

POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA



WYDZIAŁ

BUDOWNICTWA

I INŻYNIERII ŚRODOWISKA

mgr inż. Marek Nowakowski

Rozprawa doktorska

Eksperymentalna weryfikacja drgań bryły sztywnej
na liniowo-odkształcalnym podłożu gruntowym

PROMOTOR

dr hab. inż. Zbigniew Sienkiewicz - prof. nadzw. Politechniki Koszalińskiej

Koszalin 2001

SPIS TREŚCI

Oznaczenia	4
Cel, teza i zakres pracy	6
1. Metody analizy dynamicznej fundamentów blokowych (przegląd literatury)	9
2. Stanowisko polowe do badania drgań fundamentów blokowych	16
2.1. Eksperymentalny blok fundamentowy	17
2.2. Wzbudnik drgań	19
2.3. Zestaw pomiarowy	23
3. Miejsce, program i metodyka badań	27
3.1. Miejsce badań	27
3.2. Program badań	28
3.3. Przebieg badań	33
3.3.1. Drgania pionowe	33
3.3.2. Drgania złożone przesuwno-obrotowe	34
3.3.3. Propagacja drgań w gruncie	38
3.4. Opracowanie wyników	39
3.4.1 Drgania pionowe	39
3.4.2 Drgania złożone przesuwno-obrotowe	49
3.4.3 Propagacja drgań w gruncie.	56
4. Eksperymentalna weryfikacja liniowych modeli podłoża gruntowego	62
4.1. Ogólne równania ruchu układu maszyna-fundament na liniowo-odkształcalnym podłożu	62
4.2. Drgania pionowe	69
4.2.1. Amplituda i faza drgań ustalonych oraz zagadnienie odwrotne	69
4.2.2. Estymacja parametrów podłoża w zagadnieniu drgań pionowych	72
4.2.2.1. Dyskretny dwuparametrowy model podłoża (K_{VV}^o, C_{VV}^o)	72
4.2.2.2. Dyskretny trójparametrowy model podłoża $(K_{VV}^o, C_{VV}^o, m_1)$	74
4.2.2.3. Półprzestrzeń inercyjna z histerezowym tłumieniem materiałowym	78
4.2.2.4. Model podłoża w ujęciu normowym	93

4.2.3. Porównanie współczynników sztywności i tłumienia oraz charakterystyk amplitudowo-fazowych	95
4.3. Drgania złożone przesuwno-obrotowe	111
4.3.1. Amplitudy i fazy drgań ustalonych oraz zredukowane zagadnienie odwrotne	111
4.3.2. Estymacja parametrów podłoża w zagadnieniu drgań złożonych przesuwno-obrotowych	117
4.3.2.1. Dyskretny sześcioparametrowy model podłoża ($K_{H_1H_1}^o, K_{\Phi_2\Phi_2}^o, K_{H_1\Phi_2}^o, C_{H_1H_1}^o, C_{\Phi_2\Phi_2}^o, C_{H_1\Phi_2}^o$)	117
4.3.2.2. Półprzestrzeń inercyjna z histerezowym tłumieniem materiałowym	118
4.3.2.3. Model podłoża w ujęciu normowym	134
4.3.3. Porównanie współczynników sztywności i tłumienia oraz charakterystyk amplitudowo-fazowych	136
5. Podsumowanie	163
6. Uwagi końcowe	165
Literatura	166
Załącznik 1	
Podstawowe wielkości charakteryzujące badane bloki fundamentowe oraz układy maszyna-fundament	171
Załącznik 2	
Wyniki badań	180
Załącznik 3	
Współczynniki podłoża gruntowego	197

DZNACZENIA

- $a_0 = \omega B_0 / c_s^0$ - bezwymiarowa częstość,
- B - szerokość fundamentu,
- B^* - połowa szerokości fundamentu,
- \hat{C} - prędkość fazowa fali powierzchniowej w ośrodku gruntowym,
- C_R - prędkość fazowa fali powierzchniowej w jednorodnej, izotropowej półprzestrzeni sprężystej,
- C_s - prędkość fazowa fali poprzecznej,
- h_p, E - nominalne zagłębienie bloku fundamentowego (grubość zasypki),
- f - częstotliwość drgań,
- F - pole powierzchni podstawy fundamentu,
- G - moduł ścinania,
- H - wysokość fundamentu,
- \bar{J}_y^0 - momenty bezwładności pola podstawy fundamentu,
- J_y^0 - masowe momenty bezwładności układu maszyna-fundament w układzie osi związanym ze środkiem podstawy fundamentu,
- J_y^S - masowe momenty bezwładności układu maszyna-fundament w układzie osi związanym ze środkiem jego masy,
- J_y^P - masowe momenty bezwładności układu maszyna-fundament w układzie osi związanym z punktem pomiarowym na powierzchni fundamentu,
- $[\tilde{K}_o]$ - zespolona dynamiczna macierz sztywności podłoża,
- $\tilde{K}_{H_1 H_1}^o, \tilde{K}_{H_2 H_2}^o$ - poziome zespolone sztywności dynamiczne podłoża,
- \tilde{K}_{TT}^o - skrętna zespolona sztywność dynamiczne podłoża,
- \tilde{K}_{VV}^o - pionowa zespolona sztywność dynamiczne podłoża,
- $\tilde{K}_{\theta_1 \theta_1}^o, \tilde{K}_{\theta_2 \theta_2}^o$ - obrotowe zespolone sztywności dynamiczne podłoża,
- $\tilde{K}_{HH}^{(2)}$ - pozioma zespolona sztywność dynamiczna warstwy zasypki,
- $\tilde{K}_{TT}^{(2)}$ - skrętna zespolona sztywność dynamiczne warstwy zasypki,
- $\tilde{K}_{VV}^{(2)}$ - pionowa zespolona sztywność dynamiczne warstwy zasypki,

$\tilde{\chi}_{\psi\psi}^{(2)}$	- antysymetryczna zespolona sztywność dynamiczne warstwy zasypki,
L	- długość fundamentu,
L^*	- połowa długości fundamentu,
\hat{L}	- długość fali powierzchniowej w ośrodku gruntowym,
L/B	- współczynnik kształtu,
m_f	- masa fundamentu,
m	- masa układu maszyna-fundament,
model W-S-V	- model Winklera-Sawinowa-Voigta,
p	- statyczny nacisk fundamentu na grunt,
R_i	- promień zastępczy,
t	- czas,
$z = x + iy$	- liczba zespolona,
z_f^0	- odległość środka masy fundamentu od jego podstawy,
z_s^0	- odległość środka masy układu maszyna-fundament od podstawy fundamentu (przy wzbudzeniu poziomym),
z_p^0	- odległość punktów pomiarowych na powierzchni fundamentu od jego podstawy,
z_Q^p	- odległość środka masy wzbudnika od punktów pomiarowych na powierzchni fundamentu (przy wzbudzeniu poziomym),
z_Q^0	- odległość środka masy wzbudnika od podstawy fundamentu (przy wzbudzeniu poziomym),
Q_f	- ciężar fundamentu,
Q_c	- ciężar układu maszyna-fundament,
δ, β	- współczynnik tłumienia histerezy,
ρ	- gęstość podłoża,
ρ_s	- gęstość warstwy zasypki,
ω	- częstość kołowa drgań,
ν	- współczynnik Poissona,
$i^2 = -1$	- jednostka urojona.

CEL, TEZA I ZAKRES PRACY

Konstrukcje wsporcze pod maszyny należą do konstrukcji inżynierskich podlegających oddziaływaniom zmiennym w czasie. Zalicza się do nich: fundamenty blokowe, fundamenty ramowe, stropy, pomosty wolno stojące oraz konstrukcje wsporcze. Jednym z najczęściej występujących rodzajów wsporczych konstrukcji inżynierskich w budownictwie przemysłowym są fundamenty blokowe pod maszyny o działaniu nieudarowym. Jest zatem rozumiałe, że analiza dynamiczna fundamentów blokowych stanowi ważne zagadnienie w praktyce inżynierskiej, ma również znaczenie gospodarcze, bowiem prawidłowo zaprojektowany fundament stanowi gwarancję właściwej pracy konstrukcji budowlanej, oraz mieszczonych na nim maszyn i urządzeń przemysłowych.

Fundamenty blokowe pod maszyny powinny nie tylko bezpiecznie przenosić dynamiczne obciążenia użytkowe, ale również utrzymywać amplitudy drgań w ściśle określonych granicach. Obliczanie tych konstrukcji jest pracochłonne i złożone, a projektant, w celu znalezienia właściwego rozwiązania, powinien korzystać z informacji o zachowaniu się podobnych obiektów w trakcie eksploatacji.

Skuteczna ochrona ludzi, maszyn oraz budowli przed nadmiernymi drganiami oraz wysokie koszty związane ze zmianą warunków pracy fundamentów już zrealizowanych, wymagają dysponowania wiarygodną i wyczerpującą prognozą odpowiedzi konstrukcji na dane oddziaływanie dynamiczne. Na jakość prognozy dynamicznego zachowania się konstrukcji decydujący wpływ ma stosowany w obliczeniach model układu konstrukcja-fundament-podłoże. Model ten, uwzględniający interakcję dynamiczną, powinien być modelem przestronnym, odzwierciedlającym realistycznie wiele czynników, między innymi: geometrię oraz właściwości mechaniczne zróżnicowanych elementów składowych. Przede wszystkim jednak powinien uwzględniać nieliniowość właściwości fizycznych podłoża gruntowego. Sformułowanie dynamicznych związków konstytutywnych dla różnego rodzaju gruntów jest złożonym problemem. Na obecnym etapie badań trudno jest zbudować uniwersalny, powszechnie akceptowany model podłoża gruntowego. Praktykowana jest powszechnie droga konstruowania różnych modeli konstytutywnych w zależności od rodzaju rozwiązywanego zagadnienia oraz charakteru obciążenia.

W przypadku drgań fundamentów blokowych na podłożu gruntowym mamy do czynienia z małymi amplitudami drgań w normalnych warunkach eksploatacji. W tej sytuacji model matematyczny drgań bloku na podłożu gruntowym może być budowany w ramach teorii

niowej. Konieczne są jednak badania eksperymentalne w celu weryfikacji przyjmowanych założeń.

Przedmiotem rozważań w prezentowanej pracy jest eksperymentalna i teoretyczna analiza drgań pionowych oraz przesuwno-obrotowych fundamentu blokowego, posadowionego bezpośrednio na podłożu gruntowym. Proces drgań badano z uwzględnieniem wpływu takich czynników jak wielkość fundamentu, głębokość posadowienia, częstość drgań oraz poziom obciążenia.

Cele pracy:

- *identyfikacja parametrów podłoża w dyskretnych liniowych modelach drgań stacjonarnych bloku fundamentowego na podstawie eksperymentalnych wartości amplitud i faz drgań,*
- *zbadanie dyspersji fali powierzchniowej generowanej w gruncie przez drgający blok fundamentowy,*
- *oszacowanie zmienności dynamicznego modułu ścinania podłoża gruntowego z głębokością na podstawie średniokwadratowej aproksymacji zależności dyspersyjnej dla fali powierzchniowej,*
- *eksperymentalna weryfikacja jakości prognozowania amplitud i faz stacjonarnych drgań bloków fundamentowych przy stosowaniu wybranych modeli liniowo-odkształcalnego podłoża.*

Teza pracy

Polowe badania drgań bloku fundamentowego w skali półprzemysłowej, uwzględniające wielkość fundamentu, głębokość posadowienia, postać i częstość drgań oraz poziom obciążenia, umożliwiają właściwą weryfikację wybranych liniowych modeli drgań fundamentów blokowych na podłożu gruntowym.

Zakres pracy

Rozdział pierwszy zawiera wprowadzenie w problematykę analizy dynamicznej fundamentów blokowych oraz przegląd literatury. Następny rozdział poświęcono omówieniu stanowiska polowego do badania drgań fundamentów blokowych. W rozdziale trzecim przedstawiono program i metodykę przeprowadzonych badań oraz metodę opracowania

wyników pomiarów. Eksperymentalną weryfikację liniowych modeli podłoża gruntowego omówiono w rozdziale czwartym. Przedstawiono w nim równania ruchu układu maszyna-fundament na liniowo-odkształcalnym podłożu oraz dokonano estymacji parametrów podłoża gruntowego w zagadnieniu drgań pionowych i przesuwno-obrotowych bloku. W odniesieniu do drgań pionowych bloku obliczenia przeprowadzono, przyjmując dyskretny model dwu- i trójparametrowy, model inercyjnej półprzestrzeni sprężystej oraz model podłoża w ujęciu normowym. W przypadku drgań złożonych przesuwno-obrotowych, stosowano dyskretny model sześcioparametrowy, model inercyjnej półprzestrzeni sprężystej oraz model podłoża w ujęciu normowym. Porównano współczynniki sztywności i tłumienia podłoża oraz charakterystyki amplitudowo-fazowe dla rozpatrywanych bloków fundamentowych, uwzględniając: wielkość fundamentu, głębokość posadowienia, postać i częstość drgań, oraz poziom obciążenia. Podsumowanie pracy zawarte jest w rozdziale piątym, natomiast uwagi końcowe zamieszczono w rozdziale szóstym. W dołączonych do pracy załącznikach przedstawiono podstawowe wielkości charakteryzujące badane bloki fundamentowe oraz układy maszyna-fundament (Załącznik 1), wyniki badań eksperymentalnych (Załącznik 2) oraz wartości wyznaczonych współczynników podłoża (Załącznik 3).

METODY ANALIZY DYNAMICZNEJ FUNDAMENTÓW BLOKOWYCH (PRZEGLĄD LITERATURY)

Dynamika fundamentów pod maszyny jest dziedziną, która rozwinęła się głównie w ostatnich kilku dziesięcioleciach. Z dziedziną tą związane są znane na świecie nazwiska takich teoretyków i praktyków jak: Barkan, Kisiel, Rausch, Sawinow, Lipiński i in. Prace tych autorów świadczą o tym, że dynamika fundamentów blokowych, nawet w zakresie liniowej teorii drgań stacjonarnych, nie jest zagadnieniem prostym. Składa się na to wiele przyczyn: komplikowany kształt fundamentu, złożona struktura wzbudzenia, przestrzenny charakter drgań oraz trudny do teoretycznego opisu ośrodek gruntowy.

W niniejszym rozdziale dokonano przeglądu prac i metod wnoszących istotny wkład w rozwój problematyki drgań fundamentów blokowych pod maszyny nieudarowe. Wśród metod obliczeniowych konstrukcji poddanych oddziaływaniom dynamicznym, w tym fundamentów blokowych, można wyróżnić dwie zasadnicze grupy:

- metody, w których pomija się dynamiczną interakcję w układzie fundament-podłoże,
- metody uwzględniające dynamiczną interakcję w układzie fundament-podłoże.

Metody pomijające dynamiczną interakcję w układzie fundament-podłoże

W przeszłości (przed I-szą wojną światową) fundamenty pod maszyny były projektowane metodami przybliżonymi, bez określania amplitud drgań, co stanowi obecnie podstawowe kryterium oceny poprawności pracy fundamentu. Takie reguły projektowania dotyczyły fundamentów blokowych, których całkowity ciężar był od trzech do pięciu razy większy od ciężaru maszyn i urządzeń znajdujących się na fundamencie. O metodach tych wspominają w swoich pracach między innymi Kral (1974) i Gazetas (1983). Główny nacisk kładziono na przyjęcie odpowiednio dużej masy fundamentu, ignorując wpływ na jego pracę takich czynników jak np.: typ wzbudzenia i rodzaj podłoża gruntowego. Takie ujęcie problemu było w wielu przypadkach nieekonomiczne, a w innych - mogło grozić awarią maszyny, co spowodowało zaniechanie stosowania tych metod.

Opracowane w latach trzydziestych procedury obliczeniowe skupiające się na określaniu częstości drgań własnych fundamentu były wykorzystywane do końca lat pięćdziesiątych. Metoda „in-phase mass” (Gazetas (1983)), zakładała istnienie pod fundamentem pewnej masy gruntu, która porusza się jak ciało sztywne wraz z fundamentem. Wskutek niepowodzeń w wyznaczaniu wartości tej masy w zależności od ciężaru fundamentu, postaci drgań oraz

właściwości gruntu zalegającego pod fundamentem, stosowanie metody „in-phase mass” zostało praktycznie zaniechane.

Metoda „zredukowanej częstości drgań własnych” (Gazetas (1983)) brała pod uwagę ośność gruntu, przyjmowaną na podstawie zaleceń normowych, jako główny czynnik w projektowaniu układu fundament-podłoże. Zredukowana częstość drgań własnych była definiowana jako częstość drgań własnych pomnożona przez pierwiastek kwadratowy ze średnich naprężeń pionowych i dana graficznie w zależności od rodzaju gruntu i powierzchni kontaktu. Wadą powyższych metod było to, że skupiały się one na wyznaczaniu częstości rezonansowej, nie dostarczając przy tym informacji dotyczących amplitud drgań, które są istotniejsze przy projektowaniu.

W 1933 roku na podstawie badań, przeprowadzonych przez niemiecką firmę Baugrund GmbH, określono dwa współczynniki (pionowy i poziomy), charakteryzujące podłoże. Współczynnikami tymi posługiwano się przez szereg lat, stosował je również w swoich rozważaniach teoretycznych Rausch (Rausch 1936, 1940, 1942, 1959). Była to zw. metoda rezonansu, oceniająca pracę fundamentu z punktu widzenia zjawiska rezonansu. Analiza przeprowadzona przez Rauscha obejmowała separowane drgania wymuszone pionowe skrętne oraz drgania wahadłowe traktowane jako drgania obrotowe wokół odpowiednio obranego bieguna. Autor nie uwzględniał wpływu tłumienia radiacyjnego i materiałowego w podłożu.

Metodą przejściową między etapem rezonansu a etapem obliczania ekstremalnych amplitud była metoda Kisiela (Kisiel 1957). Dotyczyła ona projektowania fundamentów blokowych pod maszyny tłokowe i obrotowe (wolnobieżne), jak również fundamentów pod młoty. Na tle ogólnego rozwoju nauki o fundamentach pod maszyny, wspomniana metoda stanowiła istotny wkład polskiej myśli technicznej w tej dziedzinie. Metoda ta pozwalała wyznaczyć bezpośrednio ekonomiczne wymiary fundamentu, wychodząc z danych obciążeń dynamicznych dopuszczalnych amplitud. W swojej pracy autor analizował drgania własne tarczy na podłożu sprężystym oraz nietłumione i tłumione drgania wymuszone siłą poziomą lub pionową. Podstawowym współczynnikiem określającym podłoże gruntowe był współczynnik równomiernego nacisku, wyznaczany z tabel, w zależności od wytrzymałości gruntu. Wpływ tłumienia materiałowego i radiacyjnego został pominięty.

W metodzie Barkana (Barkan (1962)) analiza dynamiczna układu obejmowała separowane drgania wymuszone, oraz drgania wahadłowe własne i wymuszone. Podłoże gruntowe przyjęto według modelu Winklera-Voigta. Współczynniki w tym modelu wyznaczano na podstawie

udań polowych, polegających na dynamicznym obciążaniu płyty znajdującej się w naturalnym odowisku i pomiarze amplitudy oraz częstości w fazie rezonansu. Model ten określał podstawy normy radzieckiej z 1971 roku (SNiP II-B.7-70). Analizując wyniki licznych badań polowych Barkan wraz ze współpracownikami określił rozbieżności między wartościami obliczonych na podstawie badań płyty podczas rezonansu i wartościami wyznaczonymi ze statycznie powtarzanego obciążenia płyty. W ten sposób odwołano się do modelu „in-phase mass”, aby połączyć stałe modelu otrzymane z różnych typów badań. Stwierdzono, iż dodana masa zależy od wielkości fundamentu, sposobu posadowienia i od właściwości gruntu dla danej postaci drgań. Okazuje się, że model Winklera-Voigta jest modelem czysto empirycznym, wymagającym statycznych i dynamicznych badań polowych dla każdej specyficznej sytuacji. Takie badania są nie tylko bardzo drogie i trudne do przeprowadzenia, ale co więcej, dostarczają one informacji, które nie mogą być łatwo interpretowane i ekstrapolowane do warunków pracy realnego fundamentu. Jedynym uzasadnieniem stosowania obecnie dynamicznego modelu podłoża Winklera-Voigta w analizie układu fundament-podłoże jest to, że zebrano w wielu krajach dużą ilość danych dotyczących badań polowych. Takie dane, zwykle osiągalne z tablic, mogą być wykorzystywane w praktyce, co pozwala uniknąć badań próbnych.

Teoretyczną podstawą metody Sawinowa (Sawinow 1955, 1964, 1972) jest przyjęcie wuparametrowego modelu podłoża, w którym uwzględnia się współpracę części podłoża winklerowskiego znajdującego się poza krawędziami fundamentu. Zakłada się, że współpracę zapewnia nieograniczona i jednorodna (naciągnięta we wszystkich kierunkach) błona prężysta. Rozpatrując równowagę sztywnego bloku o podstawie prostokątnej, poczywającego na tak opisanym podłożu, Sawinow uzyskał wzór na dynamiczny współczynnik sprężystego równomiernego nacisku, a następnie po wprowadzeniu korekty uwzględniającej bezwładność gruntu, wyprowadził dalsze wzory uwzględniające wpływ kształtu i wielkości podstawy fundamentu oraz rzeczywisty jego nacisk na grunt. Wartości dynamicznych współczynników podłoża, określonych przez Sawinowa zależą od współczynnika podłoża dla gruntu w stanie naturalnego zalegania. Metoda ta obejmuje analizę drgań własnych tarczy, separowane pionowe drgania wymuszone, nietłumione wahadłowe drgania wymuszone oraz rozwiązanie przybliżone tłumionych wahadłowych drgań wymuszonych.

W pracach Lipińskiego (Lipiński 1969, 1985) dowolny układ sił obciążających sprowadzany jest do środka masy bloku. Otrzymuje się w ten sposób uogólnione obciążenie o składowych

w postaci siły pionowej i poziomej oraz momentu w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Siły te są harmonicznie zmienne i synchroniczne. Analizą objęte są drgania wymuszone w płaszczyźnie pionowej, będącej płaszczyzną główną bloku, oraz drgania wymuszone skrętne w płaszczyźnie poziomej. Wskaźniki podatności gruntu oblicza się metodami podanymi przez Żarkana i Sawinowa. W obliczeniach inżynierskich wpływ tłumienia uwzględnia się wyłącznie w prognozowaniu amplitud drgań wymuszonych w strefie rezonansu, przy czym częstotliwości rezonansowe obliczane są przy pominięciu tłumienia. Metoda Lipińskiego stanowi podstawę obecnie obowiązujących przepisów normowych (PN-80/B-03040).

W większości metod obliczeniowych należących do tej grupy metod analizy dynamicznej fundamentów blokowych przyjmuje się następujące założenia:

a) w odniesieniu do bloku fundamentowego:

- fundament wraz z ustawioną na nim maszyną stanowi jedną bryłę nieodkształcalną,
- drgania bryły analizuje się w jednej płaszczyźnie,
- podstawa bloku fundamentowego jest pozioma,
- blok jest opisany w kartezjańskim układzie współrzędnych o początku w środku masy bloku, natomiast płaszczyzny układu są głównymi płaszczyznami bloku

b) w odniesieniu do podłoża gruntowego:

- podłoże jest liniowo-sprężyste, typu Winklera (Winkler 1867),
- tłumienie drgań przez podłoże uwzględnia się w analizie separowanych drgań pionowych, obrotowych lub skrętnych, zgodnie z hipotezą tłumienia wiskotycznego

c) w odniesieniu do sił wzbudzających:

- obciążenie bloku stanowią harmonicznie zmienne siły wzbudzające działające w jednej z płaszczyzn głównych bloku.

Różni autorzy w odmienny sposób określają cechy sprężyste podłoża. Zależą one od wielu czynników, z których do najważniejszych można zaliczyć rodzaj gruntu stanowiącego podłoże budowlane, kształt fundamentu, powierzchnię podstawy i współpracę fundamentu z gruntem. Każdorazowo należałoby przeprowadzić próby obciążeń dynamicznych gruntu w miejscu planowanego ustawienia fundamentu. W praktyce rzadko można liczyć na przeprowadzenie takich badań a projektanci fundamentów zmuszeni są do korzystania z gotowych, tabelaryzowanych danych zamieszczanych w różnych pracach.

Metody uwzględniające dynamiczną interakcję w układzie fundament-podłoże

U podstaw rozwoju metod analizy drgań fundamentów, uwzględniających dynamiczną interakcję między fundamentem a podłożem znajduje się teoria propagacji fal w ośrodku przystym. Rozwój tej teorii został zapoczątkowany w 1904 roku, kiedy to Lamb publikował wyniki badań dotyczące drgań półprzestrzeni sprężystej (Lamb 1904).

Analizę praktycznie ważnych przypadków dynamiki fundamentów blokowych można przeprowadzać wykorzystując modele układu fundament-podłoże oparte na założeniu niowo-sprężystej lub lepkosprężystej zależności między odkształceniami a naprężeniami.

Rozwiązanie problemów liniowej interakcji dynamicznej fundament-podłoże może być dokonane w dziedzinie czasu lub w dziedzinie częstości. W obu przypadkach można stosować podejście bezpośrednie (direct approach) lub technikę podziału na podukłady (subsystem approach). Zasadniczy wpływ na wybór sposobu rozwiązania i metody matematycznej ma stopień złożoności układu. W podejściu bezpośrednim ruch układu dynamicznego fundament-podłoże wyznaczany jest w ramach jednej procedury obliczeniowej. W drugim podejściu zagadnienie brzegowo-początkowe rozwiązuje się w dwóch etapach. W etapie pierwszym, formułuje się niezależne zagadnienia brzegowe dla poszczególnych elementów układu dynamicznego, tj. fundamentu oraz półnieskończonego ośrodka runtowego. W etapie drugim, wykorzystując warunki równowagi oraz ciągłości, tworzy się rozwiązanie globalne dla całego układu. Zaletą podejścia dwuetapowego jest możliwość analizowania każdego elementu składowego za pomocą odmiennych metod, a uzyskane rozwiązanie można łatwo wykorzystać w innych problemach dynamicznych.

W liniowej analizie interakcji dynamicznej układu fundament-podłoże istotne jest określenie odpowiedzi układu na wymuszenia harmoniczne, ponieważ znając odpowiedź częstotliwościową układu można, na drodze syntezy Fouriera, uzyskać rozwiązanie dla wymuszenia dowolnie zmiennego w czasie (Wolf (1985)).

Pierwszą pracą na temat drgań fundamentu na inercyjnym podłożu sprężystym była praca Reissnera (1936). Autor przedstawił w niej odpowiedź układu fundament ołowu-półprzestrzeń sprężysta na pionowe obciążenie harmonicznie zmienne w czasie. Zadanie zostało rozwiązane analitycznie przez scałkowanie rozwiązania Lamba przy przyjmującym założeniu, że naprężenia w obszarze kontaktu mają stałą wartość. Założenie o równomiernym rozkładzie naprężeń kontaktowych nie jest, jak wiadomo, realistyczne, nie daje ono bowiem równomiernego przemieszczenia podłoża pod sztywną płytą kołową.

liemniej jednak praca Reissnera wyjaśniła po raz pierwszy zjawisko tłumienia radiacyjnego (geometrycznego), jakie towarzyszy drganiom bloku na półprzestrzeni idealnie sprężystej.

Od tego czasu ukazało się wiele prac, w których przedstawiono zachowanie się układu fundament-podłoże przy wymuszeniu harmonicznym rozwiązując dynamiczne zagadnienie kontaktowe różnymi metodami.

W najprostszej metodzie analitycznej przyjmowano rozkład naprężeń kontaktowych rozwiązując otrzymano przez scałkowanie odpowiedniego równania Lamba w obszarze kontaktu fundamentu z podłożem. Na tej drodze rozwiązania uzyskali Quinlan (1953) i Sung (1953), którzy przyjmując rozkład dynamicznych naprężeń kontaktowych zgodnie z rozkładem statycznym, analizowali drgania pionowe i skrętne stempla kołowego.

Trudniejsze, ale dające bardziej realistyczne rozwiązania, są metody w których stosując technikę transformat całkowych, doprowadza się zagadnienie kontaktowe do dualnych równań całkowych, które najczęściej redukuje się do równania Fredholma drugiego rodzaju rozwiązuje numerycznie. Stosując tę technikę do analizy różnych form drgań stempli kołowych i pasmowych, rozwiązania uzyskali: Collins (1962), Robertson (1966), Gladwell (1968), Veletsos i Wei (1971), Karashudi, Keer i Lee (1968), Luco i Westmann (1971, 1972) oraz Luco (1974, 1976).

Metody analityczne, w których na samym początku postuluje się dyskretny opis naprężeń kontaktowych, przyjęto nazywać metodami analityczno-numerycznymi lub półanalitycznymi (semi-analytical methods). W metodach tych podstawowym problemem jest wyznaczenie przemieszczenia w dowolnym punkcie styku podłoża z fundamentem od jednostkowych, normalnych lub stycznych naprężeń harmonicznie zmiennych w czasie, działających na określony wycinek powierzchni kontaktowej. Mając te przemieszczenia, można wyznaczyć dla odpowiednio zdyskretyzowanej powierzchni kontaktowej dynamiczną macierz wpływu rozwiązać zagadnienie kontaktowe, wprowadzając odpowiednie warunki ruchu sztywnej ryły na podłożu. Ten skuteczny sposób rozwiązania prezentuje szereg autorów, między innymi: Lysmer (1965), Elorduy, Nieto i Szekely (1967), Gaul (1978), Gazetas i Roësset (1979), Hryniewicz (1980, 1981), Gazetas (1980, 1981a,b), Hamidzadeh-Eraghi i Grootenhuis (1981), Adeli, Hejazi, Keer i Nemat-Nasser (1981), Rücker (1982), Chow (1986), Triantafyllidis (1986), Veletsos i Tang (1987), Filipkowski i Sienkiewicz (1990) oraz Sienkiewicz (1992).

W ostatnich latach do wyznaczania funkcji podatności sztywnego bloku na niowo-odkształcalnym podłożu zaczęto stosować metody numeryczne, przede wszystkim

metodę elementów skończonych (MES) oraz metodę elementów brzegowych (MEB). Metoda elementów skończonych stosowana jest do rozwiązywania złożonych zagadnień, których np. uwzględnia się niejednorodność podłoża oraz złożony kształt fundamentów. Wyniki badań uzyskane tą metodą opublikowali między innymi: Lysmer i Kuhlemeyer (1969), Dasgupta i Kameswara Rao (1978, 1979), Sienkiewicz (1984), Chow (1987), Filipkowski i Sienkiewicz (1988). Metodę elementów brzegowych zastosował jako pierwszy Dominguez (1978). Wyznaczył on dynamiczne funkcje sztywności stępła prostokątnego na powierzchni półprzestrzeni jednorodnej. Analizę drgań stępła kwadratowego i prostokątnego metodą elementów brzegowych przeprowadzili Ahmad, Israil i Chen (1988). Rozwiązania mieszanego zagadnienia brzegowego poprzez zastosowanie uproszczonych modeli półprzestrzeni sprężystej poszukiwali Veletsos i Verbic (1973, 1974) oraz Langer i Ruta (1989).

