	150,0	32	132,4	150,0
9	140,6	150,0	21	140,6	150,0	33	140,6	140,6
10	140,6	173,1	22	187,5	173,1	X		
11	125,0	187,5	23	132,4	173,1			
12	140,6	173,1	24	107,1	150,0			

Tabela 26. Parametry statystyczne obliczone na podstawie danych z tabeli 25

Lp.	Nazwa parametru	Symbol	Wartość parametru dla E_2	Wartość parametru dla E'_2
1	Średnia arytmetyczna	\bar{x}	142,4 MPa	173,1 MPa
2	Odchylenie standardowe	\hat{s}	29,3	24,2
3	Wariancja	\hat{s}^2	858,5	585,0
4	Współczynnik korelacji	r	0,67	

7.1.2.1. Ustalenie niezbędnej minimalnej liczebności próby

W celu ustalenia niezbędnej minimalnej liczebności próby przy nieznanym odchyleniu standardowym wykorzystano zależność (5) według [32 i 44] :

Przyjmując jako wyjściową początkową liczebność próby wstępnej $n_0 = 33$ oraz zakładając dopuszczalny błąd szacunku 12 MPa przy współczynniku ufności 0,95 określono wg wzoru (5):

- dla zmiennej E_2 minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 25$,
- dla zmiennej E'_1 minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 17$.

Wnioski:

Z powyższego wywodu wynika, że $n_0 = 33 > n_{\min} = 25$, oraz $n_0 = 33 > n_{\min} = 17$, co oznacza, że liczba wykonanych pomiarów modułu wtórnego (liczebność próby) w warstwach zasypowych jest wystarczająca ze względów statystycznych.

7.1.2.2. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{E}_2 i \bar{E}'_2

Na podstawie uzyskanych wyników badań zamieszczonych w tabeli 24 i 25, zgodnie z [32 i 44] oraz otrzymanych wartości średnich modułów wtórnych warstwy zasypowej przed jej dogęszczeniem \bar{E}_2 i modułu wtórnego po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową \bar{E}'_2 , wyznaczono przedziały ufności według wzoru (6) i przedstawiono na rysunku 34.

Przedziały ufności dla wartości średniej wtórnego modułu odkształcenia przed dogęszczeniem spągowej warstwy zasypowej \bar{E}_2 :

$$133,04[\text{MPa}] < \bar{E}_2 < 152,75[\text{MPa}]$$

Wartość półprzedziału ufności, charakteryzującego wartość średnią wtórnego modułu odkształcenia warstwy zasypowej przed dogęszczeniem \bar{E}_2 ze wzoru (7):

$$\delta = 7,3\%$$

Wartość procentowa na poziomie 7,3% wyznaczonej wartości średniej modułu wtórnego przed dogęszczeniem \bar{E}_2 jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu geotechnicznym.

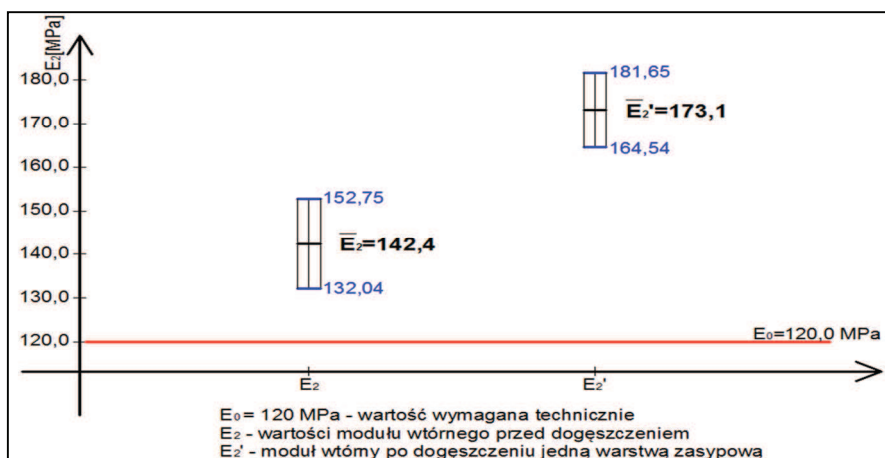
Przedział ufności wartości średniej wtórnego modułu odkształcenia po dogęszczeniu warstwą zasypową \bar{E}'_2 :

$$164,5[\text{MPa}] < \bar{E}'_2 < 181,6[\text{MPa}]$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej wtórnego modułu odkształcenia spągowej warstwy zasypowej po dogęszczeniu warstwą zasypową \bar{E}'_2 :

$$\delta = 4,9\%$$

Wartość procentowa na poziomie 4,9% wyznaczonej wartości średniej modułu wtórnego po dogęszczeniu \bar{E}'_2 jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu geotechnicznym.



Rys. 34. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{E}_2 i \bar{E}_2'

Wnioski:

Jak wynika z analizy wykresów przedziały te nie zazębiają się, co świadczy o istotnej różnicy między nimi i przedziały nie pokrywają E_0 co świadczy o tym, że moduły są większe od wymaganej wartości. Stosowanie omawianej technologii warstwowego zagęszczenia do wbudowywania kruszywa w nasyp budowlany powoduje znaczące praktycznie polepszenie wartości liczbowych wtórnych modułów odkształcenia. Ze względów geotechnicznych jest to istotna cecha badanej „nowej” technologii formowania nasypów budowlanych.

7.1.2.3. Test istotności zmiany wartości średnich modułów \bar{E}_2 i \bar{E}_2'

Na podstawie wyników badań zawartych w tabeli 25 i 26 obliczono według [32 i 44] wartości średnich modułów wtórnych przed dogęszczeniem \bar{E}_2 i po dogęszczeniu kolejną jedną warstwą zasypową \bar{E}_2' . W celu sprawdzenia czy istnieje istotna statystycznie różnica pomiędzy tymi wartościami postawiono następującą hipotezę:

Hipoteza:

H_0 : średnia różnic modułu wtórnego po i przed dogęszczeniem równa się zero

$$H_0: \mu_R = 0 \quad (\bar{E}_2' = \bar{E}_2)$$

natomiast hipotezę alternatywną sformułowano następująco

H_1 : średnia różnic modułu wtórnego przed i po dogęszczeniu jest większa od zera

$$H_1: \mu_R > 0 \quad (\bar{E}_2' > \bar{E}_2)$$

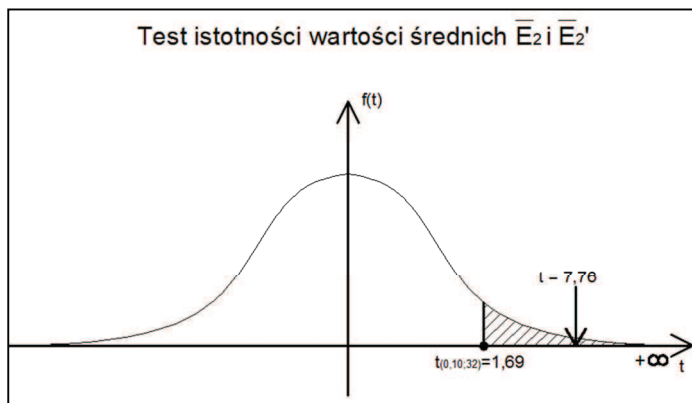
Hipotezę zweryfikowano na podstawie statystyki zgodnie ze wzorem (8)

$$t = 7,76$$

Wartość krytyczna wynosi:

$$t_{(2\alpha; n-1)} = t_{(0,10; 32)} = 1,69$$

Prawostronny przedział krytyczny odrzucenia hipotezy H_0 (rys. 35) wygląda następująco $(1,69; +\infty)$.



Rys. 35. Obszar krytyczny odrzucenia hipotezy zerowej w teście istotności wartości średnich \bar{E}_2 i \bar{E}'_2

Obliczona wartość $t = 7,76$ wpada w obszar krytyczny, zatem należy odrzucić hipotezę zerową H_0 i przyjąć hipotezę alternatywną. Pozwala to wnioskować, że na poziomie istotności 0,05 hipoteza alternatywna $\bar{E}'_2 > \bar{E}_2$ jest prawdziwa, czyli średnia wartości modułu wtórnego po dogęszczeniu jest istotnie większa od wartości modułu wtórnego przed dogęszczeniem.

Wnioski:

Stosowanie badanej technologii warstwowego zagęszczania kruszywa w nasypie budowlanym jest istotna statystycznie i powoduje znaczące praktycznie polepszenie wartości liczbowych wtórnych modułów odkształcenia dogęszczanych warstw zasypowych.

7.1.2.4. Test istotności wartości średniej modułu wtórnego E'_2

Na podstawie wyników badań zestawionych w tabeli 25 i 26 oraz geotechnicznie wymaganej wartości oczekiwanej $E_0 = 120$ MPa na podstawie [32 i 44] przeprowadzono test istotności dla wartości średniej modułu odkształcenia po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową E'_2 w stosunku do wartości geotechnicznie oczekiwanej E_0 . W celu wykonania testu postawiono następującą hipotezę:

Hipoteza:

H_0 : wartość średnia modułu wtórnego po dogęszczeniu \overline{E}'_2 jest równa wartości oczekiwanej $E_0 = 120 \text{ MPa}$

$$H_0: \overline{E}'_2 = E_0$$

oraz postawiono hipotezę alternatywną:

H_1 : wartość średnia modułu wtórnego po dogęszczeniu \overline{E}'_2 jest większa od wartości oczekiwanej $\overline{E}'_2 > 120 \text{ MPa}$

$$H_1: \overline{E}'_2 > E_0$$

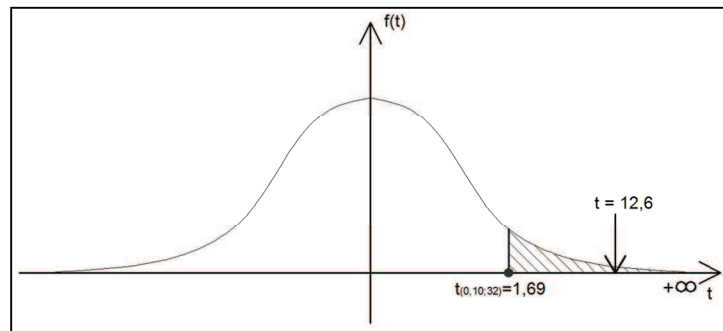
Statystykę t obliczono ze wzoru (9):

$$t = 12,6$$

Wartość krytyczna dla obszaru jednostronnego jest następująca:

$$t_{(2\alpha; n-1)} = t_{(0,10; 32)} = 1,69$$

Prawostronny przedział odrzucenia hipotezy H_0 (rys. 36) wygląda następująco $\langle 1,69, +\infty \rangle$.



Rys. 36. Obszar krytyczny odrzucenia hipotezy zerowej w teście istotności wartości średniej \overline{E}'_2

Obliczona wartość $t = 12,6$ wpada w obszar krytyczny, zatem odrzucamy hipotezę zerową H_0 i przyjmujemy hipotezę alternatywną. Pozwala to wnioskować, że na poziomie istotności 0,05 hipoteza alternatywna $E'_2 > E_0$ jest prawdziwa, czyli wartość średnia \overline{E}'_2 jest istotnie większa od wartości geotechnicznie oczekiwanej E_0 .

Wnioski:

Większa wartość liczbową średniego modułu odkształcenia wtórnego po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową w stosunku do wartości liczbowej wymaganego projektowo modułu wtórnego $E'_2 > E_0 = 120 \text{ MPa}$ wymaganej projektowo jest istotna statystycznie. W związku z powyższym dodatkowo potwierdza to istotę przyjętej hipotezy badawczej i poprawności pod względem geotechnicznym technologii warstwowej budowy nasypów z dogęszczeniem warstwy spągowej, do parametrów geotechnicznie dla niej wymaganych.

7.1.2.5. Test istotności współczynnika korelacji liniowej r Pearsona

Na podstawie wyników badań zestawionych w tabeli 25 i 26 sprawdzono według [32 i 44], czy obliczony współczynnik korelacji r między zmiennymi E_2 E_2' jest istotny statystycznie. W tym celu przeprowadzono test istotności współczynnika korelacji.

Hipoteza:

H_0 : nie ma związku między wartością liczbową modułu wtórnego przed dogęszczeniem i po dogęszczeniu.

$$H_0: \rho = 0$$

oraz przeciwstawiono poniższą hipotezę alternatywną

H_1 : jest związek istotny pomiędzy wartością liczbową modułu wtórnego przed dogęszczeniem i po dogęszczeniu.

$$H_1: \rho \neq 0$$

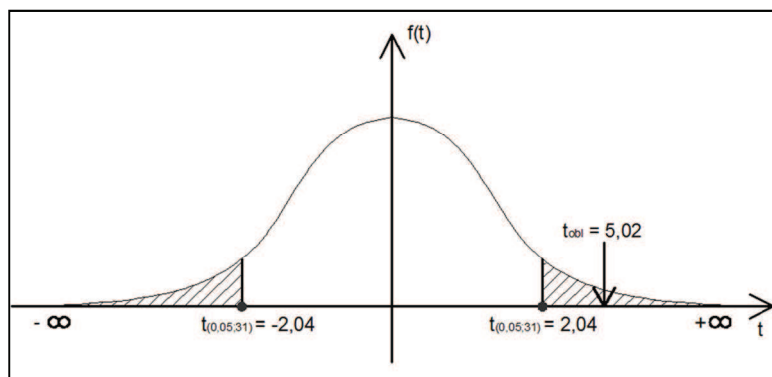
Statystykę t obliczono ze wzoru (10):

$$t = 5,02$$

Obliczona wartość krytyczna wynosi:

$$t_{(\alpha; n-2)} = t_{(0,05; 31)} = 2,04$$

Dwustronny obszar krytyczny odrzucenia hipotezy H_0 (rys. 37) jest następujący $(-\infty; -2,04) \cup (2,04; +\infty)$.



Rys. 37. Obszar krytyczny odrzucenia hipotezy zerowej w teście istotności współczynnika korelacji między zmiennymi E_2 E_2'

Obliczona wartość $t = 5,02$ wpada w obszar krytyczny, zatem odrzucamy hipotezę zerową H_0 i przyjmujemy hipotezę alternatywną. Wynika z tego, że obliczony współczynnik korelacji $r = 0,67$ jest istotny statystycznie.

Wnioski:

Obliczony współczynnik korelacji $r = 0,67$ jest istotny statystycznie. Wynika z przeprowadzonego testu, że zjawisko fizyczne wpływu dogęszczenia nasypu jedną warstwą zasypową na zmianę wartości liczbowej modułu wtórnego można opisać za pomocą funkcji regresji $Y = f(x) + \varepsilon$.

7.1.2.6. Wnioski z analizy statystycznej wartości modułu wtórnego

Z przeprowadzonych powyżej analiz można sformułować następujące istotne wnioski:

- istnieje istotny statystycznie wpływ zmian (przyrost) wartości parametru E_2 , warstwy spągowej po dogęszczeniu jej jedną warstwą zasypową,
- uzyskana wartość średnia modułu wtórnego po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową jest korzystniejsza i istotna statystycznie w odniesieniu do wartości geotechnicznie oczekiwanej (projektowej) $E'_2 > 120$ MPa,
- uzyskana wartość liczbową współczynnika korelacji jest istotna statystycznie, co pozwala wpływ dogęszczenia warstwy spągowej (jedną warstwą zasypową grubości 0,30 m) na zmianę wartości modułu wtórnego opisać za pomocą równania prostej regresji dla całej populacji.

7.1.3. Analiza statystyczna zmian wartości wskaźnika odkształcenia

W tabeli 27 przedstawiono wyniki badania wskaźnika odkształcenia I_0 w warstwie zasypowej (dolnej) przed jej dogęszczeniem pierwszą warstwą zasypową o miąższości $h = 30$ cm oraz wskaźnika odkształcenia warstwy po dogęszczeniu I'_0 pierwszą warstwą zasypową o miąższości $h = 30$ cm.

Tabela 27. Zestawienie wyników pomiarów dla wskaźników odkształcenia I_0 i I'_0

Lp.	Wskaźnik odkształcenia [MPa]		Lp.	Wskaźnik odkształcenia [MPa]		Lp.	Wskaźnik odkształcenia [MPa]	
	I_0	I'_0		I_0	I'_0		I'_0	I_0
1	3,20	2,31	13	3,31	1,50	25	4,50	2,60
2	2,54	2,31	14	5,47	2,41	26	2,39	2,00
3	3,50	2,67	15	3,88	2,57	27	3,35	2,46
4	2,36	2,33	16	5,17	3,36	28	2,35	1,64
5	3,73	2,80	17	7,31	2,73	29	5,65	2,86
6	3,92	2,73	18	3,70	2,00	30	3,54	2,42
7	3,50	2,00	19	3,70	2,23	31	2,38	2,25
8	2,52	1,67	20	4,86	3,0	32	3,35	2,27
9	6,19	2,53	21	3,81	2,47	33	3,56	2,19
10	3,38	2,38	22	2,92	1,92	X		
11	6,06	2,67	23	3,59	1,62			
12	4,94	2,92	24	2,86	2,00			

Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów bezpośrednich wskaźnika odkształcenia obliczono parametry statystyczne, charakteryzujące analizowane zmienne. Wartość parametrów przedstawiono w tabeli 28.

Tabela 28. Parametry statystyczne obliczone na podstawie danych z tabeli 27

Lp.	Nazwa parametru	Symbol	Wartość parametru dla I_0	Wartość parametru dla I'_0
1	Średnia arytmetyczna	\bar{x}	3,9	2,4
2	Odchylenie standardowe	\hat{s}	1,2	0,4
3	Wariancja	\hat{s}^2	1,5	0,2
4	Współczynnik korelacji	r	0,62	

Ponadto do dalszych rozważań przyjęto następujące dane wynikające z geotechnicznych wymagań jakościowych:

- za wartość oczekiwaną m uznano wartość projektowaną I_0 i I'_0 : $m = 2,50$,
- wartość błędu pomiaru na poziomie $\pm 0,5$,
- poziom współczynnika ufności 0,95.

7.1.3.1. Ustalenie niezbędnej minimalnej liczebności próby

W celu ustalenia niezbędnej minimalnej liczebności próby przy nieznanym odchyleniu standardowym wykorzystano zależność (5) według [32 i 44]:

Przyjmując jako wyjściową początkową liczebność próby wstępnej $n_0 = 33$ na podstawie (5), określono:

- dla zmiennej I_0 minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 25$,
- dla zmiennej I'_0 minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 10$.

Wnioski:

Z powyższego wywodu wynika, że $n_0 = 33 > n_{\min} = 25$, oraz $n_0 = 33 > n_{\min} = 10$, co oznacza, że liczba wykonanych pomiarów wskaźnika odkształcenia (liczebność próby) w warstwach zasypowych jest wystarczająca ze względów statystycznych.

7.1.3.2. Przedział ufności dla wartości średnich \bar{I}_0 i \bar{I}'_0

Na podstawie uzyskanych wyników badań przedstawionych w tabeli 27 i 28, zgodnie z [32 i 44] oraz otrzymanych wartości średnich wskaźników odkształcenia porównano obie wartości przed dogęszczeniem i po dogęszczeniu warstwy zasypowej. Przedział ufności dla wartości średniej wskaźnika odkształcenia \bar{I}_0 przed dogęszczeniem spągowej warstwy zasypowej:

$$3,47 < \bar{I}_0 < 4,32$$

Wartość półprzedziału ufności dla wartości średniej wskaźnika odkształcenia warstwy zasypowej przed dogęszczeniem \bar{I}_0 według (7):

$$\delta = 9,9\%$$

Wartość procentowa precyzji na poziomie 9,9% wyznaczonej wartości średniej wskaźnika odkształcenia przed dogęszczeniem \bar{I}_0 jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu geotechnicznym.

Przedział ufności wartości średniej wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu \bar{I}'_0 warstwą zasypową:

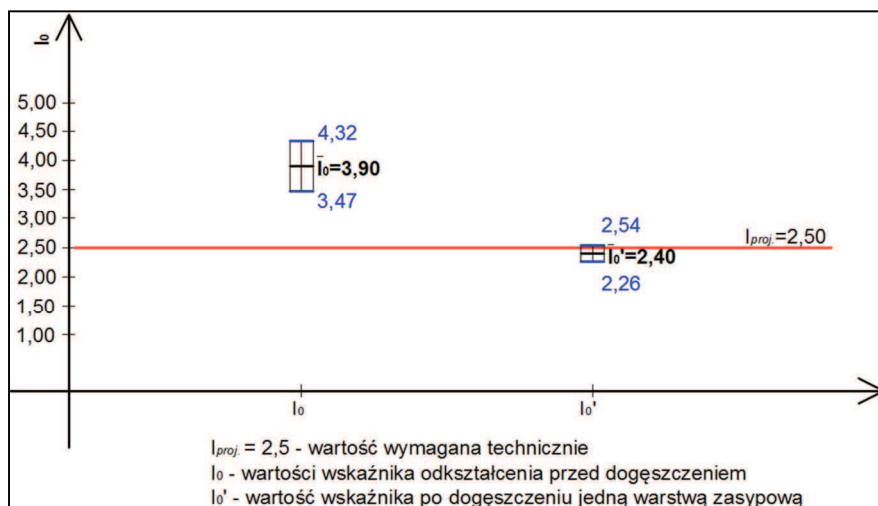
$$2,25 < \bar{I}'_0 < 2,54$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej wskaźnika odkształcenia spągowej warstwy zasypowej po dogęszczeniu warstwą zasypową \bar{I}'_0 według (3):

$$\delta = 5,9\%$$

Wartość procentowa precyzji na poziomie 5,9% wyznaczonej wartości średniej wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu \bar{I}'_0 jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu geotechnicznym.

Przedziały ufności dla wartości średnich wskaźników odkształcenia przed dogęszczeniem \bar{I}_0 i po dogęszczeniu \bar{I}'_0 przedstawiono na rysunku 38 wraz z wartością wskaźnika odkształcenia wymaganą projektowo $I_{proj.} = 2,50$.



Rys. 38. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{I}_0 i \bar{I}'_0 , wraz z wartością $I_{proj.}$

Z rysunku 38 wynika, że analizowane przedziały nie zazębiają się, co świadczy o istotnych różnicach między nimi. Przedział wartości średniej wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu \bar{I}'_0 pokrywa się z wartością wskaźnika odkształcenia projektowaną. W związku z tym po dogęszczeniu warstwy zasypowej uzyskuje się założone dla niej wymagania technologiczne.

Wnioski:

Stosowanie badanej technologii warstwowego zagęszczenia do wbudowywania kruszywa w nasyp budowlany powoduje znaczące praktycznie polepszenie wartości liczbowych wskaźników odkształcenia każdej zasypowej warstwy spągowej. Dodatkowo należy zauważyć, że w praktyce nie musi być jednocześnie spełniony wysoki próg wymagań początkowych i nie jest konieczny warunek podstawowy dla wartości liczbowej wskaźnika odkształcenia przed dogęszczeniem tej warstwy tzn. $I_0 \leq 2,50$. Warunek projektowy dla wartości wskaźnika odkształcenia I'_0 warstwy zasypowej po dogęszczeniu został natomiast w nasypie budowlanym spełniony. Ze względów geotechnicznych jest to istotna cecha badanej „nowej” technologii formowania nasypów budowlanych.

7.1.3.3. Test istotności zmiany wartości średnich wskaźników odkształcenia \bar{I}_0 i \bar{I}'_0

Na podstawie wyników badań zawartych w tabeli 27 i 28 obliczono według [32 i 44] wartości średnich wskaźników odkształcenia przed dogęszczeniem \bar{I}_0 i po dogęszczeniu kolejną jedną warstwą zasypową \bar{I}'_0 . W celu sprawdzenia czy istnieje istotna statystycznie różnica pomiędzy tymi wartościami postawiono następującą hipotezę:

Hipoteza:

H_0 : *średnia różnic wskaźnika odkształcenia przed i po dogęszczeniu równa się zero*

$$H_0: \mu_R = 0 \quad (\bar{I}'_0 = \bar{I}_0)$$

natomiast hipotezę alternatywną sformułowano następująco

H_1 : *średnia różnic wskaźnika odkształcenia po i przed dogęszczeniem jest mniejsza od zera*

$$H_1: \mu_R < 0 \quad (\bar{I}'_0 < \bar{I}_0)$$

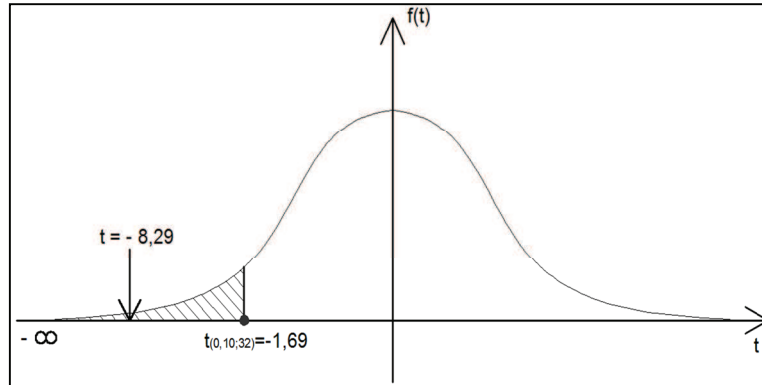
Hipotezę zweryfikowano na podstawie statystyki zgodnie ze wzorem (8):

$$t = -8,29$$

Obliczona wartość krytyczna dla 2α i $n-1$ stopni swobody wyniosła

$$t_{(2\alpha; n-1)} = t_{(0,10; 32)} = -1,69$$

Lewostronny przedział krytyczny odrzucenia hipotezy H_0 (rys. 39) wygląda następująco $(-\infty; -1,69)$.



Rys. 39. Obszar krytyczny odrzucenia hipotezy zero w teście istotności wartości średnich \bar{I}_0 i \bar{I}'_0

Obliczona wartość $t = -8,29$ wpada w obszar krytyczny, zatem należy odrzucić hipotezę zerową H_0 i przyjąć alternatywną. Pozwala to wnioskować, że na poziomie istotności 0,05 hipoteza alternatywna $\bar{I}'_0 < \bar{I}_0$ jest prawdziwa, czyli średnia obliczona na podstawie wartości wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu jest istotnie mniejsza od wartości wskaźnika odkształcenia przed dogęszczeniem.

Wnioski:

Stosowanie badanej technologii warstwowego zagęszczenia do wbudowywania kruszywa powoduje znaczące praktycznie i istotne statystycznie polepszenie wartości liczbowych wskaźnika odkształcenia. Dodatkowo uzyskuje się podłoże quasi-sprężyste nasypu budowlanego.

7.1.3.4. Test istotności wartości średniej wskaźnika odkształcenia I'_0

Na podstawie wyników badań zestawionych w tabeli 28 i 29 oraz geotechnicznie wymaganej wartości oczekiwanej $I_{proj.} = 2,50$ na podstawie [32 i 44] przeprowadzono test istotności dla wartości średniej wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową I'_0 w stosunku do wartości geotechnicznie oczekiwanej $I_{proj.}$. W celu wykonania testu postawiono następującą hipotezę:

Hipoteza:

H_0 : wartość średnia wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu \bar{I}'_0 jest równa wartości oczekiwanej $I_{proj.} = 2,50$

$$H_0: I'_0 = I_0$$

oraz postawiono hipotezę alternatywną

H_1 : wartość średnia wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu \bar{I}'_0 jest różna od wartości oczekiwanej $I_{proj.} = 2,50$

$$H_1: I'_0 \neq I_{proj.}$$

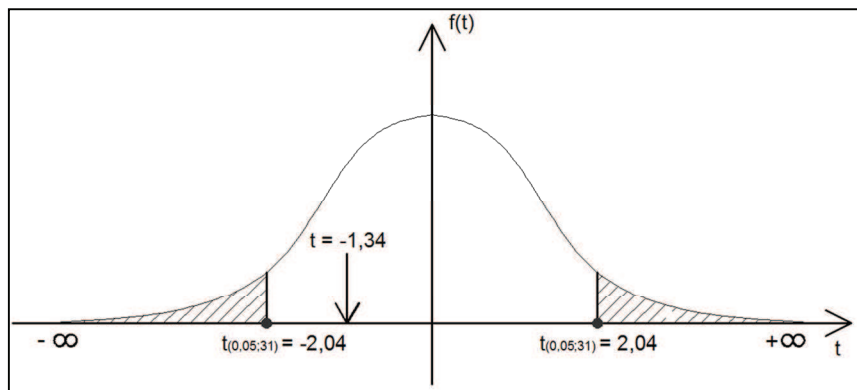
Statystykę t obliczono ze wzoru (9):

$$t = -1,34 .$$

Wartość krytyczna dla obszaru dwustronnego jest następująca:

$$t_{(\alpha;n-1)} = t_{(0,05;32)} = 2,04$$

Obustronny przedział odrzucenia hipotezy H_0 (rys. 40) wygląda następująco:
 $(-\infty; -2,04) \cup (2,04; +\infty)$.



Rys. 40. Obszar krytyczny odrzucenia hipotezy zerowej w teście istotności wartości średniej \bar{I}'_0

Obliczona wartość $t = -1,34$ nie należy do obszaru krytycznego to nie ma podstaw na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ do odrzucenia hipotezy zerowej. Wynika z tego, że liczbowa wartość wskaźnika odkształcenia spągowej warstwy zasypowej po dogęszczeniu jej jedną nadległą warstwą zasypową spełnia wymagania geotechniczne.

Wnioski:

Wartość liczbowa średniego wskaźnika odkształcenia warstwy spągowej po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową jest zgodna z wartością liczbową wymaganą projektowo wskaźnika odkształcenia $I'_0 = I_0 = 2,50$. W związku z powyższym dodatkowo potwierdza to istotę przyjętej hipotezy badawczej i ważność pod względem geotechnicznym technologii warstwowej budowy nasypów budowlanych z dogęszczeniem warstwy spągowej do parametrów geotechnicznie dla niej wymaganych.

7.1.3.5. Test istotności współczynnika korelacji liniowej r Pearsona

Na podstawie wyników badań zestawionych w tabeli 27 i 28 sprawdzono według [32 i 44], czy obliczony współczynnik korelacji r między zmiennymi I_0 a I'_0 jest istotny statystycznie. W tym celu przeprowadzono test istotności współczynnika korelacji.

Hipoteza:

H_0 : nie ma związku między wartością liczbową wskaźnika odkształcenia przed dogęszczeniem i po dogęszczeniu.

$$H_0: \rho = 0$$

oraz przeciwstawiono poniższą hipotezę alternatywną

H_1 : jest związek istotny pomiędzy wartością liczbową wskaźnika odkształcenia przed dogęszczeniem i po dogęszczeniu.

$$H_1: \rho \neq 0$$

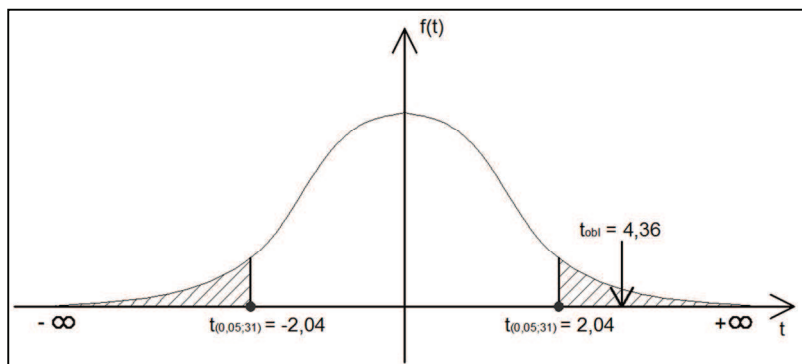
Wartość statystyki obliczono ze wzoru (10):

$$t = 4,36$$

Wartość krytyczna dla $\alpha=0,05$ i 31 stopni wynosi:

$$t_{(\alpha;n-2)} = t_{(0,05;31)} = 2,04$$

Dwustronny obszar krytyczny odrzucenia hipotezy H_0 (rys. 41) jest następujący $(-\infty; -2,04) \cup (2,04; +\infty)$.



Rys. 41. Obszar krytyczny odrzucenia hipotezy zerowej w teście współczynnika korelacji zmiennych I_0 I_0'

Obliczona wartość $t = 4,36$ wpada w obszar krytyczny, zatem odrzucamy hipotezę zerową i przyjmujemy hipotezę alternatywną. Wynika z tego, że obliczony współczynnik korelacji $r = 0,62$ jest istotny statystycznie.

Wnioski:

Obliczony współczynnik korelacji $r = 0,67$ jest istotny statystycznie i zjawisko fizyczne wpływu dogęszczenia nasypu jedną nadległą warstwą zasypową na zmianę wartości liczbowej wskaźnika odkształcenia można opisać za pomocą funkcji regresji $Y = f(x) + \varepsilon$.

7.1.3.6. Wnioski z analizy statystycznej wartości modułu wtórnego

Z przeprowadzonych powyżej analiz można sformułować następujące istotne wnioski:

- istnieje istotny statystycznie wpływ zmian wartości parametru I_0 po dogęszczeniu warstwy spągowej jedną nadległą warstwą zasypową,
- uzyskana wartość średnia wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu jedną nadległą warstwą zasypową jest równa i istotna statystycznie w odniesieniu do wartości oczekiwanej (projektowej) $I'_0 \leq 2,50$ MPa,
- uzyskana wartość liczbowa współczynnika korelacji jest istotna statystycznie i zjawisko fizyczne wpływu dogęszczenia warstwy spągowej jedną nadległą warstwą zasypową grubości 0,30 m na zmianę wartości wskaźnika odkształcenia można opisać za pomocą równania prostej regresji dla całej populacji.

7.2. WPLYW WBUDOWANIA DWÓCH WARSTWY KRUSZYWA NA ZMIANĘ WARTOŚCI PARAMETRÓW NIŻSZEJ WARSTWY ZASYPOWEJ

Analizie statystycznej poddano następujące przypadki:

- zmianę wartości modułu pierwotnego warstwy zasypowej po dogęszczeniu dwoma nadległymi warstwami E''_1 w odniesieniu do wartości modułu pierwotnego przed dogęszczeniem E_1 ,
- zmianę wartości modułu wtórnego warstwy zasypowej po dogęszczeniu dwoma nadległymi warstwami E''_2 w odniesieniu do wartości modułu wtórnego przed dogęszczeniem E_2 ,
- zmianę wartości wskaźnika odkształcenia warstwy zasypowej po dogęszczeniu dwoma nadległymi warstwami I''_0 , w odniesieniu do wartości wskaźnika odkształcenia przed dogęszczeniem I_0 .

7.2.1. Analiza statystyczna zmian wartości modułu pierwotnego – E_1

W tabeli 29 zestawiono wyniki pomiarów wartości modułu pierwotnego E_1 w warstwie zasypowej przed jej dogęszczeniem oraz modułu pierwotnego warstwy po dogęszczeniu E''_1 dwoma nadległymi warstwami zasypowymi o miąższości $h = 30$ cm każda.

Tabela 29. Zestawienie wyników pomiarów modułów pierwotnych E_1 i E''_1

Lp.	Moduł pierwotny [MPa]		Lp.	Moduł pierwotny [MPa]		Lp.	Moduł pierwotny [MPa]	
	E_1	E''_1		E_1	E''_1		E_1	E''_1
1	37,50	107,1	3	52,33	173,1	5	47,87	250,53
2	35,71	102,3	4	39,47	97,83			

Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów bezpośrednich obliczono parametry statystyczne, charakteryzujące analizowane zmienne i przedstawiono je w tabeli 30.

Tabela 30. Parametry statystyczne obliczone na podstawie danych z tabeli 29

Lp.	Nazwa parametru	Symbol	Wartość parametru dla E_1	Wartość parametru dla E_1''
1	Średnia Arytmetyczna	\bar{x}	39,8 MPa	142,6 MPa
2	Odchylenie Standardowe	\hat{s}	7,2	66,0
3	Wariancja	\hat{s}^2	51,4	4350,6
4	Współczynnik korelacji	r	0,60	

Ponadto do dalszych rozważań przyjęto:

- za wartość oczekiwaną m uznano wartość projektowaną E_1 i E_1'' : $m = 60$ MPa,
- wartość błędu pomiaru na poziomie $\pm 6,0$ MPa,
- poziom współczynnika ufności 0,95.

7.2.1.1. Ustalenie niezbędnej minimalnej liczebności próby

W celu ustalenia niezbędnej minimalnej liczebności próby przy nieznanym odchyleniu standardowym wykorzystano zależność (5) według [32 i 44]:

Przyjmując jako wyjściową początkową liczebność próby $n_0=5$ na podstawie (5), określono:

- dla zmiennej E_1 minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 6$,
- dla zmiennej E_1'' minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 798$.

Wnioski:

Z powyższego wywodu wynika, że $n_0 = 5 < n_{\min} = 6$, oraz $n_0 = 5 < n_{\min} = 798$, co oznacza, że liczba wykonanych pomiarów modułu pierwotnego (liczebność próby) dla dwóch warstw zasypowych nie jest wystarczająca ze względów statystycznych. W związku z powyższym dalszą analizę statystyczną ograniczono do obliczenia przedziałów ufności i precyzji oszacowania wyników.

Należy jednak zauważyć, że względów inżynierskich i geotechnicznych jest spełniony warunek minimalnej liczebności próbek $N_{\min} = 5$, warunek ten honorują Polskie Normy oraz Eurokod.

7.2.1.2. Przedział ufności dla wartości średnich $\overline{E_1}$ i $\overline{E_1''}$

Na podstawie uzyskanych wyników badań zawartych w tabeli 29 i 30, zgodnie z [32 i 44] oraz otrzymanych wartości średnich modułów pierwotnych

warstwy zasypowej przed jej dogęszczeniem \overline{E}_1 i modułu pierwotnego po dogęszczeniu dwoma nadległymi warstwami zasypowymi \overline{E}_1'' , porównano obie wartości i sprawdzono czy istnieją różnice pomiędzy tymi wartościami. Podsumowując analizę sprawdzono, czy istnieje wpływ zagęszczenia dwoma warstwami na uzyskiwaną wartość modułu pierwotnego spągowej warstwy zasypowej. Wartość przedziału ufności obliczono ze wzoru (6).

Przedział ufności dla wartości średniej pierwotnego modułu odkształcenia przed dogęszczeniem spągowej warstwy zasypowej \overline{E}_1 :

$$34,3 [\text{MPa}] < \overline{E}_1 < 50,8 [\text{MPa}]$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej pierwotnego modułu odkształcenia warstwy zasypowej przed dogęszczeniem dwoma warstwami \overline{E}_1 ze wzoru (3):

$$\delta = 19,4\%$$

Wartość procentowa precyzji na poziomie 19,4% wyznaczonej wartości średniej modułu pierwotnego przed dogęszczeniem \overline{E}_1 nie jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu i nie można jej uogólniać dla całości populacji.

Przedział ufności wartości średniej pierwotnego modułu odkształcenia po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi \overline{E}_1'' :

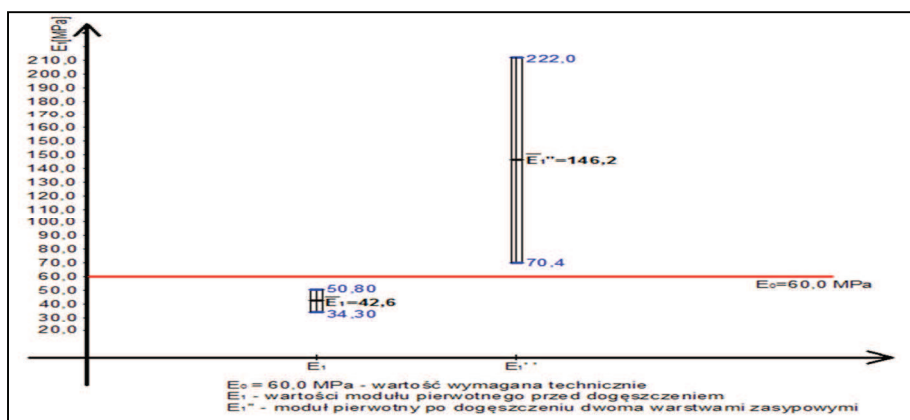
$$70,4 [\text{MPa}] < \overline{E}_1'' < 222,0 [\text{MPa}]$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej pierwotnego modułu odkształcenia spągowej warstwy zasypowej, po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi \overline{E}_1'' ze wzoru (7):

$$\delta = 51,86\%$$

Wartość procentowa precyzji na poziomie 51,86% wyznaczonej wartości średniej modułu pierwotnego po dogęszczeniu dwoma warstwami \overline{E}_1'' nie jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu.

Na rysunku 42 przedstawiono przedziały ufności dla \overline{E}_1 i \overline{E}_1'' wraz z wartością oczekiwaną $E_0 = 60 \text{ MPa}$.



Rys. 42. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{E}_1 i \bar{E}_1''

Jak wynika z analizy wykresów przedziały te nie zazębiają się, co świadczy o istotnej różnicy między nimi. Przedział dla wartości modułu pierwotnego po dogęszczeniu jest większy od wartości oczekiwanej E_0 .

Wnioski:

Stosowanie badanej technologii warstwowego zagęszczenia do wbudowania kruszywa w nasyp budowlany powoduje znaczące ponad 3-krotne polepszenie wartości liczbowych pierwotnych modułów odkształcenia warstwy zasypowej dogęszczonej dwoma kolejnymi nadleżymi warstwami. Należy jednak zauważyć, że precyzja wyznaczenia obu parametrów \bar{E}_1 i \bar{E}_1'' nie jest statystycznie wystarczająca i należy powyższy wynik rozpatrywać tylko pod względem szacunkowym. Ze względów geotechnicznych należy jednak wyciągnąć ważny wniosek, że istnieje niewątpliwie korzystny wpływ drugiej warstwy zasypowej na zagęszczenie warstwy pierwotnej.

7.2.2. Analiza statystyczna zmian wartości modułu wtórnego – E_2

W tabeli 31 zestawiono wyniki pomiarów wartości modułu wtórnego E_2 w warstwie zasypowej przed jej dogęszczeniem oraz modułu wtórnego warstwy po dogęszczeniu E_2'' drugą warstwą zasypową o miąższości $h = 30$ cm.