Istotnym problemem jest uwzględnienie efektu zagłębienia stępła w podłożu. Problem ten metodą elementów skończonych analizowali: Dasgupta i Kameswara Rao (1979) oraz Lysmer i Kuhlemeyer (1971), zaś metodą elementów brzegowych: Dominguez (1978), Ahmad, Israil i Chen (1988). Próbkę wykorzystania zalet obu metod numerycznych, polegającą na połączeniu jednego z algorytmów metody elementów skończonych i metody elementów brzegowych podjęli w swoich pracach: Gaitanaros i Karabalis (1988), Dasgupta (1980) oraz Betti (1994).

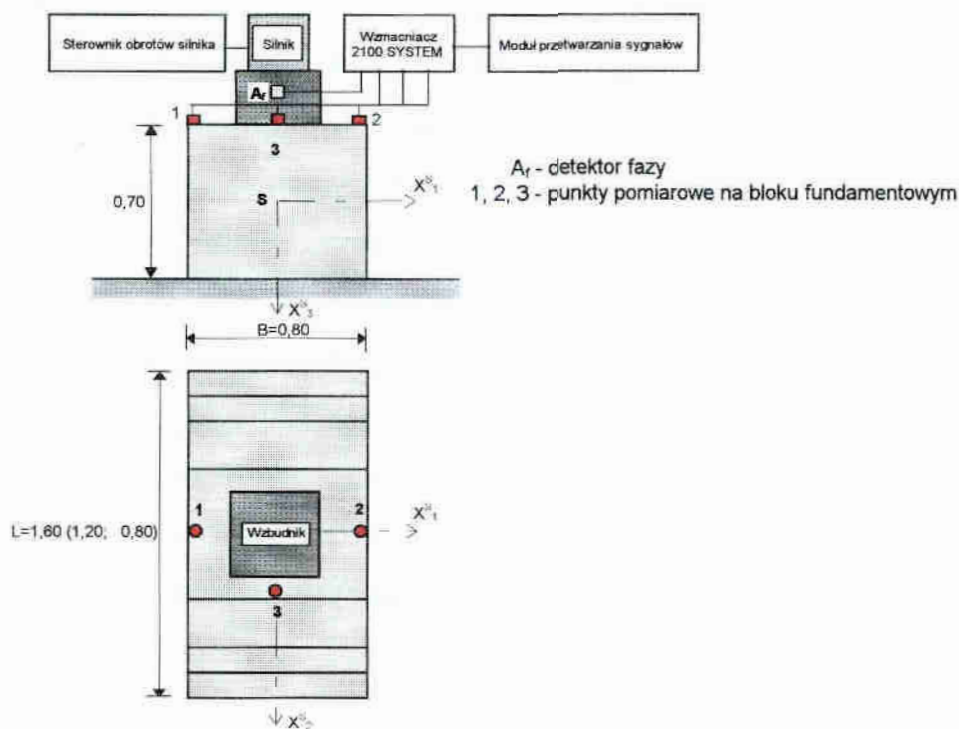
Lokalny opis efektu zagłębienia przy modelowaniu układu dynamicznego fundament blokowy-podłoże gruntowe był przedmiotem prac Beredugo i Novaka (1972), Filipkowskiego i Sienkiewicza (1990) oraz Sienkiewicza (1989, 1992). Został on poddany weryfikacji eksperymentalnej w pracach Beredugo i Novaka (1972), Novaka i Sachsa (1973) oraz Langer i Ruta (1989).

Prace o charakterze doświadczalnym na temat dynamicznej interakcji konstrukcja-podłoże opublikowali Falkowski i Filipkowski (1986), Ciesielski i Maciąg (1990), Falkowski (1988, 1991a,b), Dembiński (1999) oraz Ciesielski, Maciąg i Tatara (1990). Dotyczą one konstrukcji rzeczywistych. Problem drgań fundamentu blokowego wykonanego w skali przemysłowej był przedmiotem prac Filipkowskiego, Sienkiewicza i Nowakowskiego (1997, 1998a,b,c,d), Sienkiewicza, Ingielewicza, Nowakowskiego i Zagubienia (1998) oraz Sienkiewicza i Nowakowskiego (1998).

STANOWISKO POLOWE DO BADANIA DRGAŃ FUNDAMENTÓW BLOKOWYCH

Stanowisko polowe do badania drgań fundamentów blokowych zostało zaprojektowane wykonane w Katedrze Mechaniki Budowli Politechniki Koszalińskiej w ramach projektu badawczego nr 7S10302205, finansowanego w latach 1993-1996 przez Komitet Badań Naukowych. Tematem projektu, którym kierował prof. dr inż. J. Filipkowski była „Propagacja i teoretyczne i eksperymentalne badania fundamentów na podłożu gruntowym”. Skład stanowiska przedstawionego na rys. 2.1 wchodzi następujące elementy:

- żelbetowy blok fundamentowy,
- wzbudnik drgań typu bezwładnościowego,
- silnik napędowy,
- sterownik obrotów silnika (przetwornica),
- czujniki drgań i detektor fazy,
- wzmacniacz systemu pomiarowego 2100 firmy Measurements Group „VISHAY” prod. USA,
- moduł przetwarzania sygnałów - komputerowy system rejestracji, analizy i opracowania wyników badań.



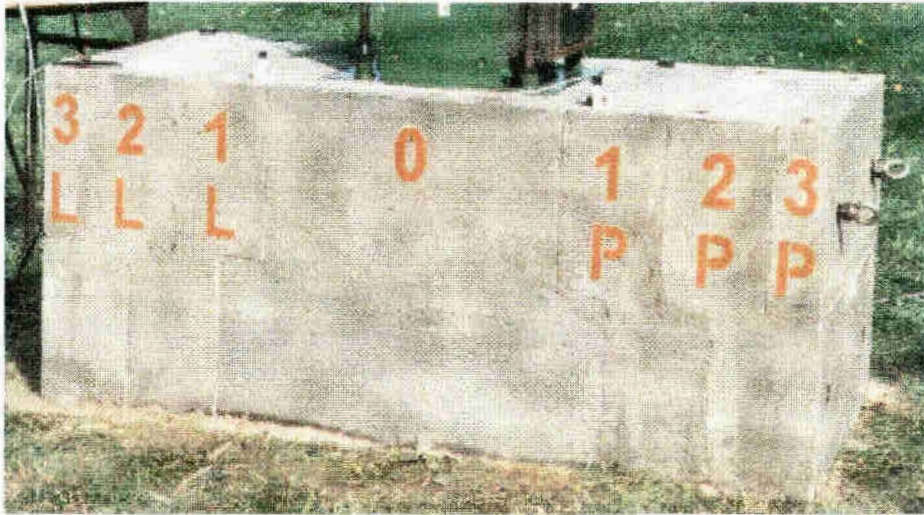
Rys. 2.1. Schemat stanowiska polowego do badania drgań fundamentów blokowych

1. Eksperymentalny blok fundamentowy

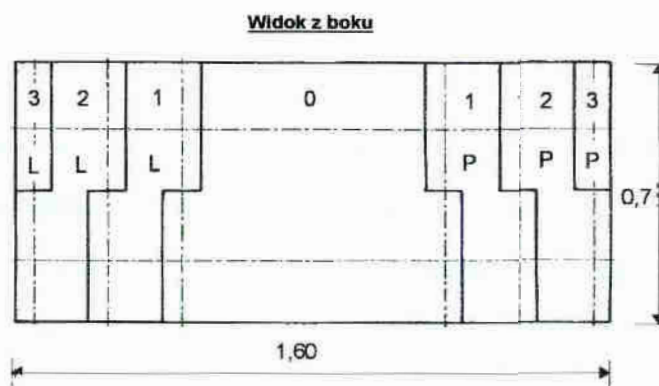
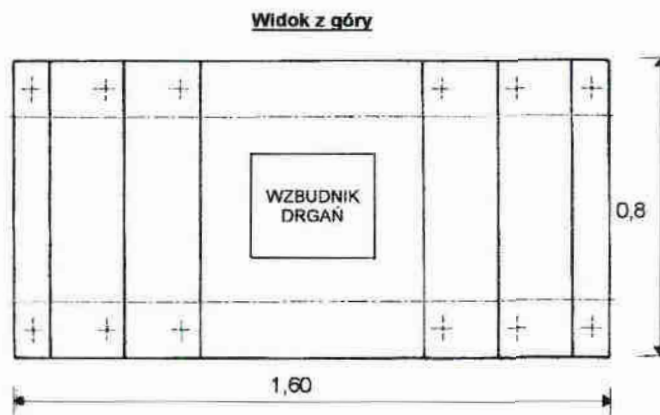
W celu uzyskania wiarygodnych wynikow badan drgan bloku fundamentowego na podlozu untowym zaistniala koniecznosc skonstruowania bloku o dosc znacznych wymiarach. ardo istotnym problemem byla koniecznosc zroznicowania ksztaltu i masy bloku oraz niany miejsca jego posadowienia. Te uwarunkowania mozna bylo spelnic konstruujac ndament blokowy, skladajacy sie z prefabrykowanych podzespolow. Zespolony blok ndamentowy skladajacy sie z siedmiu elementow zelbetowych przedstawiono na s. 2.2. Linie przerywane przedstawiaja wewnetrzny uklad rur stalowych, polaczonych ze oba srubami imbusowymi w miejscu stykow poszczegolnych elementow prefabrykowanych. lementy podstawowe, oznaczone symbolami 1P, 2P, 1L i 2L posiadaja cztery zlacza poziome az dwa pionowe, natomiast elementy zamykajace 3L i 3P maja po dwa zlacza poziome pionowe. Element centralny wyposazono w cztery wewnetrzne zlacza poziome oraz cztery onowe, a na powierzchni umieszczono podstawe do mocowania wzбудnika drgan. Blok ndamentowy przedstawiony na rys. 2.2 o masie 2100 kg posiada nastepujace wymiary: odstawa $0,8\text{m}\times 1,6\text{m}$, wysokość $0,7\text{m}$.

Nalezy zauwazyć, ze z elementow prefabrykowanych ktore wchodza w sklad omawianego oku fundamentowego mozna skonstruowac kilka innych fundamentow blokowych mniejszych wymiarach dołączając do centralnego elementu prefabrykowanego podstawie kwadratowej $0,8\text{m}\times 0,8\text{m}$ kolejne elementy obustronnie lub jednostronnie. Przy mocowaniu obustronnym otrzymuje sie dodatkowo bloki o wymiarach podstawy $1,2\text{m}\times 0,8\text{m}$ oraz $1,6\text{m}\times 0,8\text{m}$, obciazone symetrycznie.

Natomiast przy mocowaniu jednostronnym lub obustronnym, o roznej liczbie elementow kazdej strony, uzyskuje sie bloki o wymiarach podstawy $1,0\text{m}\times 0,8\text{m}$, $1,2\text{m}\times 0,8\text{m}$ oraz $1,4\text{m}\times 0,8\text{m}$ obciazone asymetrycznie. Prefabrykowane bloki fundamentowe moga byc rzymocowane do plyty fundamentowej, ktora w przypadku slabych gruntow moze byc osadowiona na palach. Przyjete rozwiazanie umozliwia zbudowanie stanowiska badawczego / zaplanowanym miejscu w terenie, przeprowadzenie badan eksperymentalnych na blokach ndamentowych w skali polprzemyslowej a nastepnie demontaz stanowiska badawczego.



(a)



(b)

Rys. 2.2. Zespolony blok fundamentowy

Zestawienie wymiarów, mas i ciężarów poszczególnych bloków fundamentowych wraz całkowitą masą i ciężarem układów maszyna-fundament przedstawia tablica 2.1.

Tablica 2.1 Wymiary, masy i ciężary bloków fundamentowych oraz masy i ciężary układów maszyna-fundament (m-f)

Wymiary bloku L×B×H [m]	Masa bloku m_f [kg]	Ciężar bloku Q_f [kN]	Masa układu m-f m [kg]	Ciężar układu m-f Q_c [kN]
0,8×0,8×0,7	1050,0	10,301	1224,6	12,014
1,0×0,8×0,7	1312,5	12,876	1487,1	14,588
1,2×0,8×0,7	1575,0	15,451	1749,6	17,164
1,4×0,8×0,7	1837,5	18,026	2012,1	19,739
1,6×0,8×0,7	2100,0	20,601	2274,6	22,314

Masa urządzeń zamontowanych na bloku wynosiła $m_u=174,6$ kg, a ich ciężar $Q_u=1,713$ kN.

2. Wzbudnik drgań

Wzbudnik drgań zaprojektowano w celu generowania poziomych oraz pionowych sił wzbudzających o kontrolowanych amplitudach oraz częstotliwościach wymuszenia. Przyjęte rozwiązanie umożliwia wzbudzanie zarówno drgań pionowych, jak i drgań złożonych zesuwno-obrotowych.

Obciążenia typu bezwładnościowego powstają w wyniku przeciwbieznego wirowania osięczyń tarcz z otworami, które osadzono na dwóch łożyskowanych wałach (rys. 2.3). Wzbudnik napędzany jest silnikiem elektrycznym za pomocą przekładni pasowej. Silnik masy $m_s = 32,8$ kg, mocy 3kW i maksymalnej prędkości obrotowej 2895 1/min, pracuje pod kontrolą sterownika obrotów (rys. 2.9d). Mocowanie silnika do wzbudnika drgań odbywa się za pośrednictwem płyty stalowej o grubości 12mm której masa m_p wynosi 18,0kg.

Podstawowe dane techniczne wzbudnika są następujące: wymiary bloku z elementami wirującymi 250mm×284mm×434mm, masa bez silnika $m_w = 123,8$ kg, częstotliwość wymuszenia drgań 0÷48 Hz. Zmianę kierunku działania siły wzbudzającej z pionowego na poziomy osiąga się przez zmianę położenia wzbudnika z poziomego na pionowe (rys. 2.4). Istnieje również możliwość zmiany wartości mas wykonujących przeciwbieźny ruch obrotowy, w tym samym generowania sił dynamicznych o stałych amplitudach dla wybranych częstotliwości drgań.

Na podstawie prostych zależności geometrycznych i masowych wyznaczono wartości pojedynczej masy i mimośrod, na którym wykonuje ona ruch obrotowy na łożyskowanym wałku. Wynoszą one odpowiednio: masa $m_{o1} = 1,95$ kg, mimośród $e = 0,073$ m.

Poprzez dołączenie w otworach tarcz dodatkowych mas ($m' = 0,424\text{kg}$ i $m'' = 0,806\text{kg}$) uzyskano możliwość generowania sił wzbudzających o mniejszych wartościach dla wybranych częstotliwości drgań. Amplitudy siły wzbudzającej wyniosły zatem:

- dla maksymalnego poziomu obciążenia

$$Q_0^{\max} = 2 m_{01} e \omega^2 = 2 \cdot 1,95 \cdot 0,073 \cdot \omega^2 = 0,28470 \cdot (2\pi f)^2 = 11,240 \cdot f^2 [\text{N}], \quad (2.1)$$

- dla średniego poziomu obciążenia

$$Q_0^{\text{sr}} = 2 m_{02} e \omega^2 = 2 (m_{01} - m') e \omega^2 = 2 \cdot (1,95 - 0,424) \cdot 0,073 \cdot \omega^2 = 0,22280 \cdot (2\pi f)^2 = 8,796 \cdot f^2 [\text{N}], \quad (2.2)$$

- dla minimalnego poziomu obciążenia

$$Q_0^{\min} = 2 m_{03} e \omega^2 = 2 (m_{01} - m'') e (2\pi f)^2 = 2 \cdot (1,95 - 0,806) \cdot 0,073 \cdot \omega^2 = 0,16702 \cdot (2\pi f)^2 = 6,594 \cdot f^2 [\text{N}]. \quad (2.3)$$

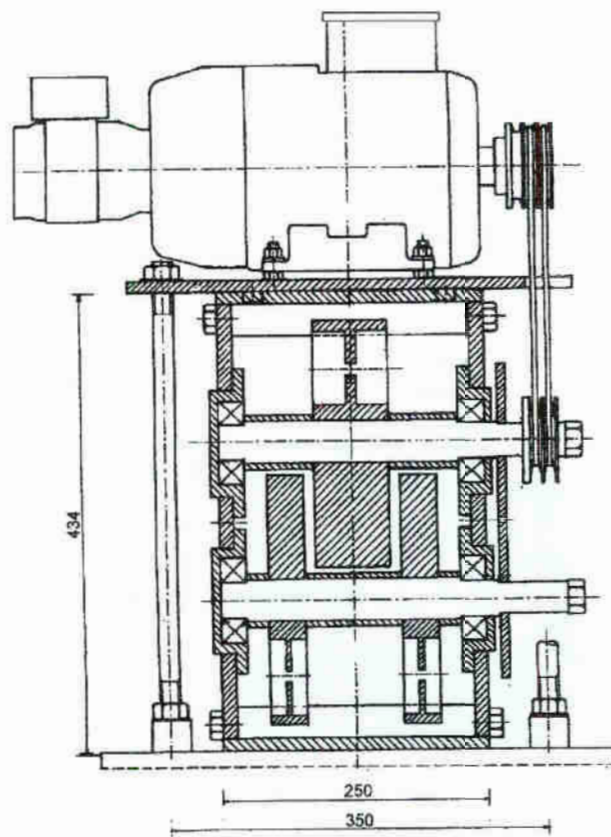
Wartości amplitud sił wzbudzających dla określonych trzech poziomów obciążenia zestawiono w tabelicy 2.2.

tablica 2.2 Amplitudy siły wzbudzającej Q_0

Częstotliwość wzbudzenia terownik obrotów) f [Hz]	Częstotliwość wzbudzenia $f \times 60$ [obr/min]	Częstość wzbudzenia $\omega = 2\pi f$ [rad/s]	Amplitudy siły wzbudzającej Q_0 [N]		
			Poziom obciążenia		
			maksymalny $Q_0^{\max} = 11,240 \cdot f^2$	średni $Q_0^{\text{sr}} = 8,796 \cdot f^2$	minimalny $Q_0^{\min} = 6,594 \cdot f^2$
10	600	62,8	1124	880	659
12	720	75,4	1619	1267	950
14	840	88,0	2203	1724	1292
16	960	100,5	2877	2252	1688
18	1080	113,1	3642	2850	2136
20	1200	125,7	4496	3518	2638
22	1320	138,2	5440	4257	3191
24	1440	150,8	6474	5066	3798
26	1560	163,4	7598	5946	4458
28	1680	175,9	8812	6896	5170
30	1800	188,5	10116	7916	5935
32	1920	201,1	11510	9007	6752
34	2040	213,6	12993	10168	7623
36	2160	226,2	14567	11400	8546
38	2280	238,8	16231	12701	9522
40	2400	251,3	17984	14074	10550
42	2520	263,9	19827	15516	11632
max. 48	2895	301,6	25897	20266	15193

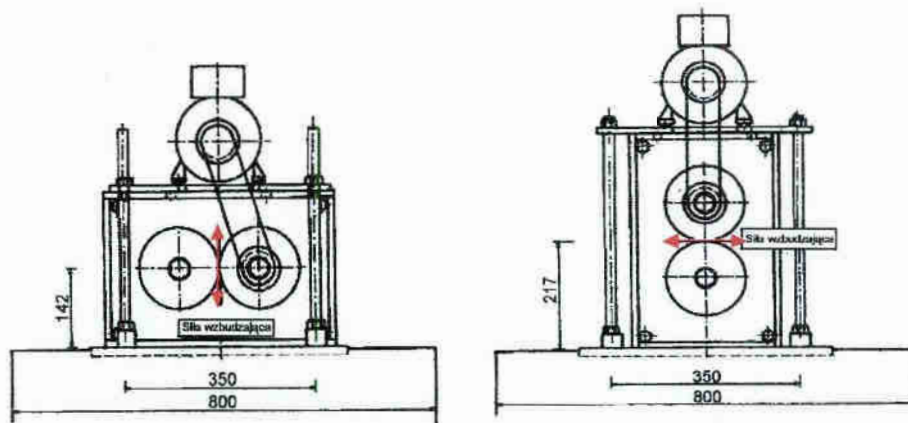


(a)



(b)

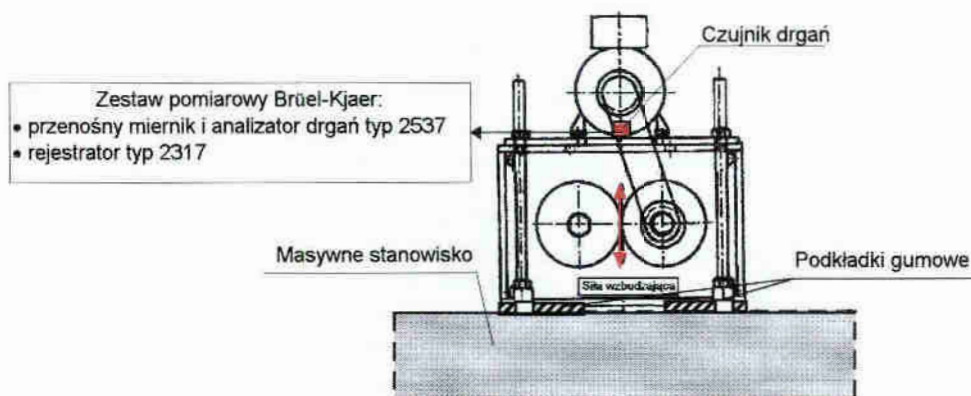
Rys. 2.3. Wzbudnik drgań typu bezwładnościowego
 (a) widok po demontażu bocznej płyty,
 (b) przekrój - ustawienie przy którym generowana jest pozioma siła wzbudzająca



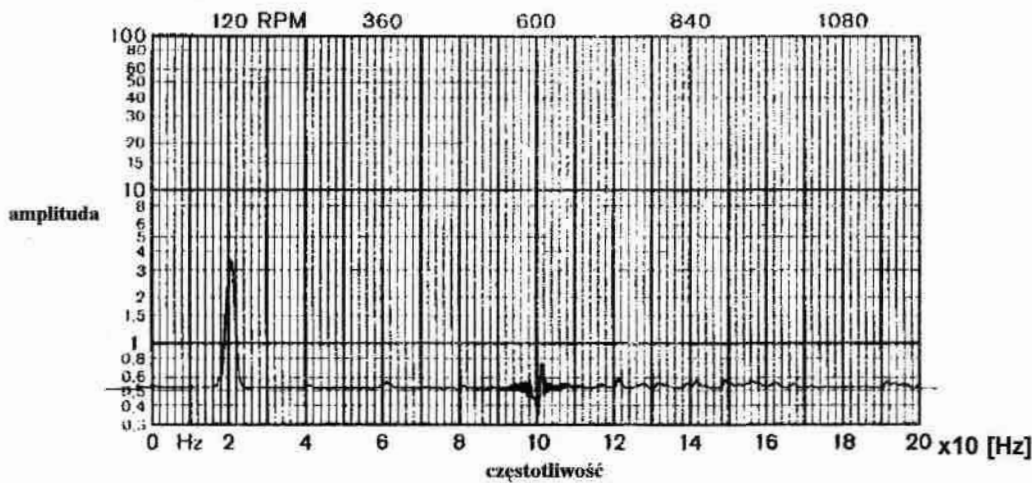
Rys. 2.4. Sposoby zamocowania wzbudnika na bloku fundamentowym przy których generowana jest pionowa i pozioma siła wzbudzająca

Zastosowane rozwiązanie konstrukcyjne wzbudnika (łącznie z regulowanym napędem, możliwością pomiaru kąta przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzającą) cechuje uniwersalność, łatwość montażu i demontażu oraz możliwość zastosowania do innych badań dynamicznych.

Przeprowadzone w laboratorium próby wzbudnika zamocowanego na podkładkach gumowych do masywnego i nieodkształcalnego stanowiska (rys. 2.5) wykazały, że wzbudnik generuje siłę wzbudzającą o częstotliwości odpowiadającej częstotliwości wzbudzenia. Widmo zarejestrowanego sygnału przyspieszenia przy wzbudzeniu pionowym o częstotliwości 20Hz pokazano na rysunku 2.6.



Rys. 2.5. Schemat układu służącego do laboratoryjnego sprawdzenia wzbudnika

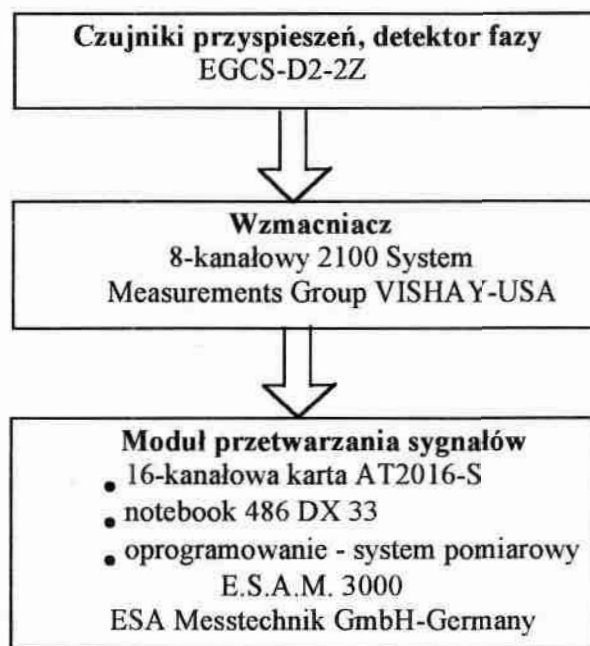


Rys. 2.6. Widmo sygnału przyspieszenia przy wzbudzeniu pionowym o częstotliwości 20Hz

3. Zestaw pomiarowy

Stanowisko badawcze wyposażono w zestaw pomiarowy, przeznaczony do wielokanałowej rejestracji sygnałów oraz ich analizy (rys. 2.7). W skład zestawu wchodziły następujące urządzenia:

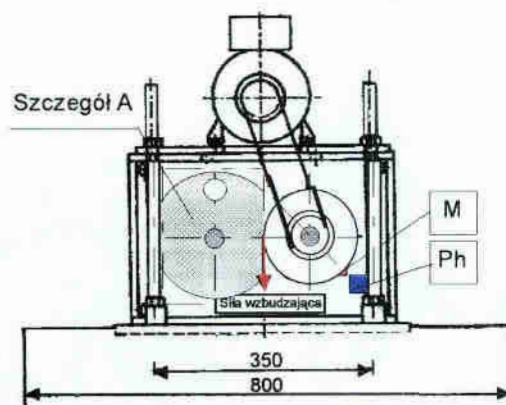
- czujniki przyspieszeń i detektor fazy,
- wzmacniacz - system pomiarowy 2100 firmy Measurements Group „VISHAY”
- moduł przetwarzania sygnałów - komputerowy system rejestracji, analizy i opracowania wyników badań.



Rys. 2.7. Schemat blokowy zestawu pomiarowego

Czujniki przyspieszeń (piezorezystywne) firmy Entran[®]Sensoren (ESA Meßtechnik mbH) o symbolu EGCS-D2-2Z umożliwiają pomiar drgań w zakresie częstotliwości od 0,2 do 200 Hz. Górny zakres przyspieszeń wynosi 2g (gdzie g - przyspieszenie ziemskie), częstotliwość rezonansowa czujników wynosi od 280 do 295 Hz, zaś czułość od 36,46 do 41,29 mV/g. Dobierając czujniki, wzięto pod uwagę charakter drgań oraz zakres częstotliwości wzbudzenia i odpowiedzi układu maszyna-fundament-podłoże gruntowe.

Podstawowymi elementami **detektora fazy** jest przetwornik hallotronowy **Ph** wraz z elektronicznym układem formująco-wzmacniającym, zamontowany do bocznej ściany wzbudnika oraz magnes **M** zamocowany do wirującego koła zębatego (rys. 2.8).



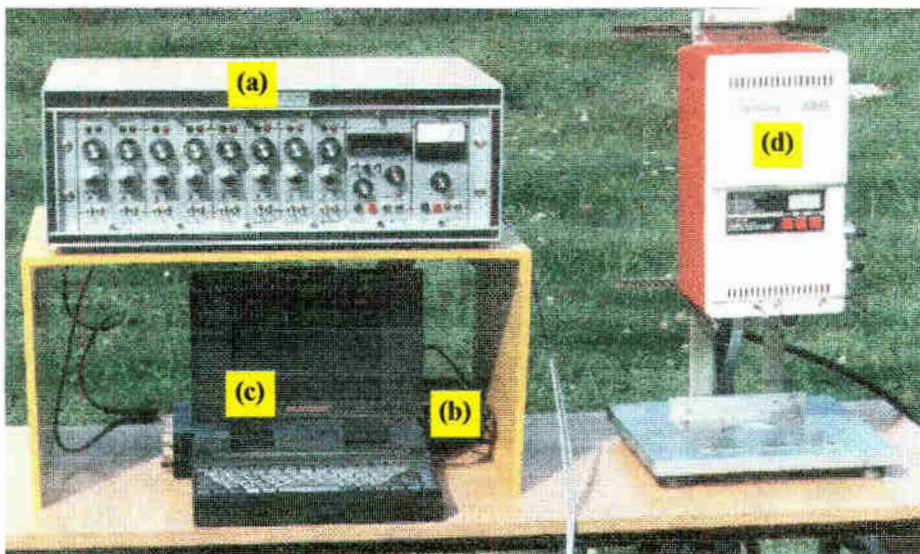
Rys. 2.8. Schemat działania detektora fazy

M - magnes, **Ph** - Przetwornik hallotronowy

Przetwornik hallotronowy i magnes znajdują się w bezpośredniej bliskości momentu, gdy niewyważone masy na obu wałach przyjmują położenie pionowe (rys. 2.8, szczegół A - usytuowanie wirującej masy na jednym z wałów). Odpowiada to chwili, w której siła wzbudząca osiąga wartość maksymalną. Podczas ruchu obrotowego koła zębatego w momencie przejścia magnesu w pobliżu przetwornika hallotronowego generowany jest pojedynczy impuls, który po uformowaniu i wzmocnieniu jest rejestrowany w tym samym czasie, co sygnały przyspieszeń z czujników zamocowanych na bloku fundamentowym. Pozwala to na określenie różnicy w czasie pomiędzy chwilą, w której generowana jest maksymalna siła wzbudząca a chwilą, w której nastąpiła maksymalna odpowiedź układu. Na podstawie prostych zależności matematycznych możliwe jest zatem określenie kąta przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzącą.

System pomiarowy Vishay 2100, przedstawiony na rys. 2.9(a) w dostępnej konfiguracji, został zastosowany do zbierania i przetwarzania sygnałów dynamicznych w sześciu kanałach równolegle w czasie rzeczywistym, w celu ich dalszej rejestracji i analizy komputerowej.

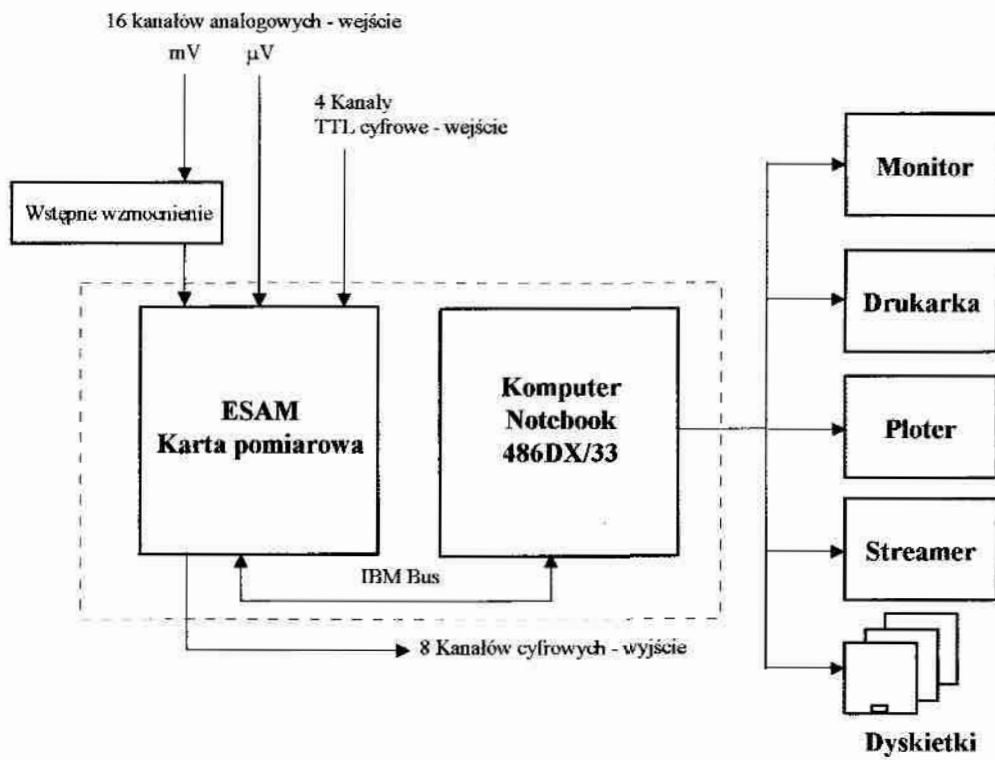
Komputerowy moduł rejestracji i analizy danych pomiarowych składa się z karty systemowej AT2016-S (rys. 2.9(b)), dołączonej do przenośnego komputera 486DX33 (rys. 2.9(c), RAM 4MB, twardy dysk 130 MB), oraz oprogramowania E.S.A.M.3000 do tej karty, które zapewnia pełną kontrolę oraz zaawansowaną obróbkę danych pomiarowych.



Rys. 2.9. Elementy zestawu pomiarowego

- (a) wzmacniacz - system pomiarowy Vishay 2100,
- (b) karta systemowa AT2016-S,
- (c) komputer 486DX33,
- (d) sterownik obrotów silnika

Zarówno przed jak i po wykonaniu każdego etapu badań sprawdzano kalibrację torów pomiarowych, wykorzystując wzorcowe źródło drgań w postaci kalibratora firmy Brüel-Kjaer, typ 4294. Schemat blokowy toru pomiarowego przedstawiono na rys. 2.10.



Rys. 2.10. Schemat blokowy toru pomiarowego

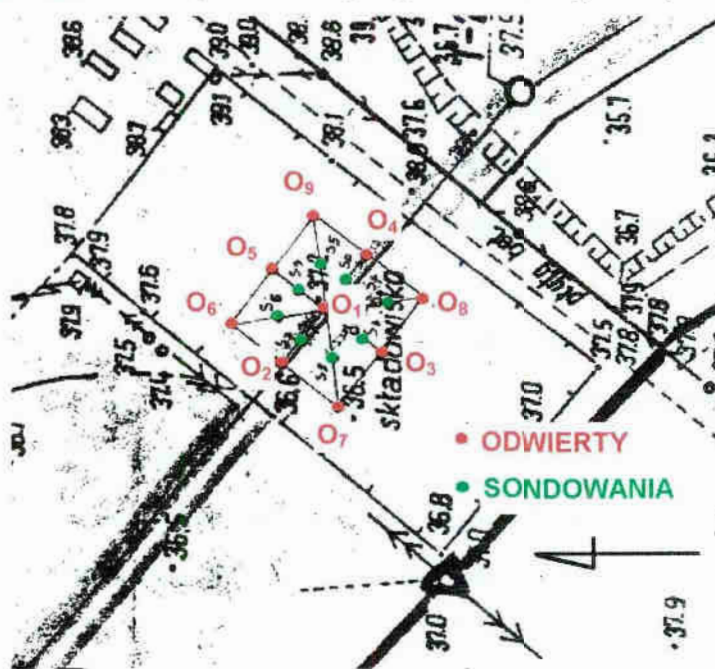
MIEJSCE, PROGRAM I METODYKA BADAŃ

1. Miejsce badań

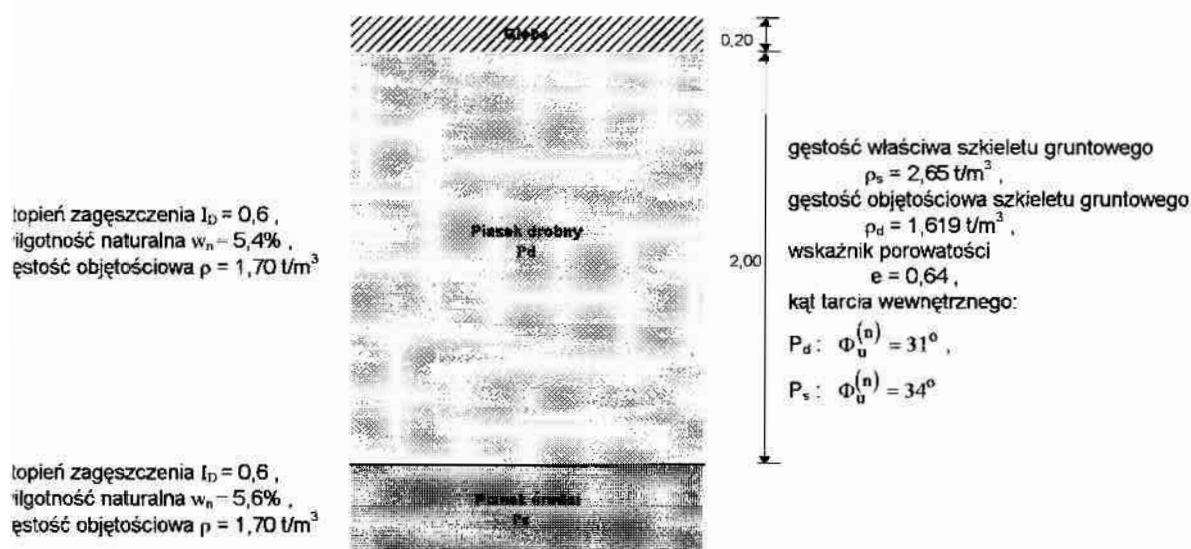
Badania drgań bloków fundamentowych przeprowadzono na terenie składowiska należącego do Kopalni Kruszyw Mineralnych w Węgorzewie Koszalińskim w okresie od 23.06 do 11.08.98 r. Rozpatrywany teren, którego powierzchnia jest lekko nachylona w kierunku południowym, położony jest na obszarze Pobrzeża Słowińskiego, 15 km na wschód od Koszalina.

Wyborze miejsca badań zadecydował łatwy dostęp do energii elektrycznej, możliwość prowadzenia badań na terenie ogrodzonym i chronionym, niewielka odległość od Koszalina oraz rodzaj podłoża gruntowego.

W celu określenia budowy geologicznej podłoża wykonano 9 odwiertów i 8 sondowań. Miejsce badań bloków fundamentowych znajdowało się w centralnej części wyznaczonej sześciokątnej siatki odwiertów i sondowań o wymiarach 20×20m (rys. 3.1). Zakres wykonanych badań geotechnicznych obejmował makroskopowe rozpoznanie gruntu oraz określenie stanu gruntu i jego podstawowych parametrów fizycznych. Na podstawie dokumentacji przeprowadzonych badań geotechnicznych ustalono, że w miejscu posadowienia badanych fundamentów podłoże gruntowe zbudowane jest z piasków. Wodę gruntową zlokalizowano na większej głębokości 4,8 m poniżej poziomu terenu. Przekrój geotechniczny w miejscu posadowienia fundamentów wraz z podstawowymi parametrami gruntu pokazano na rys. 3.2.



Rys. 3.1. Miejsce badań bloków fundamentowych



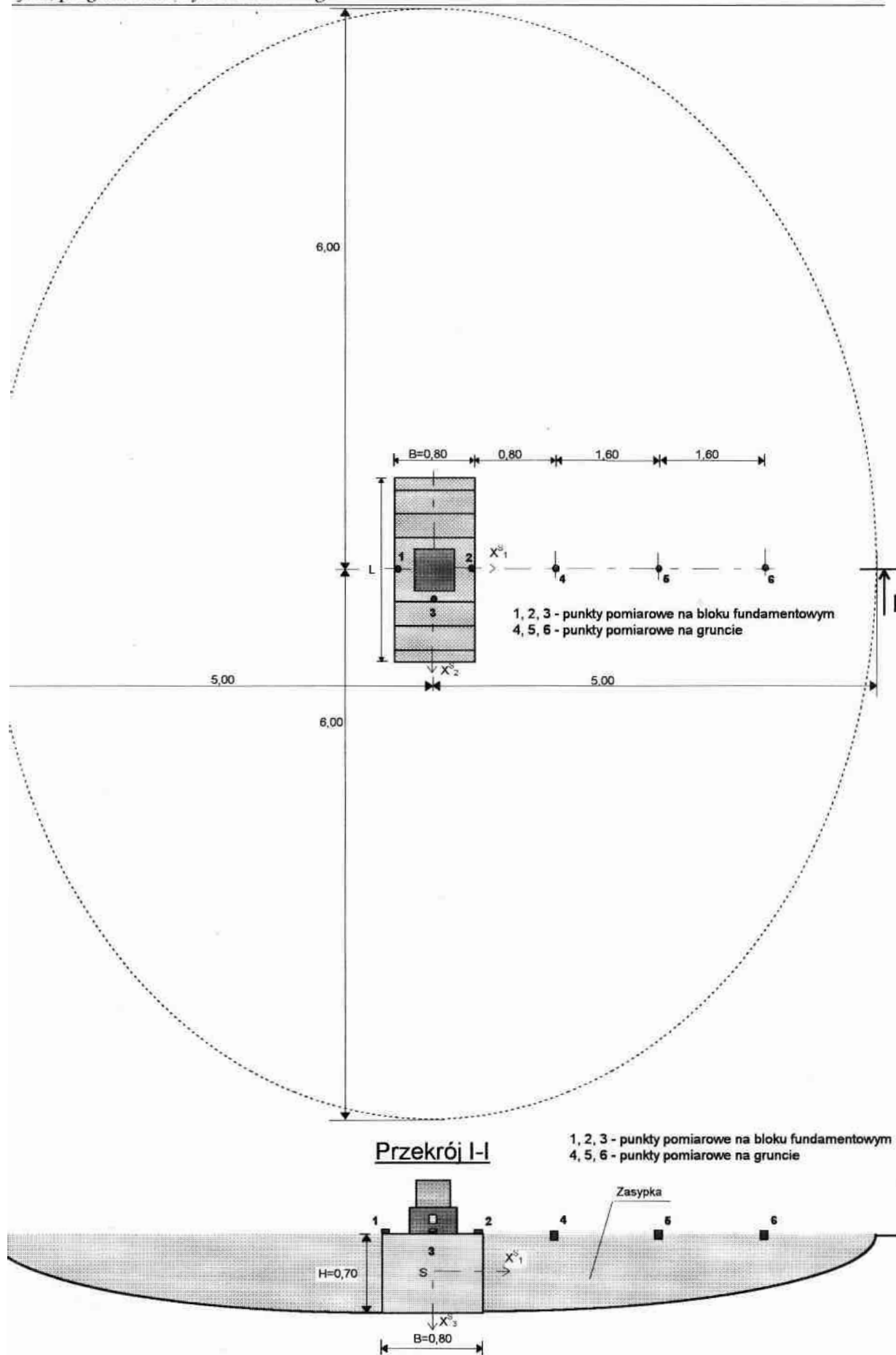
Rys. 3.2. Przekrój geotechniczny w miejscu posadowienia fundamentu

2. Program badań

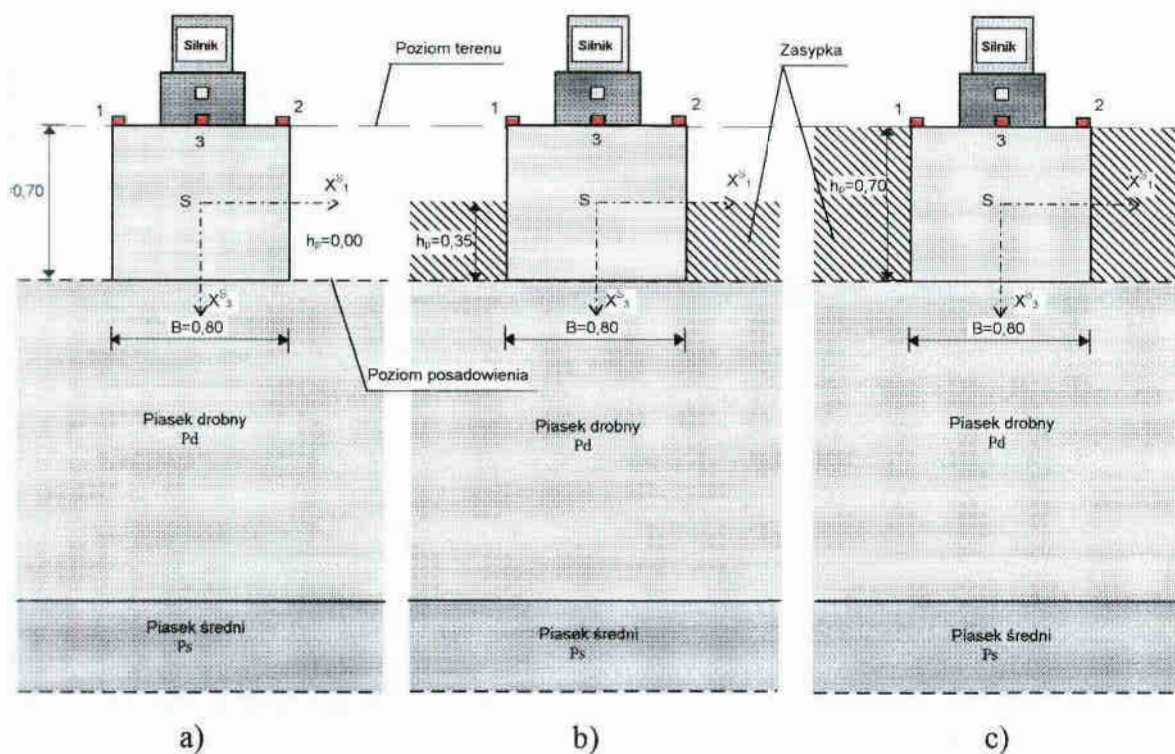
Program obejmował badania drgań pionowych i drgań złożonych przesuwno-obrotowych tych bloków fundamentowych oraz badania propagacji drgań w gruncie. Obliczenia podstawowych wielkości charakteryzujących badane bloki fundamentowe oraz układy maszyna-fundament, wykonano zgodnie z przepisami normowymi (PN-80/B-03040, PN-81/B-03020) i zawarto w Załączniku 1. Wyniki obliczeń zestawiono w tablicy Z.1.

W miejscu prowadzonych badań wykonano wykop o łagodnych zboczach i wymiarach przedstawionych na rys. 3.3, na dnie którego poddano badaniom trzy bloki fundamentowe (z głębieniem $h_p=0,0\text{m}$). Zmienną wartość zagłębienia bloków fundamentowych ($h_p=0,35\text{m}; 0,70\text{m}$) uzyskano zasypując zmontowane na dnie wykopu bloki fundamentowe sypką z piasku drobnego (rys. 3.4). Zasypywanie bloków prowadzono kilkoma warstwami z jednoczesnym ich zagęszczaniem.

Źródłem drgań był opisany w podrozdziale 2.2 wzbudnik generujący drgania pionowe oraz drgania złożone przesuwno-obrotowe (rys. 2.4). W przypadku drgań pionowych siła harmoniczna, działa na kierunku pionowym przechodzącym przez środek masy układu maszyna-fundament oraz przez środek podstawy fundamentu. W przypadku drgań złożonych przesuwno-obrotowych obciążenie dynamiczne w postaci poziomej siły harmonicznej, działa ponad środkiem masy układu maszyna-fundament (rys. Z.1). Zakres częstotliwości wzbudzenia w badaniach wynosił od 10 Hz do 42 Hz, z przyrostem co 2 Hz.



Rys. 3.3. Szkic sytuacyjny miejsca badań bloków fundamentowych

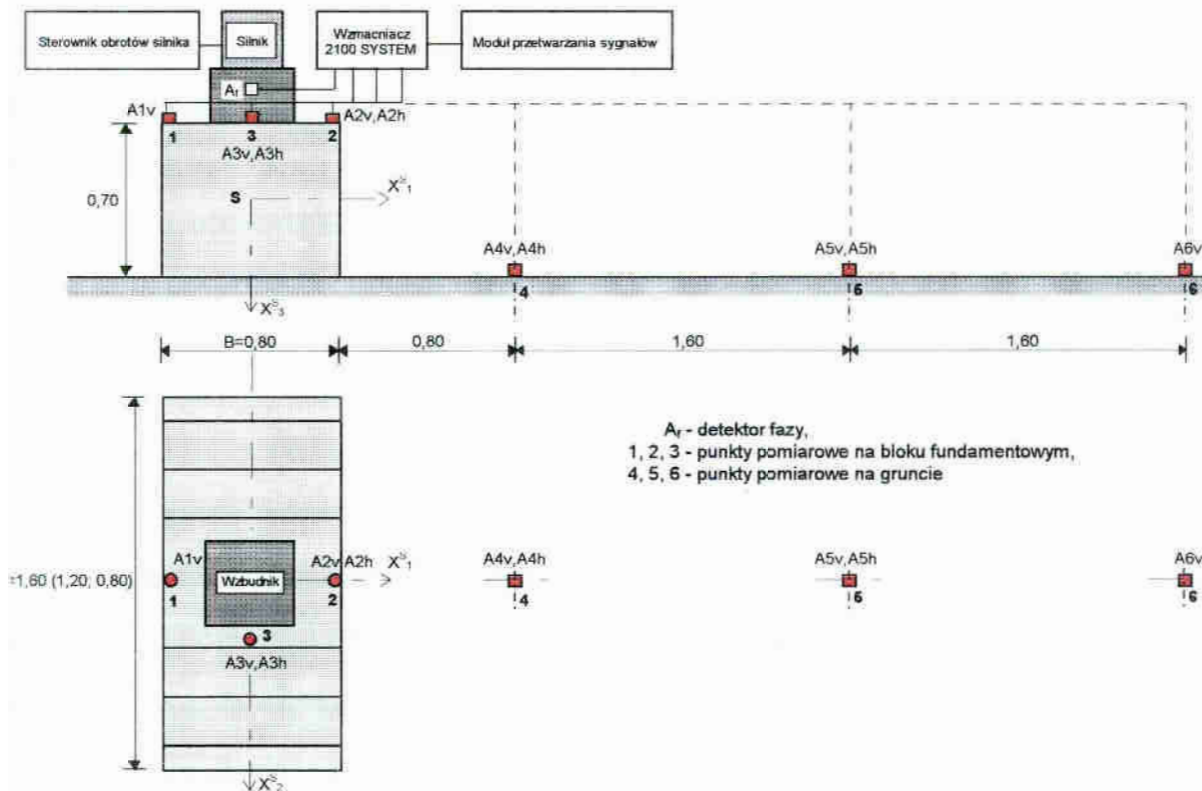


Rys. 3.4. Zagłębienie bloków fundamentowych

- a) $h_p = 0,00$ m - bloki na powierzchni gruntu,
- b) $h_p = 0,35$ m - bloki zagłębione do połowy wysokości,
- c) $h_p = 0,70$ m - bloki całkowicie zagłębione

W poszczególnych punktach pomiarowych znajdujących się na bloku fundamentowymznaczonych cyframi 1, 2, 3 - rys. 3.3÷3.5) umieszczano czujniki drgań rejestrujące jedną lub wie składowe drgań. Punkty pomiarowe utrwalono w postaci wklejonych (klej Poxipol) zpieni metalowych, zakończonych krążkami metalowymi. Przed rozpoczęciem badań tawiano na nich przystawki magnetyczne z przykręconymi czujnikami. Przyjęto, że pionowa ładowa drgań odpowiada kierunkowi osi X_3 (oznaczenia v), zaś składowa pozioma drgań lpowiada kierunkowi osi X_1 (oznaczenia h).

Niezależnie od prowadzonych badań drgań bloków fundamentowych, prowadzono również dania propagacji drgań w gruncie. W tym celu w punktach pomiarowych (oznaczonych frami 4, 5, 6 - rys. 3.3 i 3.5) umieszczano czujniki rejestrujące pionowe i poziome składowe gań (oznaczenia v oraz h). Wspomniane punkty pomiarowe utrwalono w postaci stalowych krążków z przyspawanymi stalowymi prętami zagłębionymi w gruncie. zmieszczenie punktów pomiarowych na bloku fundamentowym oraz na gruncie wraz oznaczeniem składowych drgań rejestrowanych w tych punktach pokazano na s. 3.5.



Rys. 3.5. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na bloku fundamentowym i na gruncie; oznaczenia składowych rejestrowanych drgań

Przy prezentacji wyników badań eksperymentalnych, zastosowano następujące oznaczenia:

- A - blok na powierzchni gruntu ($h_p = 0,0$ m),
- B - blok zagłębiony do połowy wysokości ($h_p = 0,35$ m),
- C - blok całkowicie zagłębiony ($h_p = 0,70$ m),
- 80 - blok o długości podstawy $L = 0,8$ m,
- 120 - blok o długości podstawy $L = 1,2$ m,
- 160 - blok o długości podstawy $L = 1,6$ m,
- v - wzbudzenie na kierunku pionowym,
- h - wzbudzenie na kierunku poziomym,
- max- maksymalny poziom wzbudzenia $Q_o^{\max} = 11,240 \cdot f^2$ [N],
- śr - średni poziom wzbudzenia $Q_o^{\text{śr}} = 8,796 \cdot f^2$ [N],
- min - minimalny poziom wzbudzenia $Q_o^{\min} = 6,594 \cdot f^2$ [N],
- f - częstotliwość wzbudzenia [Hz].

Podczas badań wykorzystano zestaw pomiarowy przedstawiony w podrozdziale 2.3, skład którego obok wzmacniacza i modułu przetwarzania sygnałów wchodziło 5 czujników zyspieszeń oraz detektor fazy. Istotnymi ograniczeniami aparaturowymi, mającymi wpływ na przebieg badań, były: liczba dostępnych czujników pomiarowych, długość kabli łączących je ze wzmacniaczem oraz niewielka pamięć RAM-u i twardego dysku przenośnego komputera, ograniczająca czas rejestracji drgań i wymuszająca częstą archiwizację danych pomiarowych. trudniona i pracochłonna była również zmiana poziomu obciążenia (podrozdział 2.2), wymagała bowiem częściowego demontażu wzbudnika w celu zmiany wartości mas wirujących na mimośrodkach.

Dla maksymalnej założonej częstotliwości wzbudzenia, równej $\alpha_0 = 42 \text{ Hz}$, przyjęto, że istotną jest jeszcze składowa wymuszenia o częstotliwości $3\alpha_0 = 126 \text{ Hz}$, dla której okres wynosi $T_3 = 1/126 = 0,00794 \text{ s}$. Globalna częstotliwość próbkowania ustalona podczas pomiarów wynosiła 29963 Hz , a czas próbkowania $\Delta t = 1/29963 = 0,000033 \text{ s}$. Zatem

w okresie najwyższej, istotnej jeszcze częstotliwości siły wymuszającej, otrzymywano $0,00749 / 0,000033 = 241$ próbek. Krok czasowy próbkowania Δt jest w tym przypadku znacznie mniejszy niż wynika to z częstotliwości granicznej Nyquista dla najwyższej przewidywanej częstotliwości $3\alpha_0 = 126 \text{ Hz}$. Przyjmując bowiem częstotliwość Nyquista dwukrotnie większą od maksymalnej przewidywanej częstotliwości składnika badanego, czyli $f_q = 2 \times 126 = 252 \text{ Hz}$, otrzymuje się wymagany czas próbkowania (krok czasowy Δt_q)

z wzoru

$$f_q = \frac{1}{2 \cdot \Delta t_q},$$

gd

$$\Delta t_q = \frac{1}{2 \cdot f_q} = \frac{1}{2 \cdot 252} = 0,001984 \text{ s},$$

atem

$$\Delta t_q = 0,001984 \text{ s} \gg \Delta t = 0,000033 \text{ s}$$

czas rejestracji drgań przy danej częstotliwości wymuszenia wynosił 3s.

Przebieg badań

1. Drgania pionowe

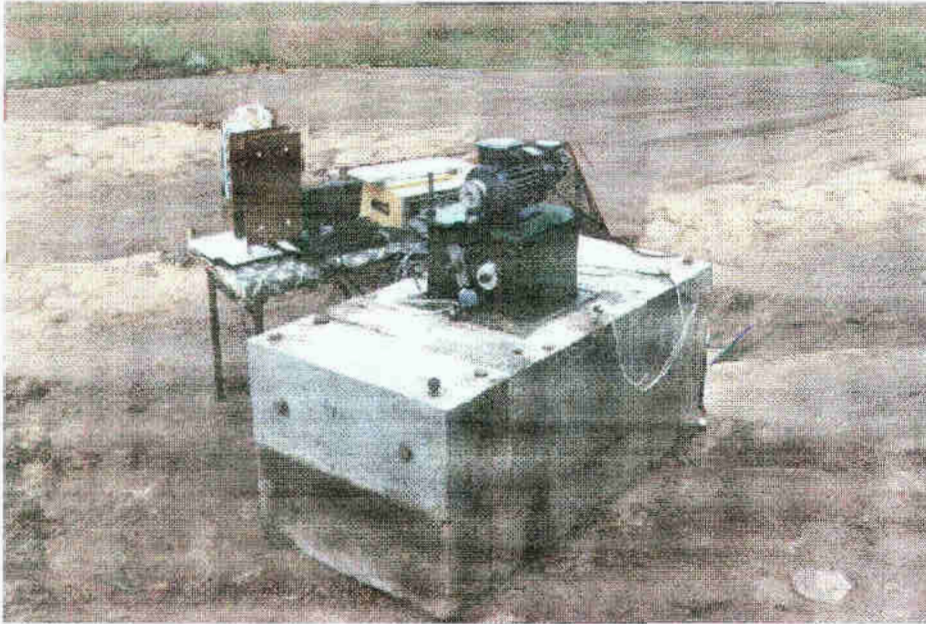
Realizację programu badań rozpoczęto montując na dnie wykonanego wykopu (rys. 3.3 .6) największy z trzech bloków fundamentowych, tj. o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m.



Rys. 3.6. Montaż bloku o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m na dnie wykopu

Przy poziomym zamocowaniu wzbudnika (rys. 2.4 i 3.7), generującym pionową siłę wzbudzającą i przy maksymalnym poziomie obciążenia, wzbudzano drgania fundamentu zmieniając liczbę obrotów silnika.

Dla każdej częstotliwości wzbudzenia dokonywano jednoczesnej rejestracji przyspieszeń z pięciu czujników zamocowanych w punktach pomiarowych na powierzchni bloku znaczonej na rys. 3.5 cyframi 1,2,3 - składowe A1v, A2v, A2h, A3v, A3h) oraz sygnału detektora fazy. Dla ustalonego czasu rejestracji wynoszącego 3s, przy danej częstotliwości wzbudzenia, możliwe było z uwagi na ograniczoną pamięć RAM-u wykonanie serii pomiarów w zakresie częstotliwości wzbudzenia od 10 do 30 Hz, z przyrostem co 2 Hz. Kolejna seria pomiarów była realizowana dla częstotliwości wzbudzenia od 32 do 42 Hz, z przyrostem co 2 Hz. Obie serie pomiarów stanowiły pojedynczy cykl badań, obejmujący założony zakres częstotliwości wzbudzenia od 10 do 42 Hz. Przedstawiony cykl badań powtarzano jeszcze kilkukrotnie otrzymując tym samym po trzy 3-sekundowe rejestracje przebiegów drgań dla każdej częstotliwości wzbudzenia w założonym zakresie częstotliwości.



Rys. 3.7. Blok fundamentowy o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m, zagłębienie $h_p = 0,0$ m, wzbudzenie pionowe

Kolejną czynnością była zmiana poziomu obciążenia z maksymalnego na średni (odrozdzał 2.2), którą realizowano poprzez demontaż bocznej ściany wzbudnika i dołączenie otworach mosiężnych tarcz dodatkowych mas. Po zmianie poziomu obciążenia powtarzano badania wykonując trzy cykle rejestracji (każdy w zakresie częstotliwości wzbudzenia od 10 do 42 Hz).

Zmieniając poziom obciążenia na minimalny powtarzano badania, wykonując kolejne trzy cykle rejestracji drgań.

3.2. Drgania złożone przesuwno-obrotowe

Po zakończeniu badań drgań pionowych fundamentu $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m przystąpiono do badań drgań złożonych przesuwno-obrotowych, zmieniając położenie wzbudnika na poziome (siła wzbudzająca pozioma w płaszczyźnie X_1X_3 - rys. 2.4, i 3.8). Rejestrację ładunkowych drgań prowadzono w tych samych punktach na powierzchni bloku fundamentowego, co w przypadku drgań pionowych, wykonując po trzy pełne cykle badań przy każdej częstotliwości wzbudzenia od 10 do 42 Hz z przyrostem co 2 Hz) dla każdego z trzech poziomów obciążenia.



Rys. 3.8. Blok fundamentowy o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m, zagłębienie $h_p = 0,0$ m, wzbudzenie poziome

Opisany etap badań dotyczył bloku fundamentowego o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m posadowionego na powierzchni gruntu. Został on powtórzony w przypadku bloków fundamentowych usytuowanych na powierzchni gruntu, których wymiary wynosiły $B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7$ m, oraz $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7$ m.

Po zakończeniu badań bloków fundamentowych posadowionych na powierzchni gruntu, przedstawiony w odniesieniu do fundamentu o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m, etap badań stał powtórzony dla wszystkich trzech rodzajów fundamentów zagłębionych do połowy sokości oraz całkowicie zagłębionych.