Tabela 31. Zestawienie wyników pomiarów modułów wtórnych E_2 i E_2''

Lp.	Moduł wtórny [MPa]		Lp.	Moduł wtórny [MPa]		Lp.	Moduł wtórny [MPa]	
	E_2	E_2''		E_2	E_2''		E_2	E_2''
1	107,1	187,5	3	125,0	321,4	5	112,5	370,0
2	160,7	204,5	4	132,4	204,55			

Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów bezpośrednich obliczono parametry, charakteryzujące analizowane zmienne. Wartości parametrów przedstawiono w tabeli 32.

Tabela 32. Parametry statystyczne obliczone na podstawie danych z tabeli 31

Lp.	Nazwa parametru	Symbol	Wartość parametru dla E_2	Wartość parametru dla E_2''
1	Średnia Arytmetyczna	\bar{x}	127,5 MPa	257,6 MPa
2	Odchylenie Standardowe	\hat{s}	21,1	82,5
3	Wariancja	\hat{s}^2	443,4	6812,7
4	Współczynnik korelacji	r	0,35	

Ponadto do dalszych rozważań przyjęto:

- za wartość oczekiwaną m uznano wartość projektowaną E_2 i E_2'' :
 $m = 120$ MPa,
- wartość błędu pomiaru na poziomie $\pm 12,0$ MPa,
- poziom współczynnika ufności 0,95.

7.2.2.1. Ustalenie niezbędnej minimalnej liczebności próby

W celu ustalenia niezbędnej minimalnej liczebności próby przy nieznanym odchyleniu standardowym wykorzystano zależność (5) według [32 i 44]:

Przyjmując jako wyjściową początkową liczebność próby $n_0 = 5$ na podstawie (5), określono:

- dla zmiennej E_2 minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 20$,
- dla zmiennej E_2'' minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 312$.

Wnioski:

Z powyższego wywodu wynika, że $n_0 = 5 < n_{\min} = 20$, oraz $n_0 = 5 < n_{\min} = 312$, co oznacza, że liczba wykonanych pomiarów modułu wtórnego (liczebność próby) dla dwóch warstw zasypowych nie jest wystarczająca z punktu widzenia statystycznego. W związku z powyższym dalszą analizę statystyczną ograniczono do obliczenia przedziałów ufności i precyzji oszacowania wyników.

Należy jednak zauważyć, że ze względów inżynierskich i geotechnicznych jest spełniony – warunek minimalnej liczebności próbek $N_{\min} = 5$, warunek ten honoruje również Eurokod.

7.2.2.2. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{E}_2 i \bar{E}_2''

Na podstawie uzyskanych wyników badań przedstawionych w tabeli 31 i 32, zgodnie z [32 i 44] oraz otrzymanych wartości średnich modułów wtórnych warstwy zasypowej przed jej dogęszczeniem \bar{E}_2 i modułu wtórnego po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi \bar{E}_2'' , porównano obie wartości i sprawdzono, czy istnieją różnice pomiędzy tymi wartościami. Podsumowując analizę zweryfikowano, czy jest wpływ zagęszczenia spągowej warstwy zasypowej dwoma warstwami na uzyskiwaną wartość modułu wtórnego. Wartość przedziału ufności obliczono ze wzoru (6).

Wartość przedziału ufności dla wartości średniej wtórnego modułu odkształcenia przed dogęszczeniem spągowej warstwy zasypowej \bar{E}_2 :

$$103,3[\text{MPa}] < \bar{E}_2 < 151,7[\text{MPa}]$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej wtórnego modułu odkształcenia warstwy zasypowej przed dogęszczeniem dwoma warstwami \bar{E}_2 ze wzoru (7):

$$\delta = 18,9\%$$

Wartość procentowa precyzji na poziomie 18,9% wyznaczonej wartości średniej modułu wtórnego przed dogęszczeniem \bar{E}_2 nie jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu i nie można jej uogólniać dla całości populacji.

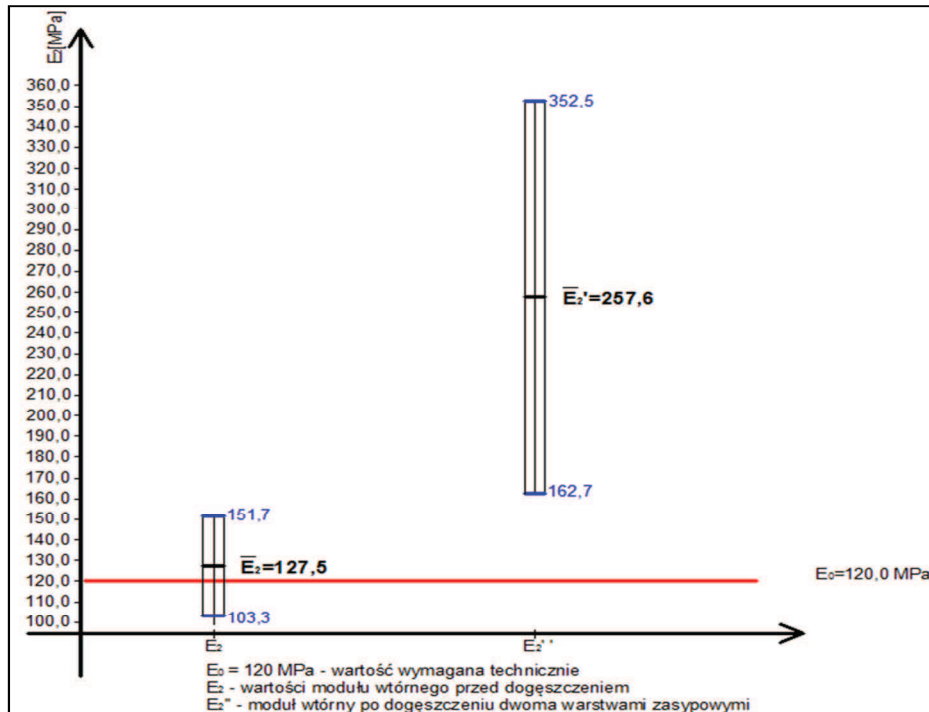
Wartość przedziału ufności wartości średniej wtórnego modułu odkształcenia po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi \bar{E}_2'' :

$$162,7[\text{MPa}] < \bar{E}_2'' < 352,5[\text{MPa}]$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej wtórnego modułu odkształcenia spągowej warstwy zasypowej po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi \bar{E}_2'' ze wzoru (3):

$$\delta = 36,8\%$$

Wartość procentowa precyzji na poziomie 36,8% wyznaczonej wartości średniej modułu wtórnego po dogęszczeniu dwoma warstwami \bar{E}_2'' nie jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu. Na rysunku 43 przedstawiono przedziały ufności dla \bar{E}_2 i \bar{E}_2'' wraz z wartością oczekiwaną $E_0 = 120$ MPa.



Rys. 43. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{E}_2 i \bar{E}_2''

Z analizy wykresów widać, że przedziały te nie zazębiają się, co świadczy o istotnej różnicy między nimi. Przedział wartości modułu wtórnego po dogęszczeniu dwoma warstwami jest większy od wartości oczekiwanej E_0 .

Wnioski:

Stosowanie badanej technologii warstwowego zagęszczenia do wbudowywania kruszywa powoduje znaczące ponad 2-krotne polepszenie wartości liczbowych wtórnych modułów odkształcenia spągowej warstwy zasypowej dogęszczanej dwoma kolejnymi nadległymi warstwami. Ze względów geotechnicznych należy jednak wyciągnąć istotny wniosek, że istnieje korzystny wpływ drugiej warstwy spągowej pierwotnej.

7.2.3. Analiza statystyczna zmian wartości wskaźnika odkształcenia – I_0

W tabeli 33 zestawiono wyniki pomiarów wartości wskaźnika odkształcenia I_0 w warstwie zasypowej przed jej dogęszczeniem oraz wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu I_0'' drugą warstwą zasypową o miąższości $h = 30 \text{ cm}$.

Tabela 33. Zestawienie wyników pomiarów wskaźnika odkształcenia I_0 i I_0''

Lp.	Wskaźnik odkształcenia		Lp.	Wskaźnik odkształcenia		Lp.	Wskaźnik odkształcenia	
	I_0	I_0''		I_0	I_0''		I_0	I_0''
1	2,86	1,75	3	2,39	1,86	5	2,35	1,50
2	4,50	2,0	4	3,35	2,09			

Na podstawie uzyskanych wyników z pomiarów bezpośrednich obliczono parametry, charakteryzujące analizowane zmienne. Wartość parametrów przedstawiono w tabeli 34.

Tabela 34. Parametry statystyczne obliczone na podstawie danych z tabeli 33

Lp.	Nazwa parametru	Symbol	Wartość parametru dla I_0	Wartość parametru dla I_0''
1	Średnia Arytmetyczna	\bar{x}	3,1	1,8
2	Odchylenie Standardowe	\hat{s}	0,9	0,2
3	Wariancja	\hat{s}^2	0,8	0,6
4	Współczynnik korelacji	r	0,67	

Ponadto do dalszych rozważań przyjęto:

- za wartość oczekiwaną m uznano wartość projektowaną I_0 i I_0'' : $m = 2,50$,
- wartość błędu pomiaru na poziomie $\pm 0,5$,
- poziom współczynnika ufności 0,95.

7.2.3.1. Ustalenie niezbędnej minimalnej liczebności próby

W celu ustalenia niezbędnej minimalnej liczebności próby przy nieznanym odchyleniu standardowym wykorzystano zależność (5) według [32 i 44]:

Przyjmując jako wyjściową początkową liczebność próby $n_0=5$ na podstawie (5), określono:

- dla zmiennej I_0 minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 21$,
- dla zmiennej I_0'' minimalna liczebność próby wynosi $n_{\min} = 15$.

Wnioski:

Z powyższego wywodu wynika, że $n_0 = 5 < n_{\min} = 21$ oraz $n_0 = 5 < n_{\min} = 15$, co oznacza, że liczba wykonanych pomiarów wskaźnika odkształcenia (liczebność próby) dla dwóch warstw zasypowych nie jest wystarczająca ze względów

statystycznych. W związku z powyższym dalszą analizę statystyczną ograniczono do obliczenia przedziałów ufności i precyzji oszacowania wyników.

Należy jednak zauważyć, że ze względów inżynierskich i geotechnicznych jest spełniony warunek minimalnej liczebności próbek $N_{\min} = 5$, który honoruje również Eurokod.

7.2.3.2. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{I}_0 i \bar{I}_0''

Na podstawie uzyskanych wyników badań przedstawionych w tabeli 33 i 34, zgodnie z [32 i 44] oraz otrzymanych wartości średnich wskaźników odkształcenia warstwy zasypowej przed jej dogęszczeniem \bar{I}_0 i wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi \bar{I}_0'' , porównano obie wartości i sprawdzono, czy istnieją różnice pomiędzy tymi wartościami. Podsumowując analizę zweryfikowano sprawdzono, czy jest wpływ zagęszczenia dwoma warstwami na uzyskiwaną wartość wskaźnika odkształcenia spągowej warstwy zasypowej.

Przedział ufności dla wartości średniej wskaźnika odkształcenia przed dogęszczeniem spągowej warstwy zasypowej \bar{I}_0 :

$$2,1 < \bar{I}_0 < 4,1$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej wskaźnika odkształcenia warstwy zasypowej przed dogęszczeniem dwoma warstwami \bar{I}_0 ze wzoru (7):

$$\delta = 33,0\%$$

Wartość procentowa precyzji na poziomie 33,0% wyznaczonej wartości średniej wskaźnika odkształcenia przed dogęszczeniem \bar{I}_0 nie jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu i nie można jej uogólniać dla całości populacji.

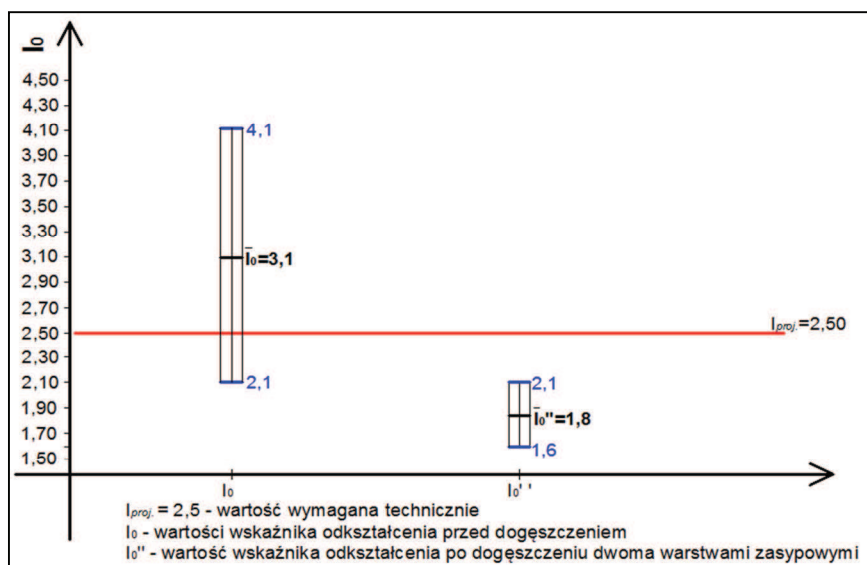
Przedziału ufności wartości średniej wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi \bar{I}_0'' :

$$1,6 < \bar{I}_0'' < 2,1$$

Wartość półprzedziału ufności wyznaczono dla wartości średniej wskaźnika odkształcenia spągowej warstwy zasypowej po dogęszczeniu dwoma warstwami zasypowymi \bar{I}_0'' ze wzoru (7):

$$\delta = 14,4\%$$

Wartość procentowa precyzji na poziomie 14,4% wyznaczonej wartości średniej wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu dwoma warstwami \bar{I}_0'' nie jest wystarczająca w analizowanym zagadnieniu.



Rys. 44. Przedziały ufności dla wartości średnich \bar{I}_0 i \bar{I}_0''

Jak wynika z analizowanego wykresu przedziały stykają się, ale na siebie nie zachodzą. Świadczy to o istotnej różnicy między badanymi parametrami, pyza tym przedział ufności dla wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu dwoma warstwami jest mniejszy i nie pokrywa się z wartością oczekiwaną $I_{proj.}$.

Wnioski:

Stosowanie badanej technologii warstwowego zagęszczenia do wbudowywania kruszywa w nasyp budowlany powoduje znaczące polepszenie wartości liczbowych wskaźników odkształcenia spągowej warstwy zasypowej dogęszczonej dwoma kolejnymi warstwami. Ze względów geotechnicznych należy jednak wyciągnąć istotny wniosek, że istnieje korzystny wpływ drugiej nadległej warstwy zasypowej na dogęszczenie warstwy pierwotnej.

7.3. PODSUMOWANIE ANALIZY STATYSTYCZNEJ

Podsumowując wyniki analizy statystycznej, należy sformułować następujące wnioski geotechniczne technologii warstwowej realizacji nasypów budowlanych:

- istnieje istotny wpływ na zmianę parametrów geotechnicznych warstwy spągowej (pierwotnej) w budowywania kolejno dwóch nadległych warstw zasypowych, każdej o grubości 30 cm,
- istnieje istotny statystycznie i korzystny praktycznie wpływ na zmianę parametrów geotechnicznych E_1 , E_2 i I_0 , spągowej warstwy zasypowej po dogęszczeniu jej jedną warstwą zasypową o grubości 30 cm,

- możliwe jest osiągnięcie projektowanych wartości parametrów mechanicznych przy warstwowej budowie nasypu w każdej warstwie bez konieczności pełnego zagęszczenia warstwy niżej leżącej do wartości zaprojektowanych,
- zmiany parametrów geotechnicznych E_1 , E_2 i I_0 warstwy spągowej po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową kruszywa można opisać dla ogółu populacji (kruszywa wapiennego o frakcji 0-31,5 mm) w postaci liniowej funkcji regresji $Y = f(x) + \varepsilon$
- istnieje korzystny geotechnicznie wpływ wbudowania dwóch nadległych warstw zasypowych na zmianę zagęszczenia warstwy pierwotnej (dolnej).

Powyższe wnioski statystyczne potwierdzają poprawność przyjętej w pracy tezy oraz umożliwiają stosowanie „nowej” technologii robót ziemnych przy realizacji nasypów budowlanych z kruszywa wapiennego frakcji 0-31,5 mm.

8. ANALIZA ZALEŻNOŚCI POMIĘDZY PARAMETRAMI GEOTECHNICZNYMI ZAGĘSZCZENIA

Na podstawie wykonanych geotechnicznych badań *in situ* w trakcie realizacji nasypu budowlanego pod posadowienie silosu na klinkier o masie 200 t oraz wyników i wniosków przeprowadzonej analizy i testów statystycznych szukano postaci funkcji regresji zmiany parametrów geotechnicznych, podpunkt 7.3.

Analizę matematyczną przeprowadzono w celu uzyskania możliwie najpełniejszej sformalizowanej informacji o tzw. funkcji odpowiedzi zapisanej ogólnie wyrażeniem:

- $E' = E'(E_1; E_2)$,
- $I'_0 = I'_0(I_0)$,

gdzie:

E' – moduł ściśliwości po dogęszczeniu, zmienna zależna,

I'_0 – wskaźnik zagęszczenia, zmienna zależna,

E_1 – moduł ściśliwości pierwotnej przed dogęszczeniem, zmienna niezależna,

E_2 – moduł ściśliwości wtórnej przed dogęszczeniem, zmienna niezależna,

I_0 – wskaźnik odkształcenia przed dogęszczeniem, zmienna niezależna.

Uwzględniając wnioski przedstawione w rozdziale 7, zmianę zagęszczenia warstwy spągowej na skutek dogęszczenia jedną nadległą warstwą zasypową opisano w postaci liniowej funkcji regresji, dla następujących zmiennych zależnych, tj. parametrów definiujących stan zagęszczenia nasypu budowlanego:

- $E'_1 = f(E_1) - \varepsilon_{E1}$,
- $E'_2 = f(E_2) - \varepsilon_{E2}$,
- $I'_0 = f(I_0) - \varepsilon_{I_0}$.

W analizie matematycznej poszukiwano wartości parametrów równania liniowego modelu regresyjnego do korelacji zbadanych parametrów geotechnicznych warstwy nasypu budowlanego.

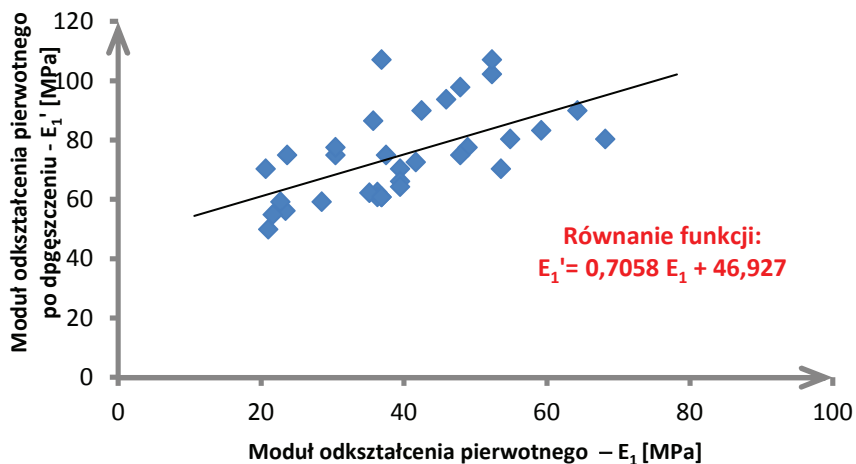
W celu oceny parametrów funkcji liniowej, czyli współczynników regresji oraz oceny adekwatności przedstawienia wyników doświadczeń zastosowano analizę regresji i wariancji. Nie rozpatrywano innych postaci funkcji z uwagi na brak możliwości wykonania testów statystycznych istotności współczynników korelacji. Dodatkowo na podstawie otrzymanej funkcji regresji zbadanych parametrów geotechnicznych wyznaczono początkowe wartości minimalne, przy których po dogęszczeniu warstwy spągowej jedną nadległą warstwą zasypową uzyskuje się oczekiwane, co najmniej minimalne wartości parametrów geotechnicznych w dogęszzczanej warstwie, E_0 i I_{proj} .

8.1. Zmiany wartości modułu pierwotnego – E_1

W poniższych podpunktach przedstawiono sformalizowaną postać prostej regresji dla zmian wartości liczbowej pierwotnego modułu odkształcenia spągowej warstwy zasypowej E_1 po dogęszczeniu jej jedną nadległą warstwą zasypową.

8.1.1. Funkcja regresji zmian wartości modułu pierwotnego – E_1

Na podstawie wartości liczbowych uzyskanych z badań geotechnicznych wartości liczbowych modułu pierwotnego odkształcenia zamieszczonych w tabeli 23, wykonano analizę regresji. Wyniki końcowe w formie graficznej i analitycznej zależności zmian wartości liczbowej modułów pierwotnych odkształcenia $E'_1 = E'_1(E_1)$ – przedstawiono na rysunku 45.



Rys. 45. Zmiany wartości modułu pierwotnego po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową

Na podstawie uzyskanej korelacji pomiędzy zmiennymi E_1 – zmienną niezależną a E'_1 – zmienną zależną, określono postać funkcji opisującej zmianę wartości liczbowej modułu pierwotnego warstwy spągowej po dogęszczeniu jej jedną warstwą zasypową o grubości $h = 30$ cm. Funkcję tę możemy zapisać w postaci równania:

$$E'_1 = 0,70 E_1 + 46,92 \pm s_{E_1} \quad (11)$$

gdzie:

- E'_1 – moduł pierwotny po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową grubości 30 cm,
- E_1 – moduł pierwotny przed dogęszczeniem warstwy dolnej,
- s_{E_1} – błąd szacunku modułu pierwotnego.

8.1.2. Wyznaczenie błędu szacunku funkcji regresji – s_{E_1}

W celu ścisłego określenia wartości oczekiwanej – minimalnej, która jest w warunkach *in situ* jest niezbędna do oceny właściwej realizacji nasypu budowlanego, konieczne staje się wyznaczenie błędu szacunku funkcji regresji s_{E_1} . Na podstawie funkcji określonej wzorem (11) wyznaczono błąd szacunku dla modułu parametru E'_1 . Wartość liczbową błędu wyznaczono ze wzoru 12:

$$s^2(E'_1) = \frac{\sum_{i=1}^n (E'_1 - \widehat{E'_1})^2}{n-k} \quad (12)$$

gdzie:

- E'_1 – rzeczywista wartość modułu pierwotnego z badań *in situ*,
- $\widehat{E'_1}$ – teoretyczna wartość modułu pierwotnego obliczona z równania (11),
- n – liczba pomiarów,
- k – liczba szacowanych parametrów.

Korzystając ze wzoru (12), obliczono wartość błędu szacunku:

$$s(E'_1) = 12 \text{ MPa}$$

W związku z powyższym równanie (12) należy zapisać w postaci:

$$E'_1 = 0,70 E_1 + 46,92 \pm 12 \text{ (MPa)}$$

Błąd szacunku modułu pierwotnego warstwy w analizowanym przypadku praktycznym będzie miał wartość ujemną, tj. definiuje najmniej korzystną (bezpieczną) wartość oczekiwaną modułu pierwotnego, jaki należy uzyskać podczas pierwszego zagęszczenia warstwy dolnej.

8.1.3. Wyznaczenie minimalnej wartości modułu pierwotnego spągowej warstwy zasypowej – $E_{1,min}$

Na podstawie równania (12) można obliczyć minimalną wartość modułu pierwotnego warstwy spągowej $E_{1,min}$, konieczną ze względów inżynierskich do zapewnienia w warstwie spągowej, przed dogęszczeniem warstwy pierwotnej następną warstwą zasypową o grubości $h = 30$ cm wymaganej geotechnicznie wartości $E_{proj.} = 60$ MPa. Zgodnie ze wzorem (12) oraz po uwzględnieniu błędu minimalna wartość modułu pierwotnego będzie wynosiła:

$$60 = 0,70 E_{1,min} + 46,92 - (12 \text{ MPa}),$$

co w rezultacie daje nam wartość

$$E_{1,min} = 31,14 [MPa].$$

Wyznaczona minimalna wartość modułu pierwotnego warstwy spągowej - $E_{1,min} = 31,14$ [MPa], gwarantuje nam uzyskanie w każdych warstwach budowanego nasypu, wartości projektowej w warstwie spągowej $E'_1 > 60$ [MPa], po dogęszczeniu jej kolejną warstwą o grubości 30 cm.

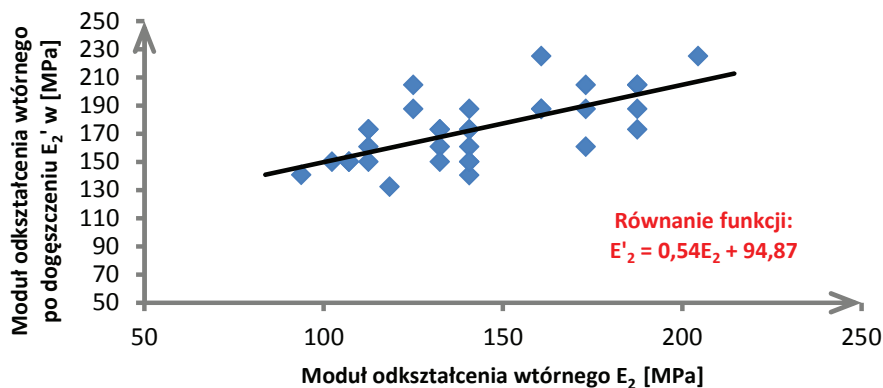
Uogólniając uzyskane powyżej zależności, należy stwierdzić, że jest to nowy bardzo istotny praktyczny wniosek, który pozwala w sposób racjonalny realizować budowę wielowarstwowych wysokich nasypów budowlanych z wykorzystaniem wyników bieżącego kontrolingu geotechnicznego.

8.2. ZMIANY WARTOŚCI MODUŁU WTÓRNEGO – E_2

Poniżej przedstawiono analogicznie sformalizowaną postać prostej regresji zmian wartości liczbowej wtórnego modułu odkształcenia spągowej warstwy zasypowej – E_2 po dogęszczeniu jej jedną warstwą zasypową.

8.2.1. Wyznaczenie funkcji regresji zmian wartości modułu wtórnego – E_2

Na podstawie uzyskanych z badań geotechnicznych wartości liczbowych modułu wtórnego odkształcenia warstw nasypu budowlanego (zamieszczonych w tabeli 26), wykonano analizę matematyczną. Wyniki końcowe w formie graficznej i analitycznej zależności zmian wartości liczbowej modułów pierwotnych odkształcenia $E'_2 = E'_2(E_2)$ – przedstawiono na rysunku 46.



Rys. 46. Zmiany wartości modułu wtórnego po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową

Na podstawie uzyskanej korelacji pomiędzy zmiennymi E_2 – zmienną niezależną a E'_2 – zmienną zależną określono postać funkcji opisującej zmianę

wartości liczbowej modułu wtórnego warstwy spągowej po dogęszczeniu jej jedną warstwą zasypową o grubości $h = 30$ cm. Funkcję tę możemy zapisać w postaci równania:

$$E'_2 = 0,54 E_2 + 94,87 \pm s_{E_2} \quad (13)$$

gdzie:

- E'_2 – moduł wtórny po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową grubości 30 cm,
- E_2 – moduł wtórny przed dogęszczeniu warstwy dolnej,
- s_{E_2} – błąd szacunku modułu wtórnego.

8.2.2. Wyznaczenie błędu szacunku funkcji regresji – s_{E_2}

Na podstawie określonej postaci funkcji wzorem (13) pomiędzy badanymi parametrami wyznaczono błąd szacunku dla parametru E'_2 . Wartość liczbową błędu wyznaczono ze wzoru 7:

$$s(E'_2) = 17,5 \text{ MPa}$$

W związku z powyższym równanie (13) należy zapisać w postaci:

$$E'_2 = 0,54 E_2 + 94,87 \pm 17,5 \text{ (MPa)}$$

Błąd szacunku modułu wtórnego w praktyce należy stosować analogicznie jak w przypadku modułu pierwotnego, tzn. ze znakiem (-).

8.2.3. Wyznaczenie minimalnej wartości modułu wtórnego spągowej warstwy zasypowej – $E_{2,min}$

Na podstawie równania (9) można obliczyć minimalną wartość modułu wtórnego warstwy spągowej $E_{2,min}$ konieczną do uzyskania wartości (geotechnicznej wymaganej) $E_{proj.} = 120$ MPa w warstwie spągowej, przed jej dogęszczeniem następną warstwą zasypową o grubości $h = 30$ cm. Dla prawidłowego ze względów geotechnicznych wyznaczenia $E_{2,min}$ błąd szacunku należy w równaniu (13) przyjmować ze znakiem (-). Wynika z tego, że minimalna wartość modułu wtórnego będzie wynosiła:

$$120 = 0,54 E_{2,min} + 94,87 - (17,5 \text{ MPa}),$$

co po przekształceniu wzoru daje nam wartość

$$E_{2,min} = 63,37 \text{ [MPa]},$$

Wyznaczona minimalna wartość modułu wtórnego warstwy spągowej - $E_{2,min} = 63,37$ [MPa], gwarantuje nam uzyskanie oczekiwanej geotechnicznie wartości projektowej w warstwie spągowej $E'_2 > 120$ [MPa], po dogęszczeniu jej kolejną warstwą o grubości 30 cm.

Uogólniając uzyskane powyżej zależności, należy stwierdzić, że jest to nowy bardzo istotny praktyczny wniosek, który pozwala w sposób racjonalny realizować budowę wielowarstwowych wysokich nasypów budowlanych, z wykorzystaniem wyników bieżącego kontrolingu geotechnicznego.

8.3. ZMIANY WARTOŚCI WSKAŹNIKA ODKSZTAŁCENIA – I_0

W poniższych podpunktach przedstawiono sformalizowaną postać prostej regresji (według równania 40), dla zmian wartości liczbowej wskaźnika odkształcenia spągowej warstwy zasypowej I_0 po dogęszczeniu jej jedną warstwą zasypową.

8.3.1. Wyznaczenie funkcji regresji zmian wartości wskaźnika odkształcenia – I_0

Na podstawie uzyskanych z badań geotechnicznych wartości liczbowych wskaźnika odkształcenia poszczególnych warstw nasypu budowlanego (tab. 28), wykonano analizę matematyczną. Wyniki końcowe w formie graficznej i analitycznej zależności zmian wartości liczbowej wskaźnika odkształcenia $I'_0 = I'_0(I_0)$ – przedstawiono na rysunku 47.



Rys. 47. Zmiany wartości wskaźnika odkształcenia po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową

Na podstawie uzyskanej korelacji pomiędzy zmiennymi I_0 – zmienną niezależną a I'_0 – zmienną zależną określono postać funkcji opisującej zmianę wartości liczbowej wskaźnika odkształcenia warstwy spągowej po dogęszczeniu jej jedną warstwą zasypową. Funkcję tę możemy zapisać w postaci równania:

$$I'_0 = 0,32 I_0 + 1,1 \pm s_{I_0} \quad (14)$$

gdzie:

- I'_0 – wskaźnik odkształcenia po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową grubości 30 cm,
- I_0 – wskaźnik odkształcenia przed dogęszczeniu warstwy dolnej,
- s_{I_0} – błąd szacunku wskaźnika odkształcenia.

Przedstawione równie należy rozpatrywać przy założeniu, że I_0 znajduje się w zakresie $I_0 \in (1,0; +\infty)$. Wynika z tego, że dla $I_0 = 1,0$ grunt należy zaliczyć do idealnie sprężystego, a dla $I_0 = +\infty$ do idealnie sztywnych w zakresie odkształceń wtórnych.

8.3.2. Wyznaczenie błędu szacunku funkcji regresji – s_{I_0}

Na podstawie uzyskanej postaci funkcji pomiędzy korelowanymi parametrami opisanymi wzorem (14), wyznaczono błąd szacunku parametru I'_0 . Wartość liczbową błędu wyznaczono ze wzoru 12 i wynosi ona:

$$s(I'_0) = 0,36$$

W związku z powyższym równanie (10) należy zapisać w postaci:

$$I'_0 = 0,32 I_0 + 1,1 \pm (0,36)$$

8.3.3. Wyznaczenie minimalnej wartości wskaźnika odkształcenia spągowej warstwy zasypowej – $I_{0,min}$

Na podstawie równania (14) można obliczyć minimalną wartość wskaźnika odkształcenia warstwy spągowej $I_{0,min}$ niezbędną do uzyskania w warstwie spągowej, przed dogęszczeniu warstwy pierwotnej kolejną warstwą zasypową projektowanej wartości $I_{0,proj.} = 2,5$. Do prawidłowego ze względu geotechnicznego wyznaczenia $I_{0,min}$ należy błąd szacunku w równaniu (14) przyjmować ze znakiem (-). Wynika z tego stwierdzenia, że minimalna wartość wskaźnika odkształcenia będzie wynosiła:

$$2,50 = 0,32 I_{0,min} + 1,1 - (0,36),$$

co w rezultacie daje nam wartość

$$I_{0,min} = 4,01.$$

Wyznaczona minimalna wartość wskaźnika odkształcenia warstwy spągowej $I_{0,min} = 4,01$, gwarantuje nam uzyskanie oczekiwanej geotechnicznie wartości projektowej w warstwie spągowej $I'_0 \leq 2,5$, po dogęszczeniu jej kolejną warstwą o grubości 30 cm.

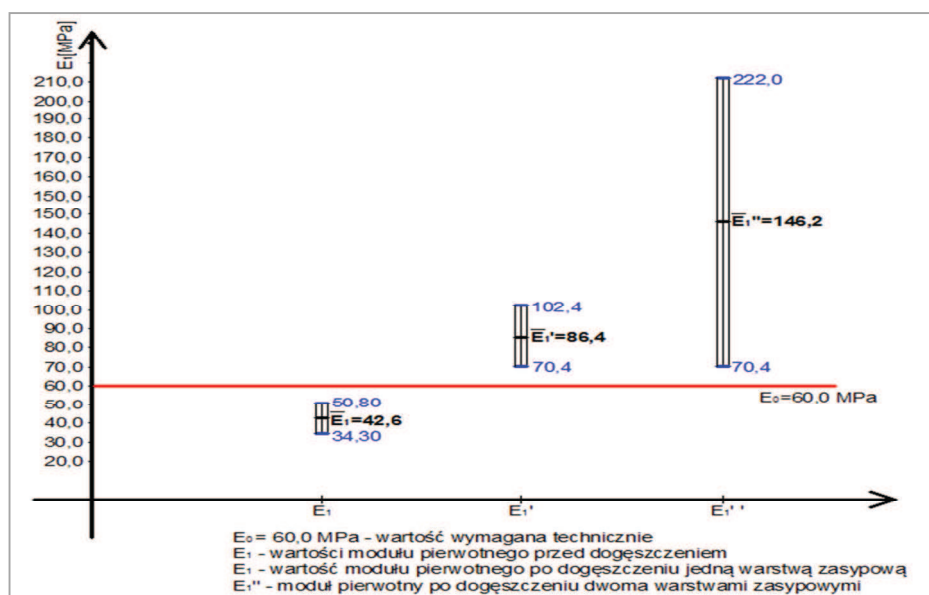
Uogólniając uzyskane powyżej zależności, należy stwierdzić, że jest to bardzo istotny praktyczny wniosek, który pozwala w sposób racjonalny realizować wielowarstwową budowę wysokich nasypów budowlanych, z wykorzystaniem wyników bieżącego kontrolingu geotechnicznego za pomocą wskaźnika odkształcenia spągowej warstwy zasypowej.

8.4. ZMIANY WARTOŚCI ŚREDNICH PARAMETRÓW WARSTWY SPĄGOWEJ PO DOGĘSZCZENIU DWOMA WARSTWAMI ZASYPOWYMI

Poniżej przedstawiono zmiany wartości parametrów mechanicznych E_1 , E_2 i I_0 warstwy spągowej po kolejnym dogęszczaniu warstwami zasypowymi. Na podstawie uzyskanych wyników z analizy matematycznej sformułowano wnioski geotechniczne wpływu dwóch kolejnych warstw zasypowych na zmianę wartości parametrów warstwy spągowej. Na rysunkach od 48 do 50 przedstawiono zmiany wartości średnich parametrów.

8.4.1. Wpływ wbudowania dwóch warstw zasypowych na zmianę wartości średnich modułów pierwotnych – E_1

Na rysunku 48 przedstawiono w sposób zgeneralizowany zmianę wartości średniej modułu pierwotnego E_1 warstwy spągowej po wbudowania w nasyp budowlany kolejnych dwóch warstw zasypowych kruszywa, każdej o grubości 30 cm. Zaznaczono również wartość oczekiwaną $E_0 = 60$ MPa.



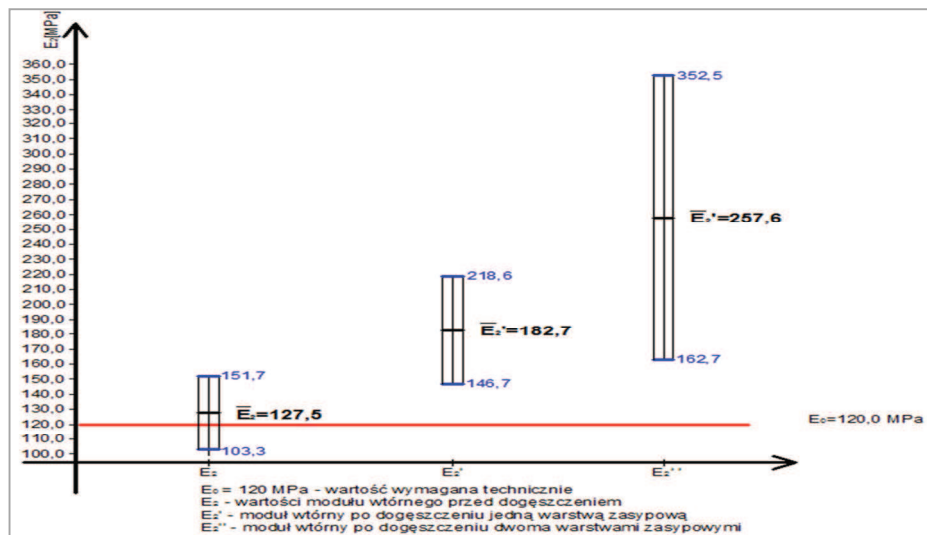
Rys. 48. Zmiana wartości średnich modułów pierwotnych w zależności od liczby warstw zasypowych

Analizując powyższy wykres, widać jednoznacznie, że istnieje wpływ kolejno układanych warstw zasypowych na zmianę wartości modułu pierwotnego warstwy spągowej. W związku z tym można sformułować następujące wnioski geotechniczne:

- istnieje istotny geotechnicznie wpływ dogęszczania kolejnymi dwoma warstwami warstwy spągowej, determinujący zmianę modułu pierwotnego warstwy spągowej, przy czym efekty oddziaływania nadległej warstwy drugiej na spągową są bardziej zróżnicowane,
- po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową uzyskuje się w warstwie spągowej wymagane geotechnicznie projektowane parametry modułu pierwotnego,
- po wbudowaniu kolejnej nadległej drugiej warstwy o grubości 30 cm parametr modułu pierwotnego wzrasta w sposób istotny w stosunku do początkowej wartości parametru,
- ze względów geotechnicznych i inżynierskich istotny jest przede wszystkim wpływ pierwszej nadległej warstwy zasypowej (grubości 30 cm), co zostało omówione w analizie funkcji regresji zmian parametru modułu pierwotnego w podrozdziale 8.1.

8.4.2. Wpływ wbudowania dwóch warstw zasypowych na zmianę wartości średnich modułów wtórnych – E_2

Na rysunku 49 przedstawiono zmianę wartości średniej modułu wtórnego E_2 warstwy spągowej po wbudowaniu kolejno dwóch warstw zasypowych kruszywa, każdej o grubości 30 cm w nasyp budowlany w odniesieniu do wartości oczekiwanej $E_0 = 120$ MPa.



Rys. 49. Zmiana wartości średnich modułów pierwotnych w zależności od ilości warstw zasypowych

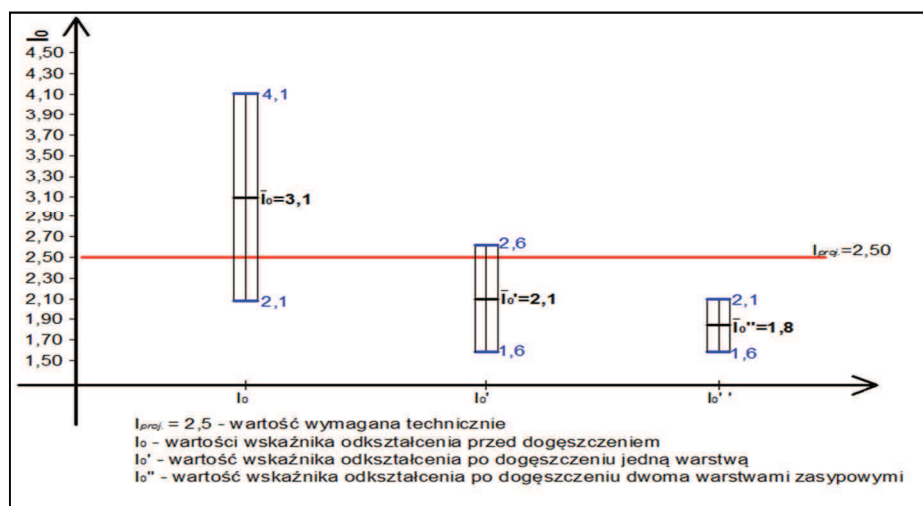
Analizując powyższe wyniki jednoznacznie można uznać, że istnieje wpływ kolejnych układanych warstw zasypowych na zmianę wartości modułu

wtórnego warstwy spągowej. W związku z tym można wyciągnąć następujące wnioski geotechniczne:

- istnieje wyraźny geotechnicznie wpływ dogęszczania kolejnymi dwoma nadległymi warstwami na zmianę modułu wtórnego warstwy spągowej, przy czym efekty oddziaływania warstwy drugiej na spągową są bardziej złożone i pokrywają się z efektami pierwszej warstwy nadspągowej,
- po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową uzyskuje się w każdej warstwie spągowej wymagane projektowo parametry modułu wtórnego $E'_2 > 120 \text{ MPa}$,
- po wbudowaniu nadległej warstwy drugiej wartość modułu wtórnego wzrasta w sposób istotny w stosunku do początkowej wartości parametru,
- ze względów geotechnicznych i inżynierskich istotny jest wpływ na warstwy spągowe przede wszystkim pierwszej warstwy zasypowej grubości 30 cm, problem przedstawiono w postaci funkcji regresji zmian parametru modułu wtórnego w podpunkcie 8.2.