Na rysunkach 3.9 i 3.10 przedstawiono blok o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m, budzany pionowo i poziomo przy zagłębieniu $h_p = 0,35$ m i $h_p = 0,70$ m.

a)



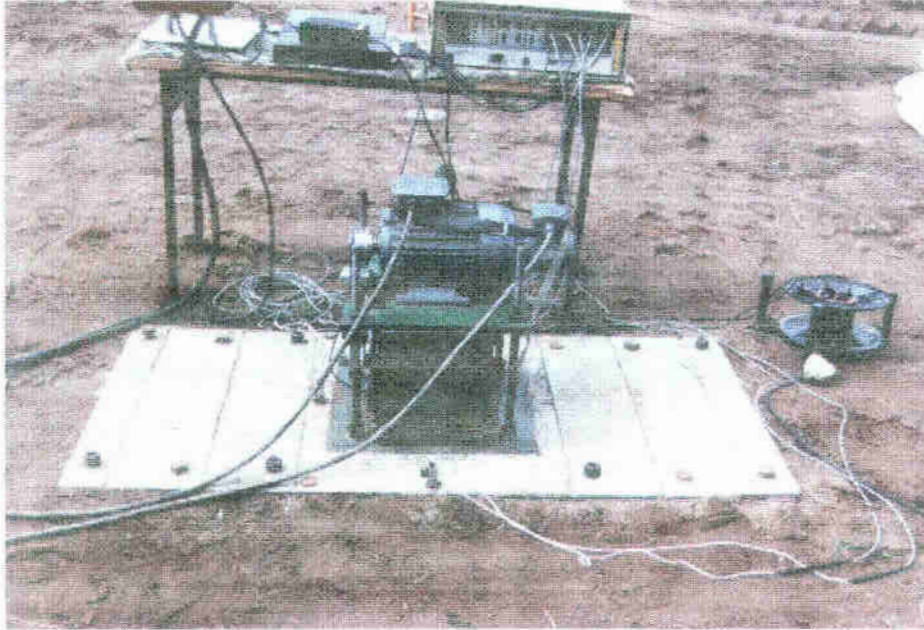
b)



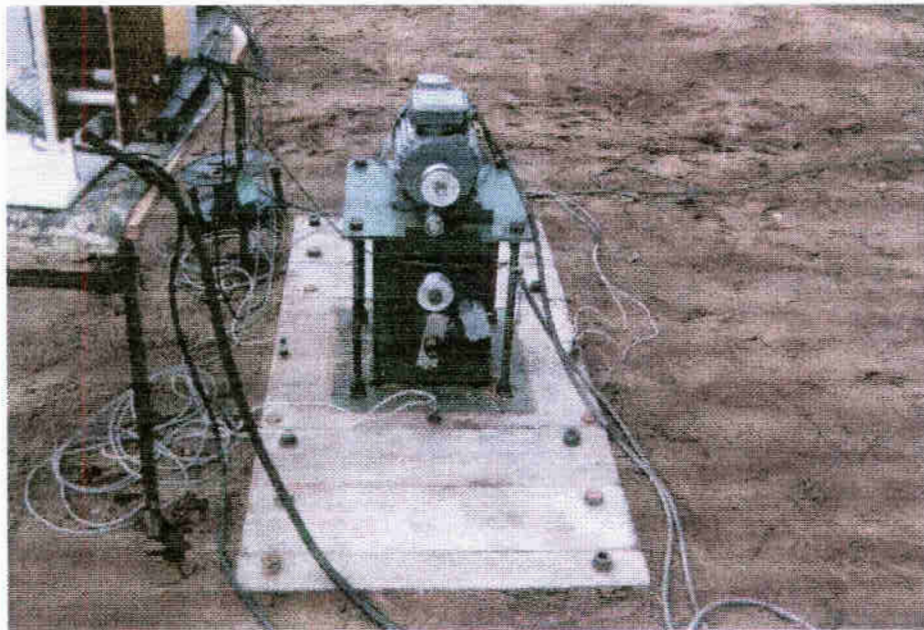
Rys. 3.9. Blok fundamentowy o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m,
zagłębienie $h_p = 0,35$ m

- a) wzbudzenie pionowe,
- b) wzbudzenie poziome

a)



b)



Rys. 3.10. Blok fundamentowy o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m,
zagłębienie $h_p = 0,70$ m

- a) wzbudzenie pionowe,
- b) wzbudzenie poziome

3.3. Propagacja drgań w gruncie

Niezależnie od prowadzonych badań drgań bloków fundamentowych, badano również propagację drgań w gruncie. W tym celu w punktach pomiarowych na powierzchni gruntu naczynych cyframi 4,5,6 (rys. 3.3, 3.5 i 3.11) rejestrowano składowe A_{4v} , A_{4h} , A_{5v} , A_{5h} , A_{6v} , będące wynikiem drgań fundamentów o zróżnicowanej długości ($L=1,6; 1,2; 0,8m$), zbudowanych pionowo. Dla każdego z wymienionych fundamentów wykonano po trzy pełne serie badań (przy częstotliwości wzbudzenia od 10 do 42 Hz z przyrostem co 2 Hz) dla maksymalnego poziomego obciążenia.



Rys. 3.11. Stanowisko do badania propagacji drgań w gruncie

1. Opracowanie wyników

Zarejestrowane w punktach pomiarowych, znajdujących się na bloku fundamentowym, przebiegi przyspieszeń wraz z sygnałem z detektora fazy posłużyły do pośredniego oznaczenia amplitud przemieszczeń oraz kąta przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią układu a siłą wzbudzającą.

Z kolei zarejestrowane w punktach pomiarowych, znajdujących się na gruncie, przebiegi przyspieszeń posłużyły do wyznaczenia zależności dyspersyjnej dla fali powierzchniowej, rozprzeczonyj w gruncie podczas drgań.

1.1. Drgania pionowe

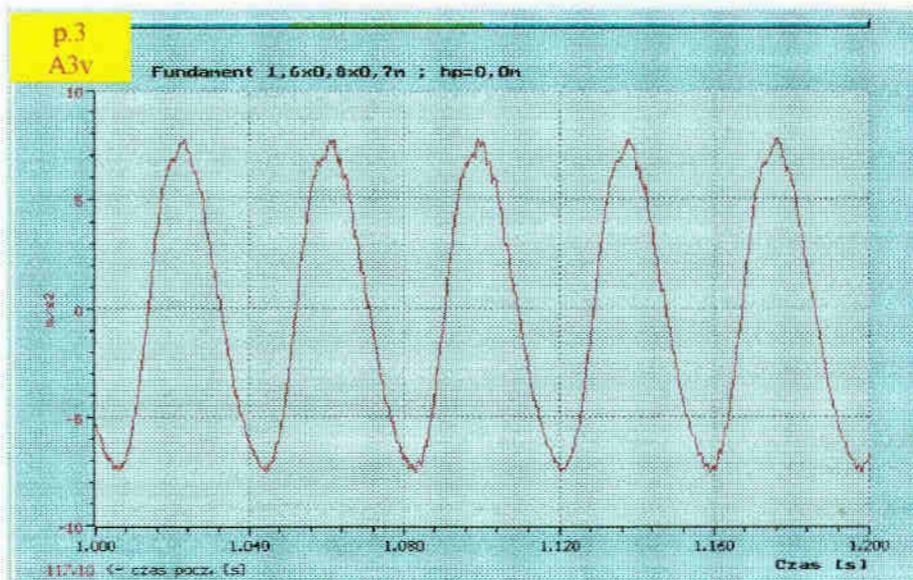
Amplitudy przemieszczeń

Amplitudy przemieszczeń w ruchu pionowym wyznaczano wykorzystując zarejestrowany sygnał przyspieszenia w punkcie pomiarowym 3 (składowa A3v). Pozostałe sygnały z punktów pomiarowych 1 (składowa A1v), 2 (składowe A2v, A2h) i 3 (składowa A3h), wykorzystano jako kontrolne.

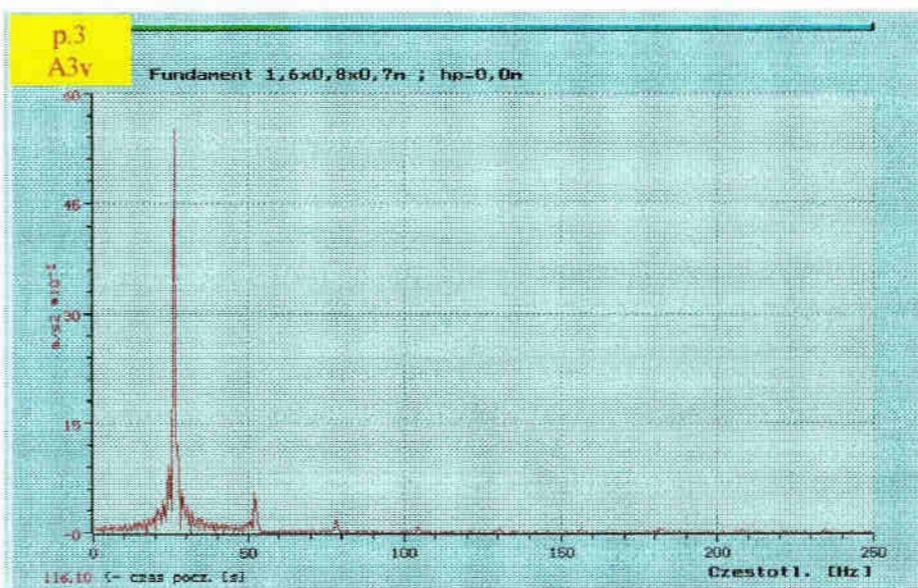
Sposób wyznaczania amplitud przemieszczeń podczas stacjonarnych drgań pionowych bloków fundamentowych zostanie przedstawiony na przykładzie bloku o wymiarach $B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$, znajdującego się na powierzchni gruntu, wzbudzonego pionową siłą harmoniczną o maksymalnej intensywności, przy częstotliwości wzbudzenia równej 26 Hz. Wykres przebiegu przyspieszenia drgań bloku na kierunku pionowym, zarejestrowanego przez czujnik umieszczony na osi podłużnej bloku (punkt pomiarowy 3, składowa A3v - rys. 3.5) łącznie z analizą częstotliwościową sygnału przedstawiono na rys. 3.12. W celu usunięcia szumów wysokoczęstotliwościowych, jakie zawierały sygnały rejestrowane przy różnych częstotliwościach wzbudzenia, zastosowano filtrację cyfrową (Bendat (1976), Tompkins (1999), Ozimek (1985)). Wykorzystano dostępny w oprogramowaniu E.S.A.M.3000 Inproprzepustowy filtr cyfrowy Butterwortha o częstotliwości odcięcia 90 Hz i nachyleniu zbocza 20 dB/oct. Szumy niskoczęstotliwościowe oraz powstałe na etapie przetwarzania niektórych sygnałów trendy, były usuwane górnoprzepustowym filtrem cyfrowym Butterwortha o częstotliwości odcięcia 6 Hz i nachyleniu zbocza 12 dB/oct. Na rys. 3.13. przedstawiono charakterystykę zastosowanych filtrów Butterwortha.

Powiększony obraz sygnału po filtracji wraz z analizą częstotliwościową przedstawiono na rys. 3.14. Rysunek 3.15 pokazuje drgania w szerszym przedziale czasu, oraz wartość lwojonej amplitudy przyspieszenia.

a)



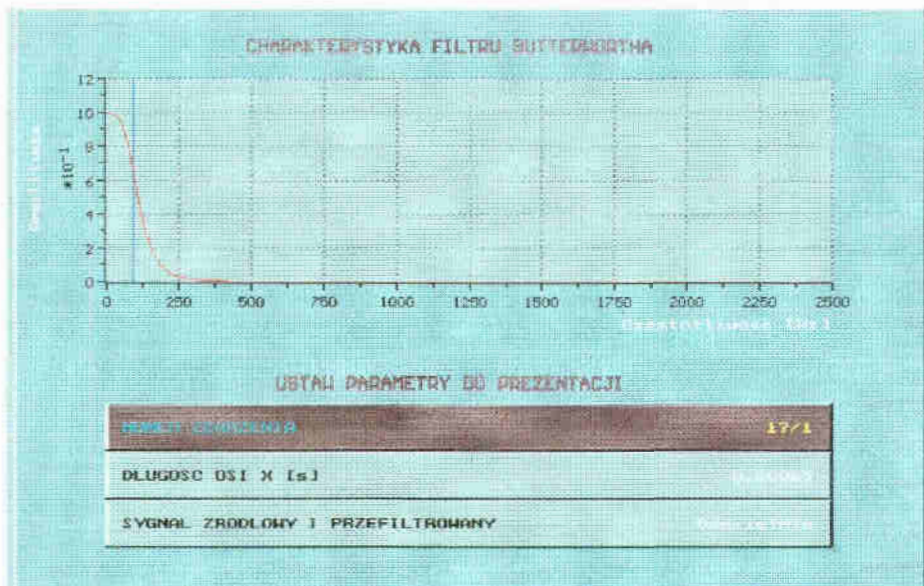
b)



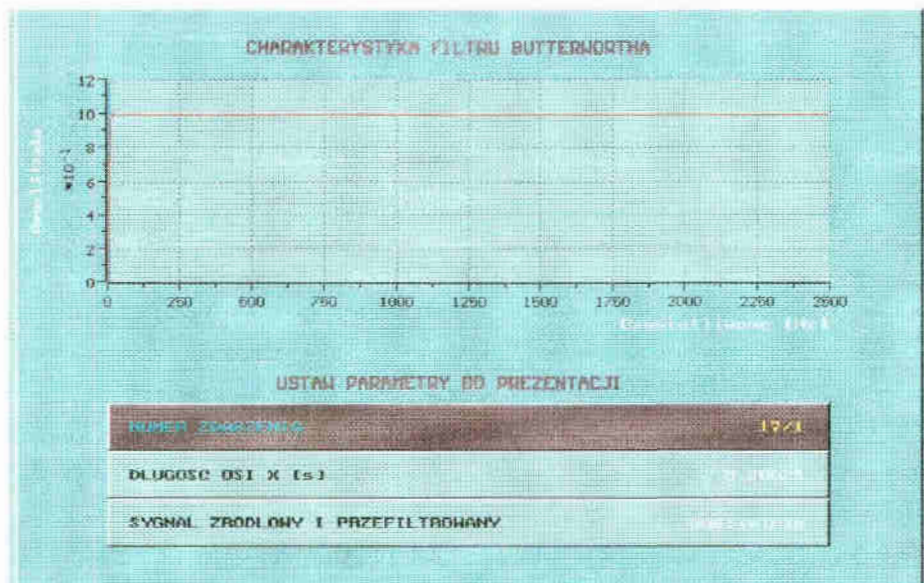
rys. 3.12. Przyspieszenie ruchu pionowego bloku fundamentowego $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m, zagłębienie $h_p = 0,0$ m, częstotliwość wzbudzenia 26 Hz

- przebieg w czasie - przedział 1,0÷1,2s,
- widmo sygnału

a)



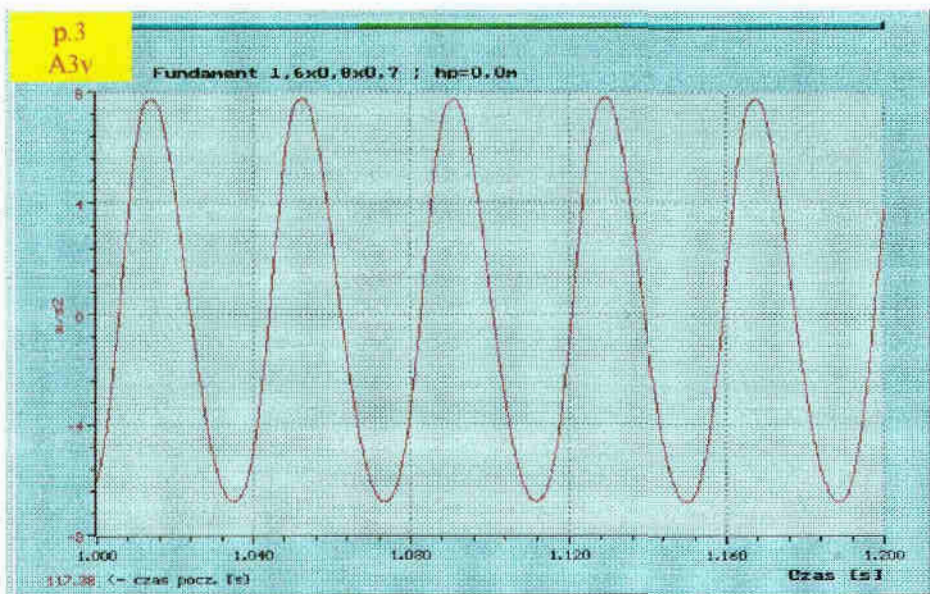
b)



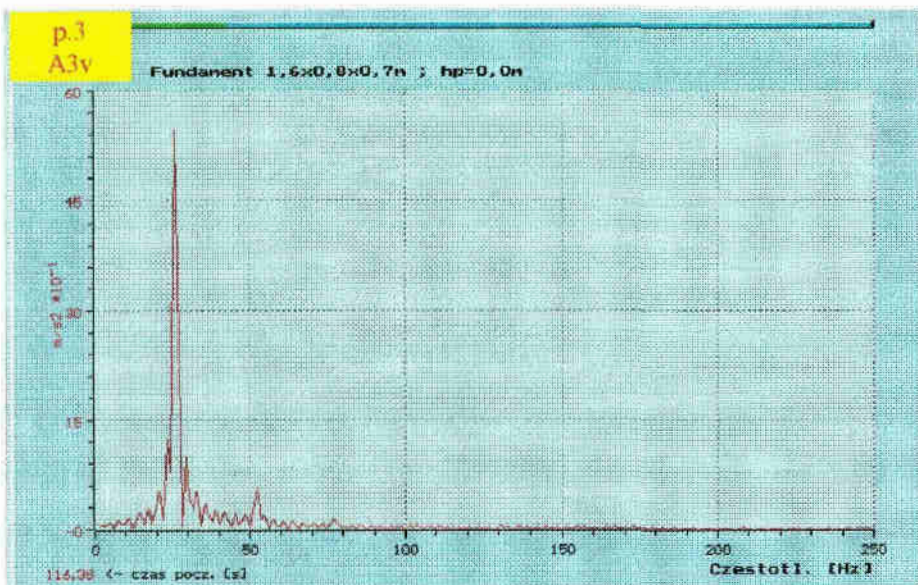
Rys. 3.13. Filtracja sygnału przyspieszenia

- a) charakterystyka dolnoprzepustowego filtra cyfrowego Butterwortha,
 b) charakterystyka górnoprzepustowego filtra cyfrowego Butterwortha

a)



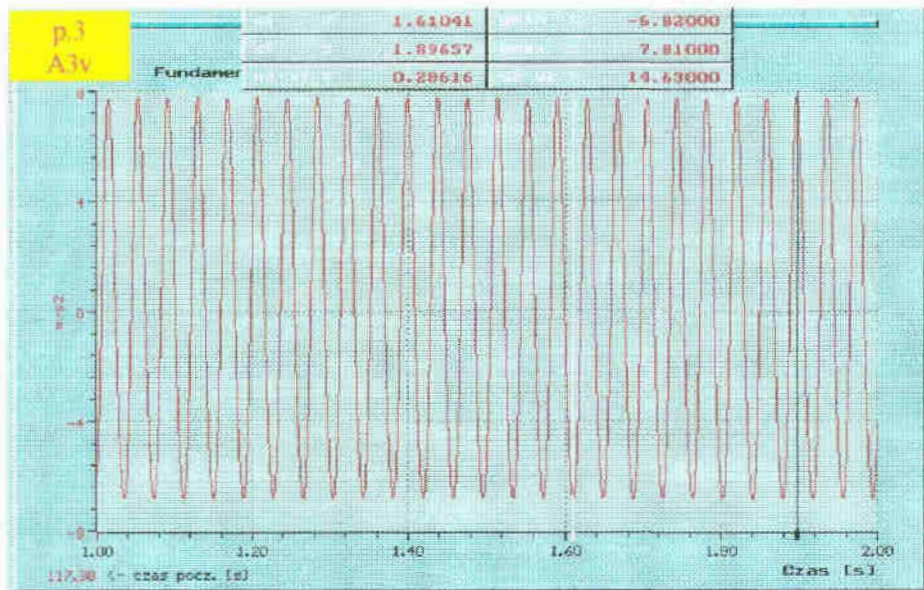
b)



Rys. 3.14. Przyspieszenie ruchu pionowego bloku po filtracji dolno- i górnoprzepustowej

a) przebieg w czasie - przedział 1,0÷1,2s,

b) widmo sygnału



rys. 3.15. Przyspieszenie ruchu pionowego bloku po filtracji dolno- i górnoprzepustowej, przebieg w czasie - przedział 1,0÷2,0s

Odczytaną wartość podwojonej amplitudy przyspieszenia $2\ddot{A}_{3v}$ podzielono przez 2, a następnie, zgodnie z teorią ruchu harmonicznego, przez kwadrat częstości wymuszenia uzyskując tym samym wartość amplitudy przemieszczenia w ruchu pionowym bloku fundamentowego

$$A_v^{(1)} \equiv A_{3v}^{(1)} = \frac{\ddot{A}_{3v}}{\omega^2} = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{2} \cdot \frac{1}{\omega^2} \quad [\text{m}], \quad (3.1)$$

gdzie: $\omega = 2\pi f$ - częstość siły wzbudzającej $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$, (3.2)

⁽¹⁾ - pierwszy cykl badań.

W sposób analogiczny wyznaczano amplitudę przemieszczenia podczas dwóch pozostałych cykli pomiarów. Ostateczną wartość amplitudy przemieszczenia określano jako średnią arytmetyczną z trzech wartości amplitud

$$A_v \equiv A_{3v} = \frac{1}{3} \left(A_{3v}^{(1)} + A_{3v}^{(2)} + A_{3v}^{(3)} \right) \quad [\text{m}], \quad (3.3)$$

gdzie: ⁽²⁾, ⁽³⁾ - drugi i trzeci cykl badań.

Zestawienie amplitud przyspieszeń drgań $\ddot{A}_{3v} [\text{m/s}^2]$ w ruchu pionowym bloków fundamentowych zawiera tablica Z2.1, zaś amplitud przemieszczeń $A_v \equiv A_{3v} [\text{m}]$ tablica Z2.2. Wartości bezwymiarowe \tilde{A}_v obliczono według wzoru (3.4) i zamieszczono w tablicy Z2.3.

$$\tilde{A}_v = \frac{A_v}{\frac{m_0 e}{m}} \quad (3.4)$$

Wyrażenia normujące zestawiono w tabelicy 3.1.

Tabela 3.1 Wyrażenia normujące $m_0 e / m$

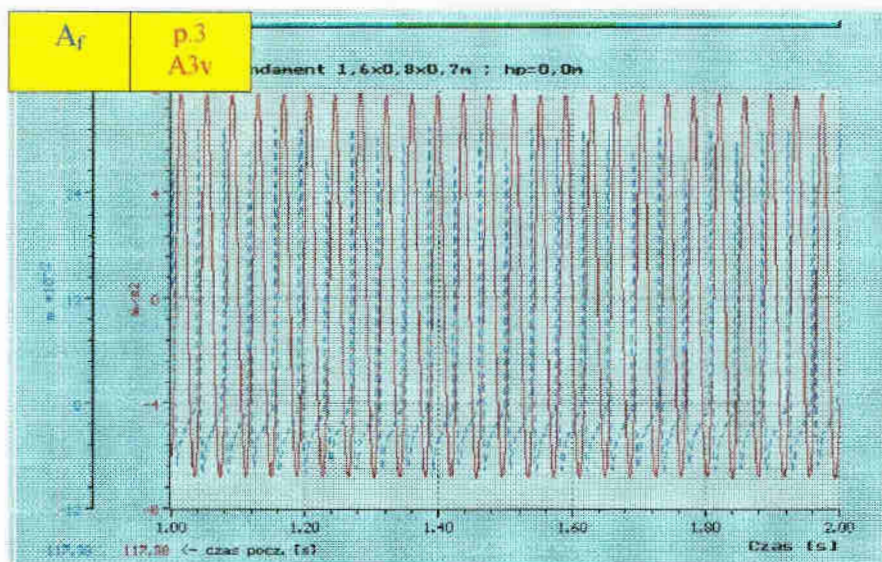
Lok L x B x H [m]	Poziom wymuszenia	$m_0 e / m$ [m]		
0,8 x 0,8 x 0,7	maksymalny	2,325E-04	1,819E-04	1,364E-04
1,2 x 0,8 x 0,7	średni	1,627E-04	1,273E-04	9,546E-05
1,6 x 0,8 x 0,7	minimalny	1,252E-04	9,795E-05	7,343E-05

t przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzającą

Sposób wyznaczania kąta przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzającą podczas stacjonarnych drgań pionowych bloków fundamentowych zostanie sformułowany na przykładzie bloku o wymiarach LxBxH=1,6x0,8x0,7 m, znajdującego się na powierzchni gruntu, wzbudzonego pionową siłą harmoniczną o maksymalnej intensywności, przy częstotliwości wzbudzenia równej 26 Hz. Fragment przebiegu przyspieszenia drgań bloku w kierunku pionowym, zarejestrowanego przez czujnik umieszczony na osi podłużnej bloku (punkt pomiarowy 3 składowa A3v - rys. 3.5), łącznie z sygnałem zarejestrowanym przez detektor fazy przedstawiono na rys. 3.16.

Na wstępie należało określić różnicę w czasie Δt pomiędzy chwilą, w której siła wzbudzająca osiągała wartość maksymalną (sygnał z detektora fazy) a chwilą, w której występowała maksymalna odpowiedź układu (składowa A3v). Dla łącznego czasu rejestracji wynoszącego 3s różnicę Δt wyznaczano w chwili 0,75s, 1,5s i 2,25s od momentu rozpoczęcia rejestracji (test stacjonarności sygnału). Na rys. 3.17 ÷ 3.19 przedstawiono powiększone fragmenty zarejestrowanych sygnałów oraz podano wartości różnic w czasie $\Delta t_{0,75}^{(1)}$, $\Delta t_{1,50}^{(1)}$ i $\Delta t_{2,25}^{(1)}$. Dla pojedynczego rozpatrywanego cyklu badań otrzymano

$$\Delta t_{0,75}^{(1)} = \Delta t_{1,50}^{(1)} = \Delta t_{2,25}^{(1)} = 0,01262s \text{ co potwierdza stacjonarność sygnału.}$$



Rys. 3.16. Przyspieszenie ruchu pionowego bloku oraz sygnał z detektora fazy, przebieg w czasie - przedział 1,0÷2,0s

tatecznie, uwzględniając pozostałe dwa cykle badań

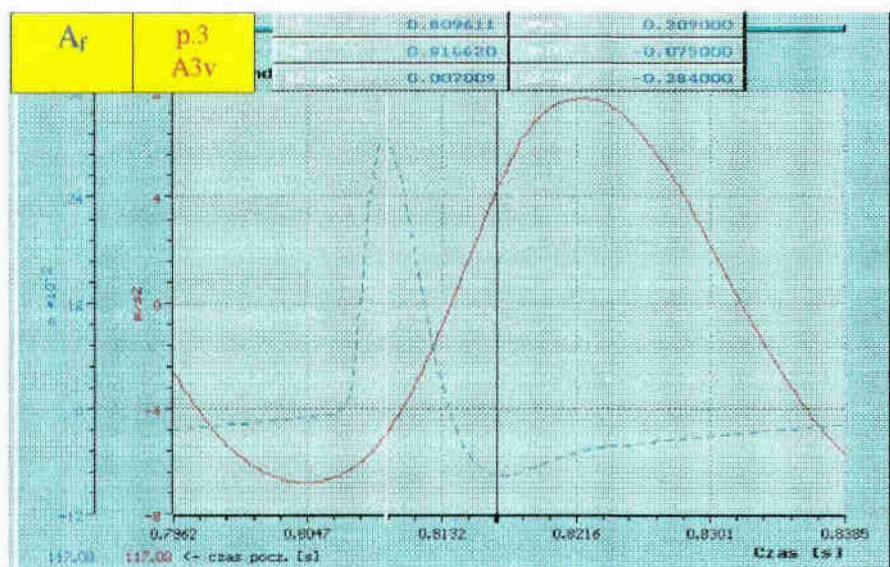
$$\Delta t = \frac{1}{3} \cdot (\Delta t^{(1)} + \Delta t^{(2)} + \Delta t^{(3)}) \quad [s] . \quad (3.5)$$

kt przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzącą jest równy (Chenbach (1973))

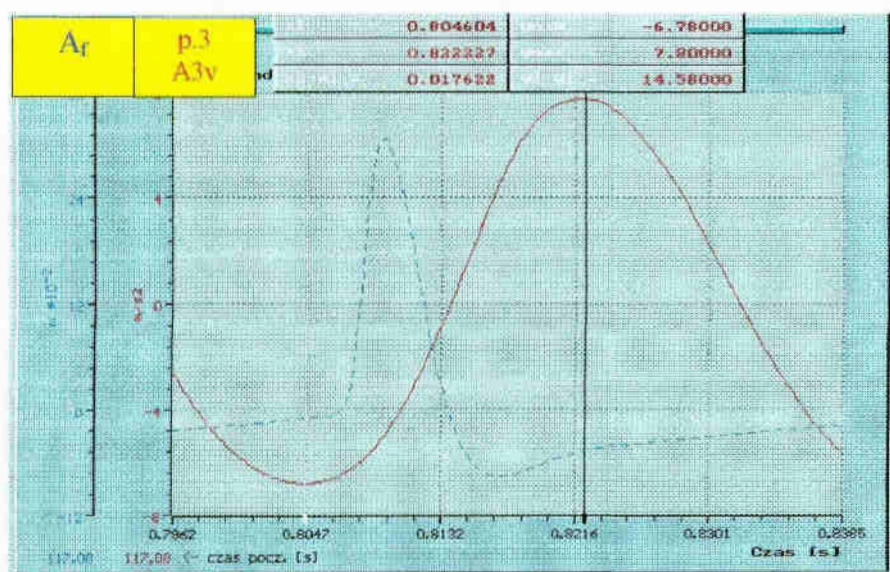
$$\alpha_v = \Delta t \cdot \omega \quad [\text{rad}] . \quad (3.6)$$

W tabeli 2.4 zawarte są wartości Δt , natomiast wyznaczone wartości kątów przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzącą zawarto w tabeli 2.5. Kątów przesunięcia fazowego nie wyznaczano w przypadkach, gdzie wskutek zbyt małej masy obciążenia i występujących dużych zniekształceń sygnałów nie można było jednoznacznie określić wartości Δt (brak wartości liczbowych w tabeli 2.5).

a)



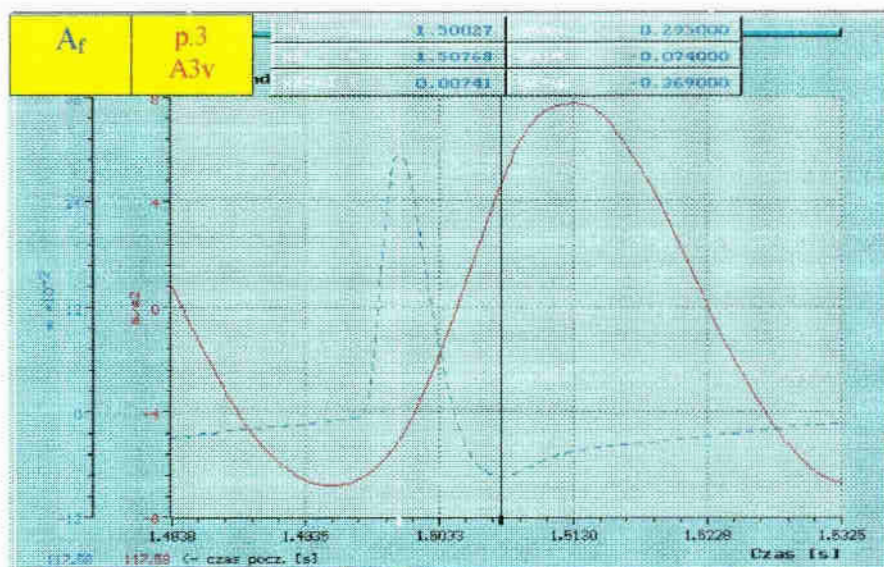
b)