8.4.3. Wpływ wbudowania dwóch warstw zasypowych na zmianę wartości średnich wskaźnika odkształcenia – I_0

Na rysunku 50 przedstawiono zmianę wartości średniej wskaźnika odkształcenia I_0 warstwy spągowej po wbudowania w nasyp budowlany kolejno dwóch warstw zasypowych kruszywa, każdej o grubości 30 cm.



Rys. 50. Zmiana wartości średnich wskaźników odkształcenia w zależności od liczby warstw zasypowych

Analizując przedstawione na rysunku 50 dane, zauważyć należy jednoznaczny wpływ kolejno układanych warstw zasypowych na zmianę wartości

wskaźnika odkształcenia warstwy spągowej. W związku z tym można wysnuć następujące wnioski:

- dogęszczanie warstwy spągowej dwoma kolejnymi nadległymi warstwami zasypowymi powoduje znaczące zmiany wartości liczbowej wskaźnika odkształcenia warstwy dolnej,
- po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową grubości 30 cm uzyskuje się w każdej warstwie spągowej wymagane projektowo parametry wskaźnika odkształcenia $I'_0, I''_0 \leq 2,50$,
- po wbudowaniu warstwy drugiej grubości 30 cm parametr wskaźnika odkształcenia maleje w sposób istotny w stosunku do parametru wyjściowego, co jest procesem istotnym przy budowie warstwowych nasypów budowlanych,
- ze względów geotechnicznych i inżynierskich istotny jest wpływ przede wszystkim pierwszej warstwy zasypowej grubości 30 cm na warstwę spągową, co zostało przedstawione w postaci funkcji regresji zmian wskaźnika odkształcenia w podrozdziale 8.3.

8.5. PODSUMOWANIE CZĘŚCI ANALITYCZNEJ

Podsumowując wyniki analizy matematycznej, należy sformułować następujące istotne wnioski geotechniczne dotyczące technologii warstwowej budowy nasypów ziemnych:

- istnieje istotny wpływ na zmianę parametrów mechanicznych warstwy spągowej dwóch kolejnych nadległych warstw zasypowych,
- ze względów inżynierskich i geotechnicznych przy realizacji robót ziemnych w zakresie nasypów ziemnych należy rozpatrywać wpływ jednej nadległej warstwy zasypowej na warstwę dolną,
- po wbudowaniu jednej warstwy kruszywa, na warstwie dogęszczanej (dolnej) uzyskuje się projektowane parametry mechaniczne,
- warstwę dolną – zgodnie z przeprowadzoną analizą funkcji regresji, należy zageścić wstępnie do następujących wartości liczbowych parametrów: $E_1 \geq 31,14$ MPa, $E_2 \geq 63,37$ MPa i $I_0 \leq 4,0$, aby kolejna warstwa zasypowa dogęściła dolną do parametrów wymaganych, tj. $E_1 \geq 60,0$ MPa, $E_2 \geq 120,0$ MPa i $I_0 \leq 2,5$, czyli do $I_s = 1,0$,
- stwierdzić należy, że jest możliwość wykonywania warstwowych nasypów budowlanych bez konieczności zagęszczania każdej warstwy do 100% zagęszczenia, co potwierdza prawdziwość tezy pracy, że kolejna nadległa warstwa zasypowa dogęszcza warstwę dolną,
- dla celów praktycznych wpływ zagęszczania kolejną warstwą na zmianę parametrów warstwy zasypowej dolnej można zapisać funkcjami:

$$- E'_1 = 0,70 E_1 + 46,92 - 12 \text{ (MPa)},$$

$$- E'_2 = 0,54 E_2 + 94,87 - 17,5 \text{ (MPa)},$$

$$- I'_0 = 0,32 I_0 + 1,1 - (0,36).$$

9. PODSUMOWANIE

Badania geotechniczne do analizy problemu budowy wielowarstwowych nasypów ziemnych przeprowadzono w skali naturalnej na nowo realizowanym obiekcie silosie na klinkier o masie magazynowego materiału 200 tysięcy ton (fot. 18).



Fot. 18. Widok silosu na 200 tys. ton klinkieru

Z uwagi na zakres, złożoność i skalę przedsięwzięcia zadanie badawcze wykonano stopniowo. Wynikało to z rozwiązania zadań geotechnicznych, począwszy od rozpoznania lokalnych warunków geologiczno-inżynierskich, opracowania koncepcji projektu badawczego do kontrolingu robót wykonawczych i odbiorowych.

W pierwszej kolejności wykonano we wskazanej lokalizacji rozpoznania warunków geotechnicznych podłoża gruntowego, wyboru rodzaju i jakości kruszywa do wbudowania w nasyp ziemny. Ogólna kubatura nasypu wynosiła ponad 16 000 m³, tj. ponad 32 000 ton materiału zasypowego. Podstawowym kryterium wyboru, oprócz spełnienia wymogów materiałowych, tj. właściwości fizyczno-mechanicznych, była dostępność, ciągłość dostaw i powtarzalność jakości kruszywa. Przeanalizowano na podstawie badań laboratoryjnych mate-

riał zasypowy łącznie z 8 różnych dostępnych w rejonie budowy złóż naturalnych i producentów kruszyw mineralnych.

Po analizie wyników badań zatwierdzono do wbudowania kwalifikowane modyfikowane kruszywo wapienne, pochodzące z kopalni Barcin. Szczegółowo określono charakterystykę materiału zasypowego pod względem przydatności geotechnicznej do formowania nasypu budowlanego. Badania wstępne zagęszczenia wykonano na specjalnym poletku doświadczalnym w warunkach *in situ* wraz z próbą różnych technologii zagęszczeń. Po wykonaniu testów wstępnych przeprowadzono na ich podstawie, badania zasadnicze na poligonie doświadczalnym, gdzie analizowano metody kontroli pośredniej dynamicznej i statycznej w początkowej fazie budowy nasypu.

Na podstawie wyników z przeprowadzonych analiz geotechnicznych i wniosków opracowano projekt badań i realizacji robót ziemnych. Sformułowano tezę badawczą i określono metody badań oraz monitoringu nasypu budowlanego, wielowarstwowej budowli ziemnej z kruszywa frakcji 0-31,5 mm.

Aplikację projektu i rozwiązań szczegółowych dostosowano do rzeczywistych warunków geologiczno-inżynierskich, wymogów techniczno-użytkowych i technologicznych oraz zadań określonych przez inwestora.

9.1. ANALIZA KOŃCOWA

Przeprowadzenie dowodu przyjętej tezy pracy – w przypadku budowy nasypów ziemnych nie ma konieczności zagęszczenia każdej wbudowywanej warstwy materiału o określonej grubości i dostosowanej do sprzętu zagęszczającego, do uzyskania 100% wymaganej miary zagęszczenia, oraz realizacji założonych celów konieczne było:

- wykonanie badań właściwości fizykomechanicznych materiału zasypowego,
- wybranie z pośród badanych materiałów zasypowych odpowiedniego kruszywa i zaprojektowania grubości pojedynczej warstwy formowanego nasypu budowlanego,
- opracowanie optymalnej technologii zagęszczania w zakresie technicznym i czasu realizacji prac ziemnych,
- przeprowadzenie badań kontrolnych i odbiorowych w warunkach *in situ* jakości zagęszczenia poszczególnych warstw zasypowych metodami pośrednimi i bezpośrednimi.

9.1.1. Zestawienie ilości wykonanych badań

Na potrzeby pracy doktorskiej wykonano następujący zakres analiz i prac polowych oraz laboratoryjnych:

- badań wstępnych materiału zasypowego w zakresie:
 - analizy granulometrycznej – 16 sztuk,
 - badań Proctora – 16 sztuk.

- doboru technologii zagęszczenia kruszywa w zakresie:
 - badań wilgotności materiału w_n – 8 sztuk,
 - badań płytą dynamiczną HMP-LFG – 20 sztuk,
 - badań płytą statyczną typu VSS – 13 sztuk.
- badań *in situ* materiału zasypowego:
 - badań wilgotności materiału w_n – 29 sztuk,
 - analizy granulometrycznej kruszywa – 29 sztuk,
 - badań płytą dynamiczną HMP-LFG – 137 sztuk,
 - badań płytą statyczną typu VSS – 71 sztuk,
 - badania stanu zagęszczenia sondą ciężką DPSH – 6 sztuk,
 - odwiertów geotechnicznych – 6 sztuk.

Razem wykonano 356 sztuk testów polowych i badań laboratoryjnych.

9.1.2. Wnioski geotechniczne dotyczące zmian zagęszczenia warstwy spągowej

Na podstawie wykonanych badań i analiz można sformułować następujące istotne wnioski geotechniczne:

- istnieje istotny geotechnicznie wpływ zmian zagęszczenia warstwy spągowej od dwóch kolejnych nadległych warstw zasypowych,
- istnieje wyraźny geotechnicznie wpływ dogęszczania kolejnymi dwoma nadległymi warstwami na zmianę parametrów mechanicznych warstwy zasypowej spągowej, przy czym efekty oddziaływania warstwy drugiej na spągową są bardziej złożone i pokrywają się z efektami pierwszej warstwy nadspągowej,
- ze względów praktycznych istotny jest przede wszystkim wpływ jednej nadległej warstwy zasypowej o grubości 30 cm na dogęszczenie warstwy spągowej,
- korzystne i geotechnicznie uzasadnione jest wykonywanie nasypów warstwowych w technologii dogęszczania warstwy spągowej kolejną warstwą zasypową kruszywa,
- jednoznacznie należy stwierdzić, że możliwe jest wykonywanie warstwowych nasypów budowlanych bez konieczności zagęszczania każdej podkładowej warstwy zasypowej do 100 % zagęszczenia, co potwierdza prawdziwość tezy pracy, że kolejna nadległa warstwa zasypowa dogęszcza warstwę dolną,
- zagęszczenie kruszywa w warstwie spągowej do parametrów: $E_{1,min} \geq 31,14$ MPa, $E_{2,min} \geq 63,37$ MPa i $I_{0,min} \leq 4,0$, po dogęszczeniu pierwszą nadległą warstwą zasypową pozwala uzyskać parametry geotechnicznie wymagane tj. $E_1 \geq 60,0$ MPa, $E_2 \geq 120,0$ MPa i $I_0 \leq 2,5$, czyli $I_s = 1,0$,
- wpływ zagęszczania kolejną warstwą zasypową na zmianę parametrów warstwy dolnej można zapisać skalibrowanymi funkcjami:

- $E'_1 = 0,70 E_1 + 46,92 - (12 \text{ MPa}),$
- $E'_2 = 0,54 E_2 + 94,87 - (17,5 \text{ MPa}),$
- $I'_0 = 0,32 I_0 + 1,1 - (0,36),$

- poprawność przyjętych założeń geotechnicznych potwierdzają badania weryfikacyjne stanu zagęszczenia nasypu budowlanego opisane w podpunkcie 6.4, z których wynika jednoznacznie, że uzyskuje się przy omawianej technologii prawidłowe i równomierne zagęszczenie nasypu budowlanego,
- stwierdzić zatem należy, że jest możliwość wykonywania warstwowych nasypów budowlanych bez konieczności zagęszczania każdej podkładowej warstwy zasypowej do 100% zagęszczenia, co potwierdza prawdziwość tezy pracy, że kolejna warstwa dogęszcza warstwę zasypową wcześniej wykonaną dolną,

Powyższe wnioski geotechniczne potwierdzają przyjętą w pracy tezę oraz postawione cele, że:

- każda wbudowywana warstwa materiału zasypowego o grubości 30 cm zwiększa zagęszczenie ułożonego w nasypie wcześniej gruntu,
- istnieje wpływ wbudowywanej warstwy materiału o grubości 30 cm na dwie niżej wykonane warstwy zasypowe nasypu budowlanego,
- możliwe jest osiągnięcie docelowych zaprojektowanych parametrów mechanicznych przy warstwowej budowie nasypu, bez konieczności zagęszczania każdej niżej zlokalizowanej warstwy zasypowej do wartości zaprojektowanej.

9.1.3. Zastosowania praktyczne technologii

Zaproponowana i zweryfikowana w pracy doktorskiej warstwową technologię realizacji należy zaliczyć do nowych technologii wykonywania wysokich nasypów budowlanych. Dotychczas nie wdrażano w skali praktycznej i nie zweryfikowano zależności fizyczno-matematycznych związanych z dogęszczeniem warstw nasypu od kolejnych warstw zasypowych.

Opisywaną technologię zastosowano z powodzeniem po stosownych modyfikacjach z wykorzystaniem podanych założeń z bardzo dobrymi rezultatami również na innych obiektach budowlanych np., przy realizacji:

- centrum handlowego „Decathlon” w Bydgoszczy – w zakresie nasypu budowlanego pod posadzkę o miąższości 1,5 m z kruszywa wapiennego 0-31,5 mm,
- przebudowie ul. Spornej w Bydgoszczy – w zakresie budowy korpusu drogowego zbrojonego geosyntetykami, na słabonośnym podłożu o miąższości 8 m, wzmocnionym kolumnami betonowymi,
- posadowieniu ciężkich dźwigów o masie 650 ton na budowie silosu na klinkier w cementowni Lafarge,

- posadowieniu ciężkiego dźwigu o masie 600 ton na budowie Trasy Uniwersyteckiej,
- dróg technologicznych pod przejazd ciężkiego sprzętu (palownicy) na budowie silosu na klinkier w cementowni Lafarge.

9.2. WNIOSKI, ZALECENIA PRAKTYCZNE I KIERUNKI DAJSZYCH BADAŃ

9.2.1. Zalecenia praktyczne

Przy zastosowaniu technologii warstwowej budowy nasypów z dogęszczeniem warstwy spągowej w praktyce inżynierskiej zaleca się stosować w następujących przypadkach:

- budowy nasypów o minimalnej liczbie trzech warstw zasypowych z kruszyw gruboziarnistych frakcji 0-31,5 mm,
- realizacji nasypów z kruszyw gruboziarnistych o znaczącej kubaturze powyżej 1000 m³,
- w budownictwie przemysłowym, gdzie czas realizacji i tempo realizacji robót ziemnych jest głównym kryterium optymalizacji procesu inwestycyjnego,
- do budowy nasypów budowlanych z kruszywa wapiennego frakcji 0-31,5 mm można wykorzystać zależności funkcyjne 7, 9 i 10 do obliczenia odbiorowych i kontrolnych wartości liczbowych parametrów mechanicznych warstwy spągowej,
- omawianą technologię można zastosować do pozostałych kruszyw o wskaźniku różnoziarnistości $C_u > 5$, przy czym należy najpierw powtórzyć procedurę badawczą opisaną w poniższej pracy, celem określenia warunków brzegowych i parametrów zagęszczenia.

9.2.2. Nowe zagadnienia przedstawione w pracy

Nowymi zagadnieniami geotechnicznymi zbadanymi i przedstawionymi w pracy są:

- analiza i wyniki wpływu zmian zagęszczenia zasypowej warstwy spągowej od dogęszczenia dwoma kolejnymi nadległymi warstwami zasypowymi o stałej grubości,
- zmiany wartości liczbowych parametrów mechanicznych modułów statycznych i wskaźnika odkształcenia warstwy spągowej po dogęszczeniu, w postaci równań prostych regresji (7,9,10),
- procedura weryfikacji i dowodów poprawności nowej technologii, umożliwiającej budowę nasypów ziemnych bez konieczności zagęszczenia każdej podległej warstwy kruszywa do 100% wymaganego projektem końcowego zagęszczenia każdej warstwy zasypowej,

- wyznaczenie wartości liczbowych minimalnych modułów statycznych i wskaźnika odkształcenia, gwarantujących uzyskanie parametrów geotechnicznie oczekiwanych, po dogęszczeniu jedną warstwą zasypową grubości 30 cm.

9.2.3. Propozycje dalszych badań

Dla pełnego opisu zagadnienia w dalszych pracach badawczych należy zbadać:

- wpływ wilgotności naturalnej w_n , na zmiany parametrów mechanicznych modułów statycznych dogęszczanej warstwy spągowej,
- wpływ wskaźnika uziarnienia C_u , na zmiany parametrów mechanicznych modułów statycznych dogęszczanej warstwy spągowej,
- przeprowadzić analizę wpływu zmian zagęszczenia warstwy spągowej od innej grubości warstw zasypowych – proponowana grubość warstw 0,4 i 0,5 m,
- wykonać badania wpływu zmian zagęszczenia warstw dolnych dla innych materiałów – w szczególności piasków, według procedury zawartej w rozprawie doktorskiej,
- skorelować zmiany parametrów dynamicznych od dogęszczenia warstwy spągowej kolejnymi warstwami zasypowymi.

Wykaz literatury i norm

LITERATURA

- [1] Batog A., Hawrysz M., 2011. Wykorzystanie do budowy nasypów drogowych kruszyw z recyklingu odpadów budowlanych. *Geoinżynieria Drogi i Mosty i Tunele* 3, 32-36.
- [2] Białek K., Duszyńska A., 2010. Wykonawstwo platform roboczych pod ciężki sprzęt budowlany. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 6, 723-732.
- [3] Bolt A., 2012. Problemy geotechniczne budowli wodnych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, 301-308.
- [4] Bromowicz J., Magiera J., 2006. Kruszywa łamane w naturze 2000. [W:] *Kruszywa mineralne surowce – rynek technologie-jakość. Mat. Konf. Szklarska Poręba. Wyd. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej*, 3-18.
- [5] Bzówka J., Knapik K., Juzwa A., Stelmach K., 2012. *Geotechnika komunikacyjna. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.*
- [6] Dąbska A., Pisarczyk S., 2011. Wpływ energii zagęszczania na zagęszczenie gruntów i parametry zagęszczalności. *Inżynieria i Budownictwo* 1, 21-24.
- [7] Dębska A., Gołębiowska A., 2012. *Podstawy geotechniki. Zadania według Eurokodu 7. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.*
- [8] Dąbska A., Pisarczyk S., 2012. Wyznaczenie parametrów zagęszczalności na podstawie innych parametrów geotechnicznych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, 312-324.
- [9] Dembicki E., 2010. Modeling of elastic response of granular media. [W:] *Soil parameters from in situ and laboratory tests. 4th International Workshop. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu*, 313-335.
- [10] Dołżyk K., 2011. Osiadania fundamentów bezpośrednich posadowionych na gruntach ziarnistych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, 248-251.
- [11] Duszyńska A., 2012. Wykorzystanie badań geotekstyliów w projektowaniu budowli ziemnych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, 293-300.
- [12] Frybes A., 2007. Interpretacja badań polowych zagęszczenia obwałowań wykonanych z osadów pochodzenia hutniczego. *Czasopismo Techniczne z. 2-Ś Wyd. Politechniki Krakowskiej*, 70-75.
- [13] Gabryś K., Szymański A., 2012. Badania parametrów odkształceniowych gruntów spoistych w kolumnie rezonansowej. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, 324-327.
- [14] Galos K., 2006. Regionalne zróżnicowanie krajowego rynku kruszyw naturalnych zwirowo-piaskowych. [W:] *Kruszywa mineralne surowce – rynek technologie-jakość. Mat. Konf. Szklarska Poręba. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej*, 23-34.

- [15] Godlewski T., 2012. Ustalenie parametrów sprężystości gruntów przy użyciu sejsmicznych metod *in-situ* – wpływ metodyki. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, 328-333.
- [16] Góralczyk S., 2006. Kruszywa z recyklingu. [W:] *Kruszywa mineralne surowce – rynek technologie-jakość*. Mat. Konf. Szklarska Poręba. Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, 45-51.
- [17] Jaremski J., 2009. Zagęszczanie podłoża z zastosowaniem walca do dynamicznego zagęszczania. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 1, 34-37.
- [18] Jaworski K.M., 2004. *Podstawy organizacji budowy*. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa.
- [19] Kaczyński Ł., 2012. Trudności w ocenie zagęszczenia i nośności podłoża na podstawie badań płytą statyczną VSS i płytą dynamiczną LFWD. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, 470 - 473.
- [20] Kaczyński R., 2008. 127 lat geologii inżynierskiej. *Geologia* 34(4). 581-594.
- [21] Kumor M.K., Farmas J., Kumor Ł.A., 2013. Wybrane związki korelacyjne parametrów zagęszczenia określone metodami VSS i LFG. III Problemowa Konferencja Geotechniki. Współpraca budowli z podłożem gruntowym Białystok, 271-281.
- [22] Knapik K., Bzówka J., 2010. Analiza obliczeniowa posadowienia nasypu autostradowego na słabym podłożu gruntowym. *Inżynieria i Budownictwo* 11, 637-640.
- [23] Łupieżowiec M., 2011. Analiza stateczności wysokich nasypów autostradowych wykonywanych na terenie zalewisk. Wyd. Politechniki Krakowskiej, 3-Ś. Kraków.
- [24] Meyer Z., 2012. *Obliczenia inżynierskie osiadania fundamentów*. Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowe Zapol Dmochowski, Sobczyk Sp. j. Szczecin.
- [25] Meyer Z., 2013. Propozycja określania współczynnika podatności podłoża przy projektowaniu płyt fundamentowych. [W:] *XXVIII Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła*. Tom I, 343-392.
- [26] Meyer Z., 2013. Static load tests, shorts series interpretation. XVI French-Polish Colloquium of Soil and Rock Mechanics. Montpellier Francja.
- [27] Meyer Z., Kowalów M., Plucińska A., 2008. Modelowanie osiadań podłoża słabego na podstawie badań *in situ*. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 5, 268-274.
- [28] Meyer Z., Szmechel G., 2011. Analiza możliwości analitycznej aproksymacji krzywej obciążenie – osiadanie z próbnych obciążeń statycznych pali”. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3, 178-182.
- [29] Meyer Z., Tarnawski M., Wróbel-Hen M., 2010. Empiryczny model osiadania gruntów niespoistych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3, 422-427.
- [30] Młynarek Z., Gogolik S., Kroll M., 2010. The relationship between the quality of in-situ tests and quality of soil parameters. [W:] *Soil parameters from in situ and laboratory tests*. 4th International Workshop. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, 253-271.

- [31] Młynarek Z., Wierzbicki J., Stefaniak K., 2010. Interrelationship between CPTU, DMT, SDMT results for organic and fluvial soils. [W:] Soil parameters from in situ and laboratory tests. 4th International Workshop. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, 253-271.
- [32] Mysiorek-Szymała A., 2007. Podstawy statystyki. Wyd. Impuls. Kraków.
- [33] Myślińska E. 1992. Laboratoryjne badania gruntów. Wyd. Naukowe PWN Warszawa.
- [34] Patakiewicz M., 2012. Zastosowanie wskaźników krzywej zagęszczalności jako charakterystyk zagęszczalności gruntów niespoistych. Inżynieria Morska i Geotechnika 4, 366-370.
- [35] Patakiewicz M., 2008. Zmienność parametrów zagęszczalności gruntów na przykładzie wybranych budowli ziemnych. Inżynieria Morska i Geotechnika 6, 336-339.
- [36] Pisarczyk S., 2004. Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej.
- [37] Pisarczyk S., 2005. Geoinżynieria. Metody modyfikacji podłoża gruntowego. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej.
- [38] Pisarczyk S., 2012. Fundamentowanie dla inżynierów budownictwa wodnego. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej.
- [39] Pisarczyk S., Dąbska A., 2010. Wykonawstwo nasypów drogowych z gruntów spoistych i metody szybkiej kontroli jakości ich zagęszczenia. Inżynieria Morska i Geotechnika 6, 723-732.
- [40] Pisarczyk S., Rymsza B., 1993. Badania laboratoryjne i polowe gruntów. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej.
- [41] Sas W., Szymański A., Malinowska E., Gabryś K., 2012. Geotechniczne uwarunkowania zastosowania materiałów antropogenicznych w budownictwie. Inżynieria Morska i Geotechnika 4, 376-380.
- [42] Sękowski J., 2002. Podstawy wymiarowania poduszek wzmacniających. Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej. Budownictwo 94, Gliwice.
- [43] Sikora Z. 2006. Sondowanie statyczne metody i zastosowanie w geoinżynierii. WNT Warszawa.
- [44] Sobczyk M. 2002. Statystyka. Wyd. PWN, Warszawa.
- [45] Styłger-Szydło E., 2005. Posadowienie budowli infrastruktury transportu lądowego. Teoria – projektowanie – realizacja. Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, Wrocław.
- [46] Sulewska M.J., 2009. Sztuczne sieci neuronowe w ocenie parametrów zagęszczenia gruntów niespoistych. PAN, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki. Warszawa – Białystok.
- [47] Sulewska M.J., 2010. Analysis of quality control results of load capacity of embankments using load plates. [W:] Soil parameters from in situ and laboratory tests. 4th International Workshop. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, 543-551.

- [48] Sulewska M.J., 2012. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych w badaniach wybranych parametrów geotechnicznych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 4, 388-392.
- [49] Wrześniński G., Lechowicz Z., 2012. Ocena stateczności etapowo budowanego nasypu na podłożu organicznym. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 58.
- [50] Wysokiński L., Kotlicki W., Godlewski T., 2011. Projektowanie geotechniczne według Eurokodu 7. *Poradnik*. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- [51] Wiłun Z., 1982. *Zarys geotechniki*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- [52] Zadroga B., 2009. Wybrane terenowe badania geotechniczne w zakresie krajowego budownictwa morskiego. *Przeszłość – teraźniejszość – przyszłość*. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 5, 352-363.
- [53] Zadroga B., 2010. Methodology of determination of geotechnical parameters for non-cohesive soils based on dynamic and static penetration test. [W:] *Soil parameters from in situ and laboratory tests*. 4th International Workshop. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, 543-551.

NORMY I INSTRUKCJE

- [N1] BN-64 8931-02. Drogi samochodowe. Oznaczanie modułu odkształcenia nawierzchni podatnych i podłoża przez obciążenie płytą.
- [N2] Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Część 1. 1998. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Warszawa.
- [N3] Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych. Część 2. Załączniki. 1998. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Warszawa.
- [N4] Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. 2002. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Warszawa.
- [N5] Instrukcja ITB nr 303. 1990. Ustalenie przydatności gruntów dla potrzeb budownictwa. Warszawa.
- [N6] Instrukcja ITB nr 304. 1991. Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy. Warszawa.
- [N7] Instrukcja ITB nr 232. 1980. Instrukcja wykonania próbnych obciążeń gruntu płytą sztywną i świdrem talerzowym.
- [N8] Instrukcja ITB nr 376. 2002. Ochrona zabudowy w sąsiedztwie głębokich wykopów. Warszawa
- [N9] PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Projektowanie i obliczenia statyczne posadowień bezpośrednich.
- [N10] PN-86/B-02480. Grunty budowlane. Określenia i symbole, podział i opis gruntów.

- [N11] PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badanie próbek gruntów.
- [N12] PN-B-12095:1997. Urządzenia wodno-melioracyjne. Nasypy. Wymagania i badania przy odbiorze.
- [N13] PN-B-02479:1998. Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne.
- [N14] PN-B-02481:1998. Geotechnika. Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.
- [N15] PN-B-06050:1999. Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne.
- [N16] PN-B-04452:2002. Geotechnika. Badania polowe.
- [N17] PN-EN 933-1:2000. Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenia składu ziarnowego. Metoda przesiewania.
- [N18] PN-EN 933-2:1999. Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenia składu ziarnowego. Nominalne wymiary otworów sit badawczych.
- [N19] PN-EN 1097-3:2000. Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Oznaczanie gęstości nasypowej i jamistości.
- [N20] PN-EN ISO 14688-1:2006. Badania geotechniczne. Oznaczenia i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis.
- [N21] PN-EN ISO 14688-2:2006. Badania geotechniczne. Oznaczenia i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- [N22] PN-EN 1997-1:2008. Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 1: zasady ogólne,
- [N23] Poprawka do Polskiej Normy PN-EN 1997-1:2008/Ap2. Eurokod 7 – Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- [N24] PN-EN 1997-2:2008. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- [N25] PN-M-42250:1998. Maszyny i urządzenia budowlane. Klasyfikacja.
- [N26] PN-S-02205:1997. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- [N27] PN-S-96012:1997. Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.

Załącznik nr 1

Wyniki badań uziarnienia gruntu

Załącznik nr 2

Wyniki badań Proctora

Badanie: Proctor Niesort 0-31,5 (I)

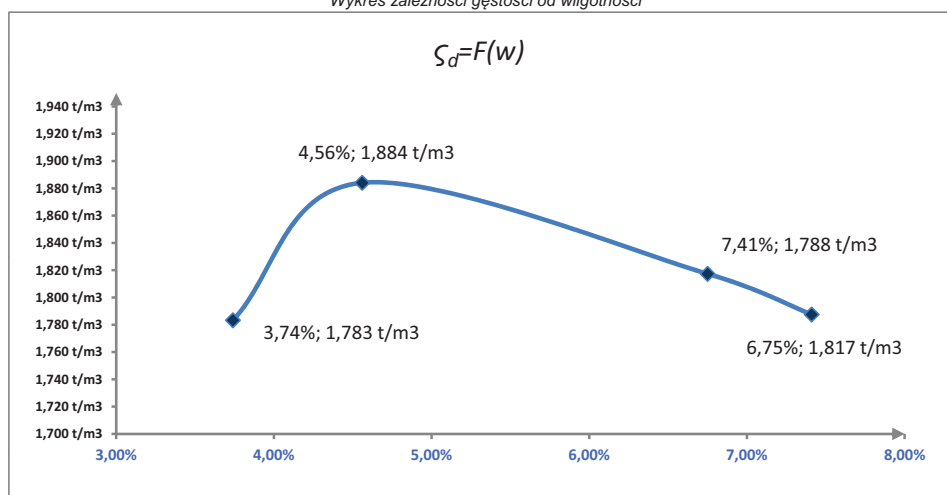
Tabela z wynikami z badań laboratoryjnych

Lp	m_t	m_{mt}	m_{st}	w_n	m_{g+c}	ζ	ζ_d
1	69,40 g	112,90 g	111,33 g	3,74%	3 110 g	1,850 t/m ³	1,783 t/m ³
2	61,55 g	113,58 g	111,31 g	4,56%	3 230 g	1,970 t/m ³	1,884 t/m ³
3	66,69 g	114,76 g	111,72 g	6,75%	3 200 g	1,940 t/m ³	1,817 t/m ³
4	67,90 g	115,30 g	115,30 g	7,41%	3 180 g	1,920 t/m ³	1,788 t/m ³

Dane wyjściowe

Masa pierścienia	Objętość pierścienia	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu
1 260 g	1 000 cm ³	

Wykres zależności gęstości od wilgotności



WYNIKI NA PODSTAWIE BADAŃ

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA	w_{OPT}	4,56%	MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA	ζ_{ds}	1,884 t/m ³
----------------------	-----------	-------	---------------------------------	--------------	------------------------

DATA	20-wrz-2007
OPRACOWAŁ	MGR INŻ. Ł. KUMOR

Badanie: Proctor Niesort 0-31,5 (II)

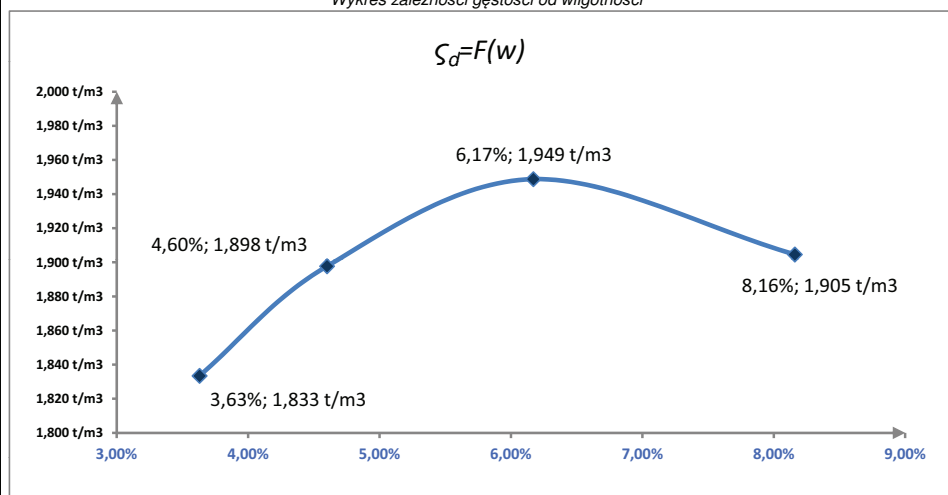
Tabela z wynikami z badań laboratoryjnych

Lp	m_t	m_{mt}	m_{st}	w_n	m_{g+c}	ζ	ζ_d
1	33,42 g	75,10 g	73,64 g	3,63%	3 160 g	1,900 t/m ³	1,833 t/m ³
2	29,10 g	69,56 g	67,78 g	4,60%	3 245 g	1,985 t/m ³	1,898 t/m ³
3	28,76 g	67,14 g	64,91 g	6,17%	3 329 g	2,069 t/m ³	1,949 t/m ³
4	31,62 g	68,87 g	66,06 g	8,16%	3 320 g	2,060 t/m ³	1,905 t/m ³

Dane wyjściowe

Masa pierścienia	Objętość pierścienia	Kruszywo o ciągłym uziarnieniu
1 260 g	1 000 cm ³	

Wykres zależności gęstości od wilgotności



WYNIKI NA PODSTAWIE BADAŃ

WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA	w_{OPT}	6,17%	MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA	ζ_{ds}	1,949 t/m³
----------------------	-----------	--------------	---------------------------------	--------------	------------------------------

DATA	20-wrz-2007	zal.2.2
OPRACOWAŁ	MGR INŻ. Ł. KUMOR	

Załącznik nr 3

Wyniki badań testów VSS na poletku doświadczalnym

**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 3.1

Lokalizacja :	Barcin poletko doświadczalne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31,5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,21
0,10	0,49
0,15	0,76
0,20	1,01
0,25	1,28
0,15	1,25
0,05	1,09
0,00	0,97
0,05	1,02
0,10	1,11
0,15	1,18
0,20	1,29

**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**

E1= 40,91 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**

E2= 140,63 [MPa]

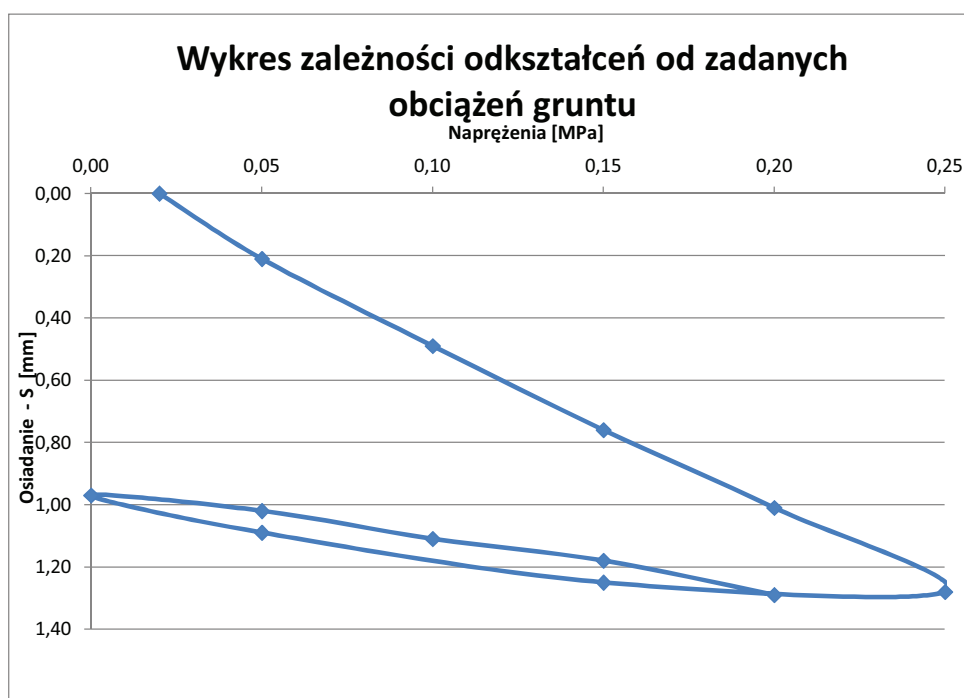
Wskaźnik odkształcenia

E_2/E_1

Io= 3,44

Średni moduł dynamiczny

Evd = 57,40 [Mpa]



3.1

Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa

Załącznik nr 3.2

Lokalizacja :	Barcin poletko doświadczalne	Punkt pomiarowy nr:	2
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 2

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,04
0,10	0,27
0,15	0,47
0,20	0,69
0,25	0,83
0,15	0,80
0,05	0,63
0,00	0,53
0,05	0,59
0,10	0,65
0,15	0,75
0,20	0,83

Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa

Pierwotny moduł
odkształcenia

$E_1 = 52,33$ [MPa]

Wtórny moduł
odkształcenia

$E_2 = 140,63$ [MPa]

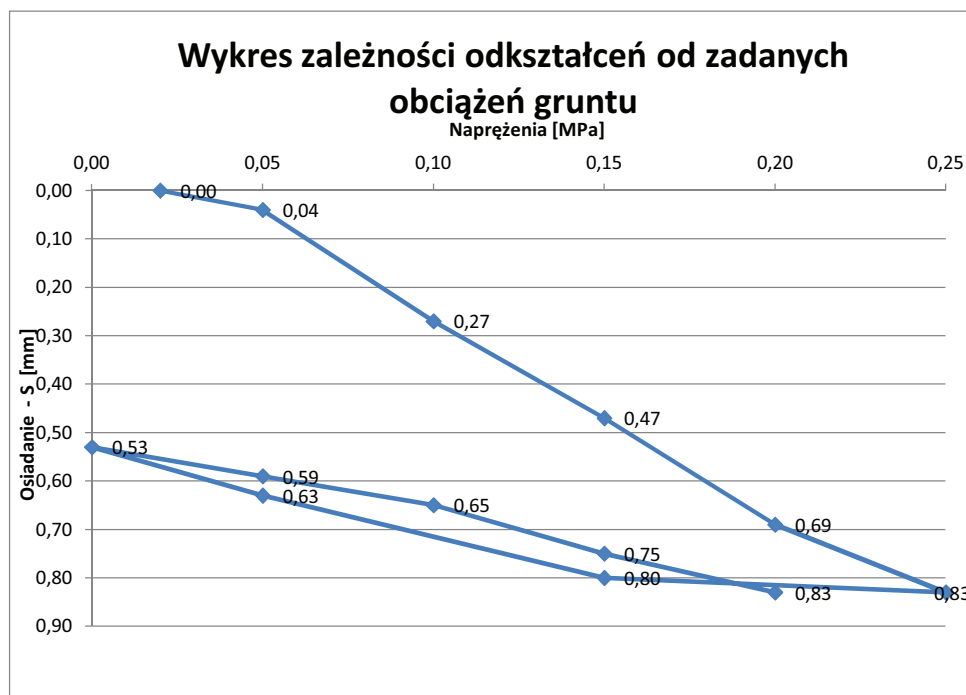
Wskaźnik odkształcenia

E_2/E_1

$Io = 2,69$

Średni moduł dynamiczny

$E_{vd} = 61,14$ [Mpa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 3.3

Lokalizacja :	Barcin poletko doświadczalne	Punkt pomiarowy nr:	3
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 3

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,16
0,10	0,54
0,15	0,77
0,20	1,22
0,25	1,60
0,15	1,59
0,05	1,43
0,00	1,10
0,05	1,24
0,10	1,38
0,15	1,48
0,20	1,51
0,25	1,78

**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**

E1= 36,89 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**

E2= 93,75 [MPa]

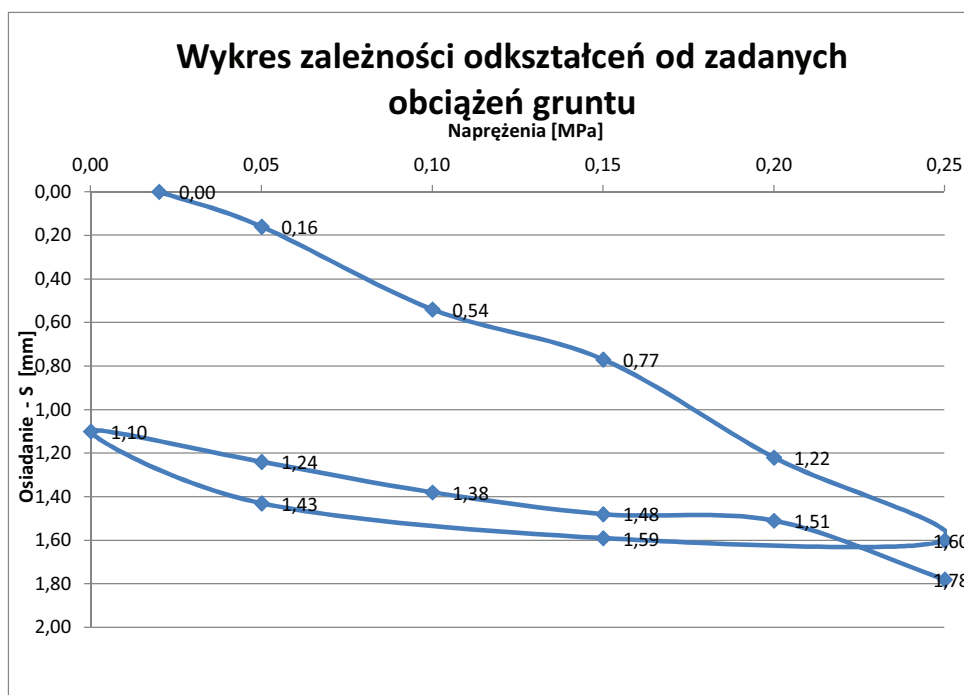
Wskaźnik odkształcenia

E_2/E_1

Io= 2,54

Sredni moduł dynamiczny

Evd = 42,21 [Mpa]



Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa

Załącznik nr 3.4

Lokalizacja :	Barcin poligon - weryfikacja tech. II	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,70
0,10	3,22
0,15	5,00
0,20	7,17
0,25	8,40
0,15	8,35
0,05	8,15
0,00	8,01
0,05	8,08
0,10	8,21
0,15	8,32
0,20	8,46
0,25	8,67

Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa

Pierwotny moduł
odkształcenia

E1= 5,23 [MPa]

Wtórny moduł
odkształcenia

E2= 93,75 [MPa]

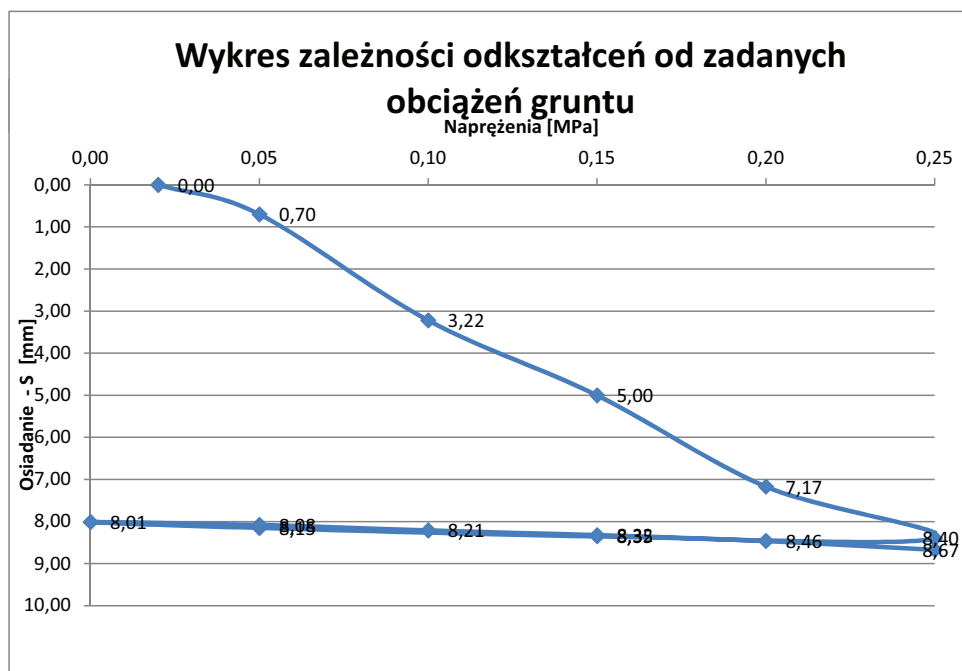
Wskaźnik odkształcenia

E_2/E_1

Io= 17,92

Sredni moduł dynamiczny

Evd = 8,58 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 3.5

Lokalizacja :	Barcin poligon - weryfikacja tech. II	Punkt pomiarowy nr:	2
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 2

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,22
0,10	1,14
0,15	1,74
0,20	2,36
0,25	2,84
0,15	2,81
0,05	2,60
0,00	2,47
0,05	2,55
0,10	2,68
0,15	2,76
0,20	2,89
0,25	3,00

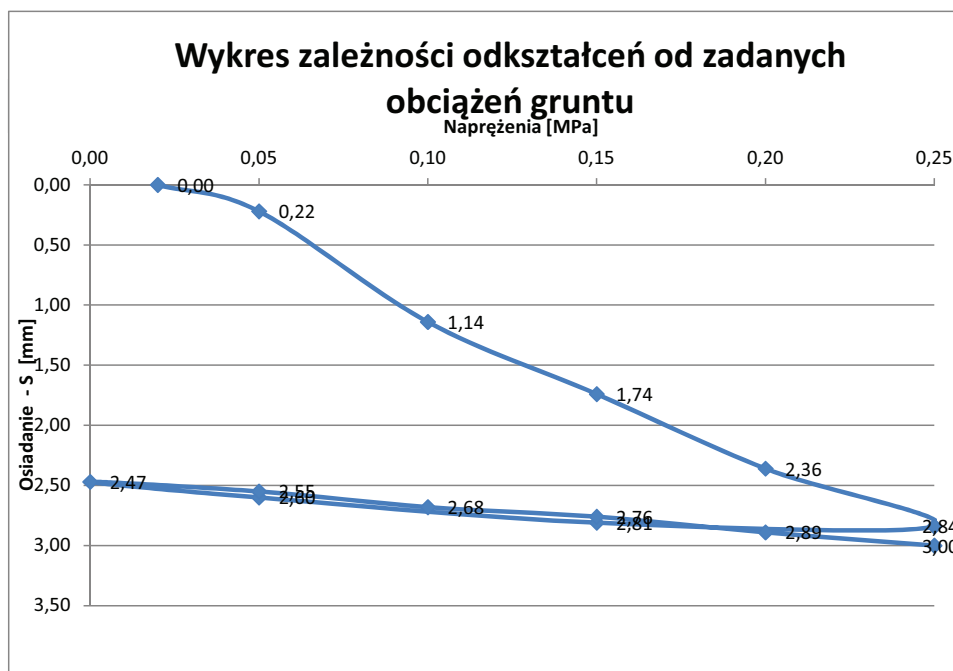
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 14,80 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 107,14 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 7,24**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 41,60 [MPa]**



Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa

Załącznik nr 3.6

Lokalizacja :	Barcin poligon - weryfikacja tech. II	Punkt pomiarowy nr:	3
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 3

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,16
0,10	0,74
0,15	1,33
0,20	1,62
0,25	2,08
0,15	2,03
0,05	1,86
0,00	1,72
0,05	1,79
0,10	1,90
0,15	2,00
0,20	2,10
0,25	2,22

Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa

Pierwotny moduł
odkształcenia

E1= 19,23 [MPa]

Wtórny moduł
odkształcenia

E2= 107,14 [MPa]

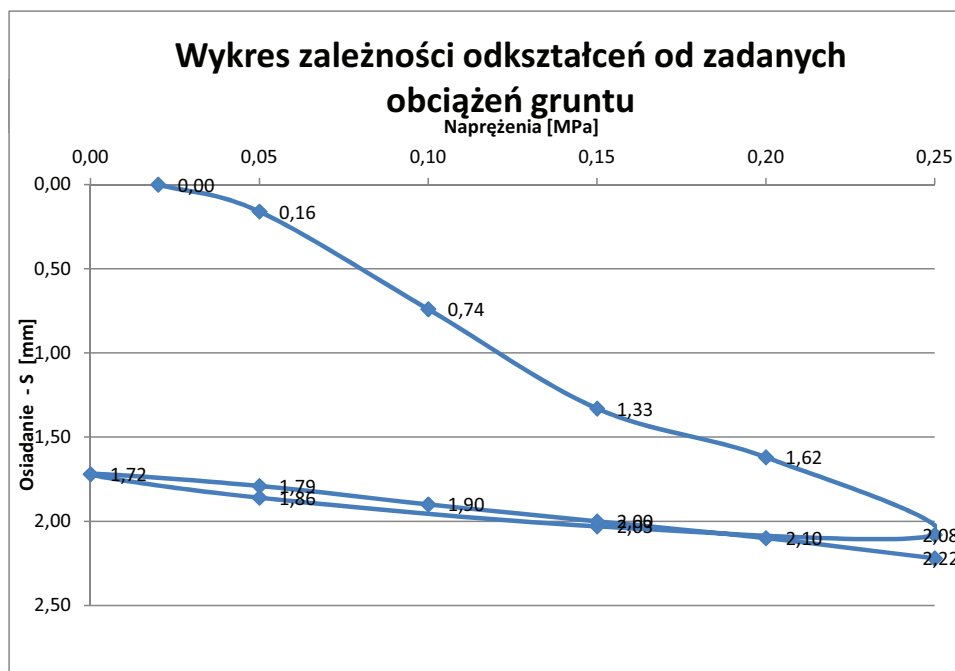
Wskaźnik odkształcenia

E_2/E_1

Io= 5,57

Sredni moduł dynamiczny

Evd = 44,64 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 3.7

Lokalizacja :	Barcin poligon - weryfikacja tech. II	Punkt pomiarowy nr:	4
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 4

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,10
0,10	0,39
0,15	0,52
0,20	0,78
0,25	0,97
0,15	0,95
0,05	0,78
0,00	0,67
0,05	0,71
0,10	0,81
0,15	0,86
0,20	0,94
0,25	1,02

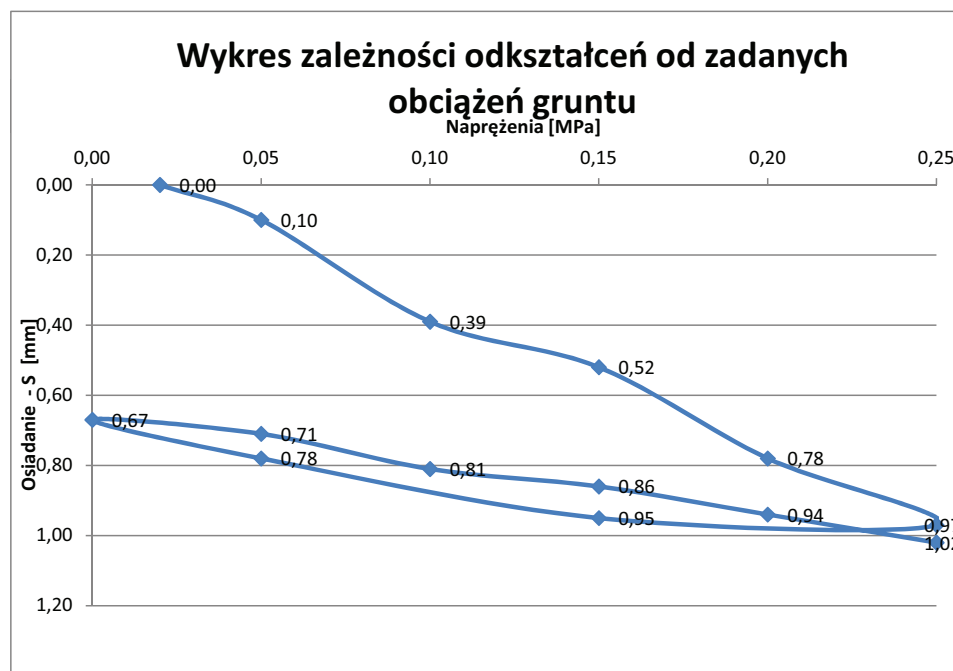
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 53,57 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 150,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,80**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 44,31 [MPa]**



Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa

Załącznik nr 3.8

Lokalizacja :	Barcin poligon - weryfikacja tech. II	Punkt pomiarowy nr:	5
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 5

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,13
0,10	0,36
0,15	0,51
0,20	0,69
0,25	0,78
0,15	0,73
0,05	0,61
0,00	0,50
0,05	0,55
0,10	0,64
0,15	0,70
0,20	0,77
0,25	0,87

Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa

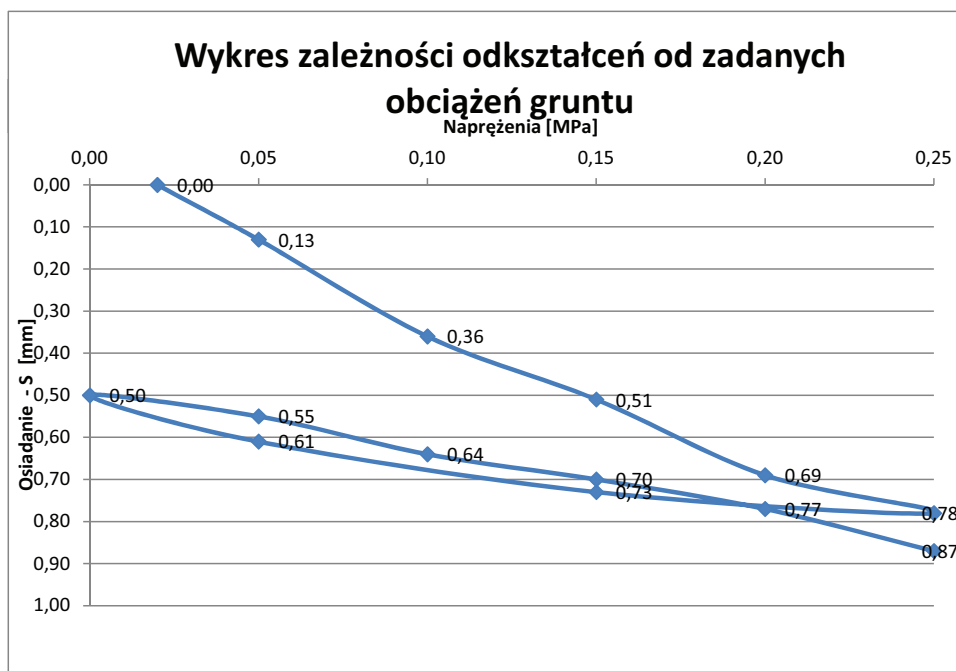
Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 59,21 [MPa]

Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 150,00 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,53

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 50,33 [MPa]

7



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 3.9

Lokalizacja :	Barcin poligon - weryfikacja tech. II	Punkt pomiarowy nr:	6
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 6

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,13
0,10	0,37
0,15	0,58
0,20	0,80
0,25	0,91
0,15	0,86
0,05	0,72
0,00	0,64
0,05	0,68
0,10	0,76
0,15	0,83
0,20	0,88
0,25	0,93

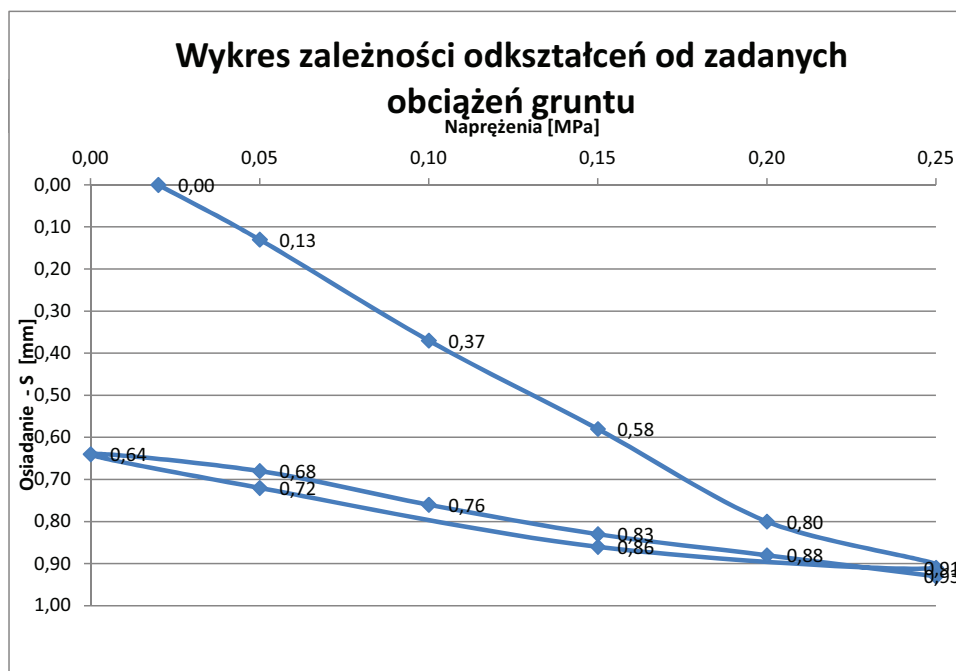
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 50,00 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 150,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,00**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 56,60 [MPa]**



Załącznik nr 4

Wyniki badań testów VSS na poletku doświadczalnym etap I

**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.1

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr IV	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,18
0,10	0,53
0,15	0,82
0,20	1,19
0,25	1,59
0,15	1,59
0,05	1,45
0,00	1,15
0,05	1,23
0,10	1,30
0,15	1,43
0,20	1,62
0,25	1,82

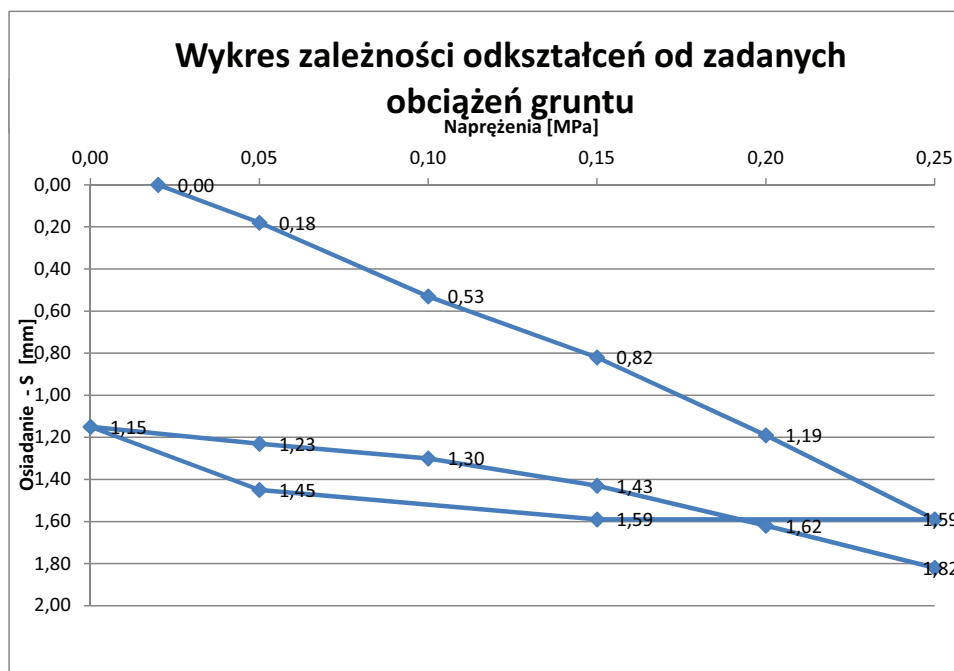
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 35,16 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 112,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,20**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 38,95 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.1'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr IV - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,09
0,10	0,27
0,15	0,39
0,20	0,50
0,25	0,59
0,15	0,58
0,05	0,47
0,00	0,37
0,05	0,39
0,10	0,46
0,15	0,52
0,20	0,57
0,25	0,62

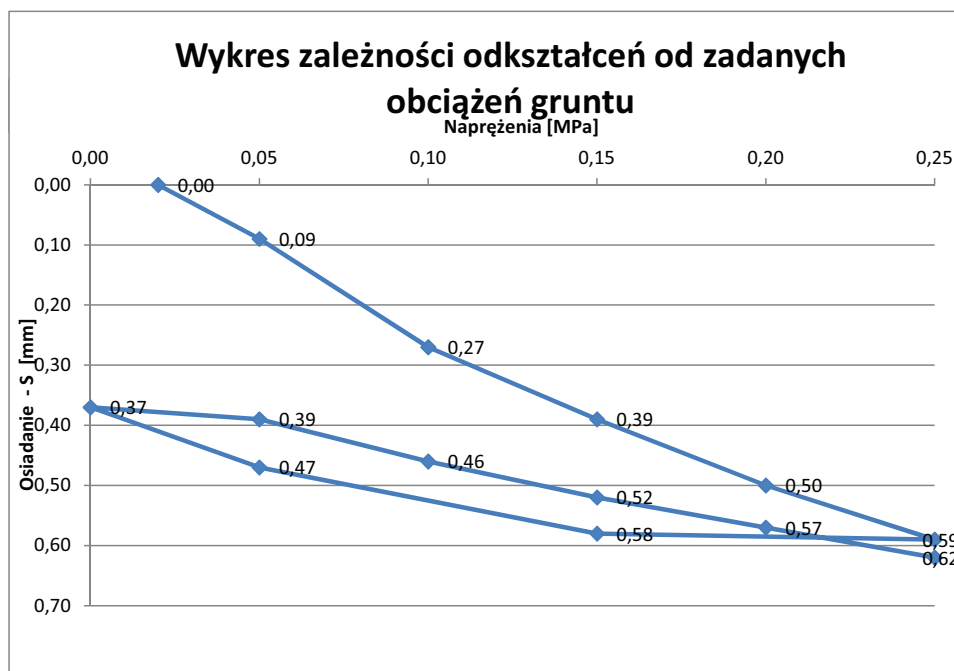
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 75,00 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 173,08 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,31**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 62,21 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.2

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr V	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,16
0,10	0,54
0,15	0,77
0,20	1,22
0,25	1,60
0,15	1,59
0,05	1,43
0,00	1,10
0,05	1,24
0,10	1,38
0,15	1,48
0,20	1,61
0,25	1,78

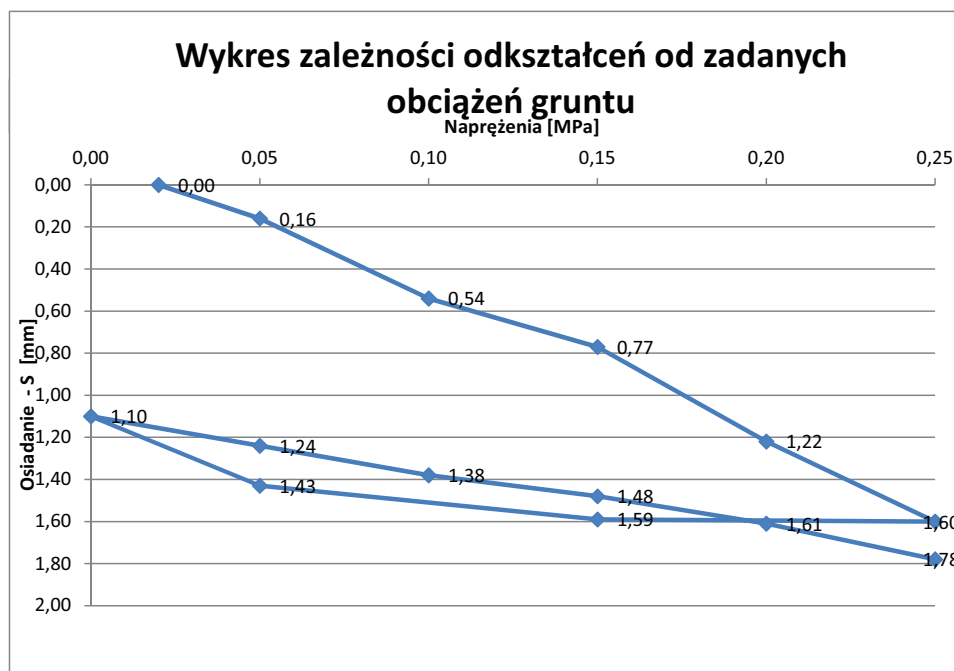
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 36,89 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 93,75 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,54**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 46,32 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.2'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr V - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,30
0,10	0,50
0,15	0,67
0,20	0,87
0,25	1,08
0,15	1,04
0,05	0,93
0,00	0,81
0,05	0,86
0,10	0,94
0,15	1,02
0,20	1,10
0,25	1,15

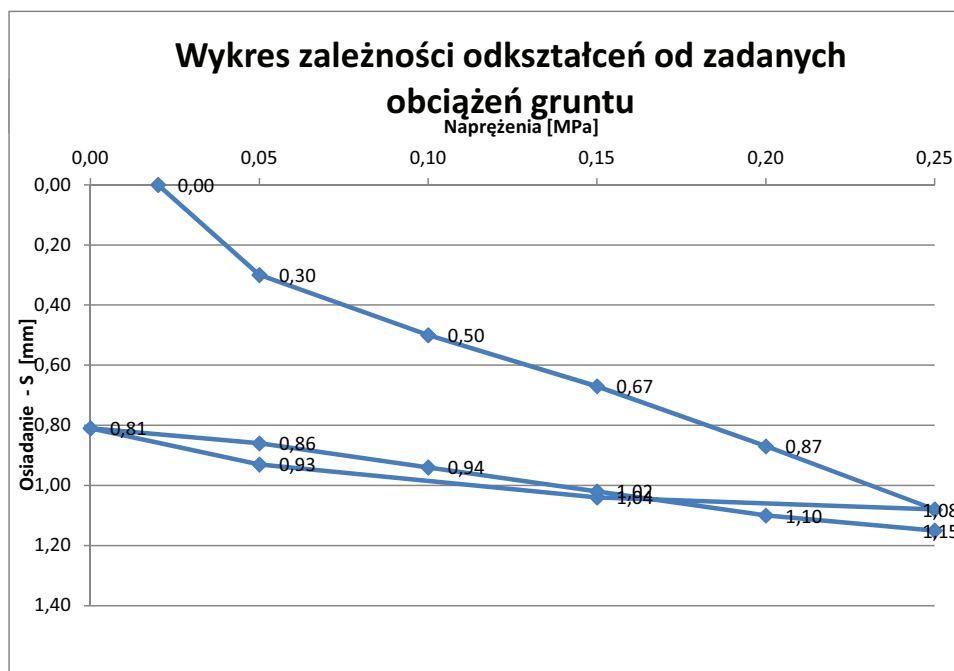
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 60,81 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 140,63 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 2,31**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 63,40 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.3

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr VI - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,00
0,10	0,21
0,15	0,42
0,20	0,63
0,25	0,81
0,15	0,81
0,05	0,70
0,00	0,61
0,05	0,61
0,10	0,68
0,15	0,73
0,20	0,79
0,25	0,86

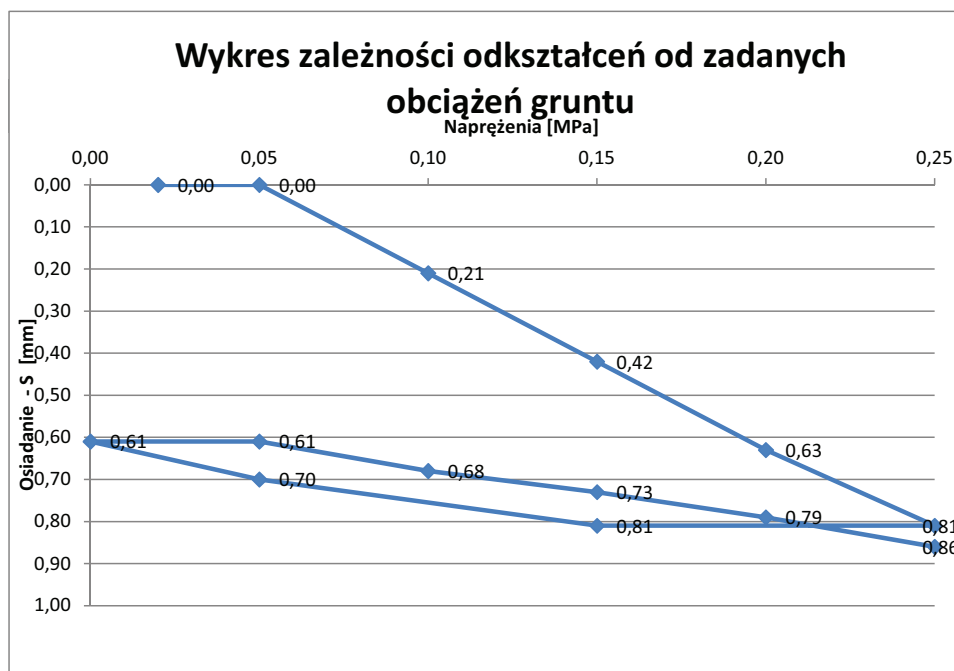
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 53,57 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,50**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 69,02 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.3'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr VI - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,09
0,10	0,23
0,15	0,41
0,20	0,60
0,25	0,79
0,15	0,77
0,05	0,67
0,00	0,59
0,05	0,61
0,10	0,66
0,15	0,73
0,20	0,79
0,25	0,83

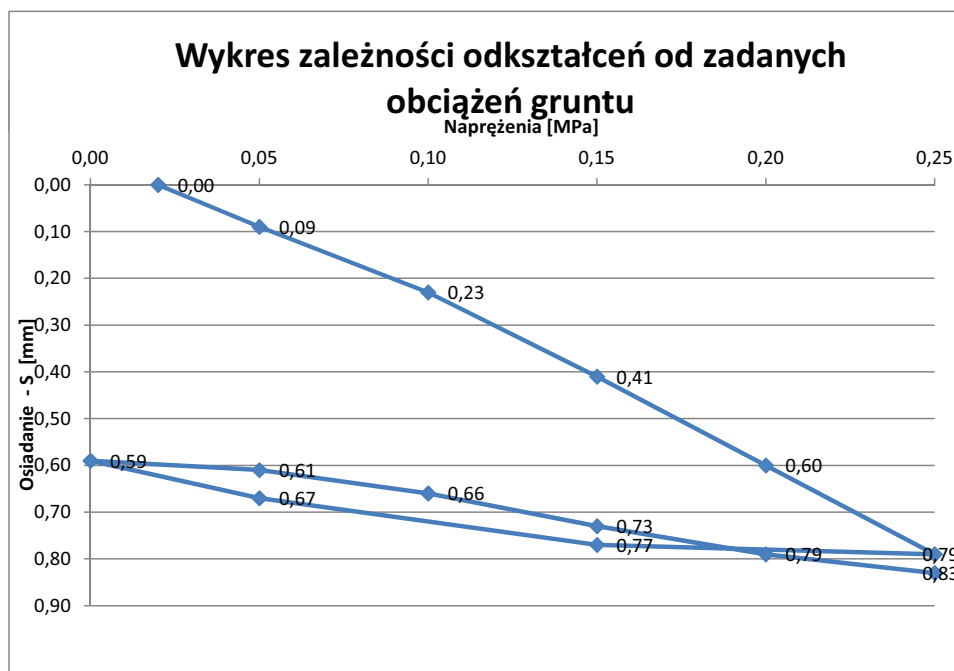
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 70,31 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,67**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 74,03 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.4

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr VII - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,06
0,10	0,23
0,15	0,39
0,20	0,53
0,25	0,65
0,15	0,65
0,05	0,54
0,00	0,46
0,05	0,46
0,10	0,53
0,15	0,60
0,20	0,65
0,25	0,72

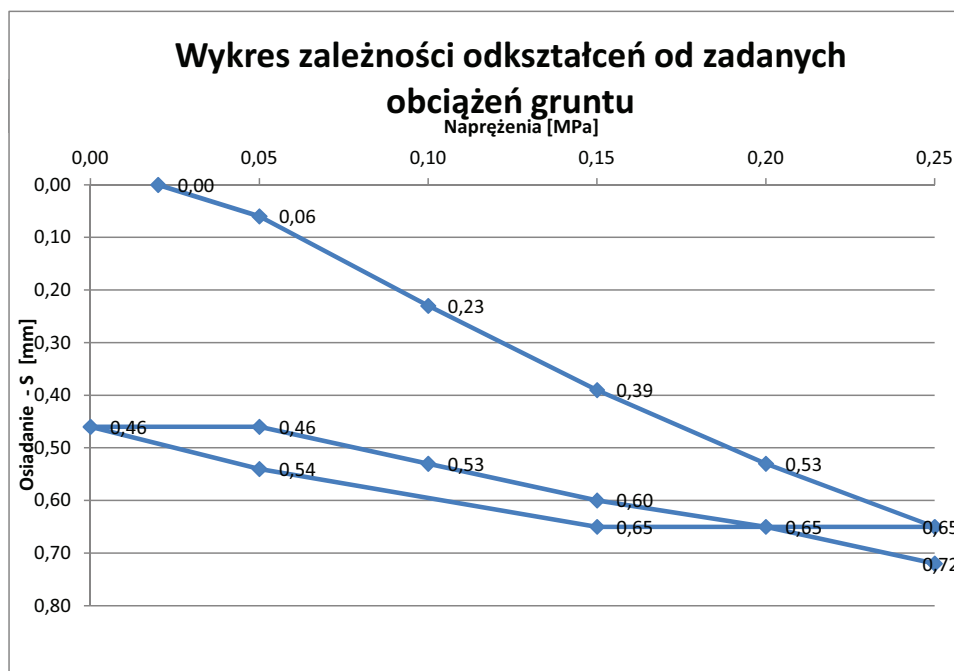
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 68,18 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 160,71 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,36**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 68,82 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.4'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr VII - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	paź-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,11
0,10	0,25
0,15	0,39
0,20	0,55
0,25	0,70
0,15	0,70
0,05	0,59
0,00	0,50
0,05	0,50
0,10	0,57
0,15	0,62
0,20	0,68
0,25	0,75

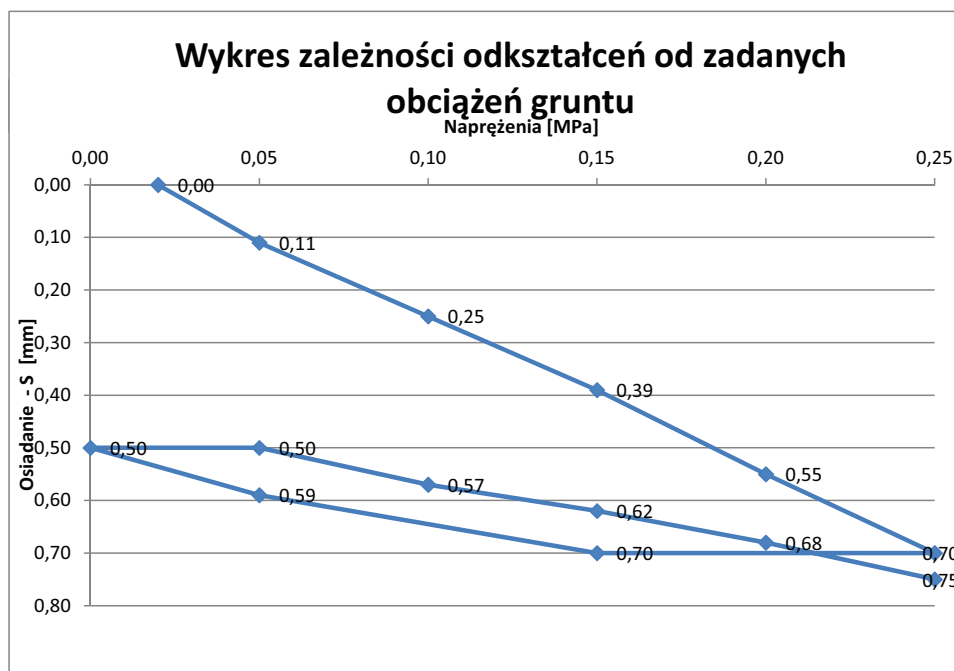
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 80,36 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,33**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 71,10 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.5

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr VIII - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,06
0,10	0,27
0,15	0,47
0,20	0,74
0,25	0,82
0,15	0,82
0,05	0,71
0,00	0,61
0,05	0,67
0,10	0,74
0,15	0,78
0,20	0,87
0,25	0,95

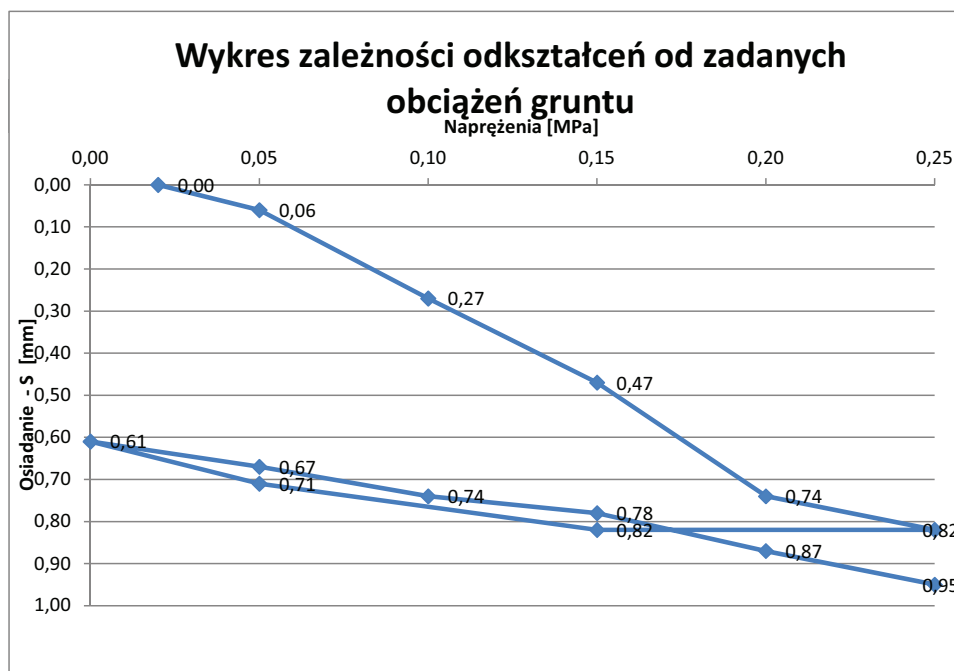
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 54,88 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 204,55 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,73**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 69,05 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.5'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr VIII - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,09
0,10	0,23
0,15	0,37
0,20	0,54
0,25	0,79
0,15	0,78
0,05	0,69
0,00	0,55
0,05	0,60
0,10	0,65
0,15	0,70
0,20	0,78
0,25	0,88

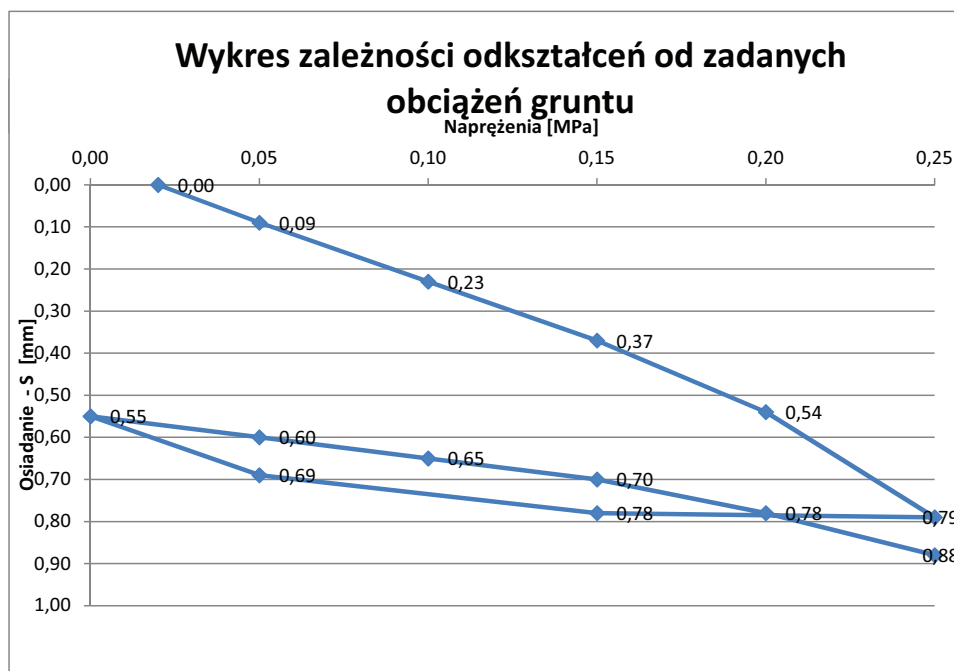
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 80,36 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 225,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,80**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 72,67 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.6

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr IX - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,02
0,10	0,26
0,15	0,49
0,20	0,75
0,25	0,94
0,15	0,94
0,05	0,82
0,00	0,72
0,05	0,75
0,10	0,82
0,15	0,87
0,20	0,94
0,25	1,04

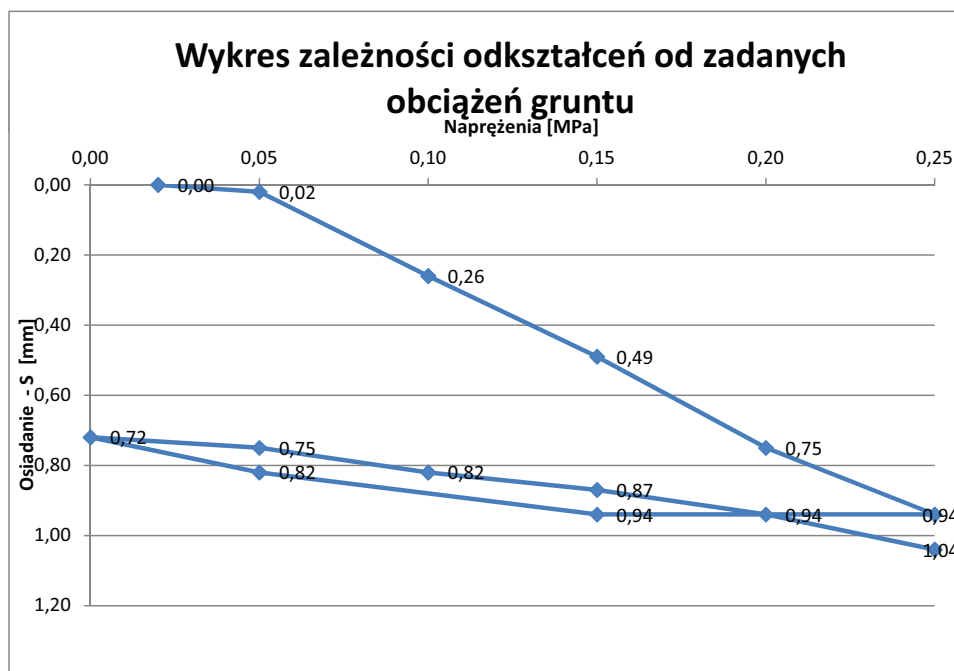
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 47,87 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,92**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 68,70 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.6'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr IX - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,09
0,10	0,24
0,15	0,39
0,20	0,55
0,25	0,67
0,15	0,67
0,05	0,55
0,00	0,43
0,05	0,43
0,10	0,49
0,15	0,54
0,20	0,63
0,25	0,72

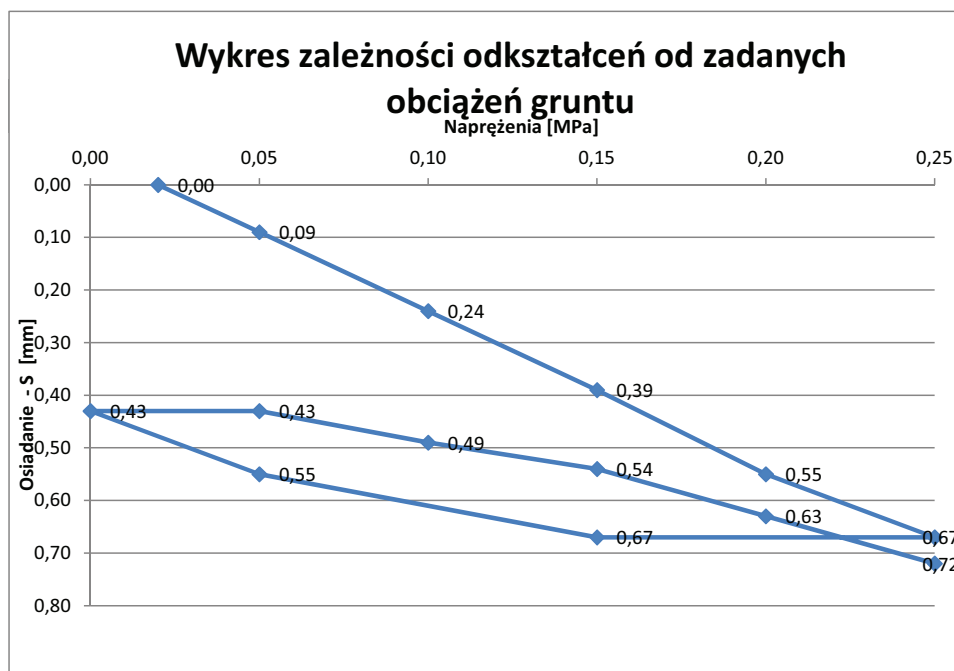
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 75,00 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 204,55 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,73**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 80,33 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.7

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr X - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,10
0,10	0,36
0,15	0,59
0,20	0,86
0,25	1,04
0,15	1,02
0,05	0,88
0,00	0,79
0,05	0,81
0,10	0,91
0,15	0,95
0,20	1,04
0,25	1,11

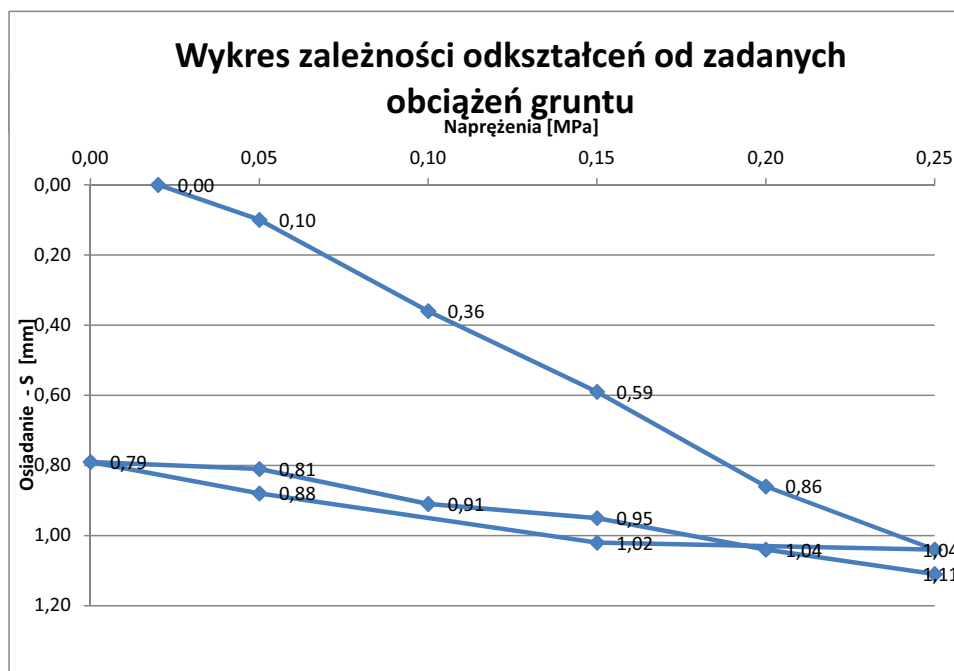
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 45,92 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 160,71 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,50**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 65,87 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.7'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr X - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,12
0,10	0,24
0,15	0,36
0,20	0,46
0,25	0,56
0,15	0,54
0,05	0,43
0,00	0,36
0,05	0,37
0,10	0,42
0,15	0,49
0,20	0,55
0,25	0,62

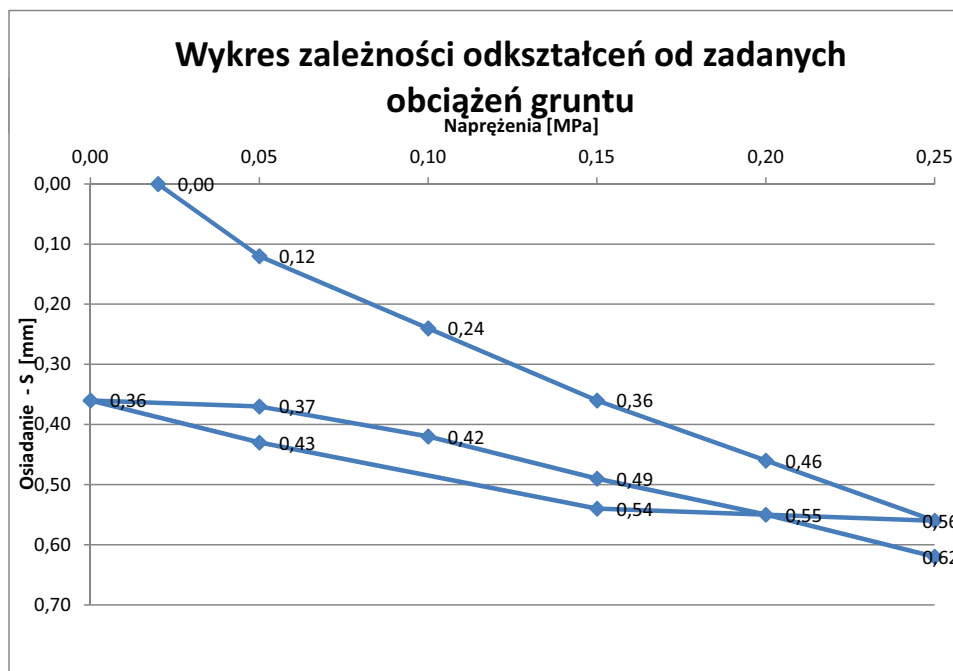
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 93,75 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,00**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 82,67 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.8

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XI - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,15
0,10	0,45
0,15	0,68
0,20	0,88
0,25	1,02
0,15	1,02
0,05	0,96
0,00	0,72
0,05	0,75
0,10	0,84
0,15	0,96
0,20	1,05
0,25	1,12

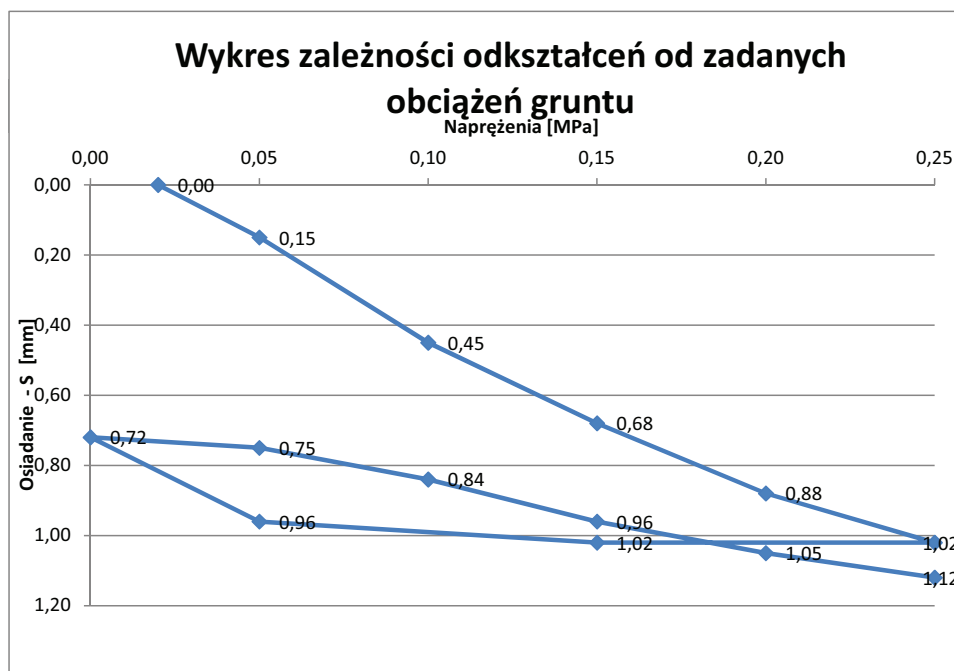
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 42,45 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 107,14 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,52**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 44,33 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.8'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XI - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,05
0,10	0,18
0,15	0,30
0,20	0,45
0,25	0,60
0,15	0,58
0,05	0,45
0,00	0,32
0,05	0,35
0,10	0,42
0,15	0,50
0,20	0,56
0,25	0,62

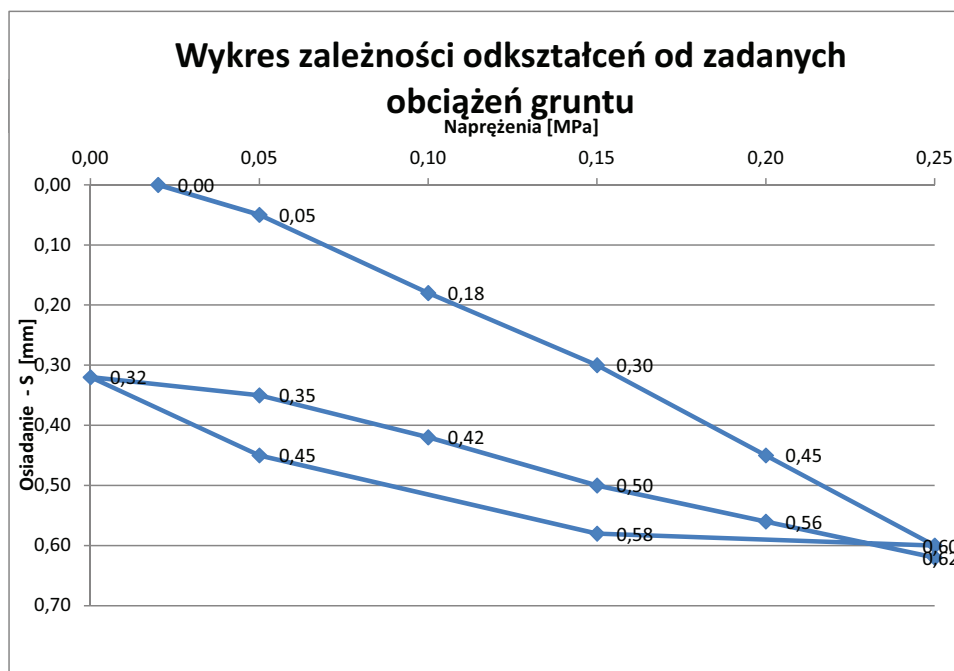
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 90,00 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 150,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 1,67**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 74,00 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.9

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XII - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,19
0,10	0,78
0,15	1,18
0,20	1,45
0,25	1,65
0,15	1,65
0,05	1,53
0,00	1,41
0,05	1,46
0,10	1,53
0,15	1,62
0,20	1,67
0,25	1,76

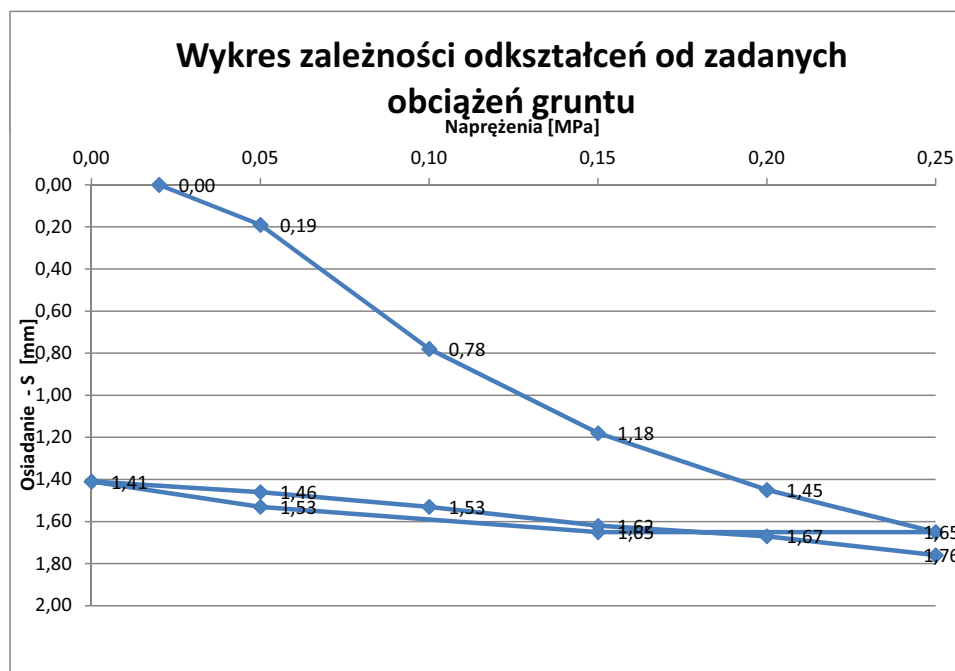
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 22,73 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 140,63 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I0= 6,19**

**Sredni moduł dynamiczny
Evd = 43,68 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.9'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XII - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,13
0,10	0,36
0,15	0,51
0,20	0,66
0,25	0,78
0,15	0,73
0,05	0,61
0,00	0,50
0,05	0,55
0,10	0,64
0,15	0,70
0,20	0,77
0,25	0,82

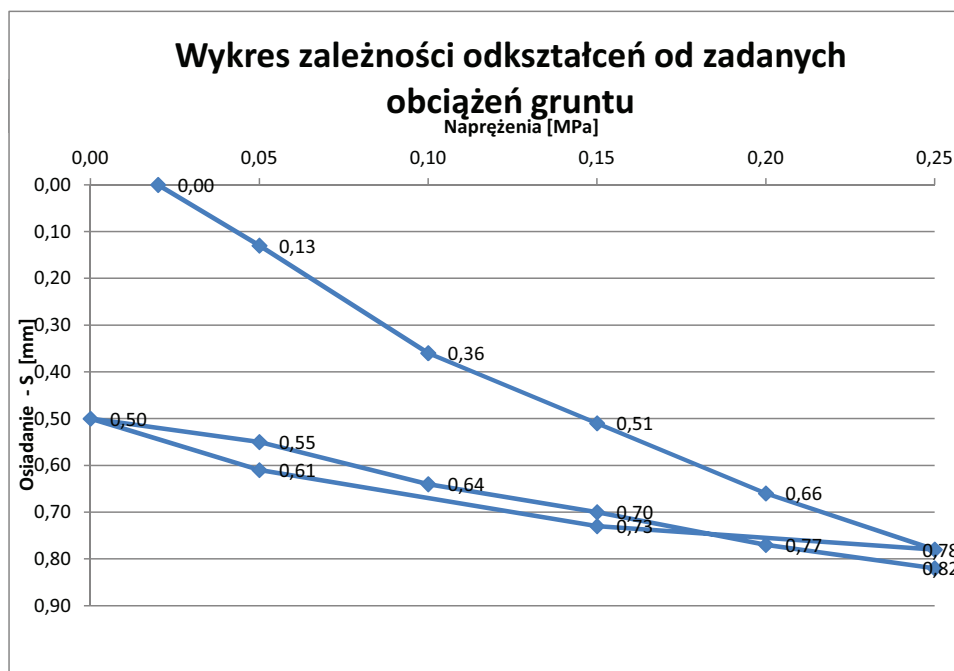
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 59,21 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 150,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,53**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 57,67 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.10

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XIII - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,19
0,10	0,50
0,15	0,73
0,20	0,89
0,25	1,03
0,15	1,03
0,05	0,90
0,00	0,81
0,05	0,83
0,10	0,92
0,15	0,99
0,20	1,06
0,25	1,15

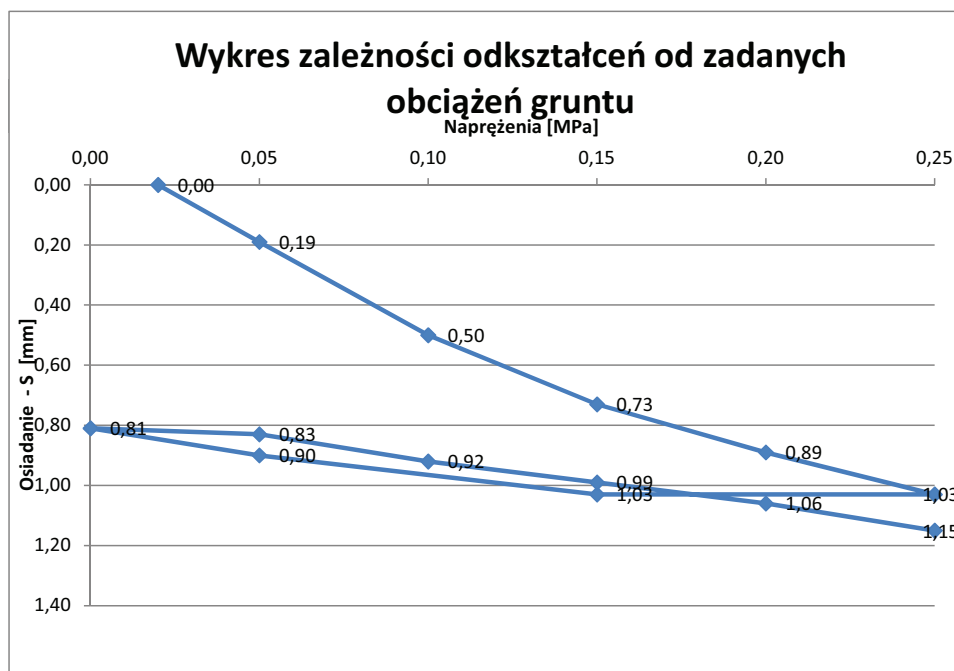
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 41,67 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 140,63 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 3,38**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 42,32 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.10'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XIII - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,12
0,10	0,26
0,15	0,43
0,20	0,55
0,25	0,62
0,15	0,58
0,05	0,46
0,00	0,39
0,05	0,42
0,10	0,47
0,15	0,55
0,20	0,62
0,25	0,69

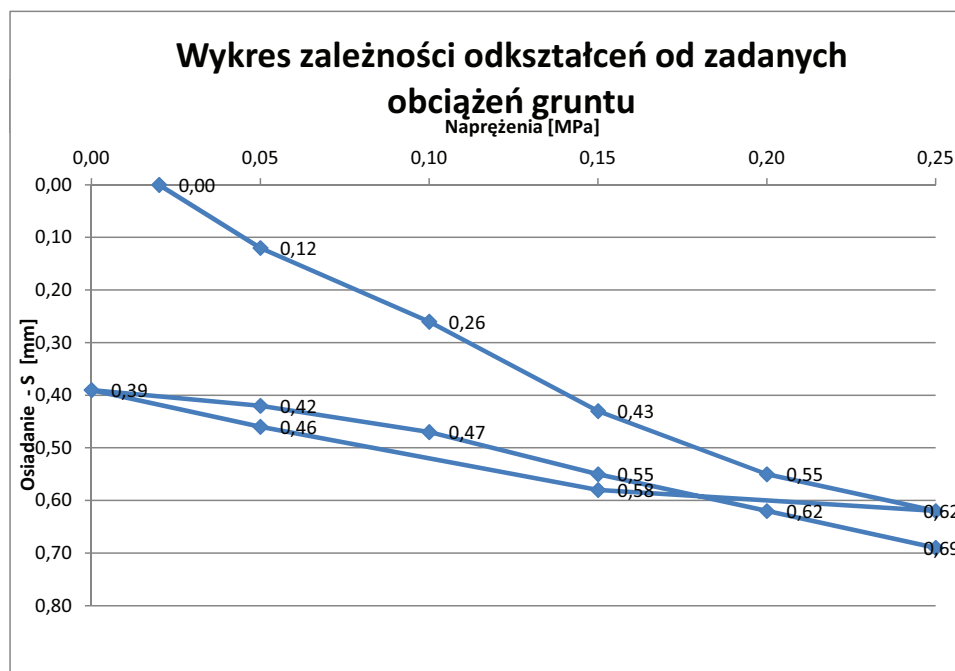
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 72,58 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 173,08 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,38**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 66,33 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.11

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XIV - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,11
0,10	0,81
0,15	1,20
0,20	1,60
0,25	1,90
0,15	1,90
0,05	1,80
0,00	1,66
0,05	1,67
0,10	1,78
0,15	1,85
0,20	1,92
0,25	2,04

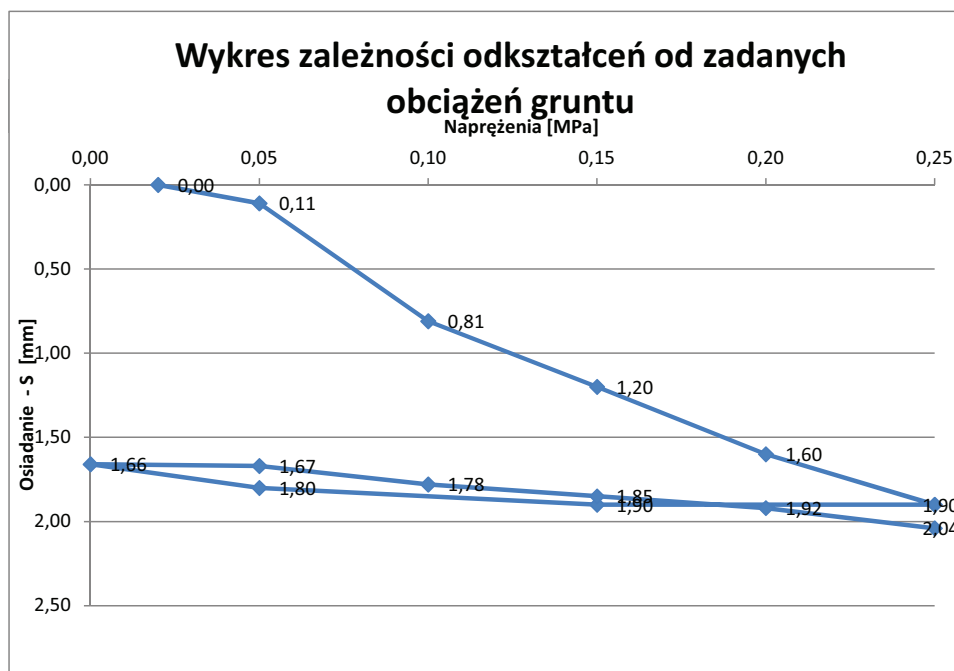
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 20,64 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 125,00 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 6,06

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 42,80 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.11'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XIX - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,03
0,10	0,23
0,15	0,35
0,20	0,49
0,25	0,58
0,15	0,58
0,05	0,47
0,00	0,39
0,05	0,39
0,10	0,46
0,15	0,51
0,20	0,57
0,25	0,61

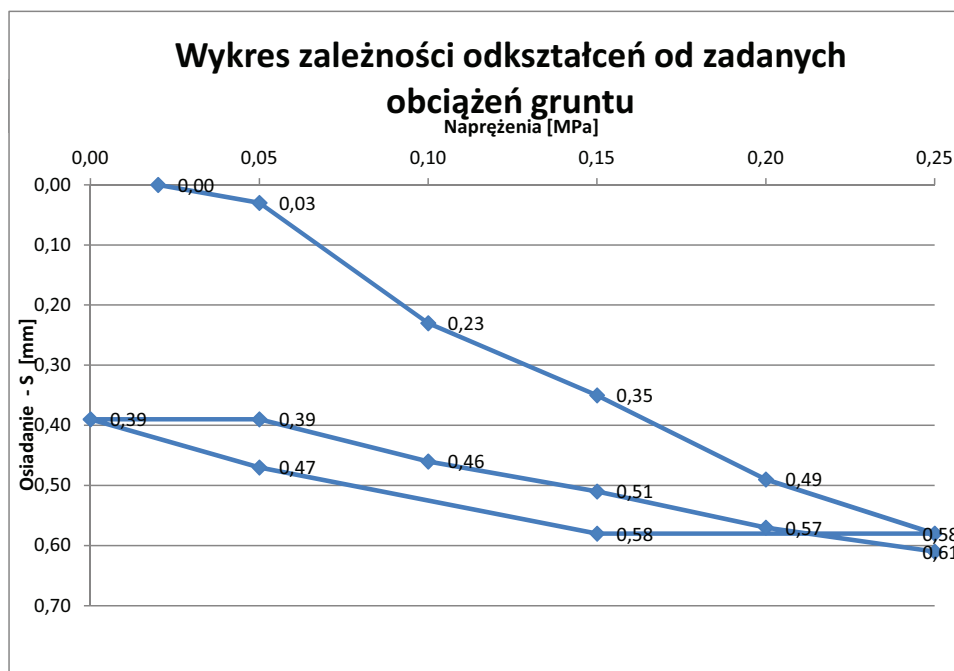
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 70,31 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 2,67**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 67,83 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.12

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XV - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,26
0,10	0,75
0,15	1,05
0,20	1,39
0,25	1,64
0,15	1,64
0,05	1,52
0,00	1,41
0,05	1,44
0,10	1,56
0,15	1,60
0,20	1,67
0,25	1,77

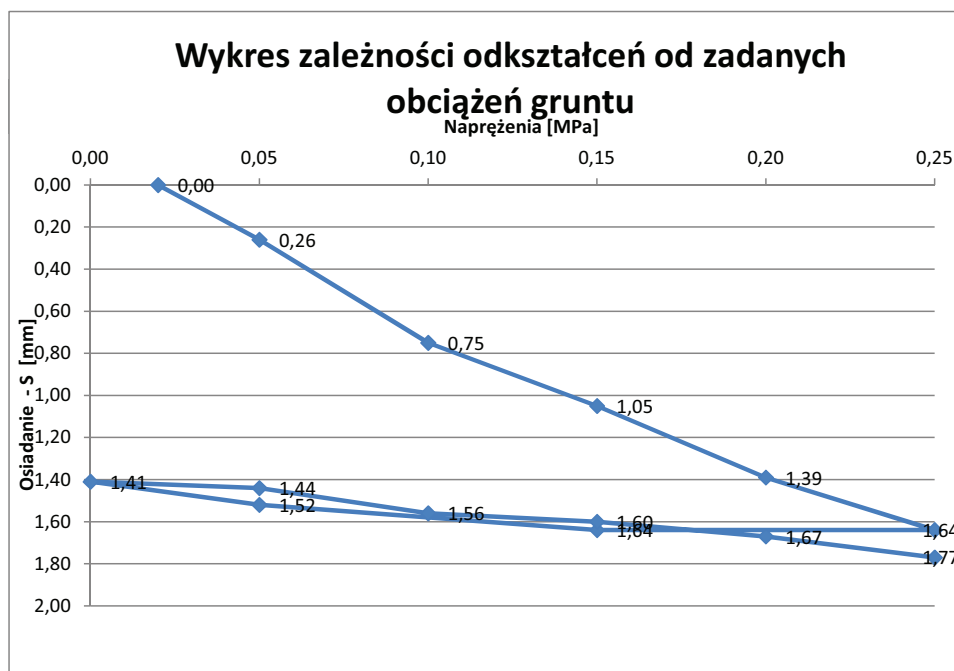
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 28,48 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 140,63 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 4,94**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 50,40 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.12'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XV - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,05
0,10	0,27
0,15	0,43
0,20	0,61
0,25	0,75
0,15	0,71
0,05	0,63
0,00	0,50
0,05	0,53
0,10	0,59
0,15	0,66
0,20	0,73
0,25	0,79

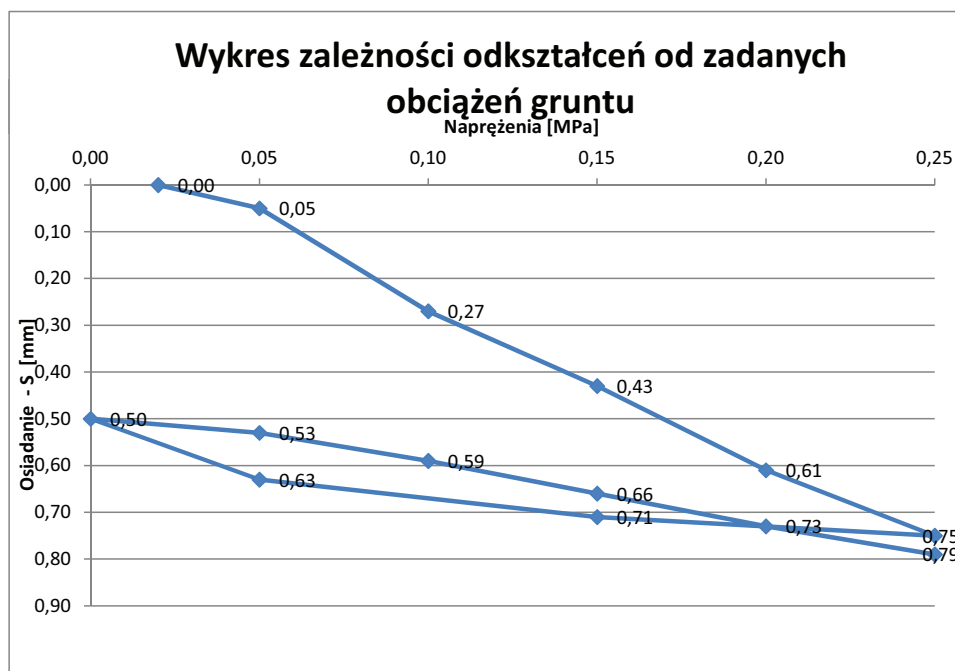
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 59,21 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 173,08 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,92**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 64,11 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.13

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XVI - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,09
0,10	0,36
0,15	0,52
0,20	0,69
0,25	0,83
0,15	0,83
0,05	0,71
0,00	0,63
0,05	0,65
0,10	0,71
0,15	0,78
0,20	0,84
0,25	0,89

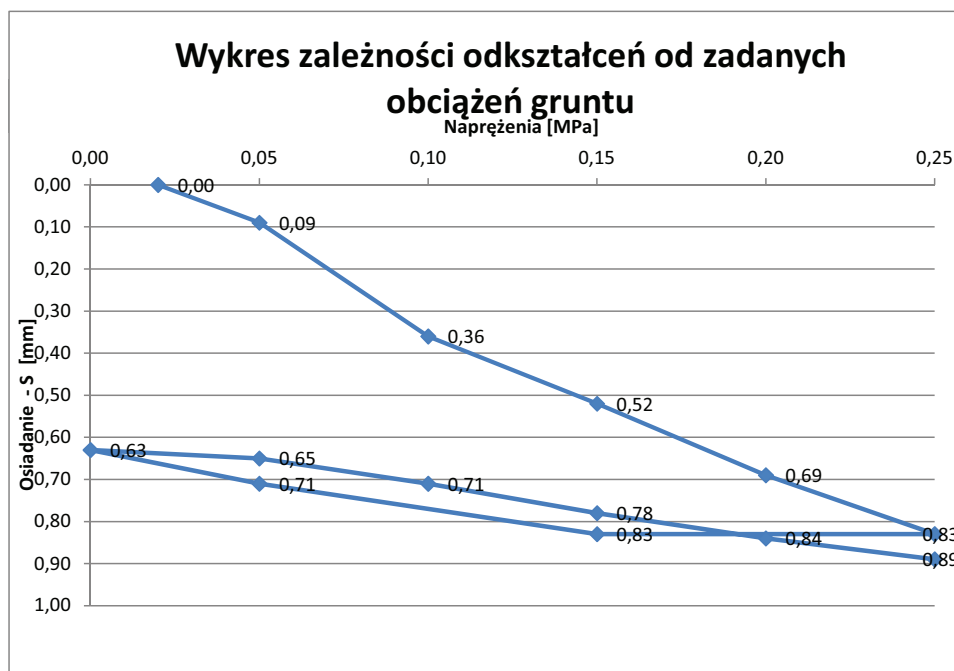
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 52,33 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 173,08 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,31**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 54,13 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.13'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XVI - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,04
0,10	0,15
0,15	0,25
0,20	0,34
0,25	0,45
0,15	0,43
0,05	0,35
0,00	0,24
0,05	0,25
0,10	0,31
0,15	0,39
0,20	0,46
0,25	0,51

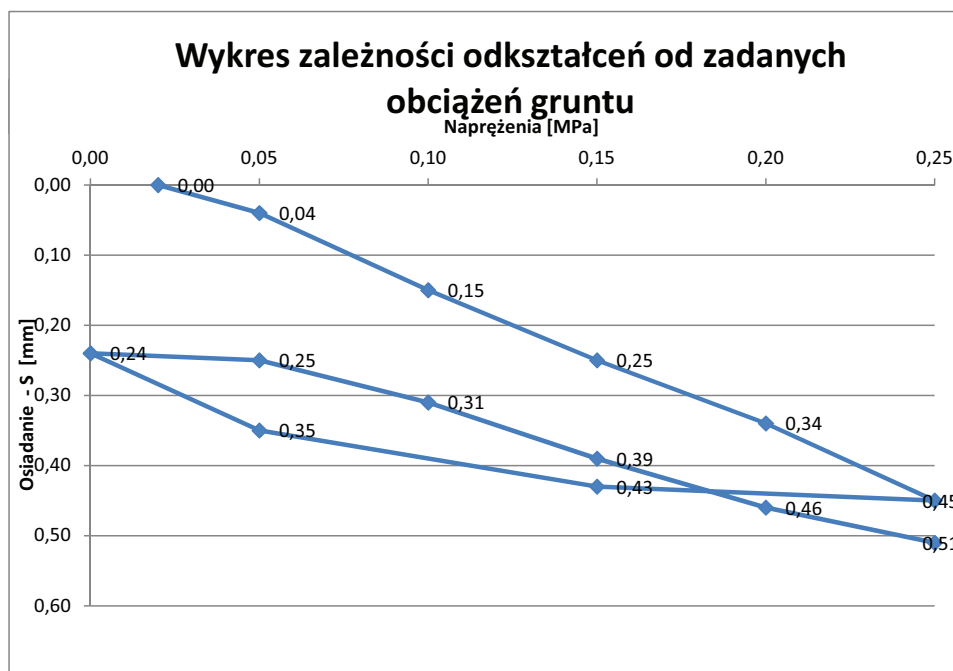
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 107,14 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 160,71 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 1,50**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 77,67 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.14

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XVII - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,26
0,10	0,71
0,15	1,30
0,20	1,73
0,25	1,89
0,15	1,88
0,05	1,70
0,00	1,59
0,05	1,63
0,10	1,73
0,15	1,82
0,20	1,91
0,25	1,98

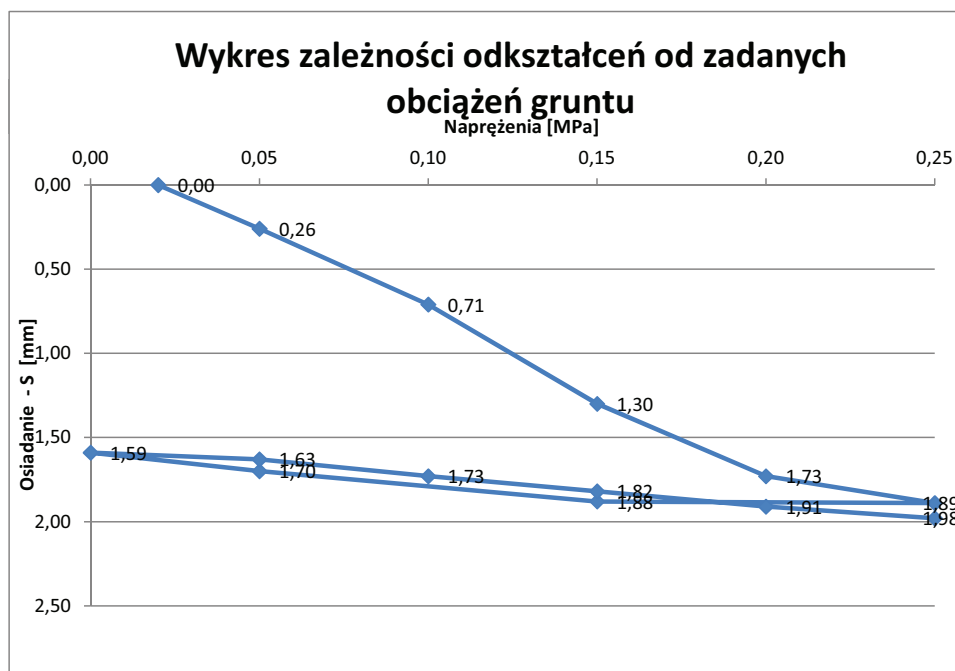
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 21,63 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 118,42 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 5,47**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 40,00 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.14'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XVII - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,14
0,10	0,33
0,15	0,55
0,20	0,76
0,25	0,87
0,15	0,83
0,05	0,73
0,00	0,62
0,05	0,63
0,10	0,71
0,15	0,80
0,20	0,88
0,25	0,93

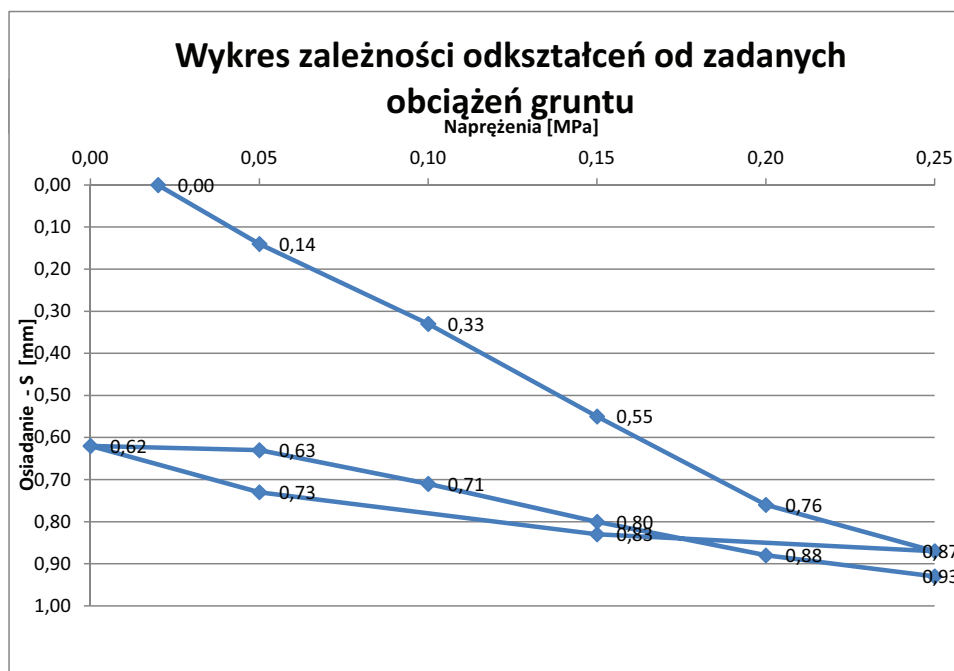
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 54,88 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 132,35 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,41**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 53,67 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.15

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XVIII - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,27
0,10	0,63
0,15	0,89
0,20	1,09
0,25	1,25
0,15	1,25
0,05	1,14
0,00	1,01
0,05	1,04
0,10	1,13
0,15	1,20
0,20	1,29
0,25	1,35

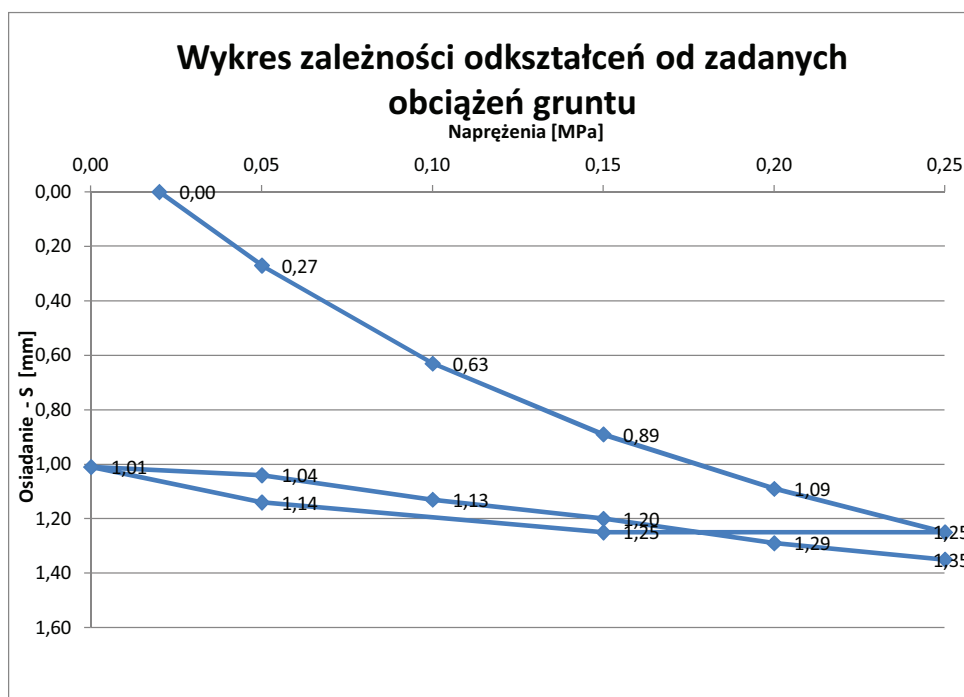
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 36,29 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 140,63 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,88