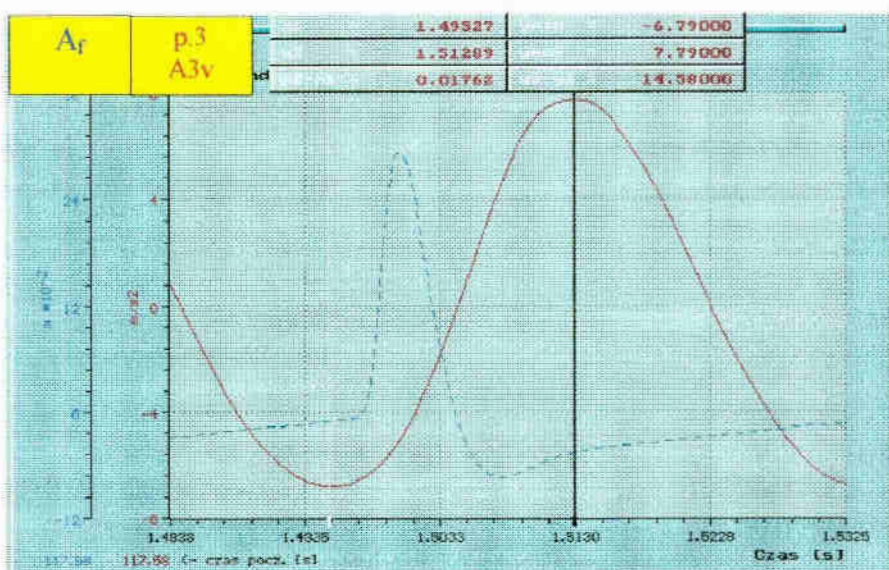
Rys. 3.17. Różnica w czasie pomiędzy chwilą, w której siła wzbudzająca osiąga wartość maksymalną a chwilą, w której następuje maksymalna odpowiedź układu, po upływie 0,75s od momentu rozpoczęcia rejestracji

$$\Delta t_{0,75}^{(1)} = 0,822227 - 0,809611 = 0,01262 \text{ s}$$

a)



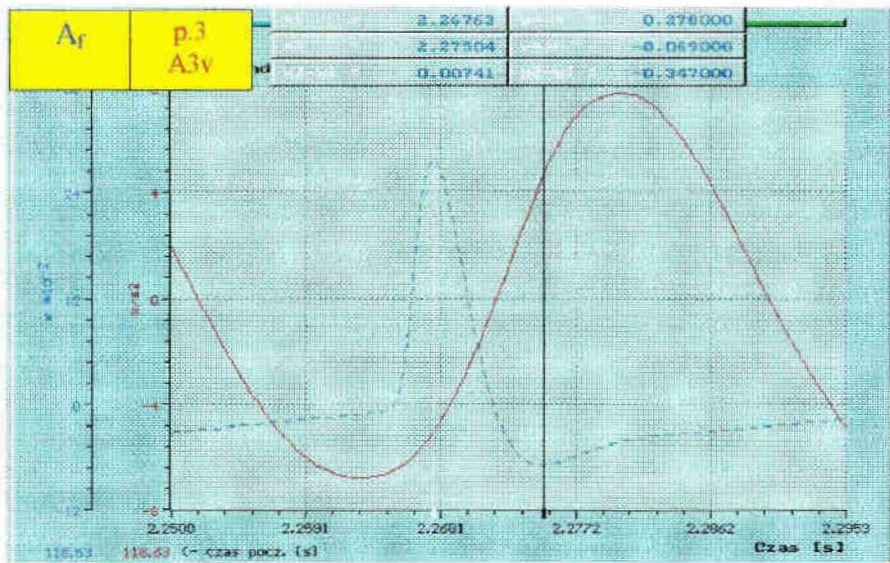
b)



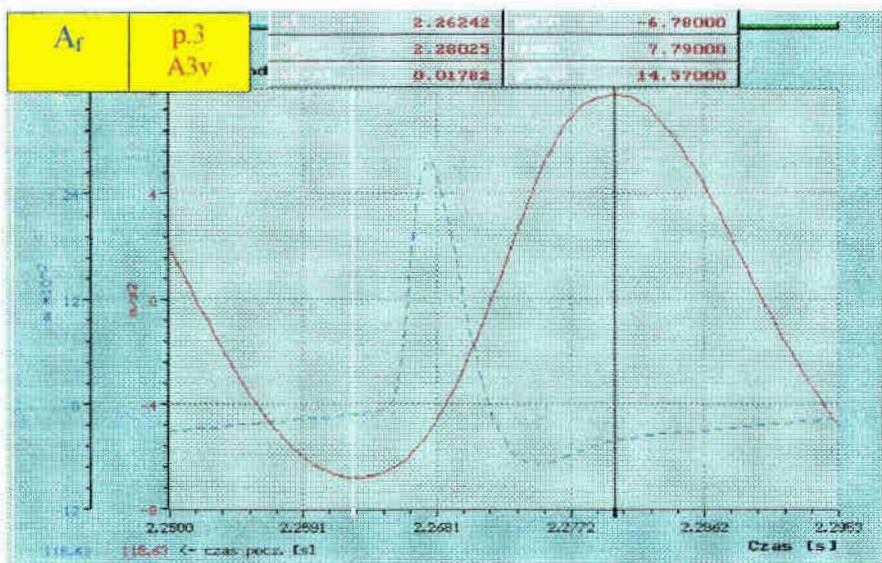
Rys. 3.18. Różnica w czasie pomiędzy chwilą, w której siła wzbudzająca osiąga wartość maksymalną a chwilą, w której następuje maksymalna odpowiedź układu, po upływie 1,5s od momentu rozpoczęcia rejestracji

$$\Delta t_{1,5}^{(1)} = 1,51289 - 1,50027 = 0,01262 \text{ s}$$

a)



b)



Rys. 3.19. Różnica w czasie pomiędzy chwilą, w której siła wzbudzająca osiąga wartość maksymalną a chwilą, w której następuje maksymalna odpowiedź układu, po upływie 2,25s od momentu rozpoczęcia rejestracji

$$\Delta t_{2,25}^{(1)} = 2,28025 - 2,26763 = 0,01262 \text{ s}$$

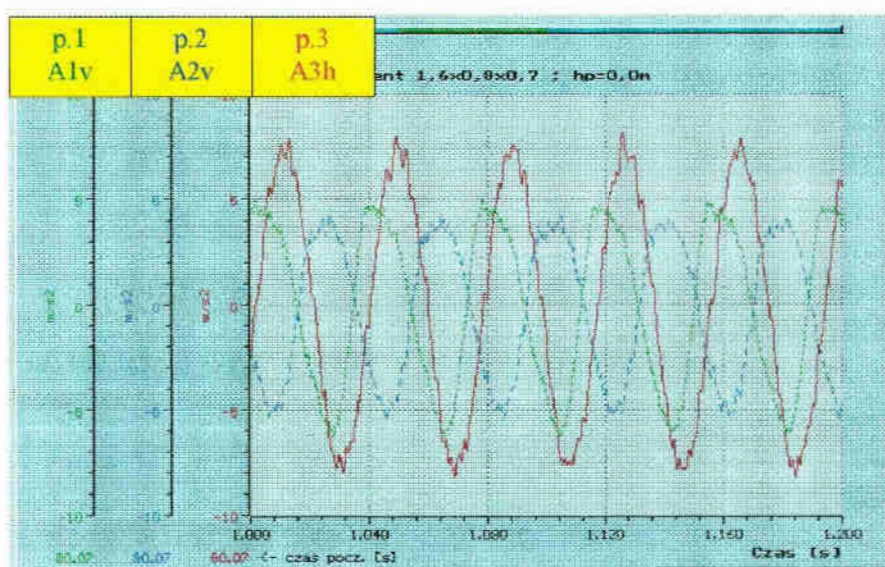
2. Drgania złożone przesuwno-obrotowe

Amplitudy przemieszczeń

Składowe od obrotu i od przesuwu podczas drgań złożonych przesuwno-obrotowychznaczano wykorzystując amplitudy przemieszczeń, określone na podstawie rejestrowanych sygnałów przyspieszenia w punktach pomiarowych 1 (składowa A1v), składowa A2v) i 3 (składowa A3h) - rys. 3.5.

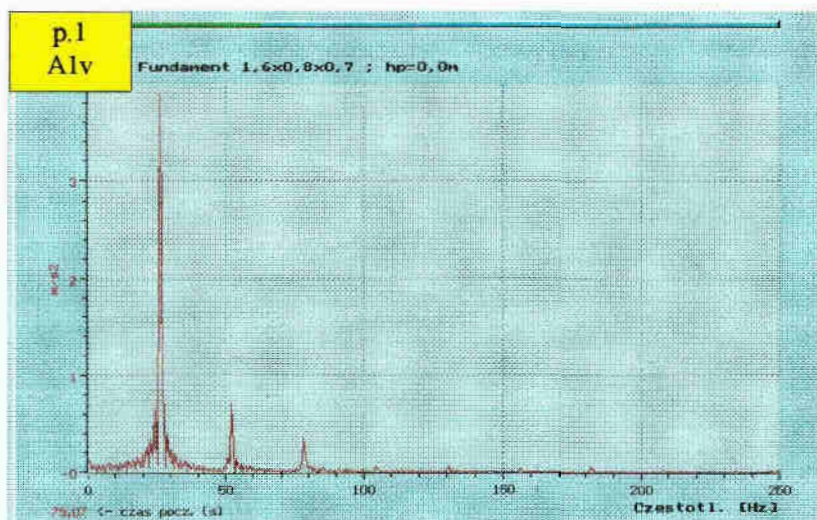
Sposób wyznaczania amplitud przemieszczeń zostanie przedstawiony na przykładzie bloku wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7m$, znajdującego się na powierzchni gruntu, wzbudzonego ziomą siłą harmoniczną o maksymalnej intensywności, przy częstotliwości wzbudzenia wnej 26 Hz (jak dla drgań pionowych).

Fragment przebiegów przyspieszeń drgań rozpatrywanego bloku, zarejestrowanych łczas pojedynczego cyklu badań, przez czujniki umieszczone w punktach pomiarowych składowa A1v), 2 (składowa A2v) oraz 3 (składowa A3h) przedstawiono na rys. 3.20. rysunku 3.21 pokazano natomiast analizy widmowe rozpatrywanych sygnałów.

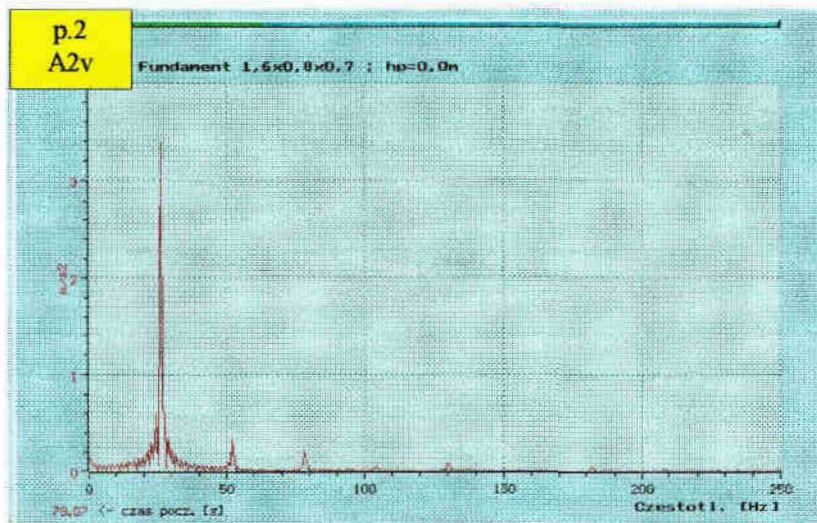


rys. 3.20. Przyspieszenia w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloku fundamentowego $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7m$, zagłębienie $h_p = 0,0m$, częstotliwość wzbudzenia 26Hz, przebieg w czasie - przedział 1,0÷1,2s

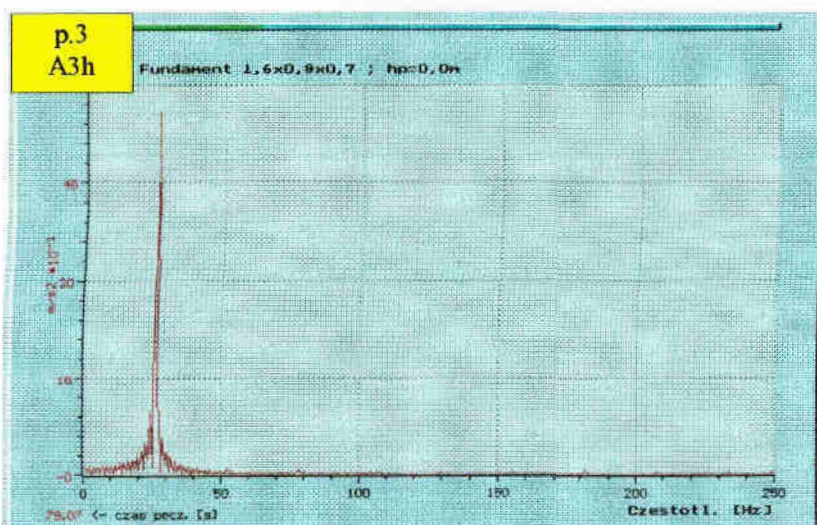
a)



b)

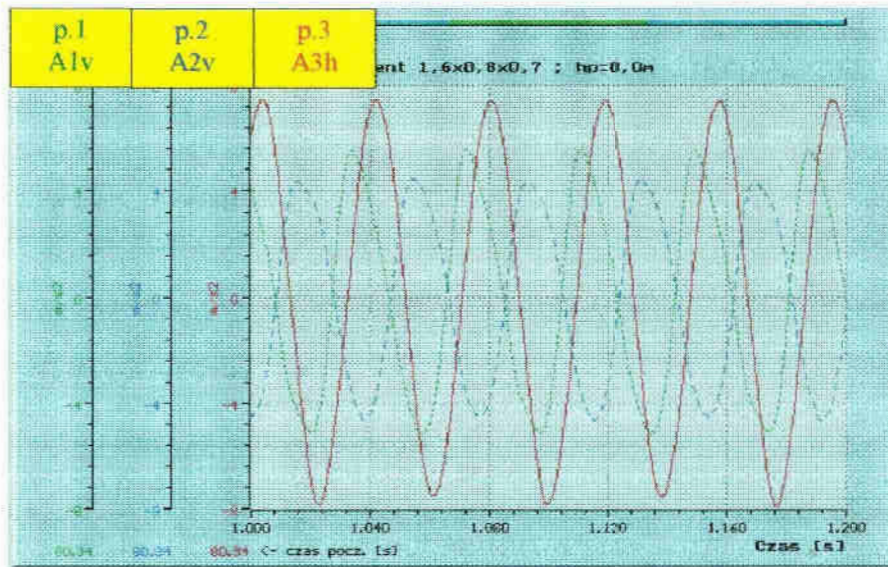


c)



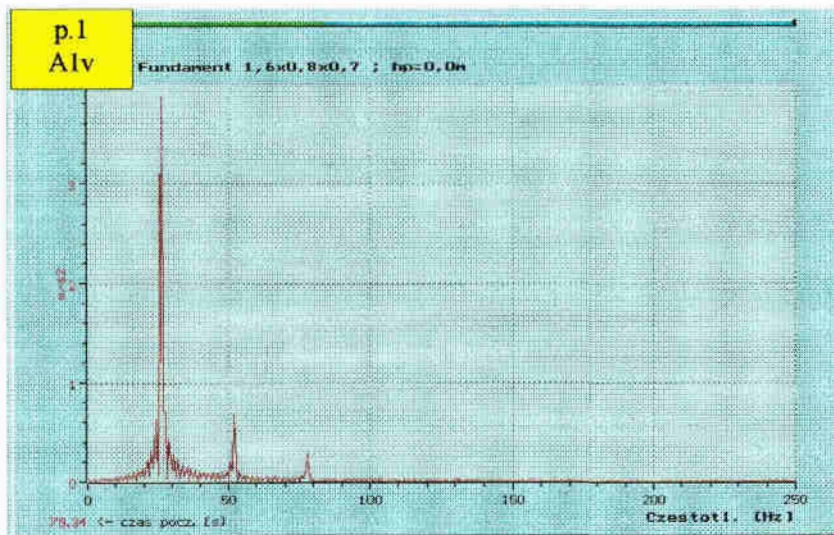
Rys. 3.21. Widma sygnałów przyspieszenia a) A1v, b) A2v, c) A3h

Zarejestrowane sygnały przyspieszeń poddano filtracji cyfrowej opisanej w podrozdziale .1. Na rys. 3.22 przedstawiono przyspieszenia w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym ku po filtracji, zaś na rys. 3.23 - odpowiadające tym sygnałom analizy widmowe.

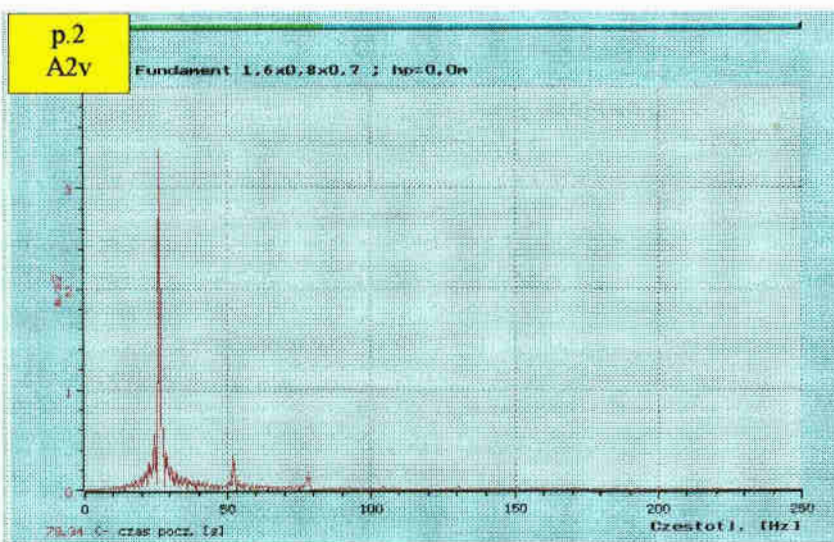


Rys. 3.22. Przyspieszenia w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloku po filtracji dolno- i górnoprzepustowej, przebieg w czasie - przedział 1,0÷1,2s

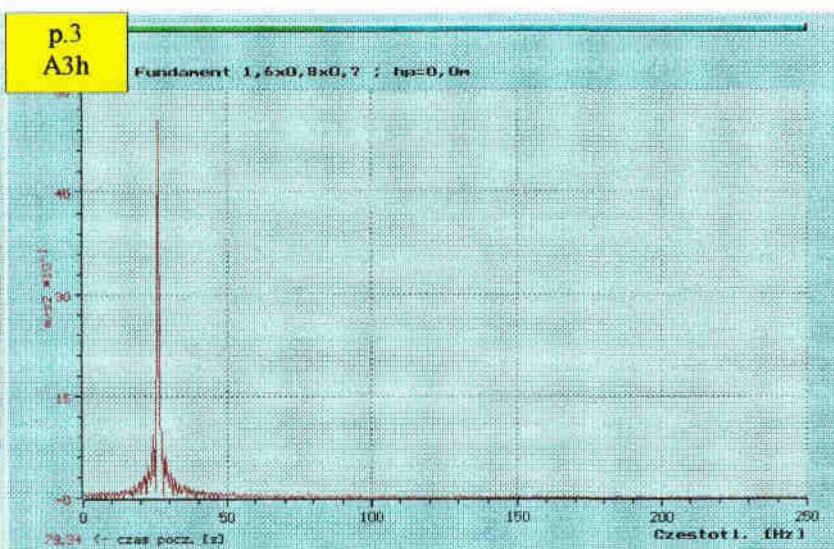
a)



b)



c)



Rys. 3.23. Widma sygnałów przyspieszenia po filtracji: a) A1v, b) A2v, c) A3h

Stosując procedury opisane w przypadku drgań pionowych (podrozdział 3.4.1 zory 3.1÷3.3) wyznaczono amplitudy przemieszczeń A_{1v} , A_{2v} i A_{3h} , które zestawiono w tablicach Z2.6 ÷ Z2.8. Amplitudy te pozwoliły określić składowe przemieszczenia od zesu i od obrotu podczas drgań złożonych przesuwno-obrotowych bloków ndamentowych. Składowe określono w układzie osi X_1, X_2, X_3 (rys. 3.5 i Z.1)

składowa translacyjna (od przesuwno)

$$A_h^{(1)} \equiv A_{3h}^{(1)} = \frac{\tilde{A}_{3h}}{\omega^2} = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{2} \cdot \frac{1}{\omega^2} \quad [m], \quad (3.7)$$

$$A_h \equiv A_{3h} = \frac{1}{3} (A_{3h}^{(1)} + A_{3h}^{(2)} + A_{3h}^{(3)}) \quad [m], \quad (3.8)$$

składowa rotacyjna (od obrotu)

$$A_\phi = \frac{A_{1v} + A_{2v}}{0,75} \quad [rad], \quad (3.9)$$

zie 0,75[m] jest odległością na kierunku poziomym pomiędzy punktami pomiarowymi 2 (rys. Z.1).

Wartości amplitud A_h i A_ϕ zestawiono w tablicach Z2.9, Z2.11 i Z2.13. Wartości zwymiarowe \tilde{A}_h i \tilde{A}_ϕ

$$\tilde{A}_h = \frac{A_h}{\frac{m_o e}{m}} \quad (3.10)$$

$$\tilde{A}_\phi = \frac{A_\phi}{\frac{m_o e z_Q^P}{J_{22}^P}} \quad (3.11)$$

mieszczono w tablicach Z2.10, Z2.12 i Z2.14.

Wartości wyrażenia normującego $m_o e / m [m]$ zamieszczono w tablicy 3.1, wyrażenia $m_o e z_Q^P / J_{22}^P$ w tablicy 3.2.

bllica 3.2 Wyrażenia normujące $m_o e z_Q^P / J_{22}^P$

łok L x B x H [m]	Poziom wymuszenia	$m_o e z_Q^P / J_{22}^P$		
0,8 x 0,8 x 0,7	maksymalny	2,723E-04	2,131E-04	1,597E-04
1,2 x 0,8 x 0,7	średni	1,875E-04	1,467E-04	1,100E-04
1,6 x 0,8 x 0,7	minimalny	1,425E-04	1,115E-04	8,361E-05

ąt przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzającą

Sposób wyznaczania kątów przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą zbudującą w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym zostanie przedstawiony na przykładzie bloku o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$, znajdującego się na powierzchni gruntu, zbudzonego poziomą siłą harmoniczną o maksymalnej intensywności, przy częstotliwości zbudzenia równej 26 Hz (jak dla drgań pionowych). Fragment przebiegu przyspieszeń drgań bloku, zarejestrowanych przez czujniki umieszczone w punktach pomiarowych 2 i 3 (składowe $2v$ i $A3h$ - rys. 3.5), łącznie z sygnałem zarejestrowanym przez detektor fazy przedstawiono na rysunku 3.24. Wstępnie należało określić różnicę w czasie pomiędzy chwilą, w której siła zbudująca osiągała wartość maksymalną (sygnał z detektora fazy) a chwilą, w której występowała maksymalna odpowiedź układu w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym ($\Delta t_h, \Delta t_\varphi$). Odpowiedź ta określona jest poprzez składową translacyjną w punkcie 3 ($A3h$) oraz składową rotacyjną w punkcie 2 ($A2v$). Różnicę Δt wyznaczano po upływie 0,75s, 1,5s i 2,25s od momentu rozpoczęcia rejestracji tak, jak w przypadku drgań pionowych (p.3.4.1). Na rysunku 3.24 przedstawiono powiększone fragmenty zarejestrowanych sygnałów oraz podano wartości różnic w czasie pomiędzy maksymalną siłą wzbudzającą a maksymalną odpowiedzią układu w ruchu złożonym. Różnice te były stałe w całym sekundowym czasie rejestracji ($\Delta t_{h,(0,75)}^{(1)} = \Delta t_{h,(1,5)}^{(1)} = \Delta t_{h,(2,25)}^{(1)}, \Delta t_{\varphi,(0,75)}^{(1)} = \Delta t_{\varphi,(1,5)}^{(1)} = \Delta t_{\varphi,(2,25)}^{(1)}$) - potwierdza stacjonarność sygnału. Uwzględniając trzy cykle badań otrzymano

dla składowej translacyjnej w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym

$$\Delta t_h = \frac{1}{3} \cdot (\Delta t_h^{(1)} + \Delta t_h^{(2)} + \Delta t_h^{(3)}) \quad [\text{s}] \quad (3.12)$$

dla składowej rotacyjnej w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym

$$\Delta t_\varphi = \frac{1}{3} \cdot (\Delta t_\varphi^{(1)} + \Delta t_\varphi^{(2)} + \Delta t_\varphi^{(3)}) \quad [\text{s}]. \quad (3.13)$$

ąt przesunięcia fazowego pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzającą jest równy

dla składowej translacyjnej w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym

$$\alpha_h = \Delta t_h \cdot \omega \quad [\text{rad}] \quad (3.14)$$

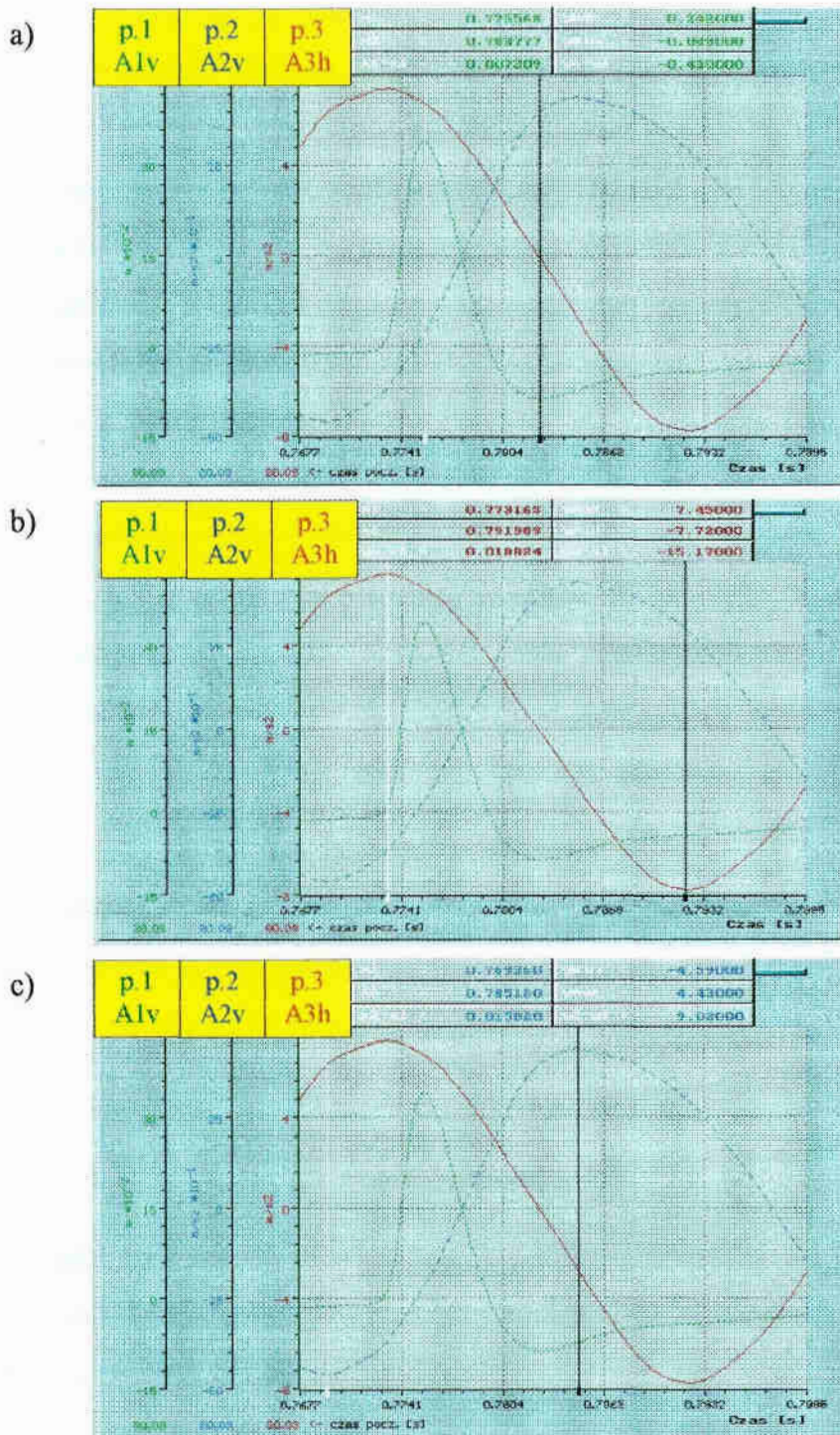
dla składowej translacyjnej w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym

$$\alpha_\varphi = \Delta t_\varphi \cdot \omega \quad [\text{rad}]. \quad (3.15)$$

Wartości kątów przesunięcia fazowego α_h i α_φ zestawiono w tablicach Z2.15 i Z2.16.

Kątów przesunięcia fazowego nie wyznaczano w przypadkach, gdzie skutek zbyt małej

ensywności obciążenia i występujących dużych zniekształceń sygnałów nie można było loznacznie określić wartości Δt (brak wartości liczbowych w tablicach Z2.15 i Z2.16).



Rys. 3.24. Przyspieszenia w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloku oraz sygnał z detektora fazy, przebieg w czasie po upływie 0,75s od momentu rozpoczęcia rejestracji

a) maksymalne wzbudzenie $t_{0,75} = 0,775568 \text{ s},$

b) składowa translacyjna $A_{3y} \quad \Delta t_{h,(0,75)}^{(1)} = 0,791989 - 0,775568 \cong 0,01642 \text{ s},$

c) składowa rotacyjna $A_{2z} \quad \Delta t_{\varphi,(0,75)}^{(1)} = 0,785180 - 0,775568 \cong 0,00961 \text{ s}$

1.3. Propagacja drgań w gruncie

Prędkości fazowe i długości fal powierzchniowych, generowanych w gruncie podczas drgań znaczone, wykorzystując zarejestrowane w punktach pomiarowych 4, 5 i 6 sygnały przyspieszenia (składowe A4v, A5v i A6v - rys. 3.5). Sygnały przyspieszenia były rejestrowane w czasie rzeczywistym, a następnie zostały poddane filtracji cyfrowej według zasad sanych w podrozdziale 3.4.1.