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 49,77 [Mpa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 4.15'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XVIII - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,04
0,10	0,22
0,15	0,40
0,20	0,61
0,25	0,78
0,15	0,78
0,05	0,64
0,00	0,54
0,05	0,58
0,10	0,65
0,15	0,72
0,20	0,78
0,25	0,85

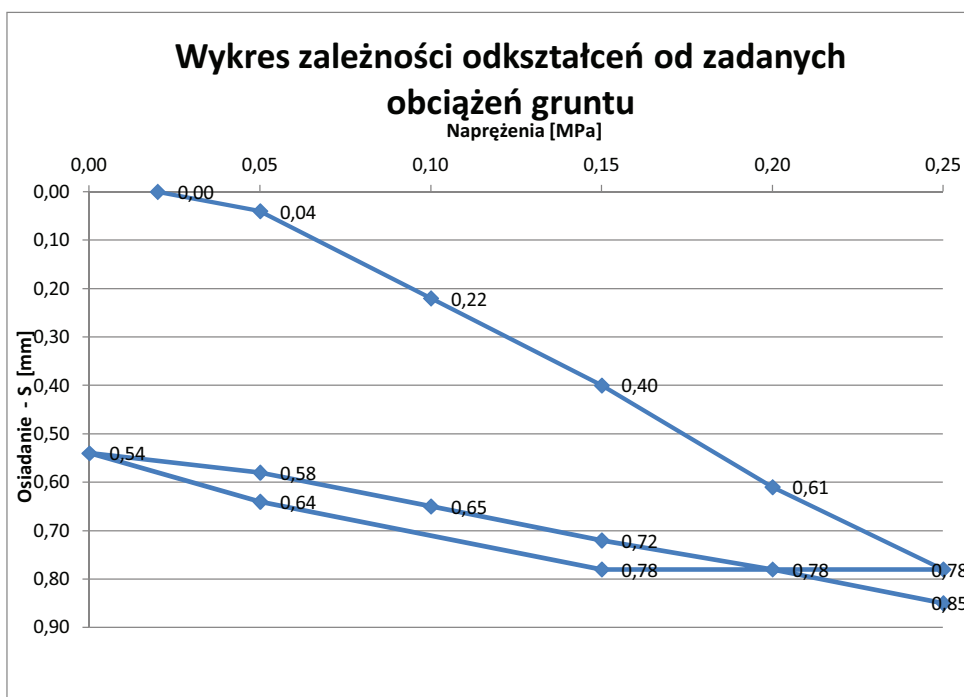
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 62,50 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 160,71 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
 E_2/E_1
I_o= 2,57

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 76,25 [Mpa]



Załącznik nr 5

Wyniki badań testów VSS na poletku doświadczalnym etap II

**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.1

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XIX - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,37
0,10	0,73
0,15	0,99
0,20	1,19
0,25	1,35
0,15	1,35
0,05	1,24
0,00	1,15
0,05	1,15
0,10	1,21
0,15	1,27
0,20	1,35
0,25	1,43

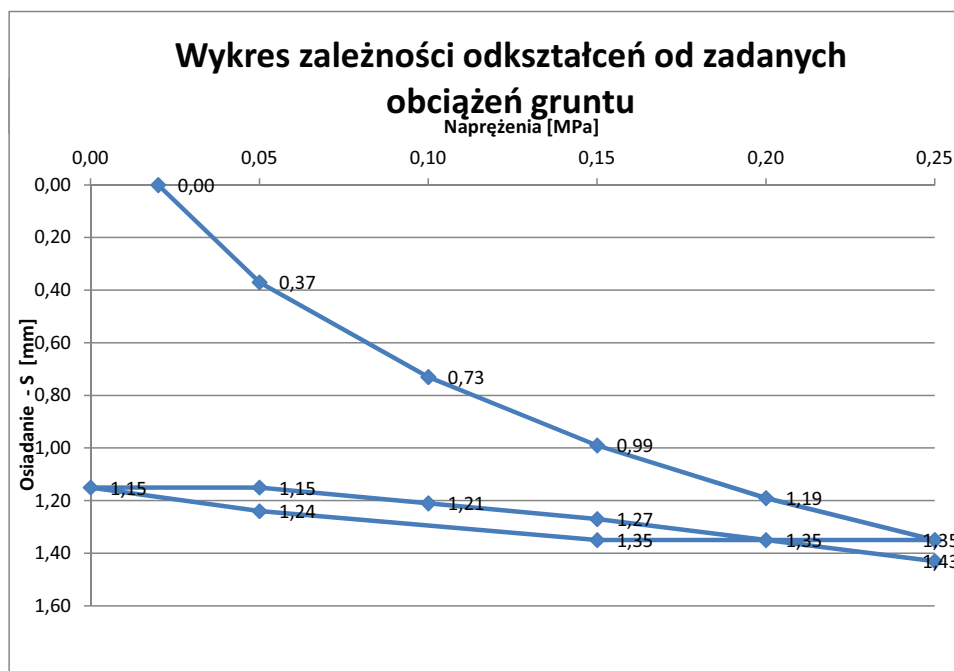
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 36,29 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 5,17**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 77,67 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.1'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XIX - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,20
0,10	0,39
0,15	0,57
0,20	0,73
0,25	0,89
0,15	0,82
0,05	0,72
0,00	0,64
0,05	0,66
0,10	0,70
0,15	0,77
0,20	0,83
0,25	0,94

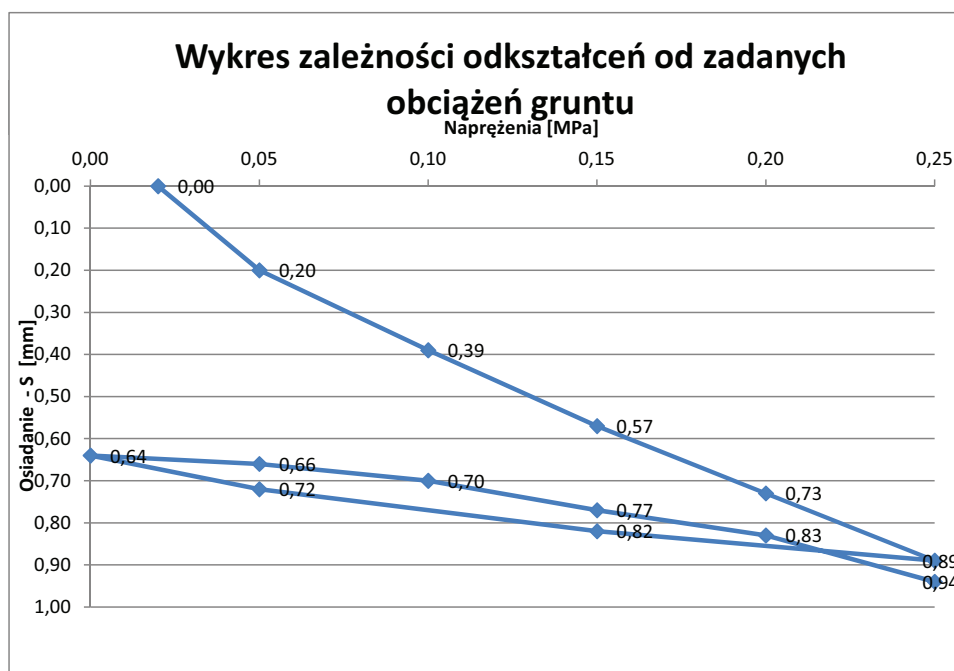
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 60,81 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 204,55 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,36

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 44,33 [Mpa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.2

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XX - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,12
0,10	0,68
0,15	1,07
0,20	1,41
0,25	1,63
0,15	1,62
0,05	1,50
0,00	1,42
0,05	1,44
0,10	1,51
0,15	1,57
0,20	1,64
0,25	1,73

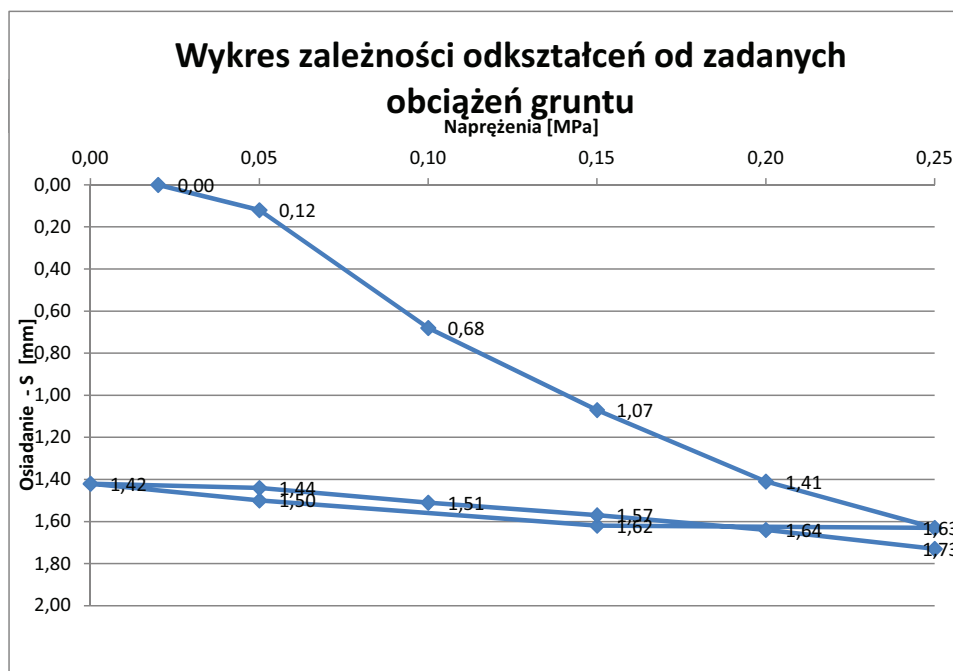
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 23,68 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 173,08 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 7,31**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 47,07 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.2'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XX - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,14
0,10	0,30
0,15	0,44
0,20	0,63
0,25	0,74
0,15	0,71
0,05	0,57
0,00	0,47
0,05	0,50
0,10	0,54
0,15	0,61
0,20	0,70
0,25	0,77

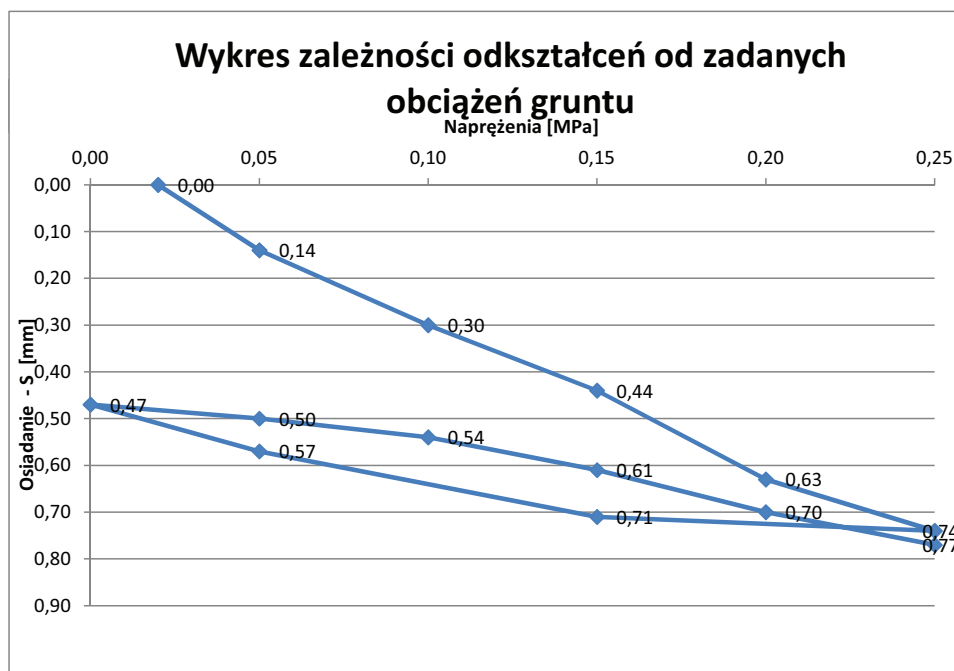
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 75,00 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 204,55 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,73**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 57,30 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.3

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXI - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,04
0,10	0,46
0,15	0,78
0,20	1,06
0,25	1,27
0,15	1,20
0,05	1,13
0,00	0,99
0,05	1,12
0,10	1,25
0,15	1,32
0,20	1,45
0,25	1,58

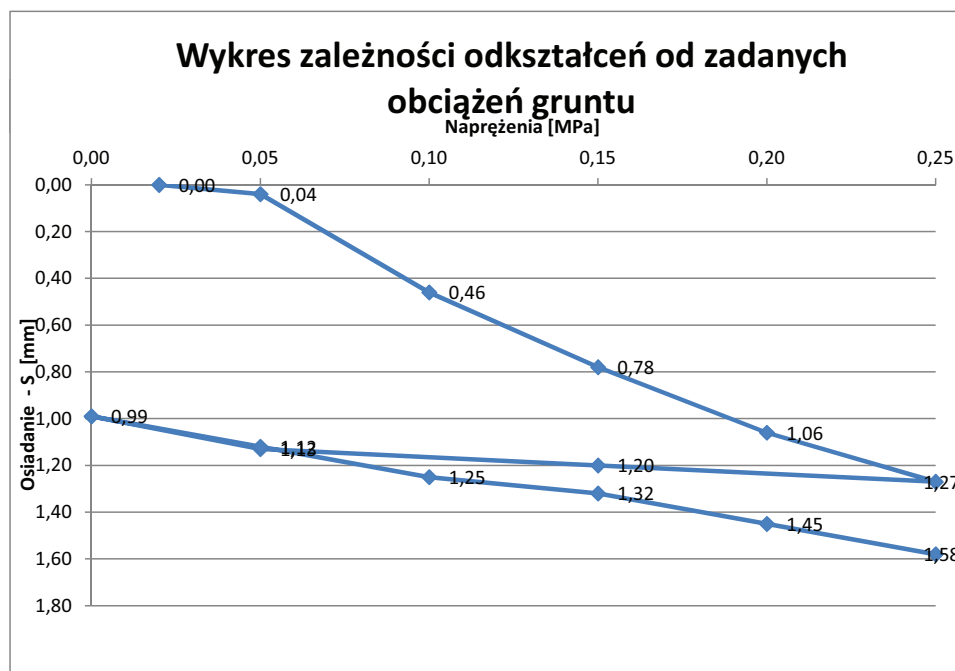
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 30,41 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 112,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,70**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 41,10 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.3'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXI - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,02
0,10	0,14
0,15	0,32
0,20	0,54
0,25	0,69
0,15	0,64
0,05	0,55
0,00	0,45
0,05	0,48
0,10	0,57
0,15	0,63
0,20	0,69
0,25	0,73

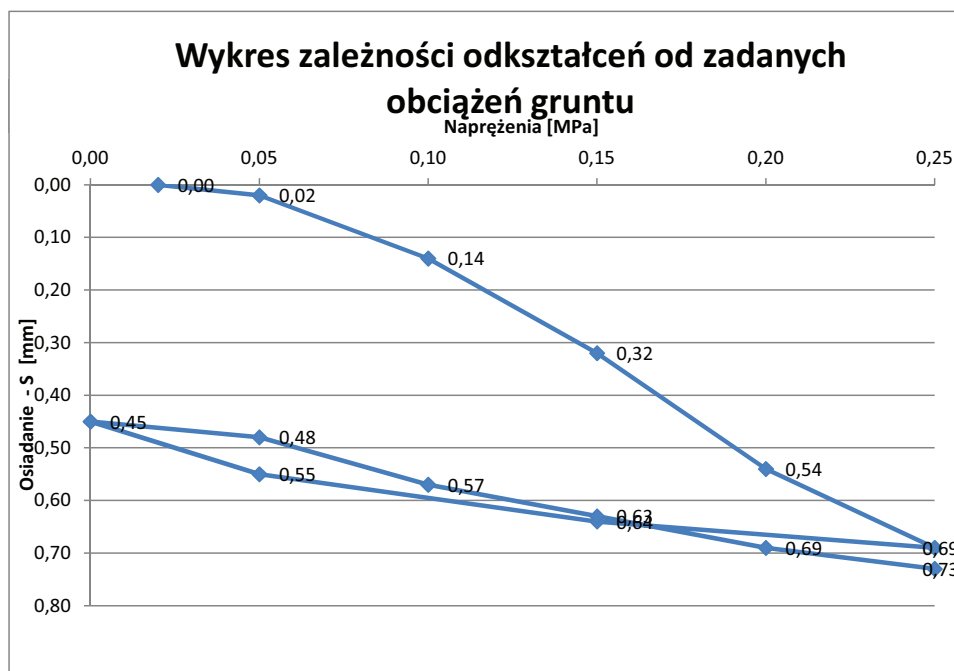
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 75,00 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 150,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,00**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 74,10 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.4

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXII - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,04
0,10	0,52
0,15	0,78
0,20	1,09
0,25	1,31
0,15	1,31
0,05	1,16
0,00	1,02
0,05	1,12
0,10	1,29
0,15	1,32
0,20	1,47
0,25	1,55

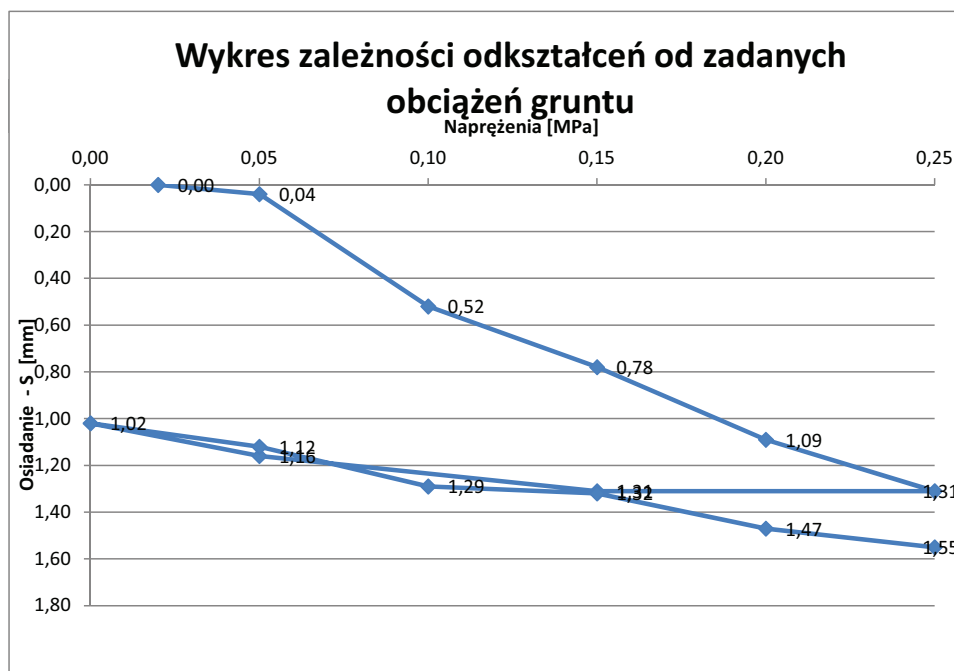
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 30,41 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 112,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,70**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 42,87 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.4'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXII - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,15
0,10	0,29
0,15	0,44
0,20	0,65
0,25	0,86
0,15	0,86
0,05	0,74
0,00	0,64
0,05	0,64
0,10	0,70
0,15	0,77
0,20	0,84
0,25	0,92

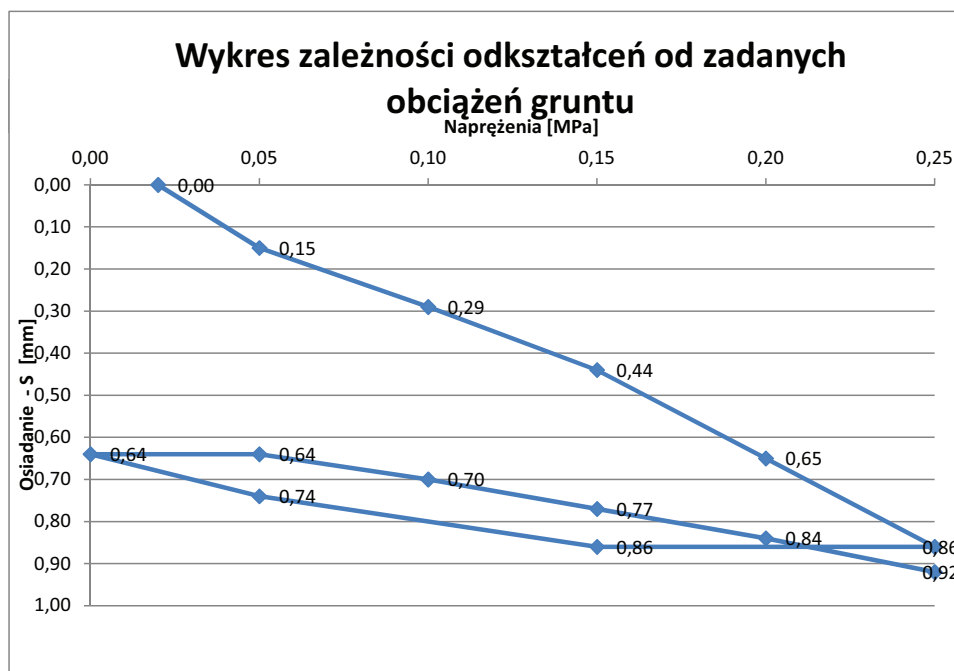
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 77,59 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 173,08 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,23**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 83,02 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.5

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXIII - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,08
0,10	0,72
0,15	1,15
0,20	1,49
0,25	1,78
0,15	1,76
0,05	1,58
0,00	1,43
0,05	1,46
0,10	1,58
0,15	1,68
0,20	1,79
0,25	1,92

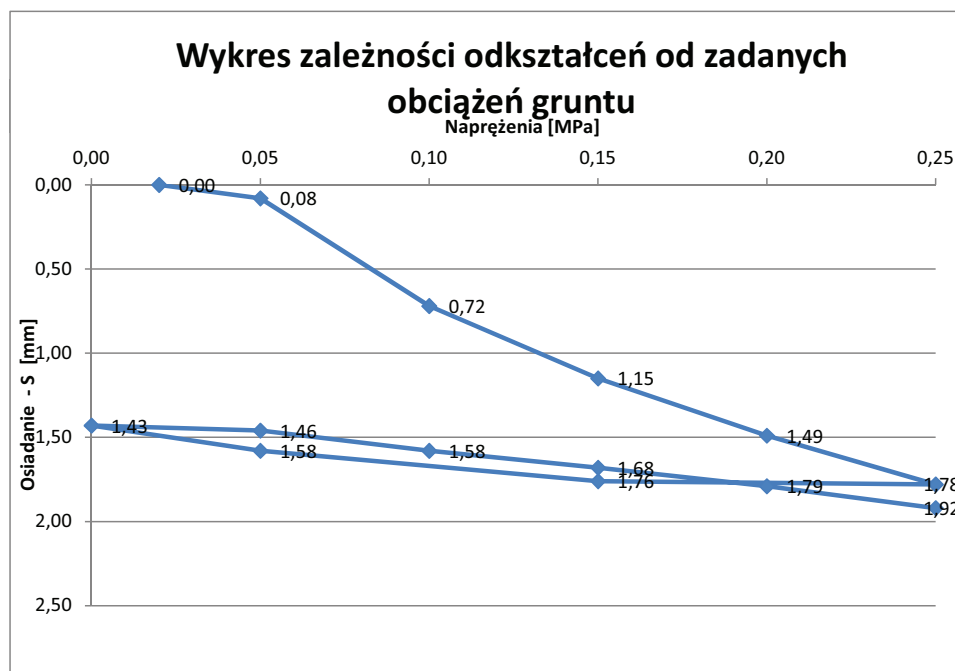
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 21,03 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 102,27 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 4,86**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 53,30 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.5'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXIII - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,13
0,10	0,37
0,15	0,58
0,20	0,80
0,25	0,91
0,15	0,86
0,05	0,72
0,00	0,64
0,05	0,68
0,10	0,76
0,15	0,83
0,20	0,88
0,25	0,92

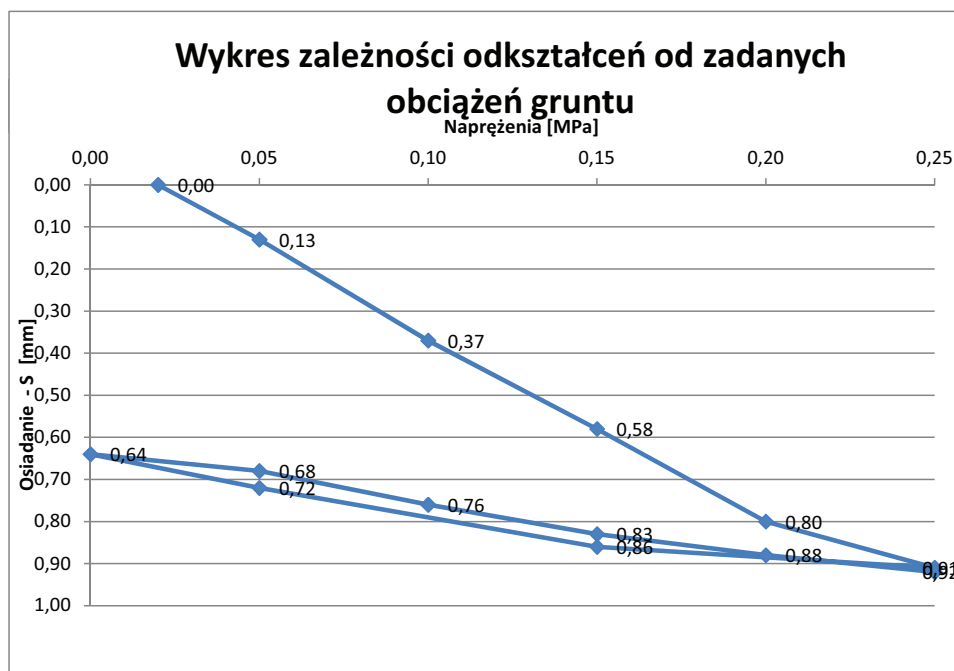
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 50,00 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 150,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,00**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 57,50 [Mpa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.6

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXIV - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,05
0,10	0,38
0,15	0,66
0,20	1,03
0,25	1,23
0,15	1,15
0,05	1,01
0,00	0,90
0,05	0,96
0,10	1,05
0,15	1,12
0,20	1,20
0,25	1,27

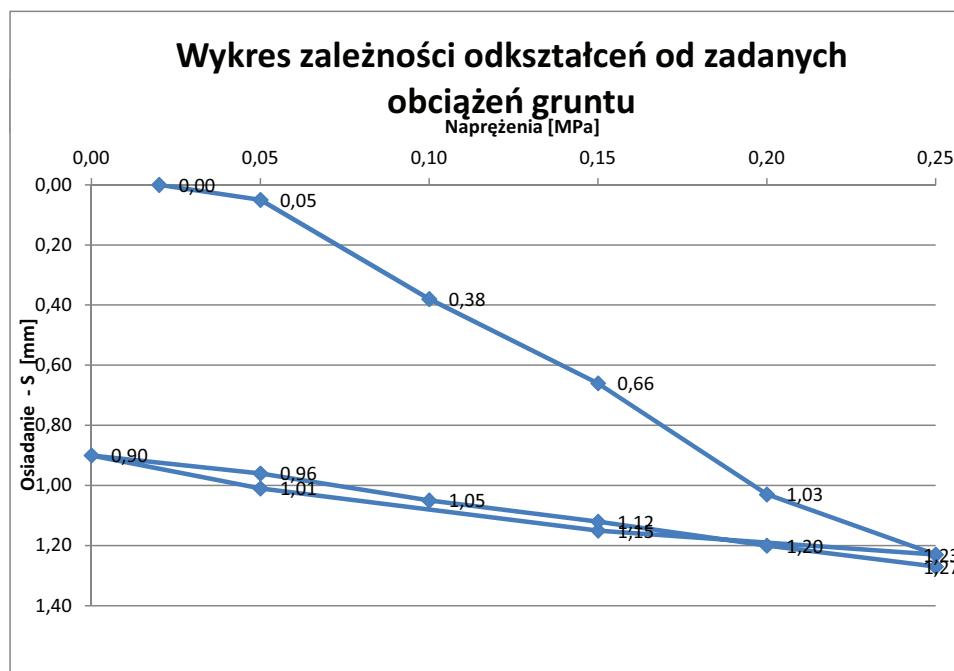
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 36,89 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 140,63 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 3,81**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 54,22 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.6'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXIV - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,14
0,10	0,34
0,15	0,51
0,20	0,69
0,25	0,78
0,15	0,73
0,05	0,61
0,00	0,50
0,05	0,55
0,10	0,64
0,15	0,70
0,20	0,77
0,25	0,83

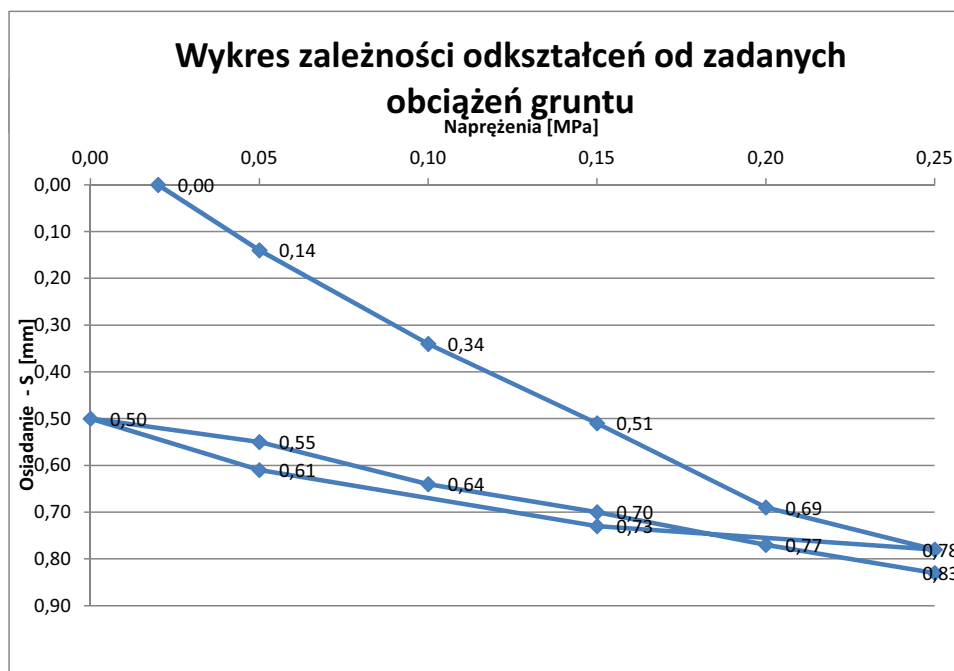
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 60,81 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 150,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I0= 2,47**

**Sredni moduł dynamiczny
Evd = 62,67 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.7

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXV - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,04
0,10	0,24
0,15	0,39
0,20	0,54
0,25	0,65
0,15	0,65
0,05	0,51
0,00	0,42
0,05	0,45
0,10	0,52
0,15	0,57
0,20	0,62
0,25	0,68

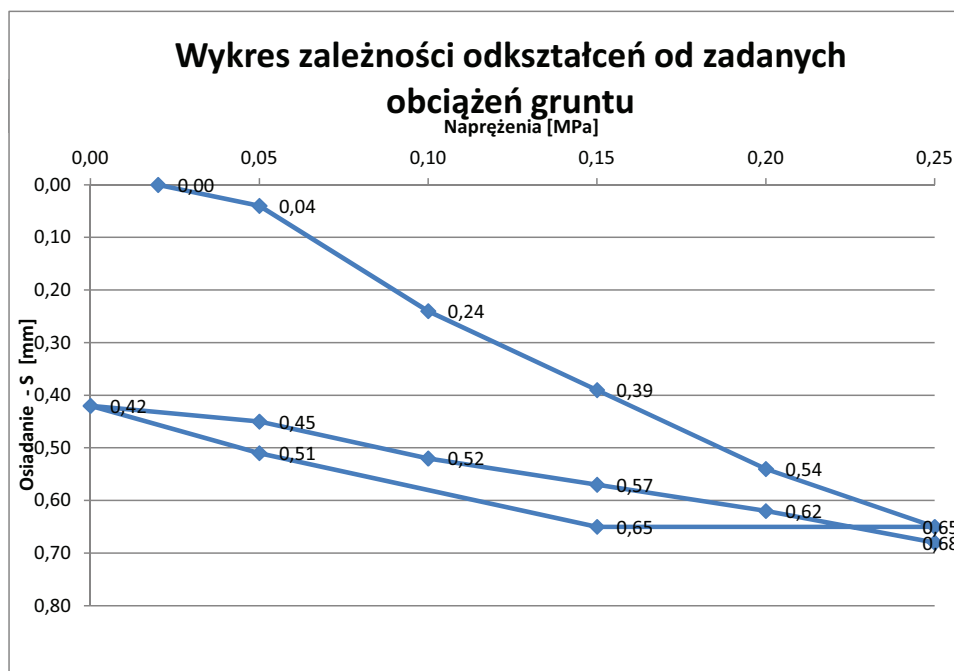
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 64,29 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,92**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 58,94 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.7'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXV - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,07
0,10	0,21
0,15	0,32
0,20	0,42
0,25	0,51
0,15	0,51
0,05	0,35
0,00	0,26
0,05	0,31
0,10	0,39
0,15	0,44
0,20	0,49
0,25	0,53

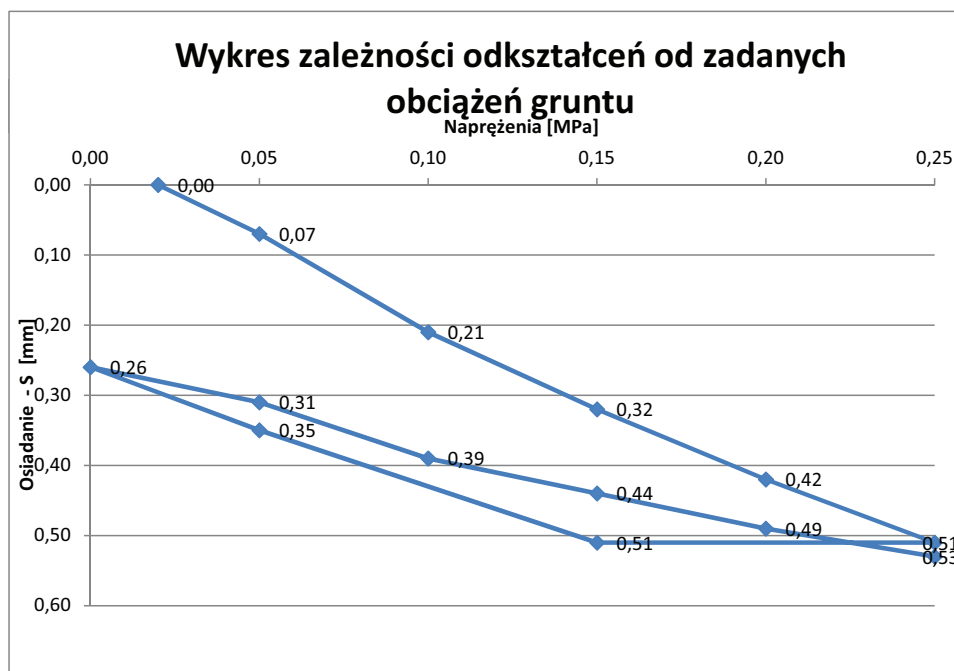
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 90,00 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 173,08 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 1,92**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 53,37 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.8

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVI - badanie pierwotne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,13
0,10	0,42
0,15	0,74
0,20	0,97
0,25	1,13
0,15	1,13
0,05	0,96
0,00	0,79
0,05	0,85
0,10	0,94
0,15	1,02
0,20	1,07
0,25	1,11

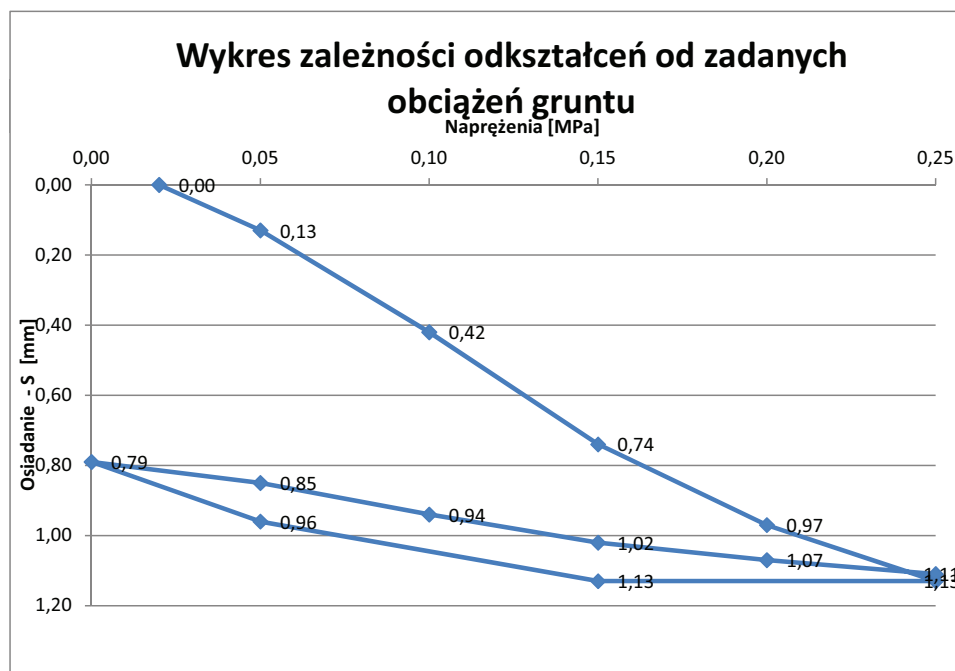
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 36,89 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 132,35 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,59**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 34,88 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 5.8'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVI - badanie wtórne	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	lis-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,03
0,10	0,10
0,15	0,24
0,20	0,36
0,25	0,47
0,15	0,47
0,05	0,35
0,00	0,26
0,05	0,28
0,10	0,36
0,15	0,41
0,20	0,45
0,25	0,49

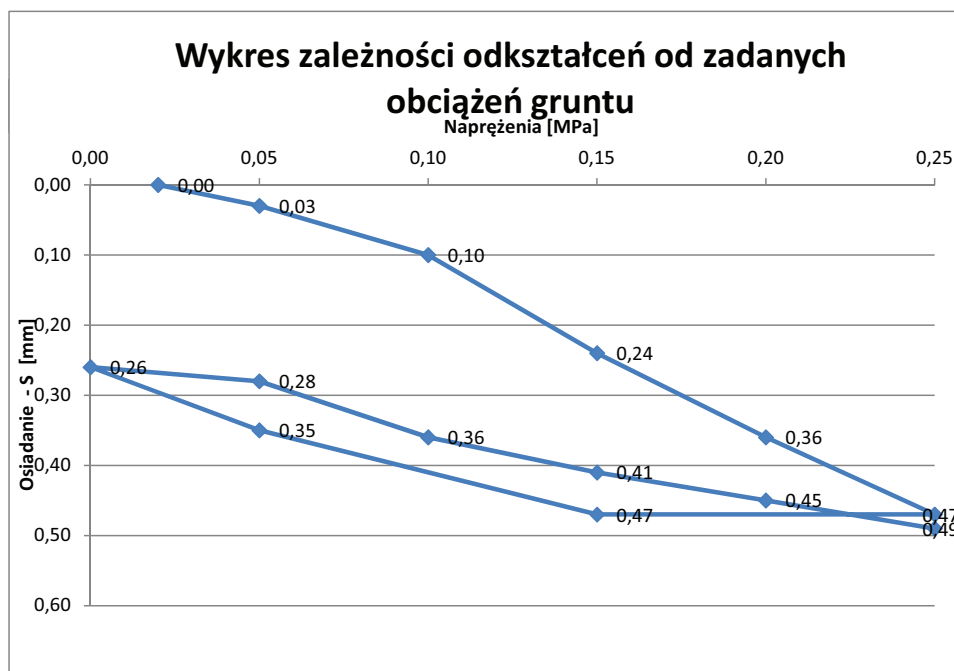
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 107,14 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 173,08 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 1,62**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 50,00 [MPa]**



Załącznik nr 6

Wyniki badań testów VSS na poletku doświadczalnym etap III

**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.1

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 1

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,09
0,10	0,36
0,15	0,69
0,20	1,04
0,25	1,20
0,15	1,16
0,05	0,98
0,00	0,85
0,05	0,90
0,10	1,02
0,15	1,11
0,20	1,18
0,25	1,22

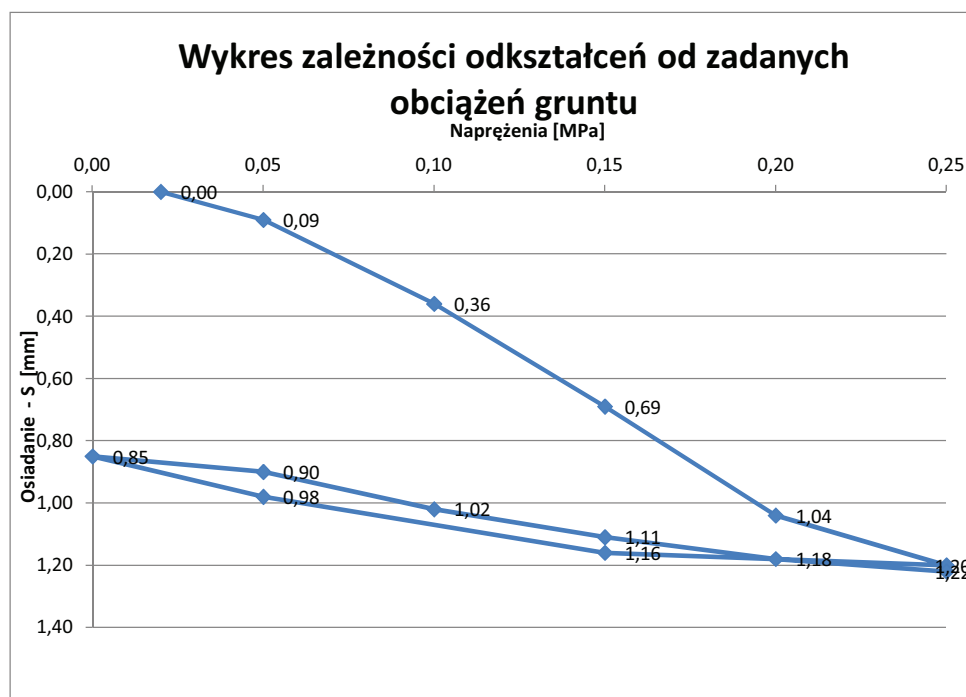
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 37,50 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 107,14 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 2,86**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 38,95 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.1'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wstecz (-0,30 m)	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 1'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,07
0,10	0,23
0,15	0,37
0,20	0,49
0,25	0,61
0,15	0,59
0,05	0,40
0,00	0,32
0,05	0,37
0,10	0,45
0,15	0,52
0,20	0,59
0,25	0,66

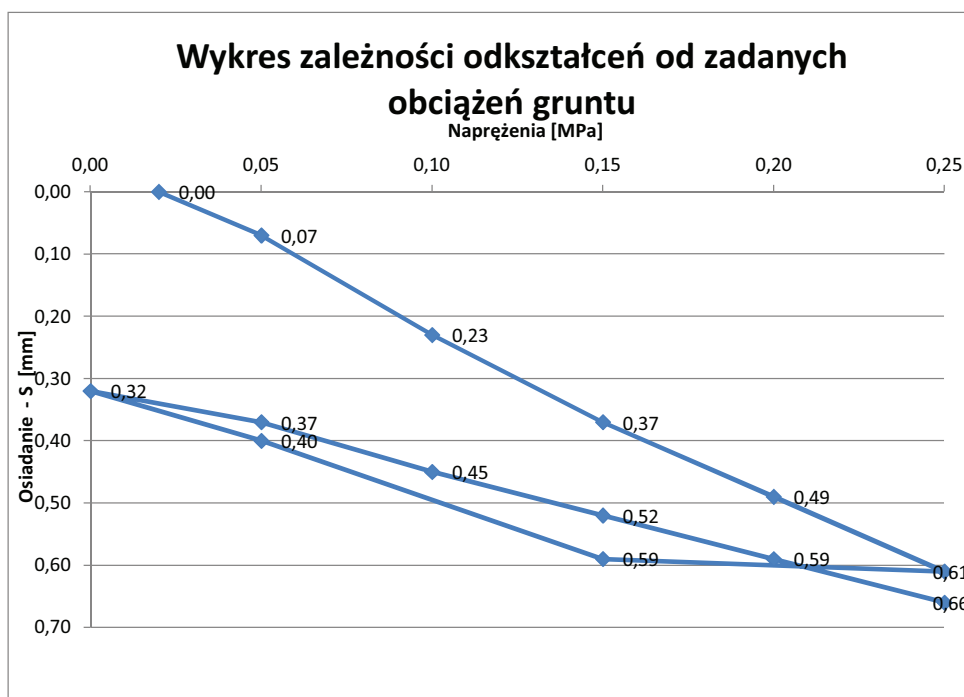
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 75,00 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 150,00 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,00

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 92,98 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.1"

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wstecz (-0,60 m)	Punkt pomiarowy nr:	1"
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 1"

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,00
0,10	0,10
0,15	0,21
0,20	0,36
0,25	0,49
0,15	0,47
0,05	0,36
0,00	0,27
0,05	0,29
0,10	0,35
0,15	0,41
0,20	0,48
0,25	0,52

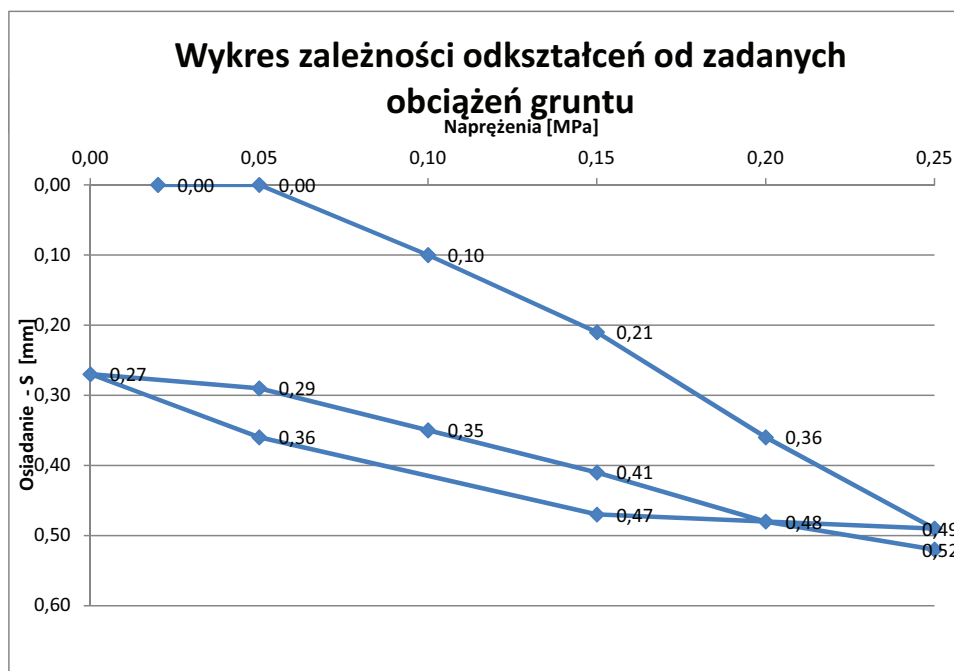
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 107,14 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 1,75**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 85,30 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.2

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII	Punkt pomiarowy nr:	2
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 2

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,06
0,10	0,41
0,15	0,69
0,20	1,10
0,25	1,31
0,15	1,31
0,05	1,19
0,00	1,08
0,05	1,09
0,10	1,17
0,15	1,23
0,20	1,31
0,25	1,36

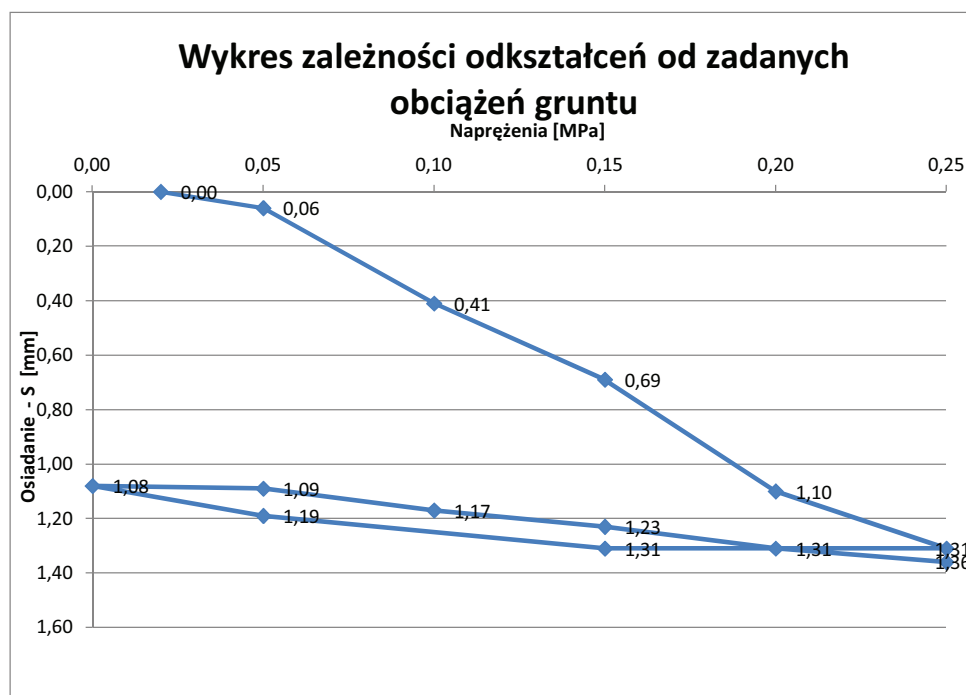
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 35,71 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 160,71 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I0= 4,50

Sredni moduł dynamiczny
Evd = 65,53 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.2'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wsteczne (-0,30)	Punkt pomiarowy nr:	2'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 2'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,06
0,10	0,21
0,15	0,32
0,20	0,43
0,25	0,50
0,15	0,50
0,05	0,41
0,00	0,32
0,05	0,35
0,10	0,40
0,15	0,45
0,20	0,50
0,25	0,54

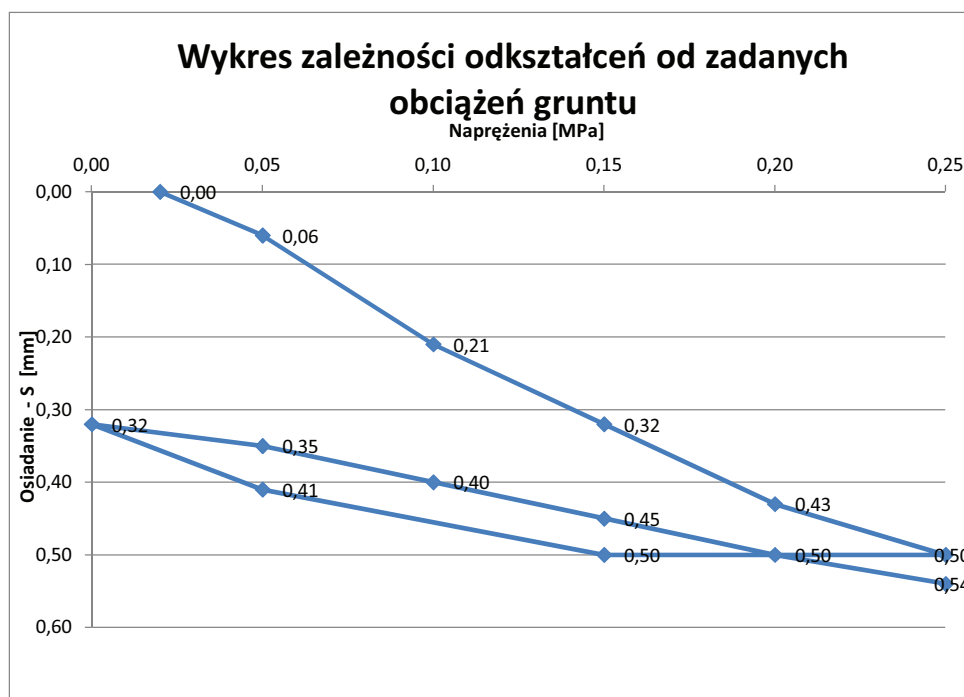
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 86,54 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 225,00 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
Ez/E1
I_o= 2,60

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 57,64 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.2"

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wsteczne (-0,30)	Punkt pomiarowy nr:	2"
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 2"

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,06
0,10	0,17
0,15	0,28
0,20	0,39
0,25	0,50
0,15	0,50
0,05	0,42
0,00	0,32
0,05	0,34
0,10	0,40
0,15	0,45
0,20	0,49
0,25	0,52

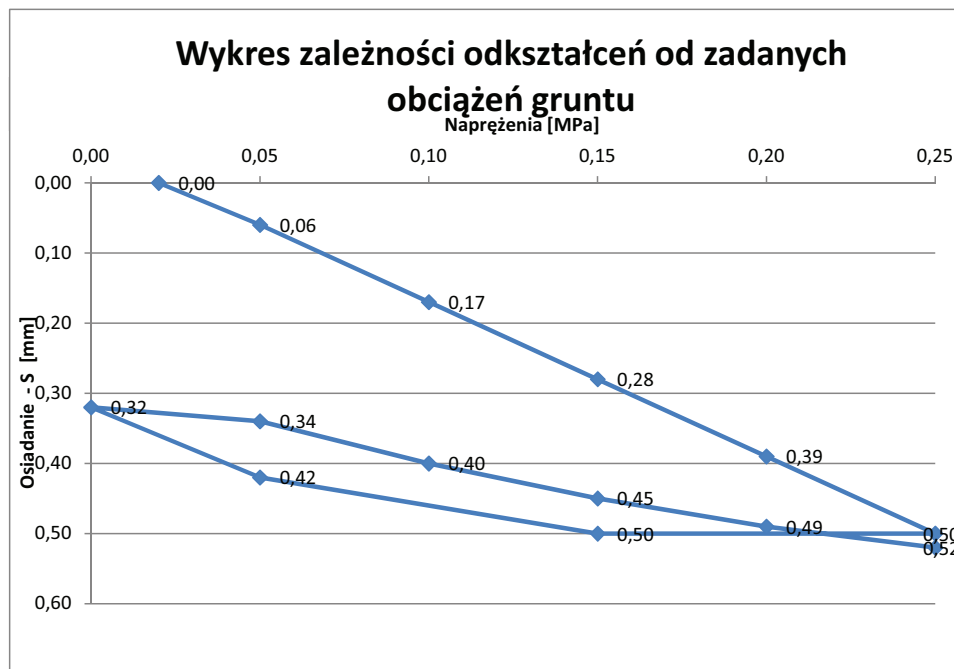
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 102,27 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 204,55 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,00**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 77,85 [MPa]**



Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa

Załącznik nr 6.3

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII	Punkt pomiarowy nr:	3
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 3

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,02
0,10	0,25
0,15	0,45
0,20	0,66
0,25	0,80
0,15	0,78
0,05	0,60
0,00	0,48
0,05	0,53
0,10	0,64
0,15	0,71
0,20	0,80
0,25	0,90

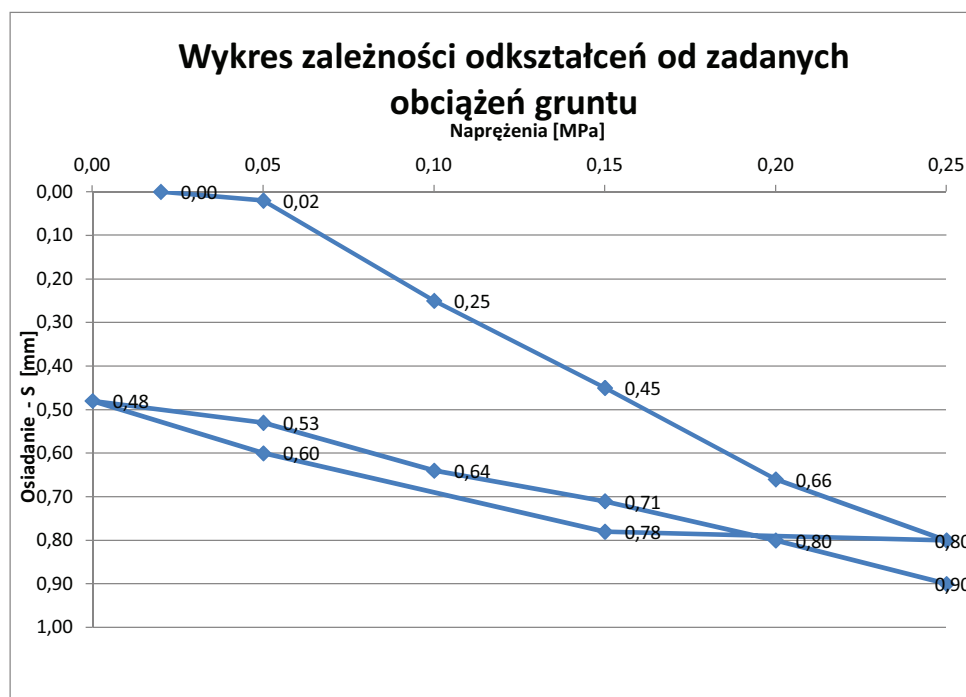
Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa

Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 52,33 [MPa]

Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 125,00 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 2,39

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 47,96 [MPa]



Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa

Załącznik nr 6.3'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wstecz (-0,30 m)	Punkt pomiarowy nr:	3'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 3'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,03
0,10	0,15
0,15	0,25
0,20	0,36
0,25	0,47
0,15	0,47
0,05	0,35
0,00	0,26
0,05	0,30
0,10	0,35
0,15	0,41
0,20	0,46
0,25	0,49

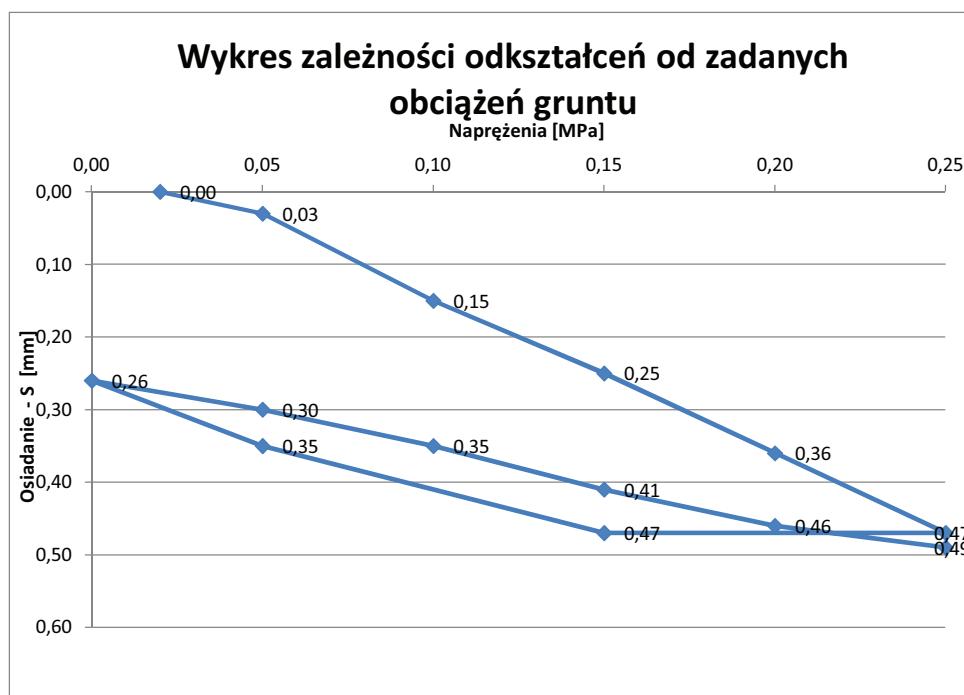
Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa

Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 102,27 [MPa]

Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 204,55 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,00

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 85,53 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.3''

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wstecz (-0,60 m)	Punkt pomiarowy nr:	3''
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 3''

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,05
0,10	0,12
0,15	0,18
0,20	0,24
0,25	0,28
0,15	0,25
0,05	0,21
0,00	0,17
0,05	0,17
0,10	0,20
0,15	0,24
0,20	0,27
0,25	0,30

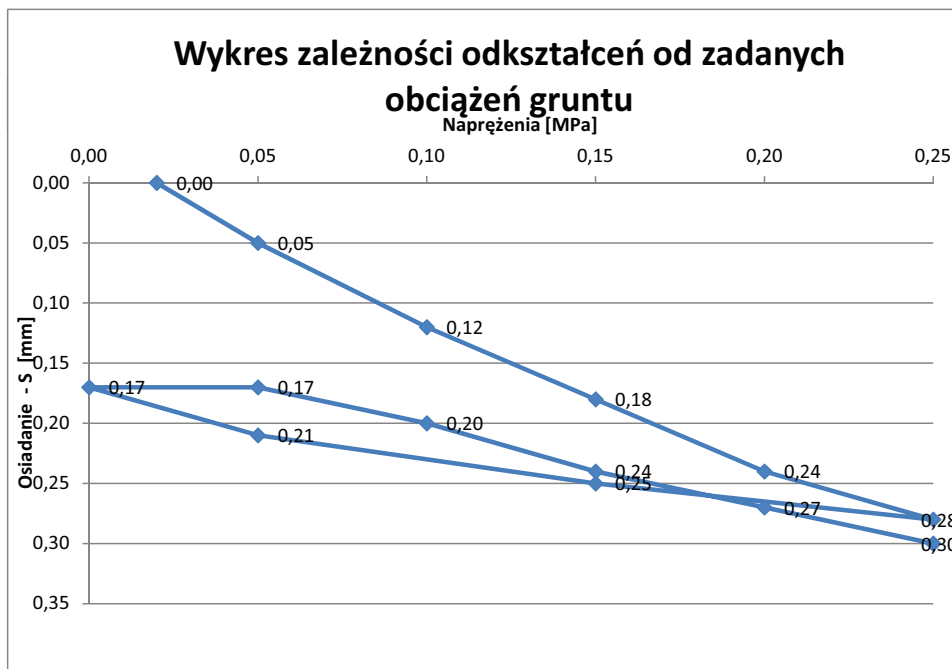
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 173,08 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 321,43 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 1,86**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 104,00 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.4

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII	Punkt pomiarowy nr:	4
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 4

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,20
0,10	0,53
0,15	0,77
0,20	1,07
0,25	1,32
0,15	1,26
0,05	1,11
0,00	1,01
0,05	1,05
0,10	1,15
0,15	1,22
0,20	1,30
0,25	1,38

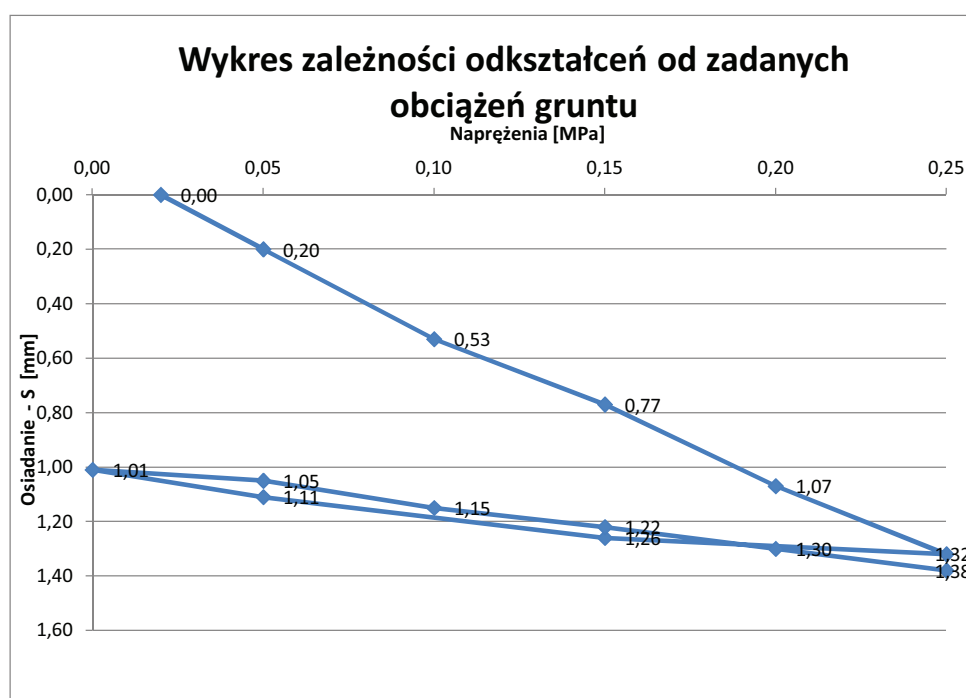
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 39,47 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 132,35 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 3,35

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 47,05 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.4'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wstecz (-0,30 m)	Punkt pomiarowy nr:	4'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 4'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,21
0,10	0,35
0,15	0,53
0,20	0,69
0,25	0,82
0,15	0,81
0,05	0,65
0,00	0,53
0,05	0,59
0,10	0,65
0,15	0,72
0,20	0,80
0,25	0,88

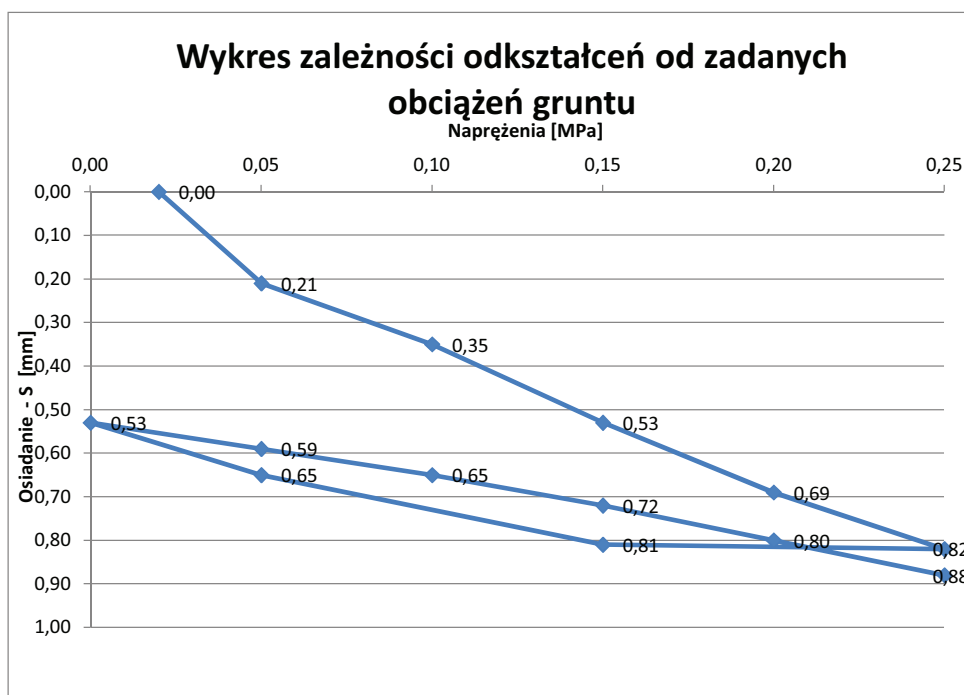
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 70,31 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 173,08 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 2,46

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 53,96 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.4''

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wstecz (-0,60 m)	Punkt pomiarowy nr:	4''
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 4'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,10
0,10	0,22
0,15	0,33
0,20	0,44
0,25	0,51
0,15	0,48
0,05	0,37
0,00	0,30
0,05	0,33
0,10	0,38
0,15	0,44
0,20	0,49
0,25	0,52

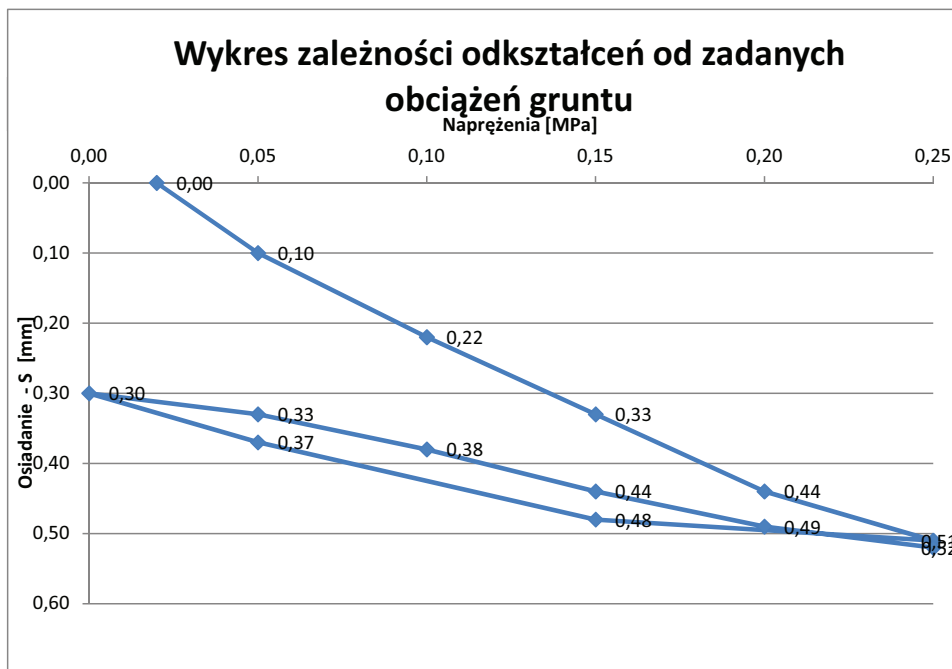
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= **97,83** [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= **204,55** [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= **2,09**

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = **69,30** [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.5

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII	Punkt pomiarowy nr:	5
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 5

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,08
0,10	0,39
0,15	0,55
0,20	0,70
0,25	0,82
0,15	0,81
0,05	0,65
0,00	0,45
0,05	0,52
0,10	0,59
0,15	0,72
0,20	0,86
0,25	0,91

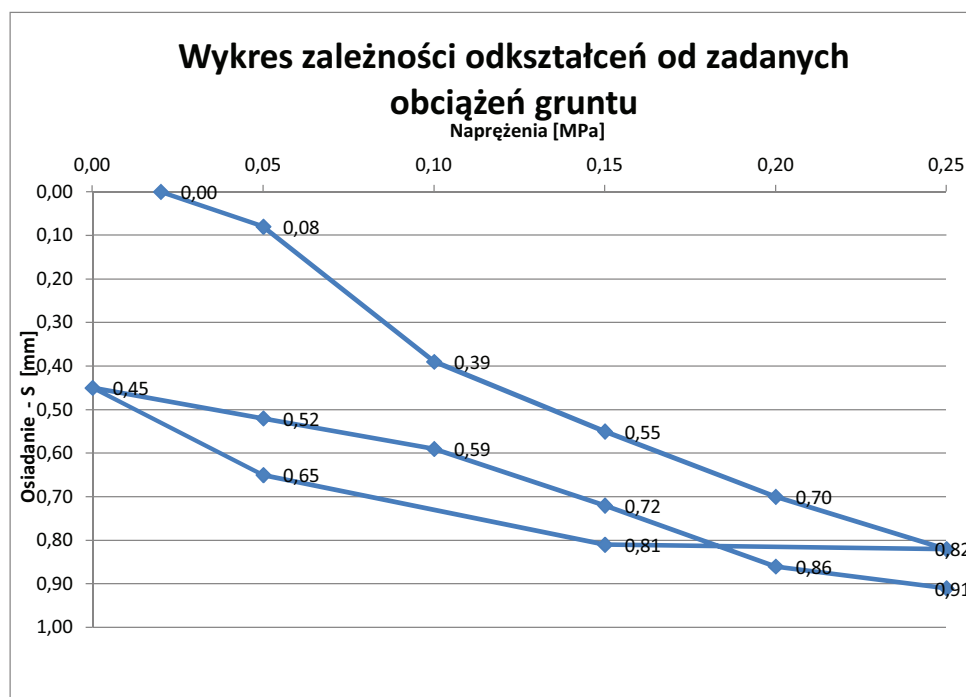
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 47,87 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 112,50 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E2/E1
I_o= 2,35

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 41,23 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.5'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wstecz (-0,30 m)	Punkt pomiarowy nr:	5'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 5'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,05
0,10	0,15
0,15	0,28
0,20	0,47
0,25	0,60
0,15	0,55
0,05	0,42
0,00	0,32
0,05	0,39
0,10	0,46
0,15	0,53
0,20	0,59
0,25	0,63

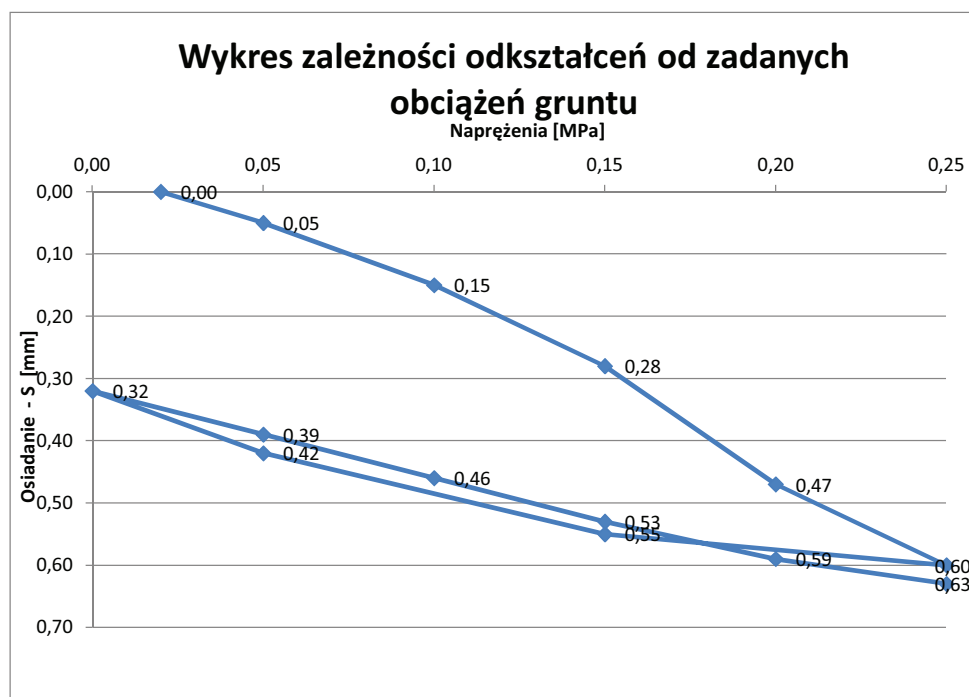
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 97,83 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 160,71 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 1,64

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 77,85 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.5''

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVII - wstecz (-0,60 m)	Punkt pomiarowy nr:	5''
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 5''

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,02
0,10	0,07
0,15	0,11
0,20	0,15
0,25	0,18
0,15	0,18
0,05	0,12
0,00	0,09
0,05	0,10
0,10	0,13
0,15	0,16
0,20	0,18
0,25	0,20

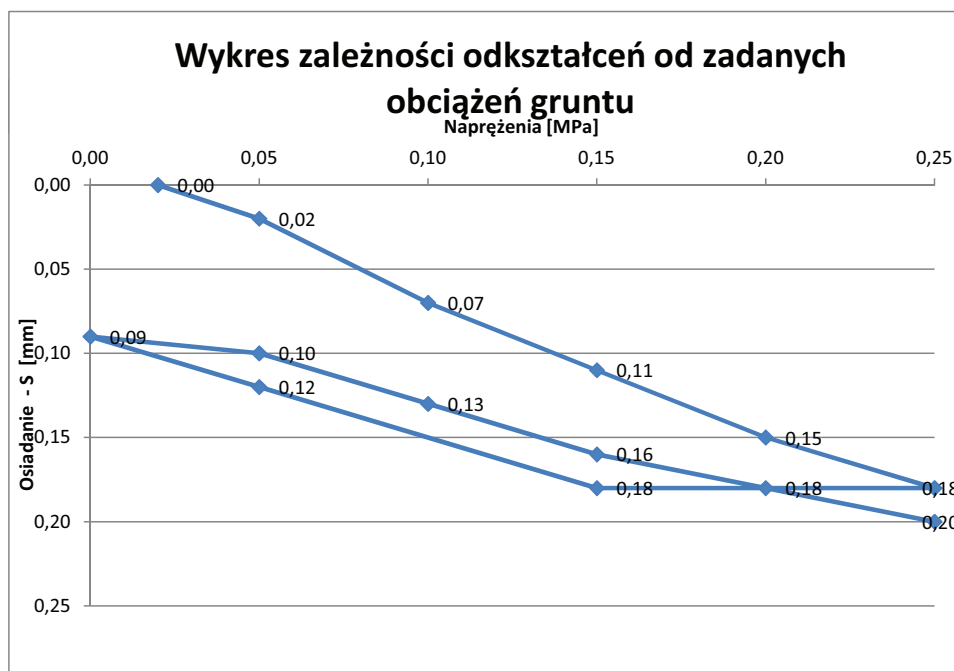
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 250,00 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 375,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 1,50**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 98,63 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.6

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII	Punkt pomiarowy nr:	1
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 1

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,13
0,10	0,71
0,15	1,09
0,20	1,39
0,25	1,72
0,15	1,69
0,05	1,56
0,00	1,42
0,05	1,45
0,10	1,55
0,15	1,62
0,20	1,72
0,25	1,78

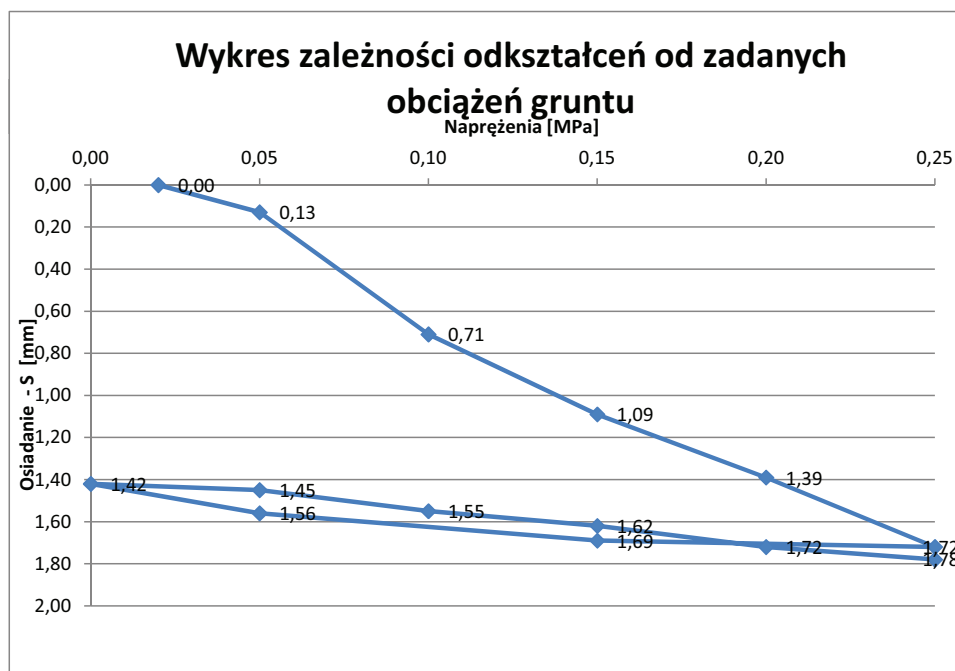
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 23,44 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 132,35 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 5,65**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 48,74 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.6'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII - wstecz (-0,30 m)	Punkt pomiarowy nr:	1'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 1'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,11
0,10	0,30
0,15	0,51
0,20	0,75
0,25	0,87
0,15	0,86
0,05	0,71
0,00	0,62
0,05	0,66
0,10	0,73
0,15	0,80
0,20	0,87
0,25	0,92

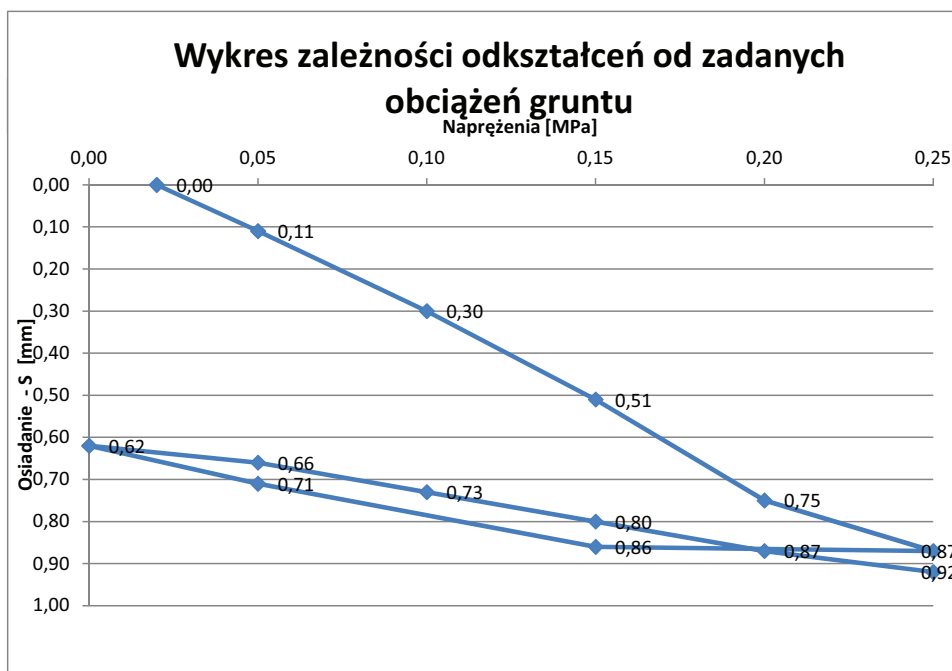
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 56,25 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 160,71 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,86**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 56,69 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.7

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII	Punkt pomiarowy nr:	2
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 2

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,03
0,10	0,28
0,15	0,49
0,20	0,67
0,25	0,77
0,15	0,75
0,05	0,68
0,00	0,55
0,05	0,55
0,10	0,60
0,15	0,68
0,20	0,75
0,25	0,82