Sposób wyznaczania prędkości fazowej i długości fali powierzchniowej, generowanej podczas stacjonarnych drgań pionowych bloków fundamentowych, zostanie przedstawiony na przykładzie bloku o wymiarach $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7 \text{m}$, znajdującego się na powierzchni gruntu, wzbudzonego pionową siłą harmoniczną o maksymalnej intensywności, przy częstotliwości wzbudzenia równej 26 Hz.

Czas propagacji fali określono jako różnicę w czasie Δt pomiędzy chwilami, w których występowała maksymalna wartość przyspieszenia zarejestrowanego przez czujniki umieszczone w punktach pomiarowych 4 i 5 (składowe A4v i A5v). Różnicę Δt wyznaczano po upływie 0,75s, 1,5s i 2,25s od momentu rozpoczęcia rejestracji otrzymując

$$\Delta t_{(4-5)}^{(1)} = \Delta t_{(4-5)0,75}^{(1)} = \Delta t_{(4-5)1,5}^{(1)} = \Delta t_{(4-5)2,25}^{(1)} \quad [\text{s}]. \quad (3.16)$$

Na rys. 3.25 przedstawiono powiększone fragmenty zarejestrowanych i przefiltrowanych sygnałów w punktach 4 i 5, oraz podano wartość czasu propagacji fali ($\Delta t_{(4-5)0,75}^{(1)}$) po upływie 0,75s od momentu rozpoczęcia rejestracji. Ostatecznie, uwzględniając pozostałe dwa cykle drgań

$$\Delta t_{(4-5)} = \frac{1}{3} \cdot (\Delta t_{(4-5)}^{(1)} + \Delta t_{(4-5)}^{(2)} + \Delta t_{(4-5)}^{(3)}) \quad [\text{s}]. \quad (3.17)$$

określony w analogiczny sposób czas propagacji pomiędzy punktami 5 i 6 (składowe A5v i A6v) nie różnił się od czasu propagacji pomiędzy punktami 4 i 5 (odległość między punktami pomiarowymi $\Delta y_{4-5} = \Delta y_{5-6} = 1,60 \text{m}$ - rys. 3.3 i 3.5)

$$\Delta t_{(4-5)} = \Delta t_{(5-6)} = \Delta t \quad [\text{s}]. \quad (3.18)$$

Znając odległość pomiędzy punktami pomiarowymi i czas propagacji, prędkość fazową fali powierzchniowej określono ze wzoru

$$\hat{C} = \frac{\Delta y_{4-5}}{\Delta t_{4-5}} = \frac{1,60}{\Delta t} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right], \quad (3.19)$$

astępnie jej długość z zależności

$$\hat{L} = \frac{\hat{C}}{f} \quad [\text{m}] \quad (3.20)$$

stawienie prędkości fazowych oraz długości fali powierzchniowej zawarto w tabelicy Z2.17. Prędkości fazowych nie wyznaczano w przypadkach, gdzie wskutek zbyt małej intensywności ciążenia i występujących dużych zniekształceń sygnałów nie można było jednoznacznie określić wartości Δt (brak wartości liczbowych w tabelicy Z2.17).

Długość fali powierzchniowej w zależności od częstotliwości wzbudzenia podano na rys. 3.26, a prędkości fazowe w funkcji długości fali na rys. 3.27.

Do opisu zależności prędkości fazowej fali powierzchniowej od jej długości (zależność dyspersyjna) przyjęto następującą funkcję:

$$\hat{C}(\hat{L}) = b \cdot (\hat{L})^c \quad [\text{m/s}] \quad (3.21)$$

gdzie b i c są parametrami podlegającymi estymacji.

Estymacja parametrów metodą najmniejszych kwadratów (program komputerowy *Mathcad*® 6.0) dała następujące wyniki:

a) blok $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$ - rys. 3.28a

$$\hat{C}(\hat{L}) = 109,464 \cdot (\hat{L})^{0,102} \quad [\text{m/s}] \quad (3.22a)$$

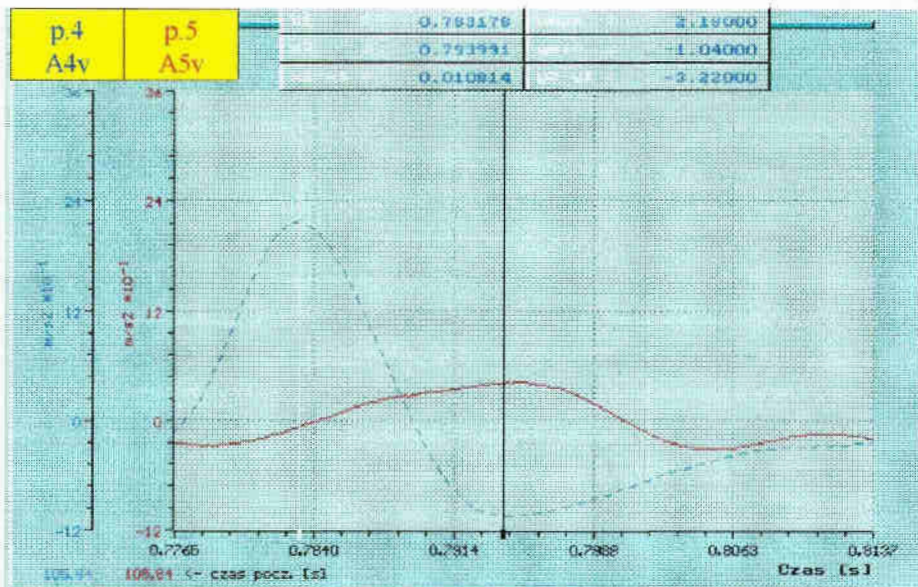
b) blok $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$ - rys. 3.28b

$$\hat{C}(\hat{L}) = 106,609 \cdot (\hat{L})^{0,151} \quad [\text{m/s}] \quad (3.22b)$$

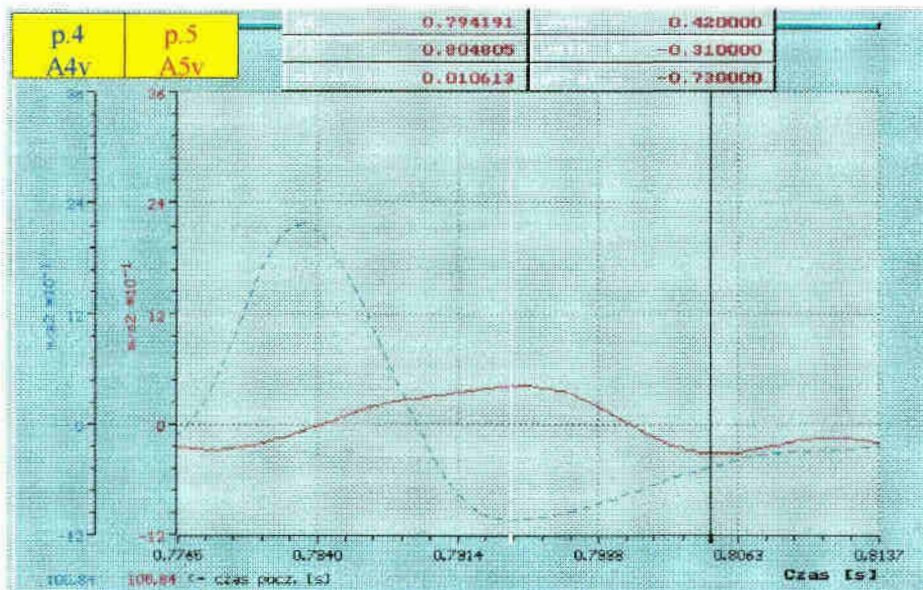
c) blok $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$ - rys. 3.28c

$$\hat{C}(\hat{L}) = 92,674 \cdot (\hat{L})^{0,277} \quad [\text{m/s}] \quad (3.22c)$$

a)

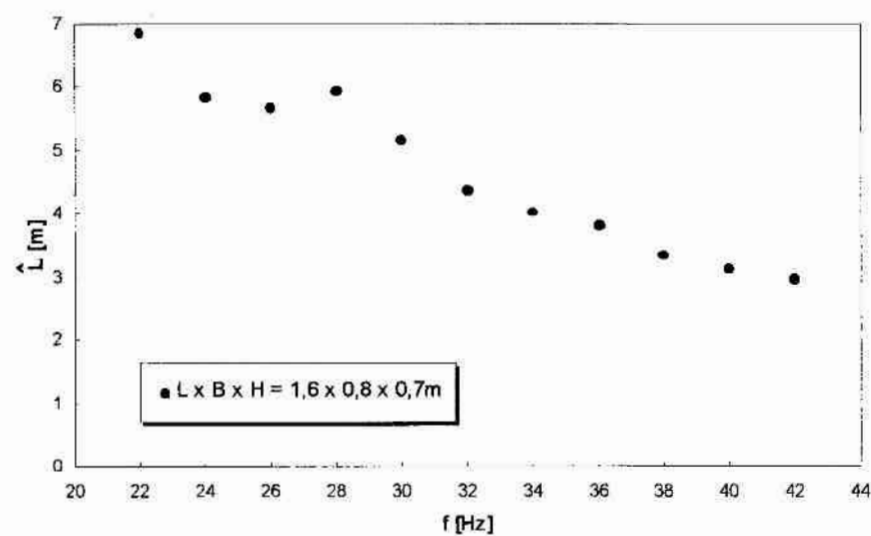
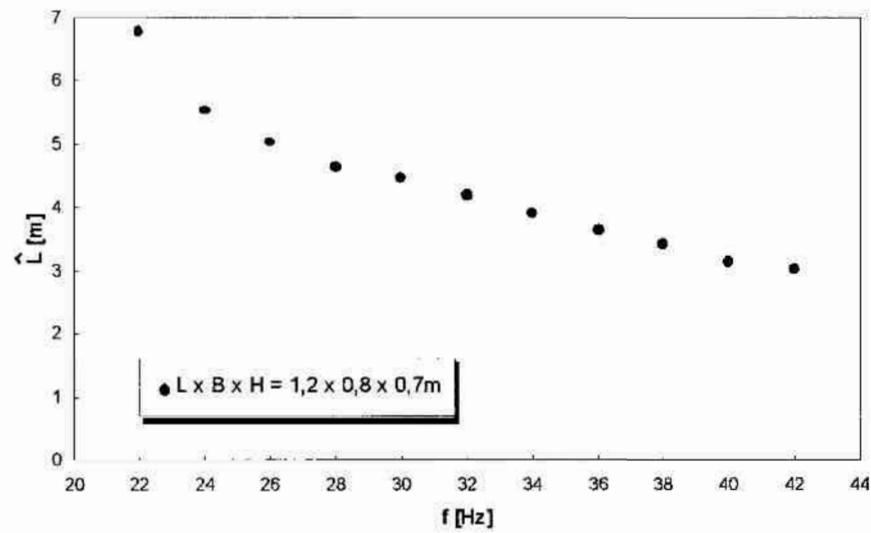
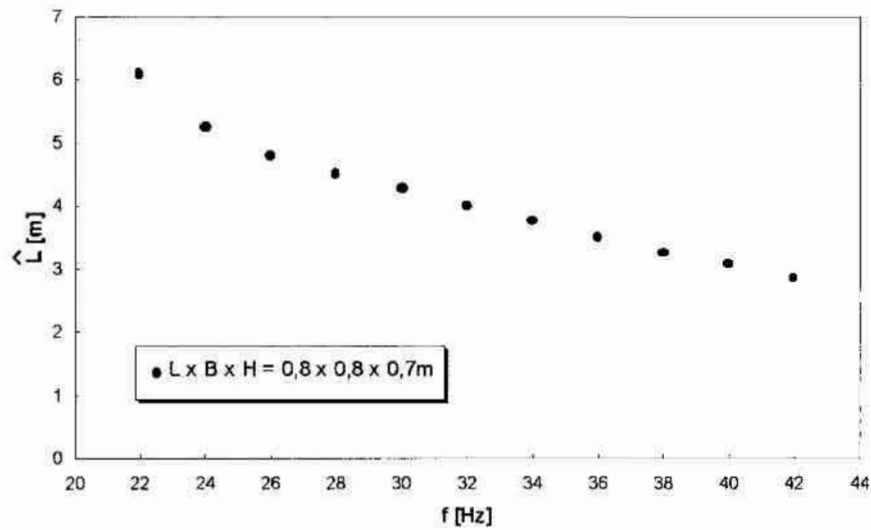


b)

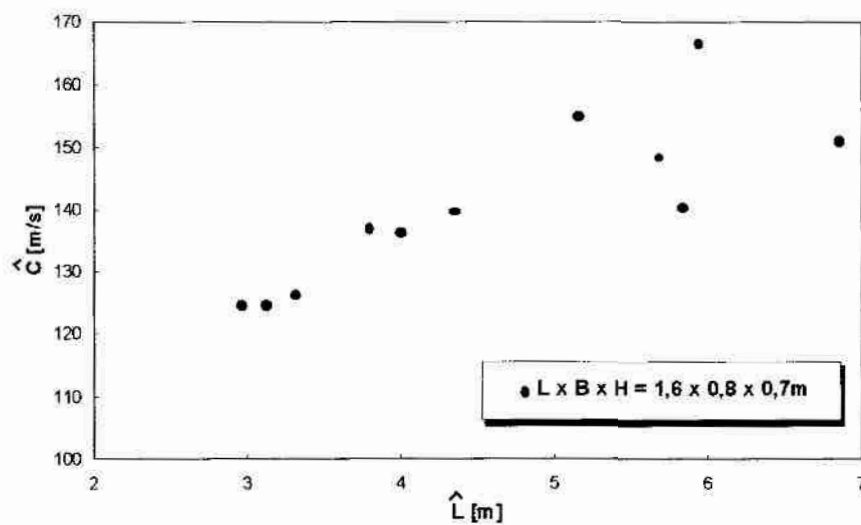
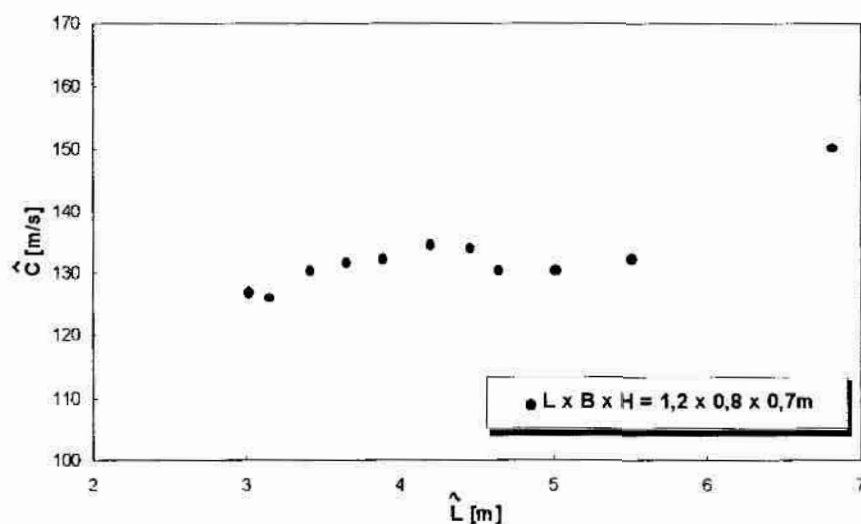
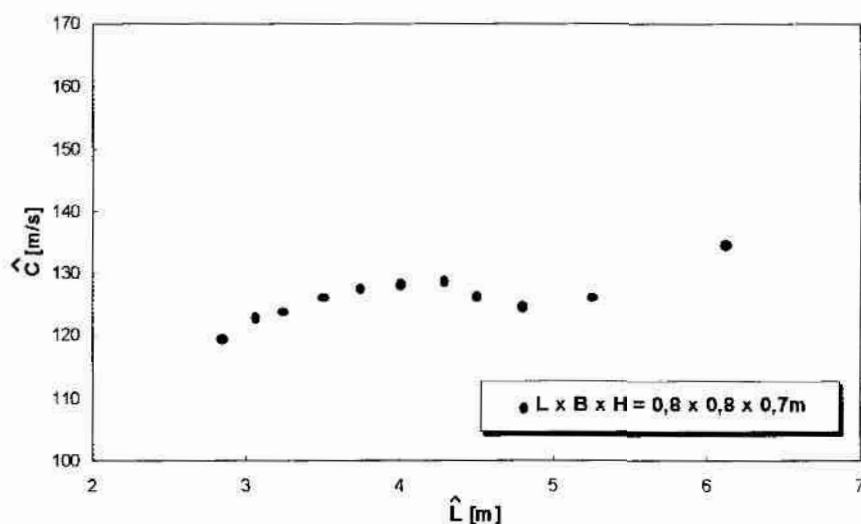


ys. 3.25. Przyspieszenia zarejestrowane w punktach pomiarowych 4 i 5 na powierzchni gruntu (składowe A4v i A5v); przebieg w czasie po upływie 0,75s od momentu rozpoczęcia rejestracji; czas propagacji fali powierzchniowej:

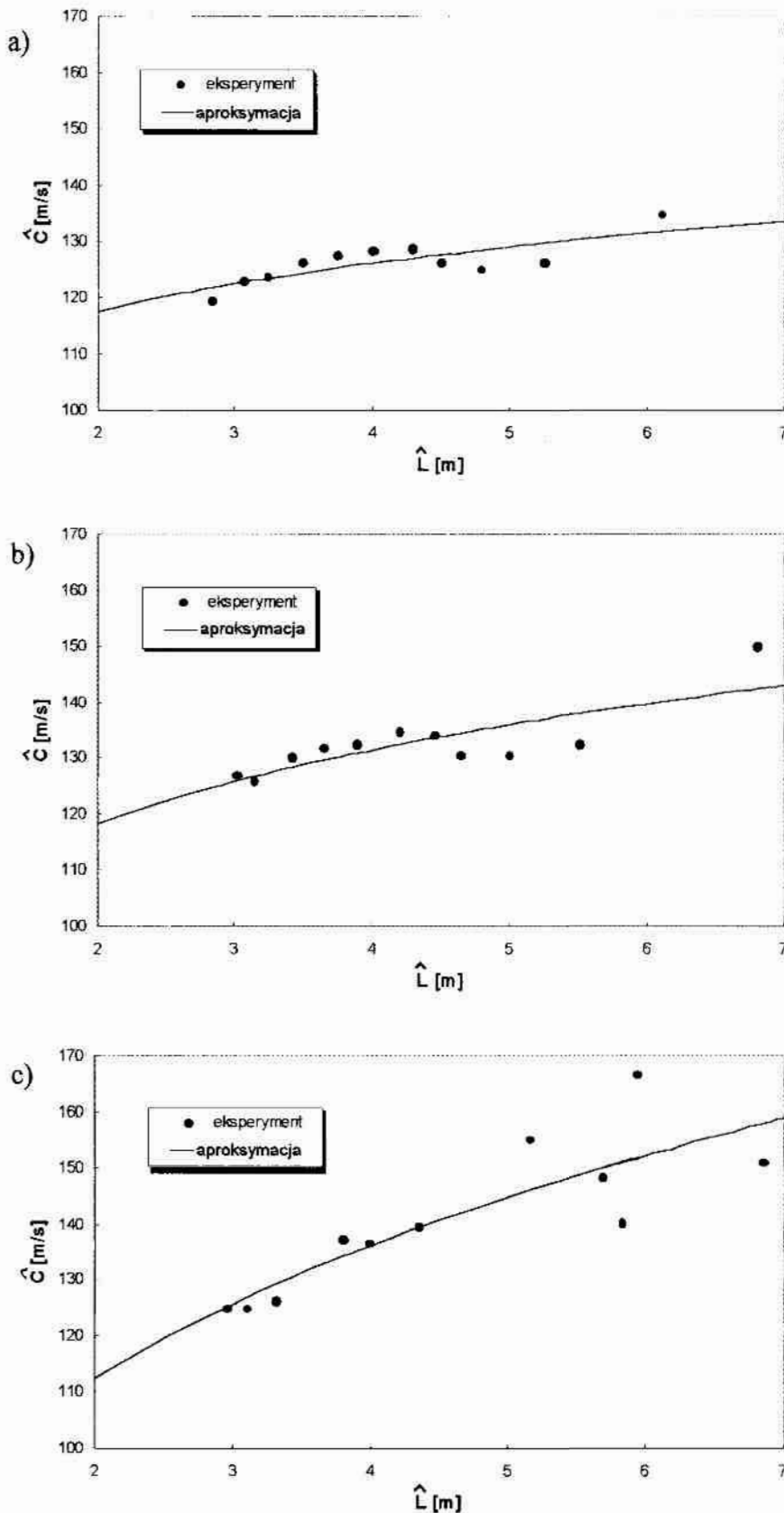
$$\Delta t_{(4-5)0,75}^{(1)} = 0,794191 - 0,783178 = 0,01101s$$



rys. 3.26. Długość fali powierzchniowej $\hat{\lambda}$ w zależności od częstotliwości wzbudzenia f dla trzech bloków fundamentowych



ys. 3.27. Zależność prędkości fazowej fali powierzchniowej \hat{C} w gruncie od jej długości \hat{L} (zależność dyspersyjna); źródło fali - drgający blok fundamentowy o wymiarach $L \times B \times H$

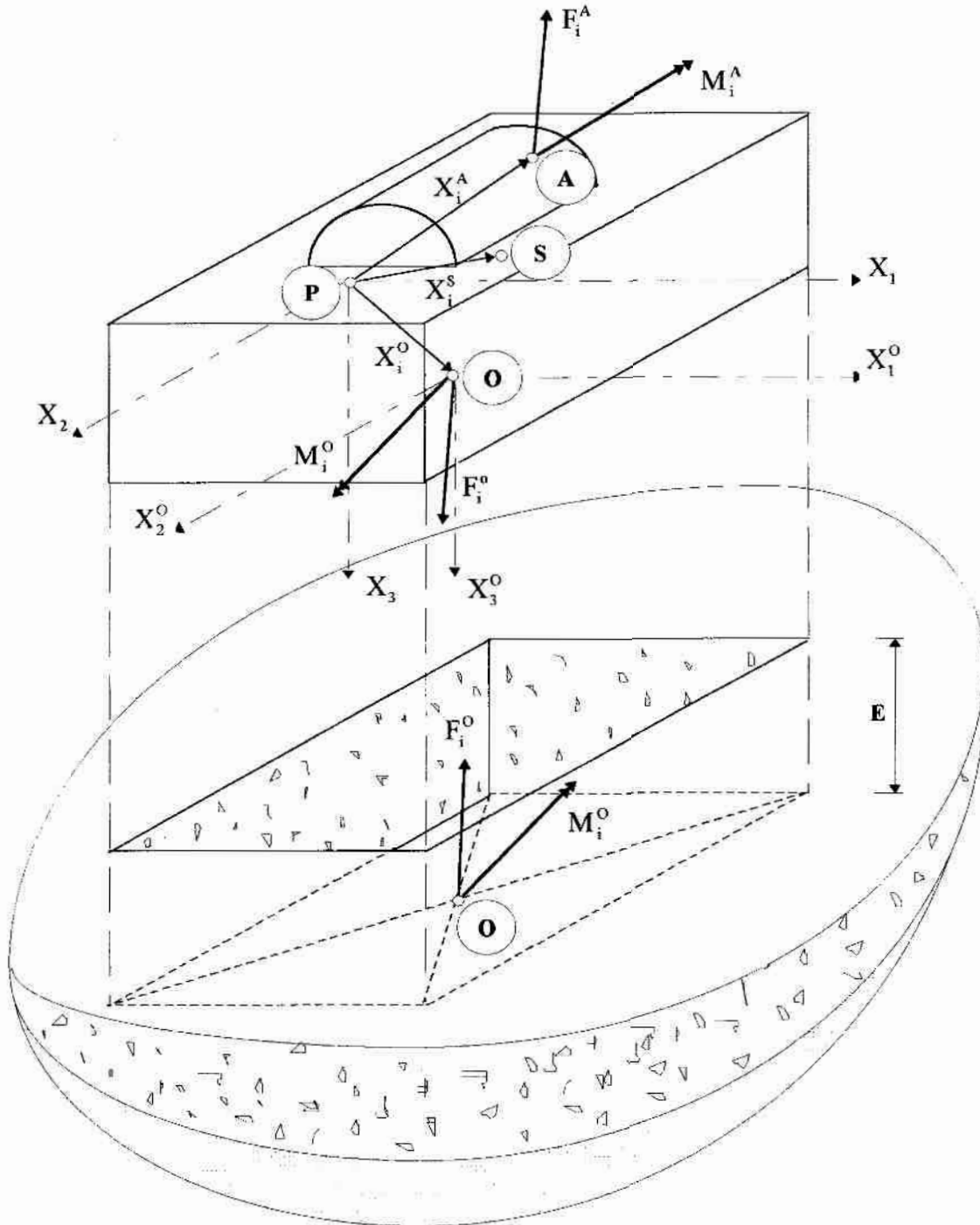


rys.3.28. Aproksymacja średniokwadratowa zależności dyspersyjnej dla fali powierzchniowej w gruncie generowanej przez drgający blok fundamentowy o wymiarach $L \times B \times H$
 a) $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7$ m, b) $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7$ m, c) $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m

EKSPERYMENTALNA WERYFIKACJA LINIOWYCH MODELI PODŁOŻA GRUNTOWEGO

I Ogólne równania ruchu układu maszyna-fundament na liniowo-odkształcalnym podłożu

Przedmiotem rozważań jest układ maszyna-fundament, reprezentowany przez sztywną, maszyną bryłę o ustalonym kształcie, zagłębioną w podłożu na głębokość E (rys. 4.1.1).



Rys. 4.1.1. Geometria i obciążenie sztywnej masywnej bryły na liniowo-odkształcalnym podłożu

Punkt P jest początkiem ruchomego układu współrzędnych (X_1, X_2, X_3) , sztywno związanego z bryłą. W stanie równowagi statycznej układ ruchomy pokrywa się nieruchomym, inercyjnym układem odniesienia. Środek masy bryły znajduje się punkcie S.

Obciążenia działające na blok fundamentowy, spoczywający na podłożu, składają się dwóch rodzajów oddziaływań o odmiennej strukturze. Obciążenia przyłożone w punkcie są zbiorem sił wzbudzających, pochodzących od ruchu elementów maszyny zainstalowanej fundamentcie i reprezentowane są przez składowe wypadkowej siły F_i^A , $i=1, 2, 3$ oraz ładowe wypadkowego momentu M_i^A , $i=1, 2, 3$. Obciążenia te zależą od typu maszyny i powinny być określone przez producenta. Jeżeli brak jest takich danych, to siły wzbudzające licza się na podstawie teorii mechanizmów.

Odmienne charakter mają reakcje podłoża, występujące w postaci pola naprężeń na powierzchni kontaktu blok-podłoże. Pole naprężeń kontaktowych może być zredukowane do wypadkowej siły F_i^O , $i=1, 2, 3$ i wypadkowego momentu M_i^O , $i=1, 2, 3$, przyłożonych w ustalonym punkcie O podstawy bloku. Wartość reakcji podłoża w zależności od zamieszczeń bryły uwarunkowana jest modelem konstytutywnym podłoża. W przypadku podłoża liniowo-odkształcalnego, zależność tę w punkcie odniesienia O można zapisać postaci

$$\{P_o(t)\} = -\left(\{K_o\}\{q_o(t)\} + \{C_o\}\{\dot{q}_o(t)\}\right), \quad (4.1.1)$$

gdzie: $\{P_o(t)\} = \{F_1^O(t), F_2^O(t), F_3^O(t), M_1^O(t), M_2^O(t), M_3^O(t)\}$ - wektor reakcji podłoża w punkcie O,

$\{q_o(t)\} = \{u_1^O(t), u_2^O(t), u_3^O(t), \varphi_1^O(t), \varphi_2^O(t), \varphi_3^O(t)\}$ - wektor przemieszczenia

w punkcie O, przy czym $u_i^O(t)$, $\varphi_i^O(t)$, $i=1, 2, 3$ oznaczają odpowiednio przemieszczenie wzdłuż osi X_i^O i małe obroty wokół osi X_i^O ,

$\{\dot{q}_o(t)\} = \frac{d}{dt}\{q_o(t)\}$ - wektor prędkości w punkcie O,

$\{K_o\}$ - macierz sztywności podłoża,

$\{C_o\}$ - macierz tłumienia podłoża.

Macierze $\{K_o\}$ i $\{C_o\}$ zależą od szczegółowych założeń przyjętych w danym modelu podłoża.

Modelem podłoża gruntowego, który uwzględnia podstawowe zjawiska fizyczne przypadku drgań o małych amplitudach odkształceń postaciowych jest inercyjna półprzestrzeń z tłumieniem materiałowym typu histerezy. Rozkład naprężeń na powierzchni kontaktu blok-półprzestrzeń otrzymuje się, rozwiązując zagadnienie kontaktowe dynamicznej teorii sprężystości (Gazetas (1983)). Ze względu na fakt, że w pracy szpatrywane są drgania ustalone, zagadnienie kontaktowe rozwiązać należy w dziedzinie ęstości. Występowanie w półprzestrzeni tłumienia radiacyjnego oraz materiałowego woduje, że siły dynamiczne i przemieszczenia są przesunięte w fazie. Stosując analizę spoloną do reprezentacji ruchów harmoniczych, zależność pomiędzy reakcjami podłoża punkcie O podstawy bloku i przemieszczeniami tego punktu otrzymuje się w postaci

$$\{P_o(t)\} = -[\tilde{K}_o(\omega)]\{q_o\} \exp(i\omega t) , \quad (4.1.2)$$

dzie: $[\tilde{K}_o(\omega)]$ - zespolona macierz sztywności półprzestrzeni,

ω - częstość drgań,

$i = \sqrt{-1}$ - jednostka urojona.

W przypadku lokalnego opisu efektu zagłębienia bloku dynamiczną macierz sztywności półprzestrzeni $[\tilde{K}_o(\omega)]$ otrzymuje się, dodając dynamiczną macierz sztywności warstwy asypki) $[\tilde{K}_o^{(2)}(\omega)]$ do dynamicznej macierzy sztywności półprzestrzeni z więzami na powierzchni $[\tilde{K}_o^{(1)}(\omega)]$ (Sienkiewicz 1995)

$$[\tilde{K}_o(\omega)] = [\tilde{K}_o^{(1)}(\omega)] + [\tilde{K}_o^{(2)}(\omega)] . \quad (4.1.3)$$

względniając dekompozycję macierzy $[\tilde{K}_o(\omega)]$ na część rzeczywistą i urojoną

$$[\tilde{K}_o(\omega)] = \text{Re} [\tilde{K}_o(\omega)] + i \text{Im} [\tilde{K}_o(\omega)] , \quad (4.1.4)$$

wzanie (4.1.2) można zapisać następująco:

$$\{P_o(t)\} = -([\mathbf{K}_o] \{q_o(t)\} + [C_o] \{\dot{q}_o(t)\}) , \quad (4.1.5)$$

dzie: $[\mathbf{K}_o] = \text{Re} [\tilde{K}_o(\omega)]$ - dynamiczna macierz sztywności, która reprezentuje sztywność

i inercyjność podłoża,

$[C_o] = \left(\frac{1}{\omega}\right) \text{Im} [\tilde{K}_o(\omega)]$ - macierz tłumienia.

W ujęciu normowym macierz sztywności podłoża (PN-80/B-03040) ma postać

$$[K_o] = \begin{bmatrix} C_x F & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_x F & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_z F & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_\varphi \bar{J}_{11}^o & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_\varphi \bar{J}_{22}^o & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_\psi \bar{J}_{33}^o \end{bmatrix}, \quad (4.1.6)$$

- gdzie: C_z - współczynnik sprężystego równomiernego pionowego ugięcia, MPa/m ,
 C_x - współczynnik sprężystego równomiernego poziomego przesuwu, MPa/m ,
 C_φ - współczynnik sprężystego nierównomiernego pionowego ugięcia, MPa/m ,
 C_ψ - współczynnik sprężystego nierównomiernego poziomego przesuwu, MPa/m ,
 F - pole powierzchni podstawy fundamentu, m^2 ,
 \bar{J}_{11}^o - moment bezwładności pola podstawy fundamentu względem osi X_1^o , m^4 ,
 \bar{J}_{22}^o - moment bezwładności pola podstawy fundamentu względem osi X_2^o , m^4 ,
 \bar{J}_{33}^o - biegunowy moment bezwładności pola podstawy fundamentu, m^4 ,

Macierz tłumienia w ujęciu normowym wynika z reologicznego modelu ciała elwina-Voigta (Christensen (1971))

$$[C_o] = \Phi [K_o], \quad (4.1.7)$$

gdzie Φ jest współczynnikiem charakteryzującym właściwości tłumiące podłoża gruntowego, przyjmowanym z tablicy 6 normy PN-80/B-03040.

Zlinearyzowane macierzowe równanie ruchu bryły sztywnej względem stanu równowagi statycznej można zapisać następująco (Clough i Penzien (1993)):

$$[M] \{\ddot{q}(t)\} = \{P(t)\}, \quad (4.1.8)$$

gdzie: $[M]$ - macierz bezwładności,

$\{\ddot{q}(t)\} = \frac{d^2}{dt^2} \{q(t)\}$ - wektor przyspieszenia punktu odniesienia P,

$\{q(t)\} = \{u_1^p(t), u_2^p(t), u_3^p(t), \varphi_1^p(t), \varphi_2^p(t), \varphi_3^p(t)\}$ - wektor przemieszczenia punktu P,

przy czym $u_i^p(t)$, $\varphi_i^p(t)$, $i = 1, 2, 3$ oznaczają odpowiednio przemieszczenie wzdłuż osi X_i i małe obroty wokół osi X_i ,

$\{P(t)\}$ - wektor obciążenia w punkcie odniesienia.

macierz bezwładności ma następującą strukturę:

$$[M] = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & S_3 & -S_2 \\ 0 & m & 0 & -S_3 & 0 & S_1 \\ 0 & 0 & m & S_2 & -S_1 & 0 \\ 0 & -S_3 & S_2 & \bar{J}_{11}^P & -\bar{J}_{12}^P & -\bar{J}_{13}^P \\ S_3 & 0 & -S_1 & -\bar{J}_{12}^P & \bar{J}_{22}^P & -\bar{J}_{23}^P \\ -S_2 & S_1 & 0 & -\bar{J}_{13}^P & -\bar{J}_{23}^P & \bar{J}_{33}^P \end{bmatrix}, \quad (4.1.9)$$

gdzie: m - masa układu maszyna-fundament, kg,

$S_i = m X_i^S$ - masowy moment statyczny względem płaszczyzny prostopadłej do osi X_i , $i = 1, 2, 3$, kgm,

$J_{\alpha\alpha}^P$ - masowy moment bezwładności względem osi X_α , $\alpha = 1, 2, 3$, kgm^2 ,

$J_{\alpha\beta}^P$ - masowy moment dewiacyjny względem płaszczyzn prostopadłych do osi X_α oraz X_β , $\alpha, \beta = 1, 2, 3$, kgm^2 ,

X_i^S - współrzędne środka masy układu maszyna-fundament w układzie X_i , $i = 1, 2, 3$, m.

ciężenie w punkcie P wynosi

$$\{P(t)\} = [T_{PA}] \{P_A(t)\} + [T_{PO}] \{P_O(t)\}, \quad (4.1.10)$$

gdzie: $\{P_A(t)\} = \{F_1^A(t), F_2^A(t), F_3^A(t), M_1^A(t), M_2^A(t), M_3^A(t)\}$ - wektor obciążenia siłami wzbudzającymi w punkcie A,

$\{P_O(t)\}$ - wektor reakcji podłoża w punkcie O (wzór 4.1.1),

$[T_{PA}]$, $[T_{PO}]$ - macierze transformacji.

macierz transformacji $[T_{PJ}]$, $J = A, O$, ma następującą strukturę:

$$[T_{PJ}] = \begin{bmatrix} [I] & [O] \\ [C_{PJ}] & [I] \end{bmatrix}, \quad (4.1.11)$$

gdzie: $[I]$ - macierz jednostkowa o wymiarze 3×3 ,

$[O]$ - macierz zerowa o wymiarze 3×3

z

$$[C_{PJ}] = \begin{bmatrix} 0 & -X_3^J & X_2^J \\ X_3^J & 0 & -X_1^J \\ -X_2^J & X_1^J & 0 \end{bmatrix}, \quad (4.1.12)$$

Wzajemnie prostopadłe płaszczyzny symetrii X_1X_3 oraz X_2X_3 , a ich przecięcie wyznacza położenie osi pionowej X_3 prostokątnego układu odniesienia X_1, X_2, X_3 o początku w punkcie P, rys. (4.1.1).

względniając we wzorze (4.1.10) związek (4.1.1) oraz zależność kinematyczną

$$\{q_o(t)\} = [T_{PO}]^T \{q(t)\}, \quad (4.1.13)$$

otrzymuje się wektor obciążenia w punkcie P w postaci

$$\{P(t)\} = \{Q(t)\} - ([K] \{q(t)\} + [C] \{\dot{q}(t)\}), \quad (4.1.14)$$

gdzie: $\{Q(t)\} = [T_{PA}] \{P_A(t)\}$ - wektor obciążenia czynnego w punkcie P o następujących

składowych: $\{Q(t)\} = \{F_1^P(t), F_2^P(t), F_3^P(t), M_1^P(t), M_2^P(t), M_3^P(t)\}$,

$[K] = [T_{PO}] [K_o] [T_{PO}]^T$ - macierz sztywności podłoża,

$[C] = [T_{PO}] [C_o] [T_{PO}]^T$ - macierz tłumienia podłoża.

Podstawieniu zależności (4.1.14) do równania (4.1.8) otrzymuje się macierzowe równanie ruchu bryły sztywnej na liniowo-odkształcalnym podłożu w standardowej postaci (Clough i Penzien (1993))

$$[M] \{\ddot{q}(t)\} + [C] \{\dot{q}(t)\} + [K] \{q(t)\} = \{Q(t)\}. \quad (4.1.15)$$

jest to układ sześciu równań różniczkowych zwyczajnych rzędu drugiego.

W celu zapewnienia możliwości eksperymentalnej weryfikacji drgań bryły sztywnej oraz zwracając uwagę na charakterystykę stanowiska polowego do badań fundamentów blokowych, prowadzą się następujące założenia dotyczące rozwiązania teoretycznego:

- a) układ maszyna-podłoże ma dwie wzajemnie prostopadłe płaszczyzny symetrii X_1X_3 oraz X_2X_3 , a ich przecięcie wyznacza położenie osi pionowej X_3 prostokątnego układu odniesienia X_1, X_2, X_3 o początku w punkcie P, leżącym na osi pionowej wraz ze środkiem masy S, geometrycznym środkiem podstawy bryły O i punktem A, w którym działa obciążenie zewnętrzne; w tym przypadku zespolone macierze sztywności $[\tilde{K}_o^{(1)}(\omega)]$, $[\tilde{K}_o^{(2)}(\omega)]$ oraz macierz sztywności $[K_o]$ i macierz tłumienia $[C_o]$ liniowo-odkształcalnego podłoża mają następującą strukturę:

$$[\tilde{K}_o^{(1)}(\omega)] = \begin{bmatrix} \tilde{K}_{H_1H_1}^{(1)} & 0 & 0 & 0 & \tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(1)} & 0 \\ 0 & \tilde{K}_{H_2H_2}^{(1)} & 0 & \tilde{K}_{H_2\Phi_1}^{(1)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tilde{K}_{VV}^{(1)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \tilde{K}_{\Phi_1H_2}^{(1)} & 0 & \tilde{K}_{\Phi_1\Phi_1}^{(1)} & 0 & 0 \\ \tilde{K}_{\Phi_2H_1}^{(1)} & 0 & 0 & 0 & \tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \tilde{K}_{TT}^{(1)} \end{bmatrix}, \quad (4.1.16)$$

$$[\tilde{K}_o^{(2)}(\omega)] = \begin{bmatrix} \tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)} & 0 & 0 & 0 & \tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(2)} & 0 \\ 0 & \tilde{K}_{H_2H_2}^{(2)} & 0 & \tilde{K}_{H_2\Phi_1}^{(2)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tilde{K}_{VV}^{(2)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \tilde{K}_{\Phi_1H_2}^{(2)} & 0 & \tilde{K}_{\Phi_1\Phi_1}^{(2)} & 0 & 0 \\ \tilde{K}_{\Phi_2H_1}^{(2)} & 0 & 0 & 0 & \tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(2)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \tilde{K}_{TT}^{(2)} \end{bmatrix}, \quad (4.1.17)$$

$$[K_o] = \begin{bmatrix} K_{H_1H_1}^o & 0 & 0 & 0 & K_{H_1\Phi_2}^o & 0 \\ 0 & K_{H_2H_2}^o & 0 & K_{H_2\Phi_1}^o & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{VV}^o & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{\Phi_1H_2}^o & 0 & K_{\Phi_1\Phi_1}^o & 0 & 0 \\ K_{\Phi_2H_1}^o & 0 & 0 & 0 & K_{\Phi_2\Phi_2}^o & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_{TT}^o \end{bmatrix}, \quad (4.1.18)$$

$$[C_o] = \begin{bmatrix} C_{H_1H_1}^o & 0 & 0 & 0 & C_{H_1\Phi_2}^o & 0 \\ 0 & C_{H_2H_2}^o & 0 & C_{H_2\Phi_1}^o & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{VV}^o & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{\Phi_1H_2}^o & 0 & C_{\Phi_1\Phi_1}^o & 0 & 0 \\ C_{\Phi_2H_1}^o & 0 & 0 & 0 & C_{\Phi_2\Phi_2}^o & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{TT}^o \end{bmatrix}, \quad (4.1.19)$$

- b) środek masy S leży nad geometrycznym środkiem podstawy bryły O w odległości z_s^o ($X_1^s = X_2^s = 0$),
- c) bryła obciążona jest w punkcie A ($X_1^A = X_2^A = 0$) bezwładnościową siłą wymuszającą $Q(t)$, działającą niezależnie w dwóch kierunkach: pionowym i poziomym w płaszczyźnie X_1X_3 ,
- d) analizę ogranicza się do drgań drgań pionowych oraz niezależnych drgań przesuwno-obrotowych w płaszczyźnie X_1X_3 .

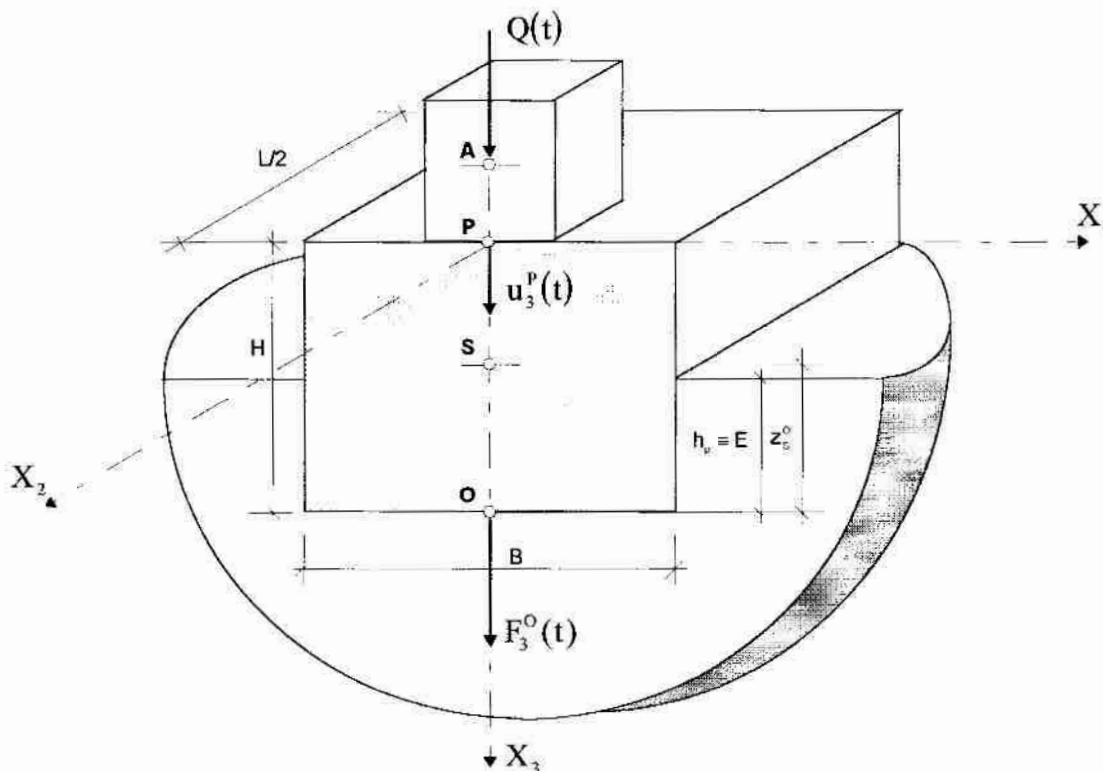
2. Drgania pionowe

2.1 Amplituda i faza drgań ustalonych oraz zagadnienie odwrotne

Równanie ruchu pionowego masywnej bryły na liniowo-odkształcalnym podłożu ma następującą postać:

$$m\ddot{u}_3^P(t) = F_3^P(t) , \quad (4.2.1)$$

z czego: $F_3^P(t) = F_3^A(t) + F_3^O(t) . \quad (4.2.2)$



Rys. 4.2.1. Geometria i obciążenie sztywnej masywnej bryły na liniowo-odkształcalnym podłożu (drżania pionowe)

ładowe obciążenia przyłożonego do punktu odniesienia P wynoszą:

- składowa czynnego obciążenia zewnętrznego

$$F_3^A(t) = Q(t) = Q_0 e^{i\omega t} , \quad (4.2.3)$$

- składowa reakcji podłoża

$$F_3^O(t) = -[K_{VV}^O u_3^O(t) + C_{VV}^O \dot{u}_3^O(t)] . \quad (4.2.4)$$

korzystując związek geometryczny

$$u_3^O(t) = u_3^P(t) \quad (4.2.5)$$

z uwzględniając wzory (4.2.2)-(4.2.4) w równaniu (4.2.1), równanie ruchu przyjmuje stać

$$m\ddot{u}_3^P(t) + C_{VV}^O \dot{u}_3^P(t) + K_{VV}^O u_3^P(t) = Q_o e^{i\omega t} \quad (4.2.6)$$

powiedz w postaci pionowych drgań ustalonych określona jest wzorem

$$u_3^P(t) = \tilde{A}_v e^{i\omega t} = |\tilde{A}_v| e^{i(\omega t - \alpha_v)}, \quad (4.2.7)$$

nie: $\tilde{A}_v = \frac{Q_o}{K_{VV}^O + i\omega C_{VV}^O - m\omega^2}$ - zespolona amplituda drgań, (4.2.8)

$$|\tilde{A}_v| = \frac{Q_o}{K_{VV}^O} \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2D_v^O\beta)^2}} \quad \text{- rzeczywista amplituda drgań,} \quad (4.2.9)$$

$$\alpha_v = \arctg \frac{2D_v^O\beta}{1-\beta^2} = \arctg \frac{2D_v^O \frac{\omega}{\lambda_v^O}}{1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_v^O}\right)^2} \quad \text{- faza drgań,} \quad (4.2.10)$$

$$\beta = \frac{\omega}{\lambda_v^O} \quad \text{- współczynnik częstości,} \quad (4.2.11)$$

$$\lambda_v^O = \sqrt{\frac{K_{VV}^O}{m}} \quad \text{- częstość nietłumionych pionowych drgań własnych, rad / s,} \quad (4.2.12)$$

$$D_v^O = \frac{C_{VV}^O}{2m\lambda_v^O} = \frac{C_{VV}^O}{2\sqrt{K_{VV}^O m}} \quad \text{- liczba tłumienia.} \quad (4.2.13)$$

harmonicznego wymuszenia bezwładnościowego masą m_o , wirującą na mimośrodku trzymuje się odpowiednio:

$$Q(t) = Q_o \sin \omega t = m_o e \omega^2 \sin \omega t, \quad (4.2.14)$$

$$\frac{Q_o}{K_{VV}^O} = \frac{m_o e \omega^2}{K_{VV}^O} = \frac{m_o}{m} \frac{m e}{K_{VV}^O} \omega^2 = \frac{m_o e}{m} \left(\frac{\omega}{\lambda_v^O}\right)^2. \quad (4.2.15)$$

powiedz w postaci pionowych drgań ustalonych przyjmuje wówczas postać

$$u_3^P(t) = A_v \sin(\omega t - \alpha_v), \quad (4.2.16)$$

nie amplituda pionowych drgań ustalonych określona jest wzorem

$$A_v = \frac{m_o e}{m} \left(\frac{\omega}{\lambda_v^O}\right)^2 \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2D_v^O\beta)^2}}, \quad (4.2.17)$$

ej wartość bezwymiarowa - wzorem

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{\left(\frac{m_0 e}{m}\right)} &= \left(\frac{\omega}{\lambda_v^0}\right)^2 \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^2)^2 + (2D_v^0 \beta)^2}} = \\ &= \left(\frac{\omega}{\lambda_v^0}\right)^2 \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_v^0}\right)^2\right)^2 + 4(D_v^0)^2 \left(\frac{\omega}{\lambda_v^0}\right)^2}} \end{aligned} \quad (4.2.18)$$

Zagadnienie odwrotne polega na wyznaczeniu wartości współczynników podłoża K_{VV}^0 az C_{VV}^0 w zależności od wartości amplitudy A_v i fazy α_v drgań, zarejestrowanych eksperymentalnie.

Podstawiając do równania ruchu (4.2.6) rozwiązanie stacjonarne

$$u_3^p(t) = \tilde{A}_v e^{i\omega t} = (X_1 + iX_2) e^{i\omega t}, \quad (4.2.19)$$

ie: $X_1 = \text{Re} \tilde{A}_v$, $X_2 = \text{Im} \tilde{A}_v$, otrzymuje się równanie zespolone

$$(X_1 K_{VV}^0 - \omega X_2 C_{VV}^0) + i(X_2 K_{VV}^0 - \omega X_1 C_{VV}^0) = (Q_0 + m\omega^2 X_1) + i(m\omega^2 X_2), \quad (4.2.20)$$

re jest równoważne dwóm równaniom rzeczywistym. W zapisie macierzowym można je edstawić następująco:

$$\begin{bmatrix} X_1 & -\omega X_2 \\ X_2 & \omega X_1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} K_{VV}^0 \\ C_{VV}^0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_0 + m\omega^2 X_1 \\ m\omega^2 X_2 \end{Bmatrix}, \quad (4.2.21)$$

ie: $X_1 = A_v \cos \alpha_v$,

$X_2 = -A_v \sin \alpha_v$,

$Q_0 = m_0 e \omega^2$ - wymuszenie bezwładnościowe.

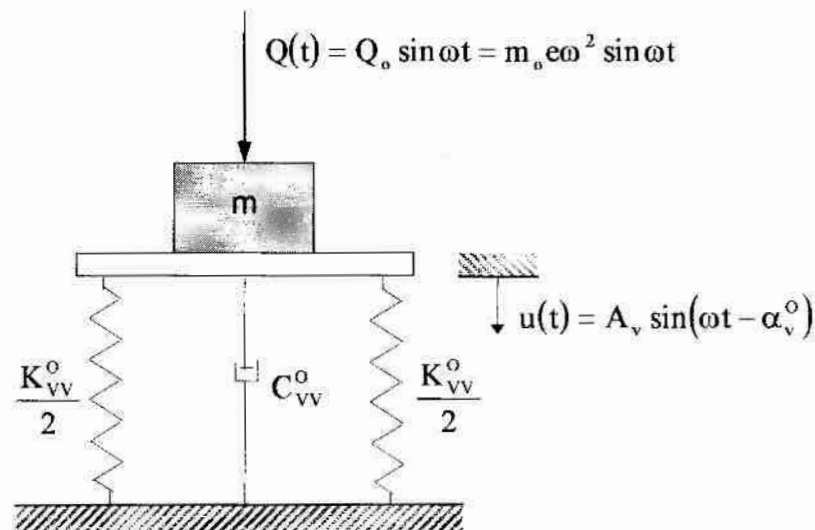
: to układ dwóch równań algebraicznych ze względu na współczynniki podłoża K_{VV}^0

\cdot^0
 \cdot_{VV}

2.2 Estymacja parametrów podłoża w zagadnieniu drgań pionowych

2.2.1 Dyskretny dwuparametrowy model podłoża (K_{vv}^0, C_{vv}^0)

Podstawowy model liniowo-odkształcalnego podłoża w zagadnieniu drgań pionowych oku fundamentowego składa się z dwóch elementów połączonych równoległe, rys. 4.2.2



rys. 4.2.2. Dyskretny model drgań pionowych bloku fundamentowego o masie m na podłożu dwuparametrowym (K_{vv}^0, C_{vv}^0)

Liniowy element sprężysty o współczynniku sztywności K_{vv}^0 reprezentuje sprężyste cechy dłoża, natomiast liniowy element tłumiący o współczynniku oporu lepkiego C_{vv}^0 opisuje mienie drgań w podłożu.

Wartości parametrów K_{vv}^0 i C_{vv}^0 można wyznaczyć dla każdej częstości drgań jeżeli znane eksperymentalne wartości amplitud i faz drgań pionowych bloku fundamentowego. W tym celu rozwiązać należy równanie macierzowe (4.2.21). Wyniki takich obliczeń zamieszczono w tablicach Z3.1÷Z3.3. Na uwagę zasługuje fakt, że otrzymane w ten sposób wartości parametrów K_{vv}^0 i C_{vv}^0 zmieniają się wraz z częstością drgań odzwierciedlając tym samym rzeczywiste cechy podłoża gruntowego.

Wartości parametrów K_{vv}^0 i C_{vv}^0 można również wyznaczyć wykorzystując tylko eksperymentalne pomiary amplitud drgań pionowych bloku w danym paśmie częstotliwości budzenia (10÷42Hz). W tym przypadku postać równania opisującego zależność między

plitudą drgań pionowych bloku oraz parametrami podłoża K_{vv}^0 i C_{vv}^0 znana jest z teorii drgań liniowych i określona wzorem (4.2.18). Zadanie polega na dopasowaniu funkcji trygonometrycznej (4.2.18) do danych eksperymentalnych przez estymację dwóch niezależnych parametrów λ_v^0 i D_v^0 . Wartości tych parametrów wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów (Brandt (1976)), wykorzystując program komputerowy Mathcad® 6.0 przedstawiono w tabelicy 4.2.1.

Tabela 4.2.1 Wartości parametrów λ_v^0 , D_v^0 z estymacji metodą najmniejszych kwadratów

Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]				
Zagłębienie h_p [m]	Parametry λ_v^0, D_v^0	Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]		
		0,28470	0,22280	0,16702
0,00	λ_v^0 [rad/s]	155,5	159,8	164,0
	D_v^0	0,221	0,232	0,252
0,35	λ_v^0 [rad/s]	178,2	184,0	187,8
	D_v^0	0,265	0,255	0,300
0,70	λ_v^0 [rad/s]	185,9	198,4	214,8
	D_v^0	0,273	0,279	0,285
Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]				
Zagłębienie h_p [m]	Parametry λ_v^0, D_v^0	Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]		
		0,28470	0,22280	0,16702
0,00	λ_v^0 [rad/s]	154,9	157,7	162,3
	D_v^0	0,220	0,225	0,230
0,35	λ_v^0 [rad/s]	191,9	187,2	199,4
	D_v^0	0,288	0,306	0,324
0,70	λ_v^0 [rad/s]	215,9	221,7	235,0
	D_v^0	0,364	0,371	0,387
Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]				
Zagłębienie h_p [m]	Parametry λ_v^0, D_v^0	Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]		
		0,28470	0,22280	0,16702
0,00	λ_v^0 [rad/s]	150,4	152,4	156,2
	D_v^0	0,233	0,248	0,259
0,35	λ_v^0 [rad/s]	165,0	171,9	175,4
	D_v^0	0,273	0,321	0,319
0,70	λ_v^0 [rad/s]	216,8	229,1	241,9
	D_v^0	0,389	0,394	0,405

Mając dane wartości λ_v^0 oraz D_v^0 , współczynniki sztywności K_{vv}^0 i tłumienia C_{vv}^0 obliczono ze wzorów (4.2.12) i (4.2.13)

$$K_{vv}^0 = m(\lambda_v^0)^2 \text{ MN/m}, \tag{4.2.22}$$

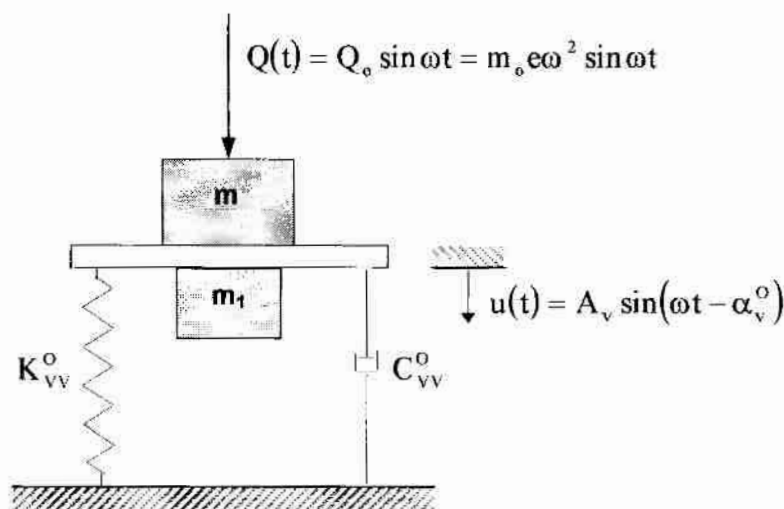
$$C_{vv}^0 = 2D_v^0 \sqrt{K_{vv}^0 m} = 2m\lambda_v^0 D_v^0 \text{ MNs/m}. \tag{4.2.23}$$

artości K_{VV}^0 i C_{VV}^0 zestawiono w tablicy Z3.4.

Określając parametry modelu tylko przy wykorzystaniu eksperymentalnych amplitud drgań zymuje się współczynniki K_{VV}^0 i C_{VV}^0 niezależne od częstości drgań.

4.2.2 Dyskretny trójparametrowy model podłoża (K_{VV}^0, C_{VV}^0, m_1)

Typowe wyniki badań eksperymentalnych dotyczą zazwyczaj tylko amplitud drgań, nieważ dodatkowa rejestracja fazy drgań jest znacznie trudniejsza do zrealizowania. Jakość pasowania funkcji teoretycznej do eksperymentalnych amplitud drgań pionowych bloku żna poprawić wprowadzając dodatkową masę m_1 do podstawowego modelu uparametrowego, rys. 4.2.3



rys. 4.2.3. Dyskretny model drgań pionowych bloku fundamentowego o masie m na podłożu trójparametrowym (K_{VV}^0, C_{VV}^0, m_1)

Równanie ruchu masy m określone wzorem (4.2.6) przy uwzględnieniu wymuszenia monicznego (4.2.14) oraz dodatkowej masy m_1 , przyjmuje w rozpatrywanym modeluępującą postać:

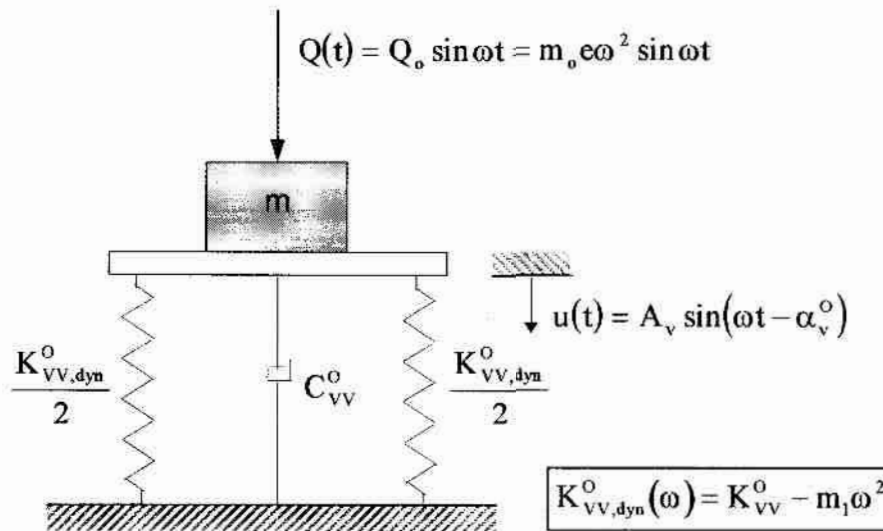
$$(m + m_1)\ddot{u}(t) + C_{VV}^0 \dot{u}(t) + K_{VV}^0 u(t) = m_0 \epsilon \omega^2 \sin \omega t. \quad (4.2.24)$$

Wzrostanie to można przekształcić do równoważnej postaci

$$m\ddot{u}(t) + C_{VV}^0 \dot{u}(t) + K_{VV, dyn}^0 u(t) = m_0 \epsilon \omega^2 \sin \omega t \quad (4.2.25)$$

gdzie:
$$K_{VV, dyn}^0(\omega) = K_{VV}^0 - m_1 \omega^2, \quad (4.2.26)$$

óre jest identyczne z równaniem ruchu masy m na podłożu dwuparametrowym parametrach $K_{VV,dyn}^0$ i C_{VV}^0 , rys. 4.2.4



rys. 4.2.4. Dyskretny model drgań pionowych bloku fundamentowego o masie m na podłożu dwuparametrowym ($K_{VV,dyn}^0, C_{VV}^0$) równoważny drganiom masy m na podłożu trójparametrowym (K_{VV}^0, C_{VV}^0, m_1)

Należy zauważyć, że parametr $K_{VV,dyn}^0$ reprezentuje dynamiczną sztywność podłoża w ruchu harmonicznym i zmienia się z częstotliwością drgań, natomiast parametr K_{VV}^0 reprezentuje statyczną sztywność podłoża $K_{VV,st}^0$ ze względu na relację

$$K_{VV,st}^0 = \lim_{\omega \rightarrow 0} K_{VV,dyn}^0(\omega) = K_{VV}^0 \quad (4.2.27)$$

Bezwymiarowa amplituda pionowych drgań ustalonych (wzór 4.2.18) i faza drgań ustalonych α_v (wzór 4.2.10) przy uwzględnieniu zależności (4.2.11)-(4.2.13) oraz masy dodatkowej m_1 wynoszą

$$\frac{A_v}{\left(\frac{m_0 e}{m}\right)} = \left(\frac{\omega}{\lambda_v^0}\right)^2 \frac{1}{\sqrt{\left[1 - (1 + \bar{m})\left(\frac{\omega}{\lambda_v^0}\right)^2\right]^2 + 4(\bar{D}_v^0)^2\left(\frac{\omega}{\lambda_v^0}\right)^2}}, \quad (4.2.28)$$

$$\alpha_v = \arctg \frac{2\bar{D}_v^0 \beta}{1 - (1 + \bar{m})\beta^2} = \arctg \frac{2\bar{D}_v^0 \frac{\omega}{\bar{\lambda}_v^0}}{1 - (1 + \bar{m})\left(\frac{\omega}{\bar{\lambda}_v^0}\right)^2}, \quad (4.2.29)$$

nie: $\bar{\lambda}_v^0 = \sqrt{\frac{K_{VV}^0}{m}}$ - porównawcza częstość kątowna pionowych drgań własnych masy m , rad/s, (4.2.30)

$\lambda_v^0 = \sqrt{\frac{K_{VV}^0}{m + m_1}}$ - częstość kątowna pionowych drgań własnych masy $(m + m_1)$, rad/s, (4.2.31)

$\bar{D}_v^0 = \frac{C_{VV}^0}{C_k} = \frac{C_{VV}^0}{2m\bar{\lambda}_v^0} = \frac{C_{VV}^0}{2\sqrt{K_{VV, st}^0 m}}$ - porównawcza liczba tłumienia podczas drgań pionowych masy m , (4.2.32)

$D_v^0 = \frac{C_{VV}^0}{2\sqrt{K_{VV}^0 (m + m_1)}}$ - liczba tłumienia podczas drgań pionowych masy $(m + m_1)$, (4.2.33)

$\bar{m} = \frac{m_1}{m}$ - współczynnik masy. (4.2.34)

Dla każdego rozpatrywanego bloku fundamentowego dokonano estymacji parametrów $\bar{\lambda}_v^0$, oraz \bar{D}_v^0 w równaniu (4.2.28), metodą najmniejszych kwadratów, wykorzystując program komputerowy Mathcad® 6.0. Wyznaczone wartości parametrów $\bar{\lambda}_v^0$, \bar{m} oraz \bar{D}_v^0 nieszczono w tabelicy 4.2.2.