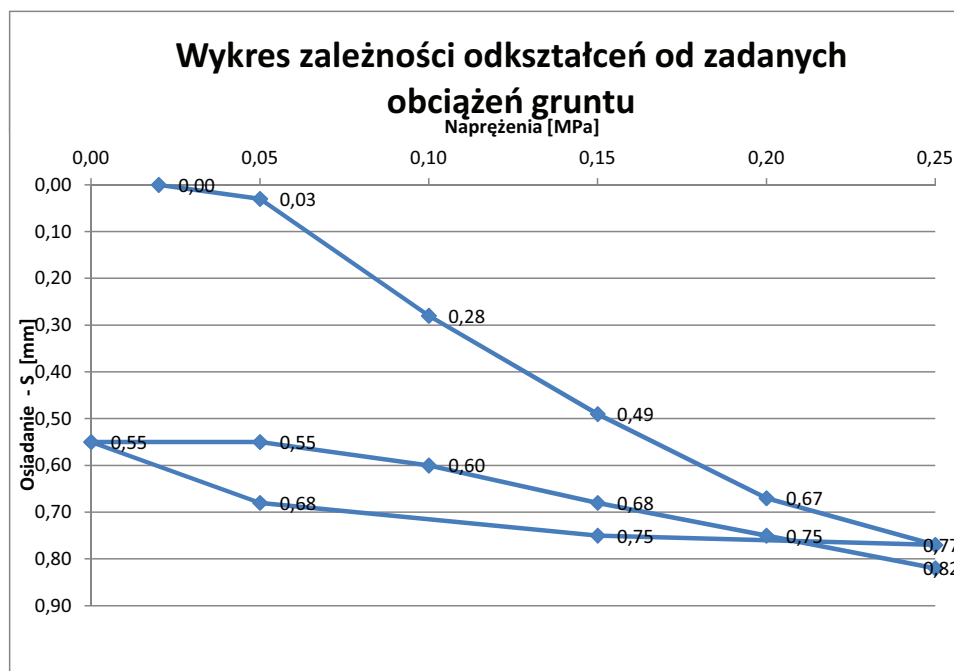
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 48,91 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 173,08 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,54**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 72,30 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.7'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII - wstecz (-0,30 m)	Punkt pomiarowy nr:	2'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 2'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,10
0,10	0,24
0,15	0,39
0,20	0,55
0,25	0,67
0,15	0,62
0,05	0,55
0,00	0,50
0,05	0,50
0,10	0,55
0,15	0,62
0,20	0,67
0,25	0,71

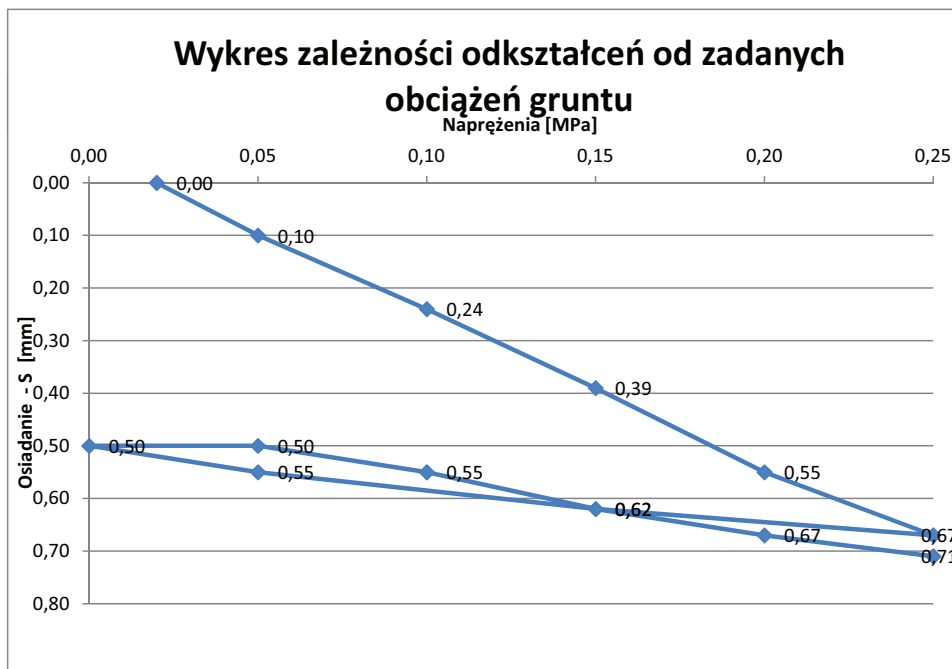
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 77,59 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 187,50 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,42

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 79,05 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.8

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII	Punkt pomiarowy nr:	3
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 3

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,06
0,10	0,26
0,15	0,44
0,20	0,63
0,25	0,76
0,15	0,71
0,05	0,54
0,00	0,46
0,05	0,50
0,10	0,60
0,15	0,66
0,20	0,74
0,25	0,82

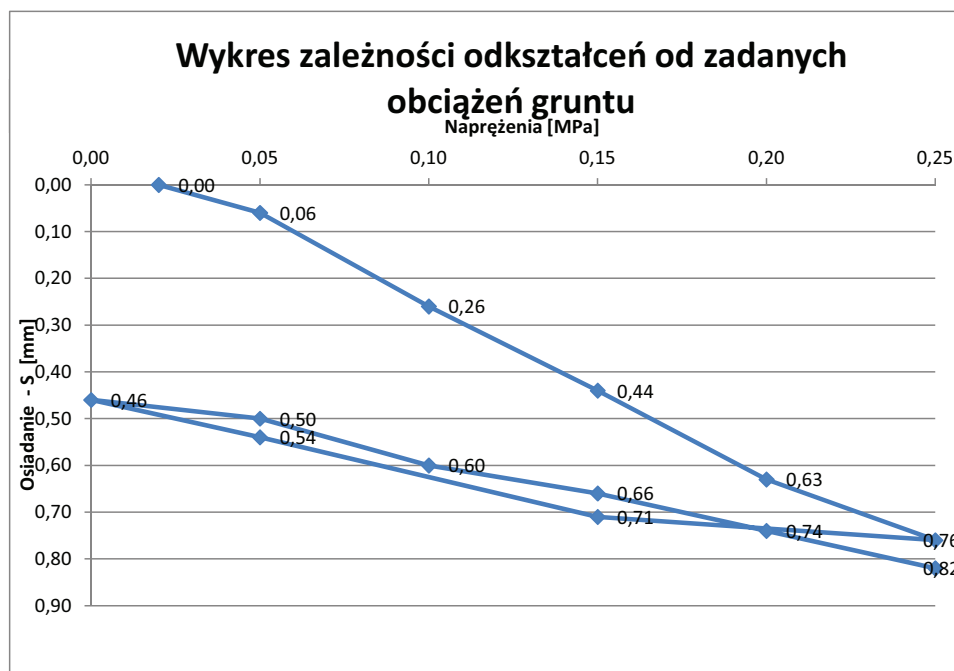
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia**
E1= 59,21 [MPa]

**Wtórny moduł
odkształcenia**
E2= 140,63 [MPa]

Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,38

Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 53,39 [MPa]



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.8'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII - wstecz (-0,30 m)	Punkt pomiarowy nr:	3'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 3'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,15
0,10	0,28
0,15	0,42
0,20	0,55
0,25	0,70
0,15	0,69
0,05	0,55
0,00	0,50
0,05	0,50
0,10	0,56
0,15	0,62
0,20	0,70
0,25	0,75

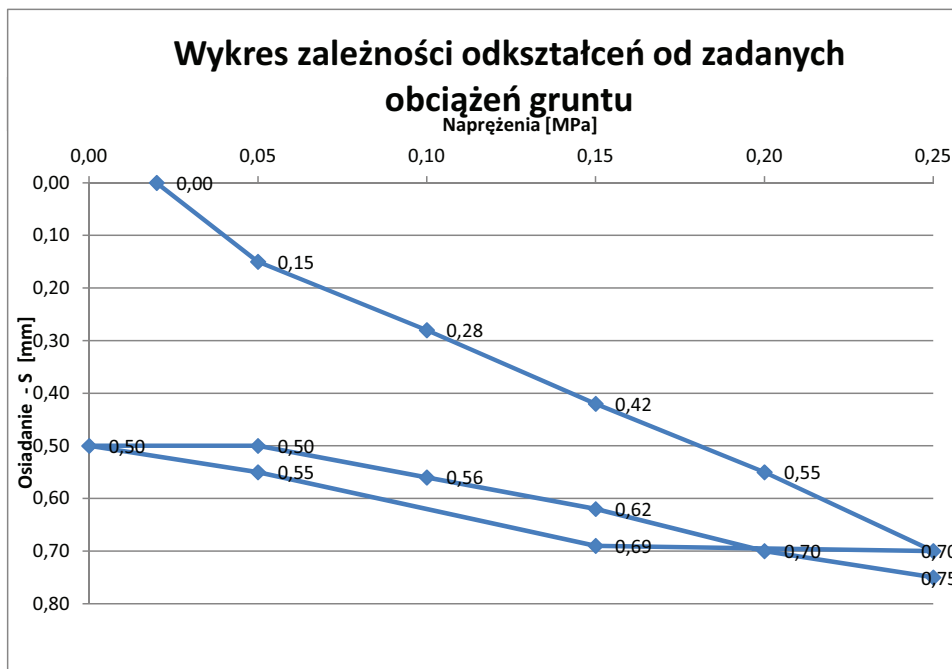
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 83,33 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 187,50 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,25**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 58,52 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.9

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII	Punkt pomiarowy nr:	4
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 4

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,20
0,10	0,53
0,15	0,77
0,20	1,07
0,25	1,32
0,15	1,26
0,05	1,11
0,00	1,01
0,05	1,05
0,10	1,15
0,15	1,22
0,20	1,30
0,25	1,35

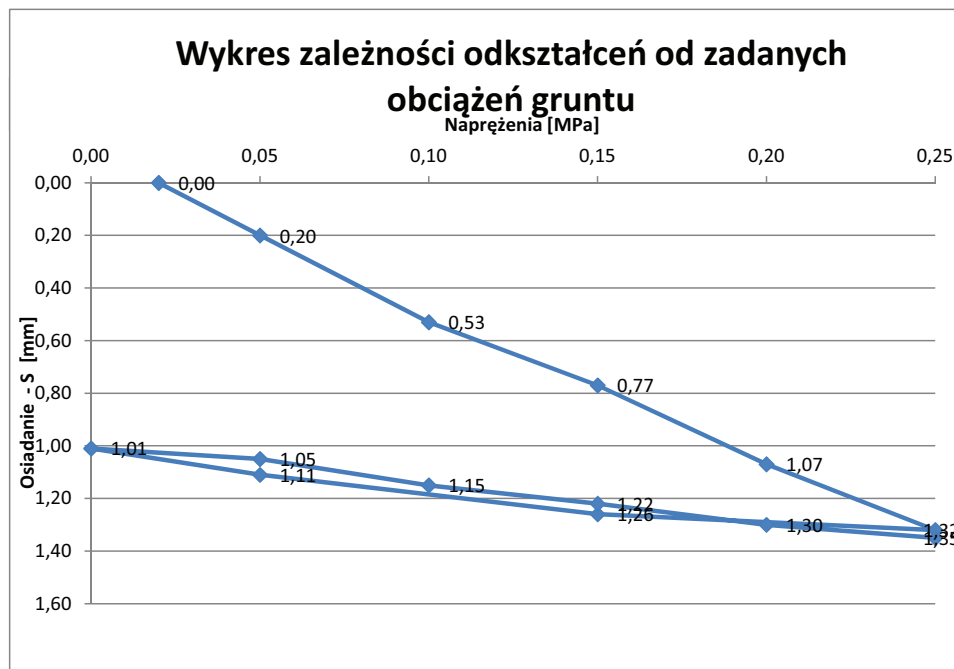
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 39,47 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 132,35 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,35**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 47,05 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.9'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII - wstecz (-0,30 m)	Punkt pomiarowy nr:	4'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 4'

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,04
0,10	0,22
0,15	0,38
0,20	0,52
0,25	0,66
0,15	0,63
0,05	0,47
0,00	0,36
0,05	0,43
0,10	0,50
0,15	0,58
0,20	0,66
0,25	0,72

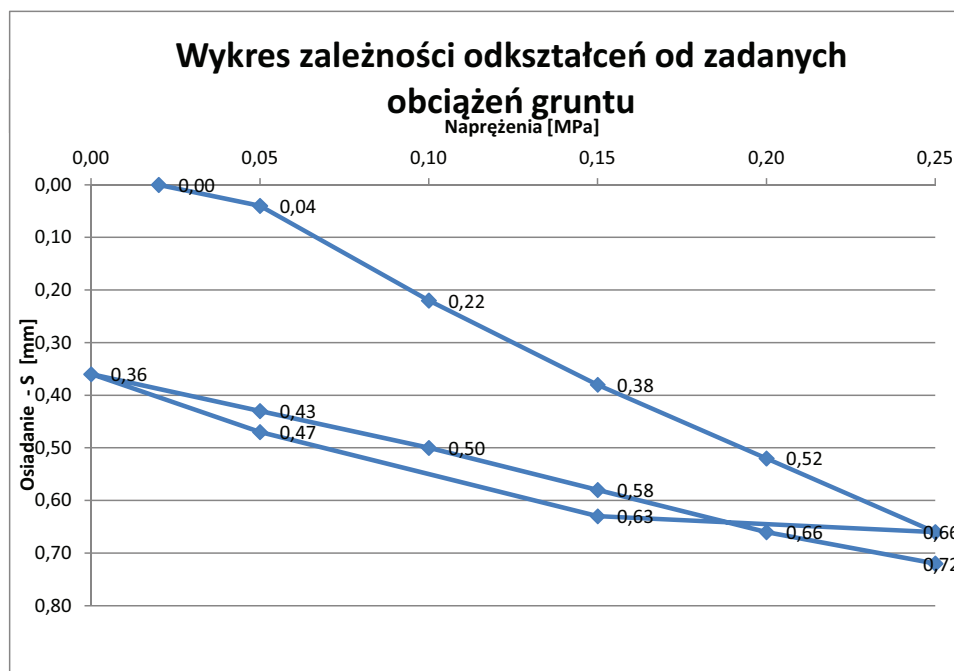
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 66,18 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 150,00 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,27**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 58,21 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.10

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII	Punkt pomiarowy nr:	5
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 5

Naprężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,13
0,10	0,43
0,15	0,70
0,20	0,96
0,25	1,11
0,15	1,06
0,05	0,92
0,00	0,81
0,05	0,87
0,10	0,96
0,15	1,03
0,20	1,12
0,25	1,18

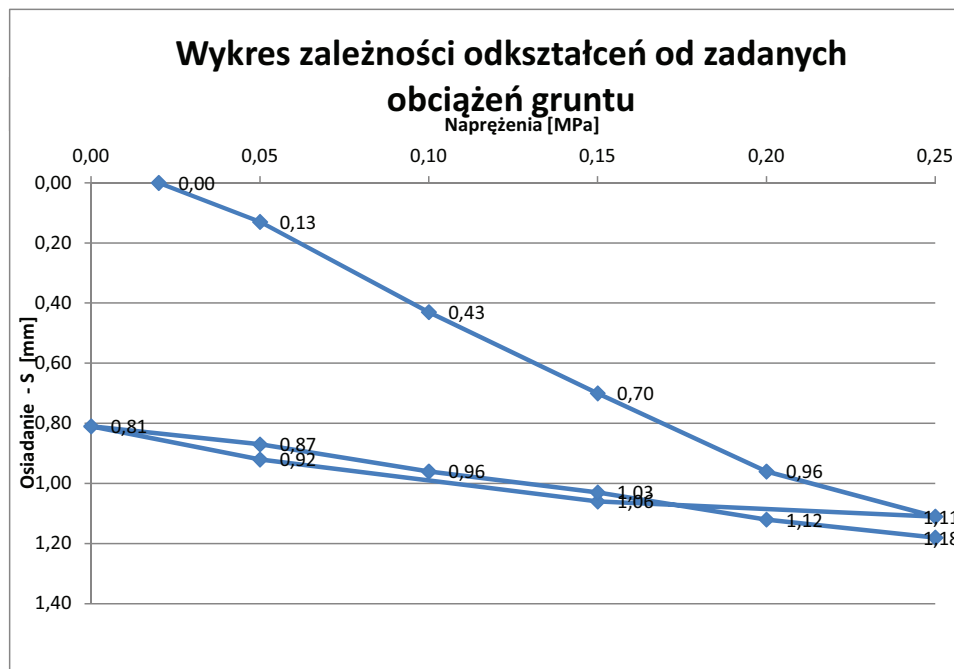
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 39,47 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 140,63 [MPa]**

**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 3,56**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 49,24 [MPa]**



**Pomiar modułu odkształcenia płytą VSS 1-e
w zakresie obciążeń 0,15-0,25 MPa**

Załącznik nr 6.10'

Lokalizacja :	Barcin warstwa nr XXVIII - wstecz (-0,30 m)	Punkt pomiarowy nr:	5'
Rodzaj gruntu:	kruszywo frakcji 0-31.5 mm	Data pomiaru:	gru-07

punkt pomiarowy nr 5'

Napężenie [MPa]	Odczyt czujnika [mm]
0,02	0,00
0,05	0,03
0,10	0,20
0,15	0,38
0,20	0,54
0,25	0,72
0,15	0,72
0,05	0,55
0,00	0,46
0,05	0,49
0,10	0,55
0,15	0,65
0,20	0,73
0,25	0,78

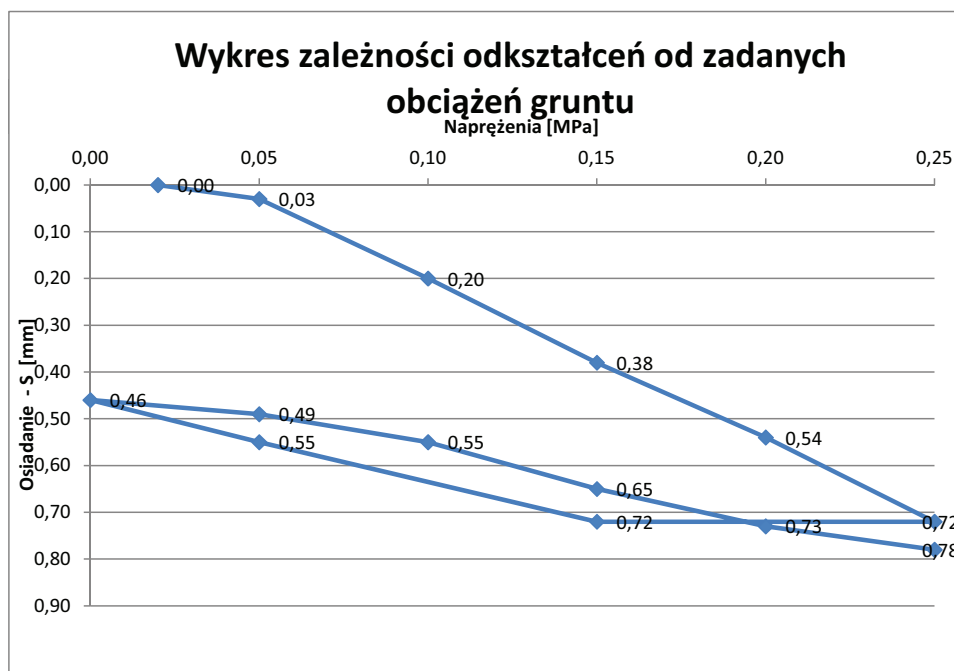
**Wartości modułów odkształceń
obliczono w zakresie naprężeń
od 0,05 do 0,15 MPa**

**Pierwotny moduł
odkształcenia
E1= 64,29 [MPa]**

**Wtórny moduł
odkształcenia
E2= 140,63 [MPa]**

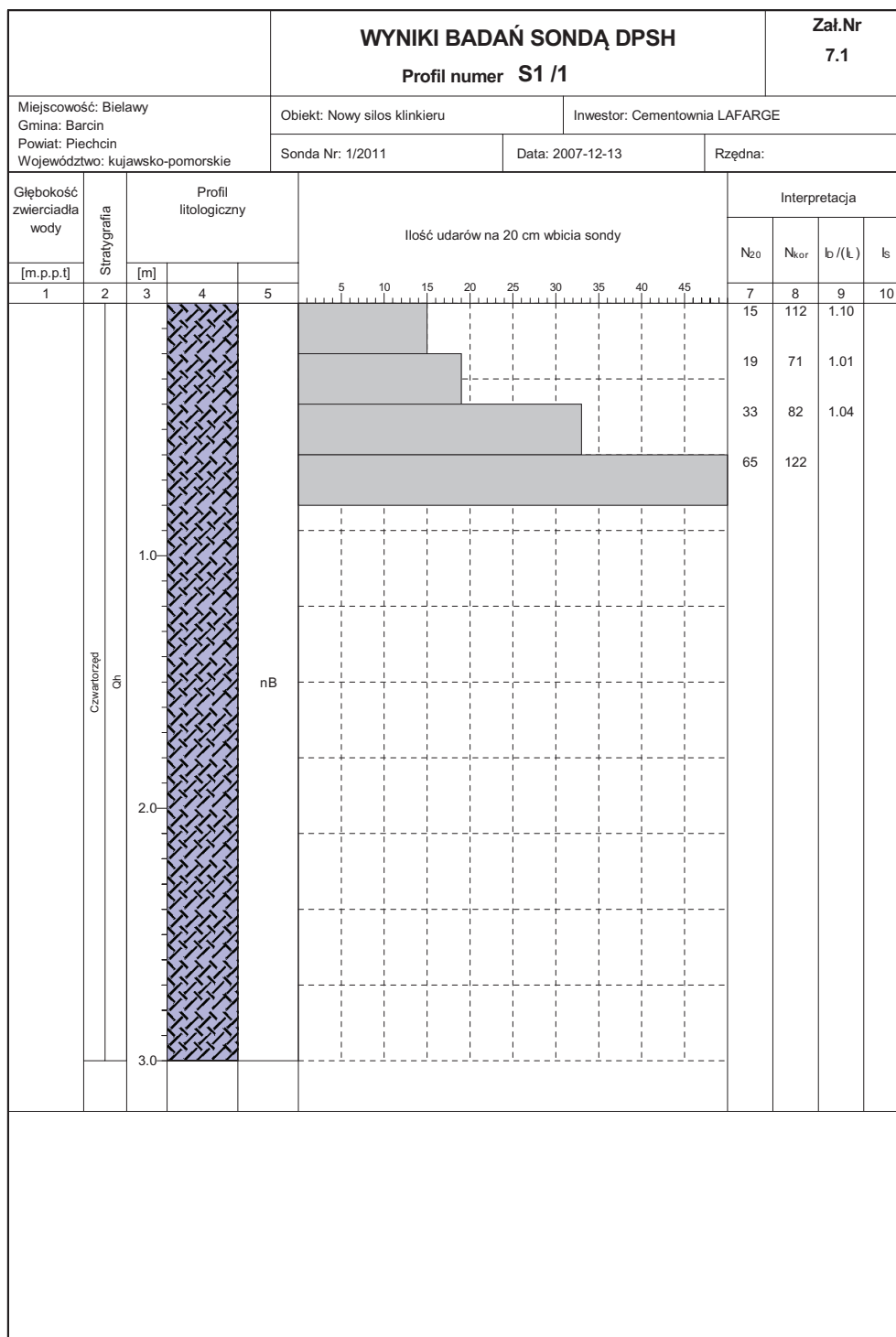
**Wskaźnik odkształcenia
E₂/E₁
I_o= 2,19**

**Sredni moduł dynamiczny
E_{vd} = 53,82 [MPa]**



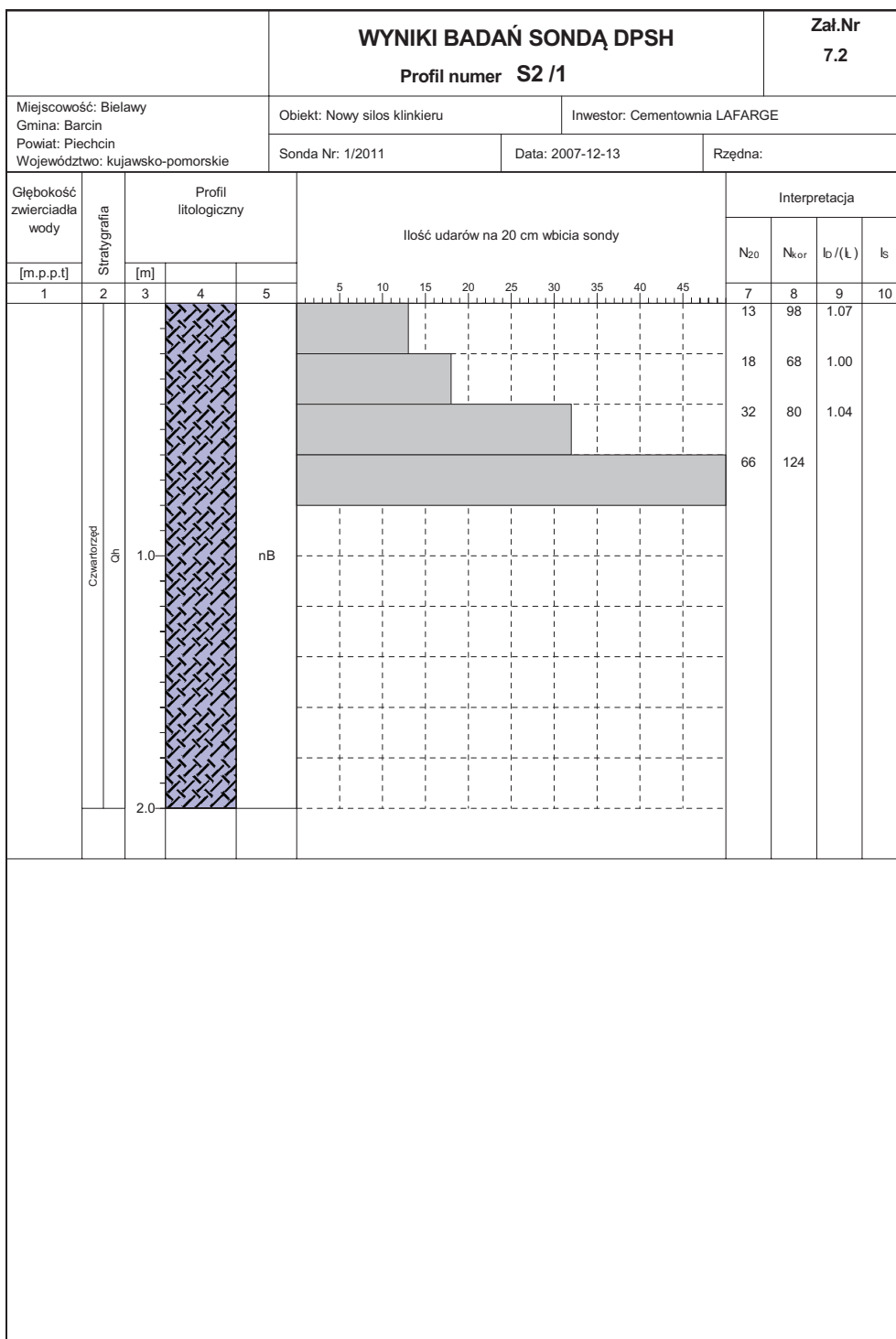
Załącznik nr 7

Wyniki badań sondą ciężką typu DPSH



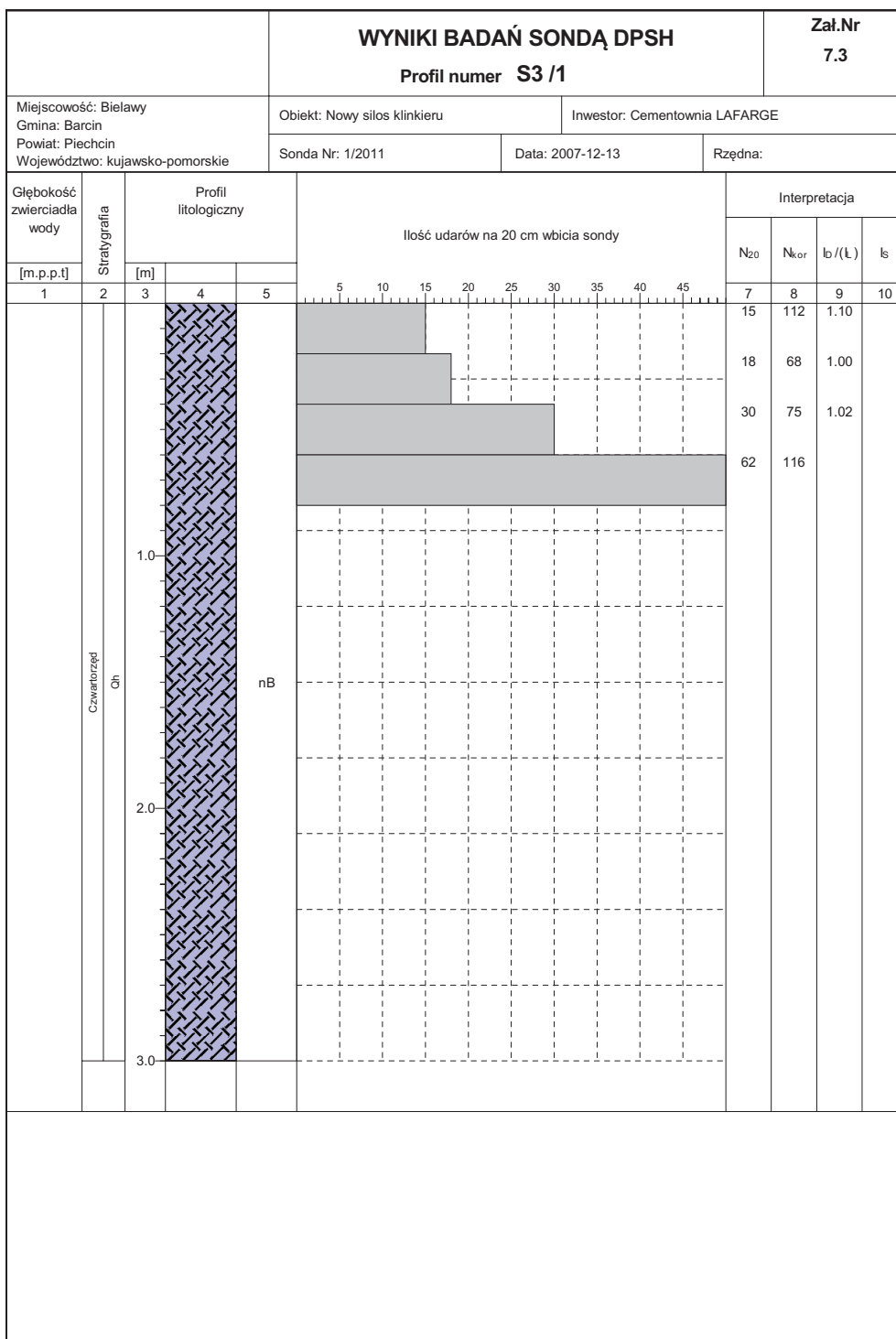
Rysunek wykonano programem "GeoStar"

Kartę opracował: mgr inż. Łukasz Kumor



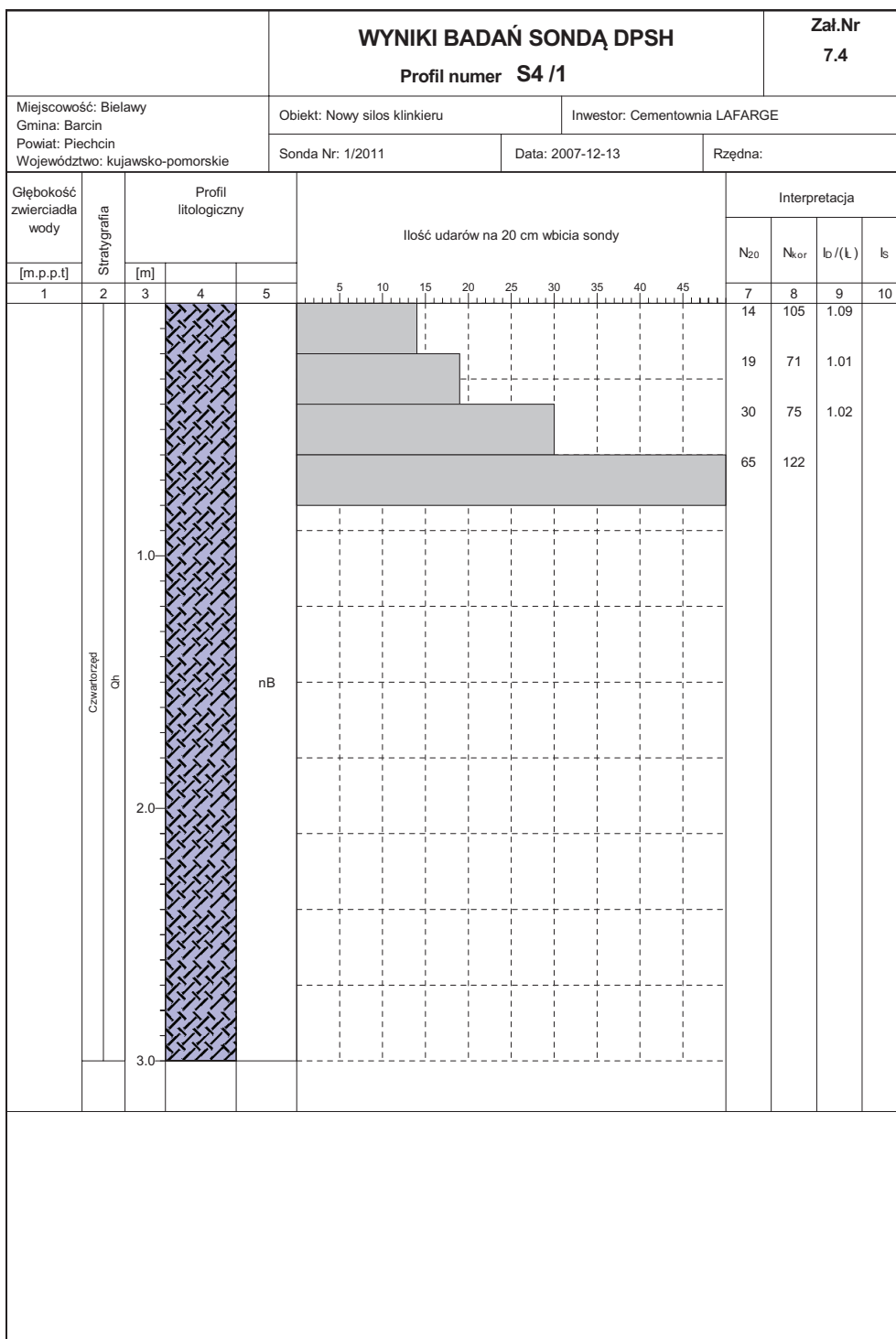
Rysunek wykonano programem "GeoStar"

Kartę opracował: mgr inż. Łukasz Kumor



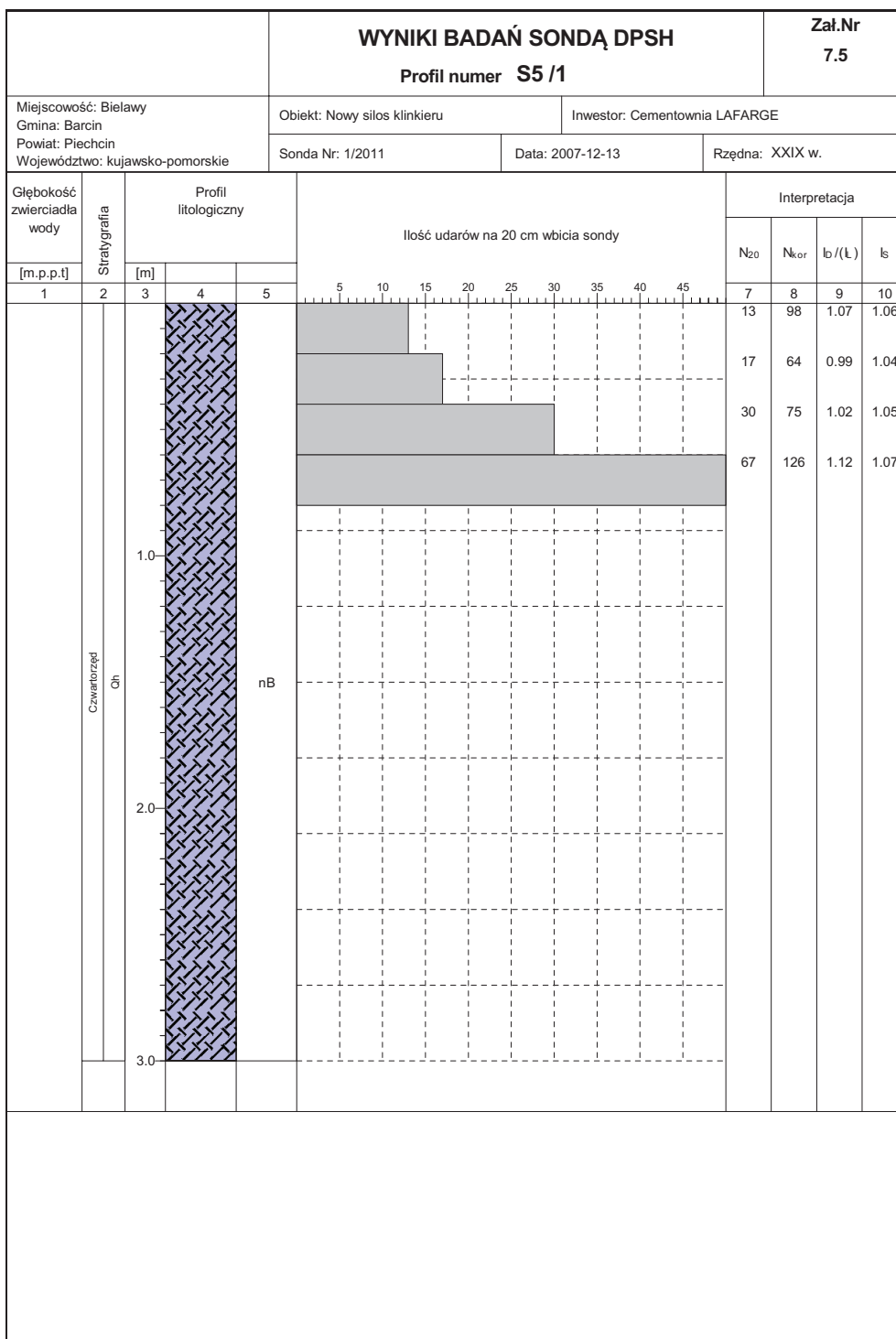
Rysunek wykonano programem "GeoStar"

Kartę opracował: mgr inż. Łukasz Kumor



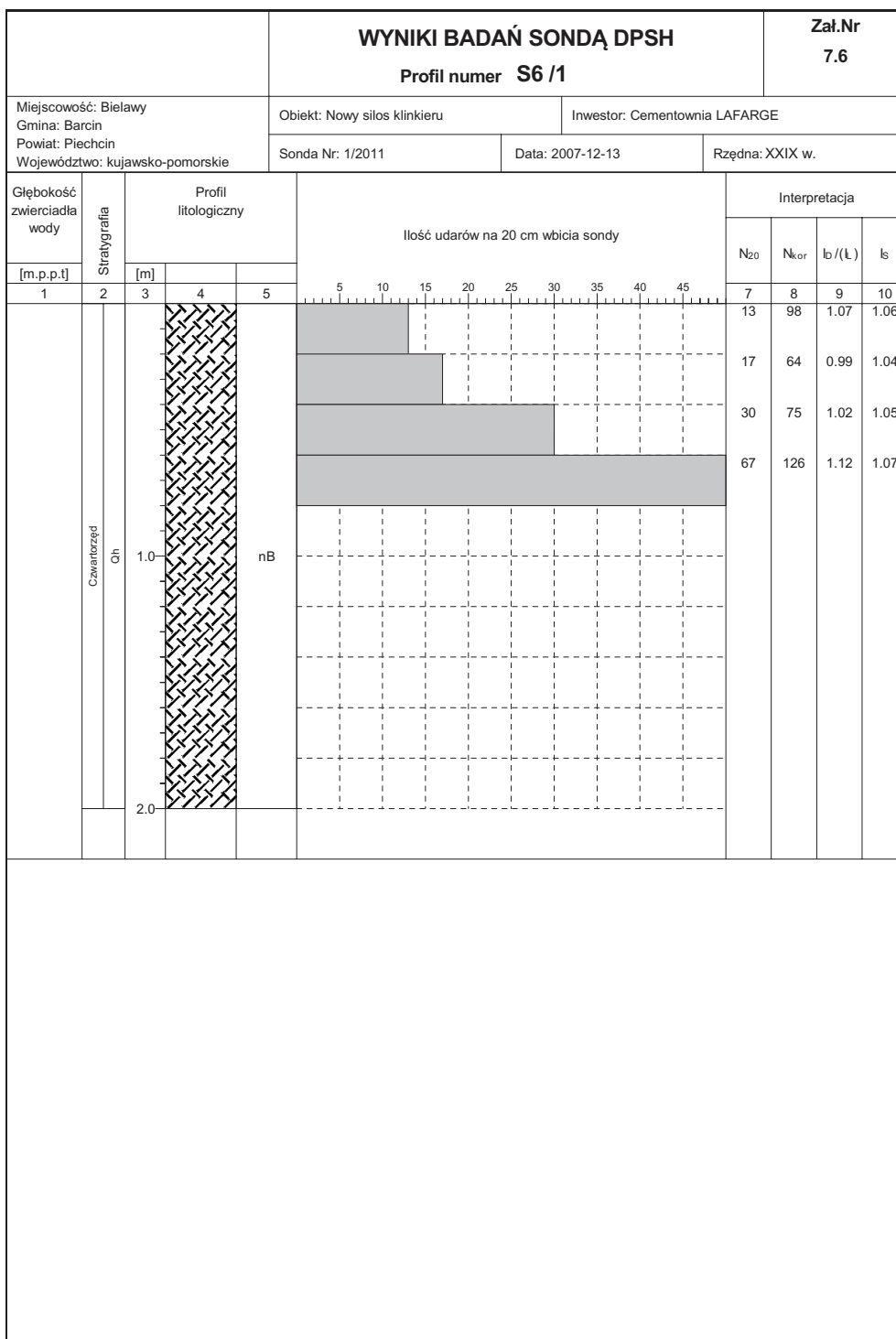
Rysunek wykonano programem "GeoStar"

Kartę opracował: mgr inż. Łukasz Kumor



Rysunek wykonano programem "GeoStar"

Kartę opracował: mgr inż. Łukasz Kumor



Rysunek wykonano programem "GeoStar"

Kartę opracował: mgr inż. Łukasz Kumor