Mając dane wartości $\bar{\lambda}_v^0$, \bar{m} oraz \bar{D}_v^0 , współczynniki sztywności K_{VV}^0 , tłumienia C_{VV}^0 z dodatkową masę m_1 obliczono ze wzorów (4.2.30), (4.2.32) i (4.2.34)

$$K_{VV}^0 = m(\bar{\lambda}_v^0)^2, \quad (4.2.35)$$

$$C_{VV}^0 = 2m\bar{\lambda}_v^0\bar{D}_v^0, \quad (4.2.36)$$

$$m_1 = \bar{m} m. \quad (4.2.37)$$

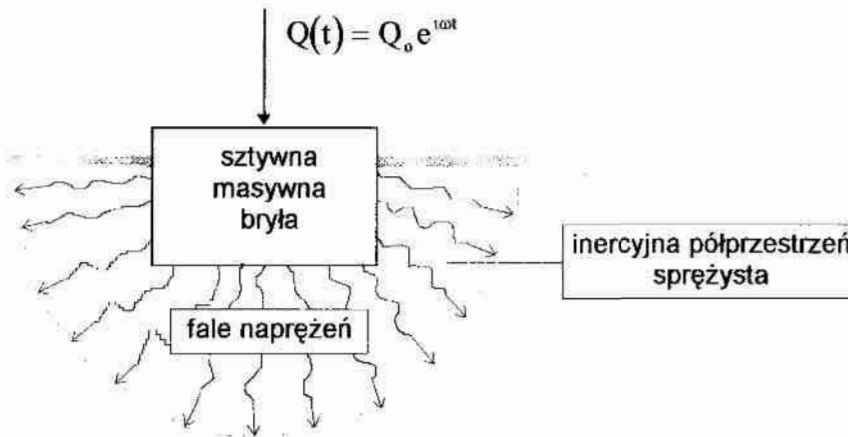
Wartości K_{VV}^0 , C_{VV}^0 i m_1 przedstawiono w tabelicy Z3.5.

blca 4.2.2 Wartości parametrów $\bar{\lambda}_v^o$, \bar{m} , \bar{D}_v^o z estymacji metodą najmniejszych kwadratów

Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]				
Zagłębienie h_p [m]	Parametry $\bar{\lambda}_v^o, \bar{m}, \bar{D}_v^o$	Poziom obciążenia $m_{0,c}$ [kgm]		
		0,28470	0,22280	0,16702
0,00	$\bar{\lambda}_v^o$ [rad/s]	175,803	176,800	187,484
	\bar{m}	0,260	0,211	0,289
	\bar{D}_v^o	0,175	0,192	0,199
0,35	$\bar{\lambda}_v^o$ [rad/s]	195,991	194,879	210,061
	\bar{m}	0,198	0,117	0,258
	\bar{D}_v^o	0,225	0,232	0,248
0,70	$\bar{\lambda}_v^o$ [rad/s]	199,298	215,361	235,050
	\bar{m}	0,153	0,193	0,236
	\bar{D}_v^o	0,244	0,245	0,247
Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]				
Zagłębienie h_p [m]	Parametry $\bar{\lambda}_v^o, m_1 / m, \bar{D}_v^o$	Poziom obciążenia $m_{0,c}$ [kgm]		
		0,28470	0,22280	0,16702
0,00	$\bar{\lambda}_v^o$ [rad/s]	178,809	176,943	177,147
	\bar{m}	0,302	0,239	0,175
	\bar{D}_v^o	0,167	0,181	0,196
0,35	$\bar{\lambda}_v^o$ [rad/s]	204,075	198,500	222,530
	\bar{m}	0,130	0,134	0,278
	\bar{D}_v^o	0,262	0,277	0,271
0,70	$\bar{\lambda}_v^o$ [rad/s]	245,978	248,257	262,705
	\bar{m}	0,383	0,346	0,386
	\bar{D}_v^o	0,299	0,315	0,334
Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]				
Zagłębienie h_p [m]	Parametry $\bar{\lambda}_v^o, m_1 / m, \bar{D}_v^o$	Poziom obciążenia $m_{0,c}$ [kgm]		
		0,28470	0,22280	0,16702
0,00	$\bar{\lambda}_v^o$ [rad/s]	162,348	177,834	182,592
	\bar{m}	0,146	0,320	0,332
	\bar{D}_v^o	0,203	0,186	0,194
0,35	$\bar{\lambda}_v^o$ [rad/s]	186,065	203,408	208,214
	\bar{m}	0,247	0,367	0,373
	\bar{D}_v^o	0,222	0,242	0,240
0,70	$\bar{\lambda}_v^o$ [rad/s]	248,184	256,387	269,791
	\bar{m}	0,403	0,364	0,399
	\bar{D}_v^o	0,319	0,338	0,354

2.2.3 Półprzeźren inercyjna z histerezym tŁumieniem materialowym

Modelem matematycznym stacjonarnych drgań liniowych fundamentu blokowego na dŁożu gruntowym, który uwzględnia podstawowe zjawiska fizyczne towarzyszące procesowi drgań jest sztywna masywna bryła na inercyjnej półprzeźreni sprężystej, obciążona ładunkiem harmonicznym zmiennym w czasie, rys. 4.2.5



Rys. 4.2.5. Kontynuálny model drgań bloku fundamentowego na podłożu gruntowym

W tym modelu należy uwzględnić zjawiska falowe, które powstają w nieskończonym ośrodku gruntowym. Wskutkiem drgań bloku fundamentowego oraz dysypację energii w cyklicznie obciążonym ośrodku, spowodowaną niesprężystymi cechami masy gruntowej (Werno (1985)). W tym modelu rozchodzeniem się w podłożu fal naprężeń generowanych przez drgający blok fundamentowy związane jest tzw. tłumienie falowe (radiacyjne, geometryczne), natomiast tłumienie energii wskutek histerezy powodują tzw. tłumienie materiałowe.

W ogólnym przypadku kontynuálnym modelem podłoża gruntowego może być izotropowa niejednorodna półprzeźren sprężysta (Gazetas (1983)). W podstawowym sformułowaniu, które zastosowano w prezentowanej pracy, podłoża gruntowe reprezentowane sŁą przez izotropową, jednorodną półprzeźren sprężystą, której wŁaściwości opisane sŁą przez trzy stałe materiałowe: moduł ścinania G i liczbę Poissona ν oraz gęstość objętościową ρ .

Wyniki badań geotechnicznych przeprowadzonych w miejscu posadowienia fundamentów (rozdział 3.2) wynika, że gęstość objętościową ρ półprzeźreni należy przyjąć równą 2000 kg/m^3 . Liczbę Poissona ν przyjmuje się zazwyczaj na podstawie danych z literatury i dla

gruntu niespoistego w miejscu badań połowych można przyjąć $\nu = \frac{1}{3}$ (Richart, Hall i Woods (1970)). Podstawowym problemem jest oszacowanie dynamicznego modułu ścinania G .

Moduł ten może być określony na podstawie badań polowych lub laboratoryjnych (Takashi (1981), Werno (1985), Filipkowski, Hryniewicz i Sienkiewicz (1987)). W prezentowanej pracy do oszacowania zmienności modułu ścinania G w funkcji głębokości wykorzystano zależność dyspersyjną $\hat{C} = \hat{C}(\hat{L})$ wyznaczoną w podrozdziale 3.8.3.

Fala powierzchniowa o długości \hat{L} wnika w głąb ośrodka na głębokość około jednej długości fali. Uśrednione właściwości ośrodka w tym obszarze przypisuje się tzw. głębokości efektywnej z , równej połowie długości fali powierzchniowej (Richart, Hall i Woods (1970))

$$z = 0,5\hat{L} \quad (4.2.38)$$

Moduł ścinania na głębokości efektywnej $G(z)$ daje na powierzchni jednorodnej, izotropowej półprzestrzeni sprężystej prędkość fazową fali Rayleigha C_R , którą przyrównuje się do prędkości fazowej \hat{C} fali powierzchniowej, zarejestrowanej w eksperymencie

$$C_R = \hat{C}(\hat{L}) \quad (4.2.39)$$

Związek pomiędzy prędkością fali Rayleigha C_R oraz prędkością fali poprzecznej C_s jest dany z teorii (Fung (1969), Ciesielski i Maciąg (1990))

$$C_R = \alpha C_s = \alpha \sqrt{\frac{G(z)}{\rho}} \quad (4.2.40)$$

gdzie: α - bezwymiarowy współczynnik, który jest funkcją liczby Poissona; otrzymuje się go jako pierwiastek równania falowego Rayleigha,

ρ - gęstość jednorodnej półprzestrzeni sprężystej.

Wzglądniacząc w równaniu (4.2.39) zależności dyspersyjne (3.22a,b,c), związki (4.2.38)

(4.2.40) oraz wartości parametrów: $\alpha = 0,932 \left(\nu = \frac{1}{3} \right)$ i $\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$ otrzymano

stępujące wartości modułów ścinania w funkcji głębokości:

a) blok $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$

$$G(z) = 23,62 \cdot z^{0,01} \quad [\text{MPa}] \quad (4.2.41a)$$

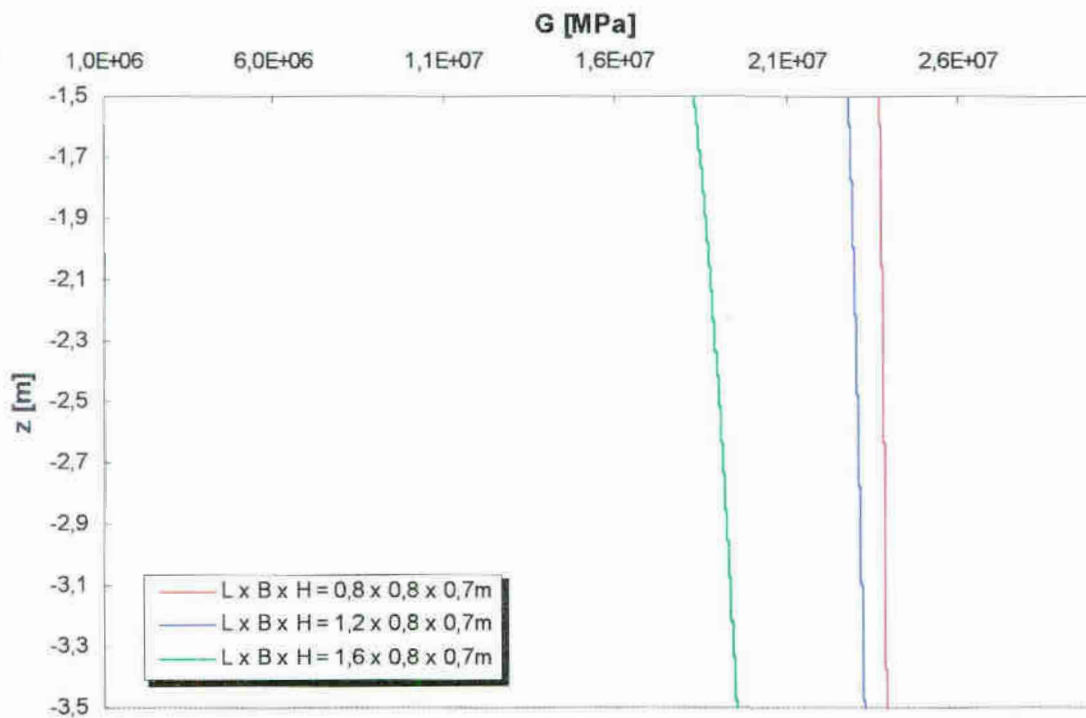
b) blok $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$

$$G(z) = 22,60 \cdot z^{0,023} \quad [\text{MPa}] \quad (4.2.41b)$$

c) blok $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$

$$G(z) = 17,73 \cdot z^{0,077} \quad [\text{MPa}] \quad (4.2.41c)$$

leżności funkcyjne (4.2.41a,b,c) przedstawiono na rys. 4.2.6 w funkcji głębokości, dla którejępuje interpolacja modułu ścinania. Poza tym przedziałem ma miejsce ekstrapolacja rtości modułu ścinania.



4.2.6. Moduł odkształcenia postaciowego G podłoża w funkcji głębokości z (pole falowe generowane przez blok o wymiarach $L \times B \times H$)

Związki (4.2.41a,b,c) można wykorzystać do estymacji stałych w następującej funkcji $G(z)$, która jest bardziej przydatna w zastosowaniach

$$G(z) = G_0 + (G_\infty - G_0)[1 - \exp(-a \cdot z)], \quad (4.2.42)$$

gdzie: $G_0 = G(z)|_{z=0}$, $G_\infty = \lim_{z \rightarrow \infty} G(z)$. (4.2.43)

dla poszczególnych bloków otrzymano

a) blok $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$

$$G_0 = 23,5 \text{ MPa}, \quad \frac{G_\infty}{G_0} = 1,032, \quad a = 0,237 \text{ m}^{-1}, \quad (4.2.44a)$$

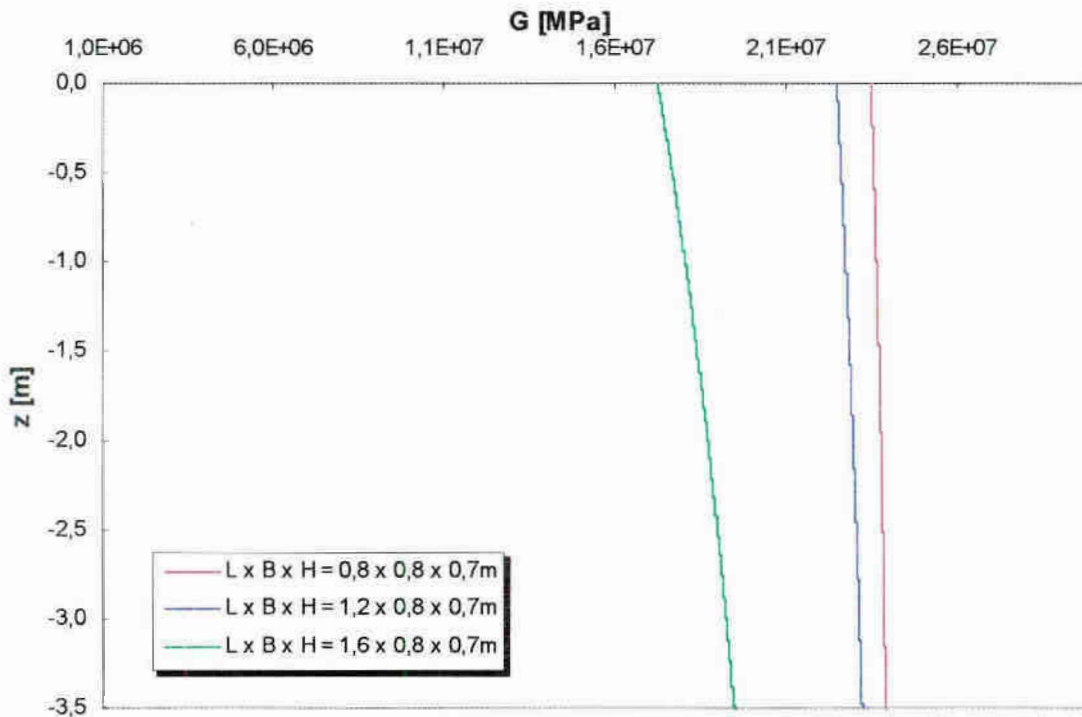
b) blok $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$

$$G_0 = 22,5 \text{ MPa}, \quad \frac{G_\infty}{G_0} = 1,083, \quad a = 0,146 \text{ m}^{-1}, \quad (4.2.44b)$$

c) blok $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$

$$G_0 = 17,25 \text{ MPa}, \quad \frac{G_\infty}{G_0} = 1,258, \quad a = 0,200 \text{ m}^{-1}. \quad (4.2.44c)$$

leżność modułu ścinania G od głębokości z dla przedziału $0 \leq z \leq 3,5\text{m}$ wg funkcji (4.2.42) zestawiono na rys. 4.2.7.



Rys. 4.2.7. Zmiana modułu odkształcenia postaciowego G z głębokością obliczona na podstawie wzoru (4.2.42)

W przypadku pola falowego generowanego przez bloki fundamentowe o wymiarach $B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$ oraz $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$ moduł ścinania G tylko nieznacznie rośnie głębokością, natomiast w przypadku największego bloku o wymiarach $B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$ wzrost ten jest bardziej widoczny. W strukturalnie jednorodnym dłożu gruntowym (piasek), ciężar własny bloku oraz naprężenia geostatyczne wywołują wzrost zagęszczenia z głębokością, co w efekcie daje wzrost modułu ścinania.

Otrzymane wartości modułu odkształcenia postaciowego G porównano z wartościami maksymalnymi uzyskanymi przy zastosowaniu formuł empirycznych przedstawionych w pracach Hardina i Richarta (1963) oraz Hardina i Drnevicha (1972). Dla piasków, przypadku drgań o małych amplitudach odkształceń postaciowych ($\gamma \leq 10^{-6}$), dany jest iązek

$$G_{\max} = \alpha F(e) \sigma_m^{0,5} \quad [\text{kN/m}^2], \quad (4.2.45)$$

dzie: α - stała empiryczna, $F(e)$ - funkcja wskaźnika porowatości e , σ_m - naprężenie sześciokątne (średnie naprężenie główne).

stała empiryczna α i funkcja wskaźnika porowatości $F(e)$ wynoszą

- dla piasków o ziarnach zaokrąglonych

$$\alpha = 6908, \quad F(e) = \frac{(2,17 - e)^2}{1 + e}, \quad (4.2.46a)$$

- dla piasków o ziarnach kanciastych

$$\alpha = 3230, \quad F(e) = \frac{(2,97 - e)^2}{1 + e}. \quad (4.2.46b)$$

średnie naprężenie wszechstronne σ_m przyjmuje wartość (Werno (1985))

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(1 + 2K_0)\sigma_v, \quad (4.2.47)$$

dzie: K_0 - spoczynkowy współczynnik parcia bocznego, σ_v - naprężenie pionowe.

Wartość współczynnika K_0 dla piasków można obliczyć ze wzoru (Glazer (1985))

$$K_0 = 1 - \sin \Phi, \quad (4.2.48)$$

dzie: Φ - kąt tarcia wewnętrznego.

Naprężenie pionowe na głębokości z pod fundamentem jest sumą dwóch składowych

$$\sigma_v = \sigma_v^{(1)} + \sigma_v^{(2)}, \quad (4.2.49)$$

dzie: $\sigma_v^{(1)}$ - naprężenie pionowe wywołane ciężarem własnym gruntu,

$\sigma_v^{(2)}$ - naprężenie pionowe wywołane obciążeniem na powierzchni, pochodzącym od bloku fundamentowego i maszyny.

Naprężenie $\sigma_v^{(1)}$ oblicza się ze wzoru (Glazer (1985))

$$\sigma_v^{(1)} = \gamma_n z = \gamma_s(1 - n)(1 + w)z, \quad (4.2.50)$$

dzie: γ_n - ciężar objętościowy gruntu w stanie naturalnym

γ_s - ciężar właściwy szkieletu gruntowego,

n - porowatość,

w - wilgotność.

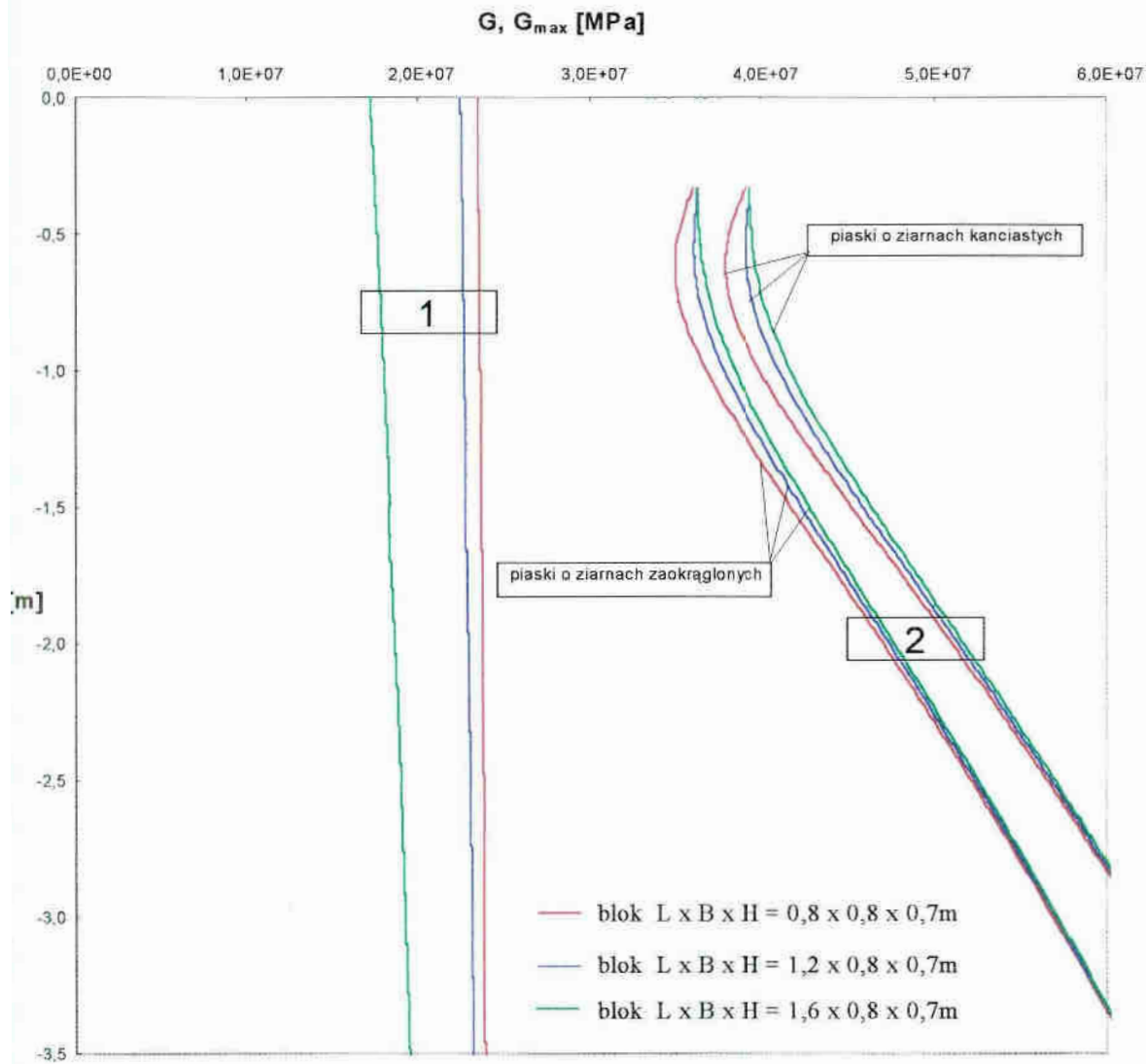
Naprężenie $\sigma_v^{(2)}$ można oszacować wykorzystując rozwiązanie dla obciążenia rozłożonego

wymiernie na powierzchni prostokątnej $L \times B$ ($L \geq B$)

$$\sigma_v^{(2)} = \frac{2p}{\pi} \left[\frac{abz(a^2 + b^2 + 2z^2)}{(a^2 + z^2)(b^2 + z^2)(a^2 + b^2 + z^2)^{1/2}} + \arctg \frac{ab}{z(a^2 + b^2 + z^2)^{1/2}} \right], \quad (4.2.51)$$

dzie: p - rzeczywisty nacisk fundamentu na grunt, $a = \frac{L}{2}$, $b = \frac{B}{2}$.

Uwzględniając wartość ciężaru objętościowego γ_n gruntu w miejscu przeprowadzonych
 lań, wynoszącą $\gamma_n = 16730 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$, otrzymano wykresy zależności modułu ścinania G od
 bokości, które przedstawiono na rys. 4.2.8.



Rys. 4.2.8. Zmiana modułu odkształcenia postaciowego G i G_{max} z głębokością z
 1 - estymacja G na podstawie pomiarów pola falowego,
 2 - formuły empiryczne na G_{max} dla piasków o ziarnach zaokrąglonych i kanciastych

Wartości maksymalnego modułu ścinania G_{max} prognozowane na podstawie zależności empirycznych są średnio dwukrotnie większe od wartości dynamicznego modułu ścinania szacowanych na podstawie pomiarów pola falowego.

Jako reprezentatywną wartość modułu ścinania G dla jednorodnej izotropowej przestrzeni sprężystej przyjęto wartość modułu G z pomiarów pola falowego na głębokości

wnej połowie szerokości bloku fundamentowego. Przyjęcie takiej głębokości odniesienia scharakteryzowane jest właściwościami rozkładu ciśnienia wszechstronnego pod blokiem (rys. 4.2.8) przyjęte w literaturze (Richart, Hall i Woods (1970)).

Wobec powyższego założenia otrzymuje się pewne zróżnicowanie wartości modułu ścinania podłoża w zależności od wielkości spoczywającego na nim bloku fundamentowego

- blok $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$

$$G_{(z=0,4)} = 23,6 \text{ MPa} , \quad (4.2.52a)$$

- blok $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$

$$G_{(z=0,4)} = 22,6 \text{ MPa} , \quad (4.2.52b)$$

- blok $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$

$$G_{(z=0,4)} = 17,6 \text{ MPa} . \quad (4.2.52c)$$

Tłumienie materiałowe typu histerezy wprowadza się do modelu izotropowej przestrzeni sprężystej zastępując rzeczywisty moduł ścinania G , modułem zespolonym G^* (Sienkiewicz (1993), Filipkowski i Sienkiewicz (1995))

$$G^* = G(1 + i \delta) \quad (4.2.53)$$

gdzie δ jest współczynnikiem tłumienia histerezy, który można przyjąć z literatury. Wartość tego współczynnika przyjęto równą 0,1 co odpowiada średniemu poziomowi tłumienia materiałowego w gruntach niespoistych (Ciesielski i Maciąg (1990)).

W równaniu drgań sztywnej masywnej bryły, półprzestrzeń inercyjna reprezentowana jest przez pionową zespoloną sztywność dynamiczną $\tilde{K}_{VV}^o(\omega)$, którą otrzymuje się rozwiązując dziedzinie częstości dynamiczne zagadnienie kontaktowe bryła-półprzestrzeń.

Pionową zespoloną sztywność dynamiczną podłoża $\tilde{K}_{VV}^o(\omega)$ odniesioną do środka wysokości podstawy bloku można zapisać na podstawie równania (4.1.3) z uwzględnieniem (4.1.16) oraz (4.1.17), jako równą sumie pionowej zespolonej sztywności dynamicznej przestrzeni pod blokiem $\tilde{K}_{VV}^{(1)}(\omega)$ i pionowej zespolonej sztywności dynamicznej warstwy (piasku) otaczającej blok zagłębiony $\tilde{K}_{VV}^{(2)}(\omega)$

$$\tilde{K}_{VV}^o(\omega) = \tilde{K}_{VV}^{(1)}(\omega) + \tilde{K}_{VV}^{(2)}(\omega) = K_{VV}^o + i\omega C_{VV}^o , \quad (4.2.54)$$

gdzie: $K_{VV}^o = \text{Re} \tilde{K}_{VV}^o$ - współczynnik sztywności podłoża,

$$C_{VV}^o = \left(\frac{1}{\omega} \right) \text{Im} \tilde{K}_{VV}^o - \text{współczynnik tłumienia podłoża.}$$

Pionowa zespolona sztywność dynamiczna półprzestrzeni $\tilde{K}_{VV}^{(1)}(\omega)$ z więzami nałożonymi zez sztywny nieważki blok o podstawie prostokątnej ($B \times L$, $B \leq L$) może być zapisana postaci

$$\tilde{K}_{VV}^{(1)}(a_0^{(1)}) = K_{VV}^{(1)} + i\omega C_{VV}^{(1)} = GB^* (k_{vv}^{(1)} + ia_0^{(1)} c_{vv}^{(1)}), \quad (4.2.55)$$

zie: $K_{VV}^{(1)} = \text{Re} \tilde{K}_{VV}^{(1)}$ - współczynnik sztywności półprzestrzeni,

$$C_{VV}^{(1)} = \left(\frac{1}{\omega}\right) \text{Im} \tilde{K}_{VV}^{(1)} - \text{współczynnik tłumienia półprzestrzeni},$$

$k_{vv}^{(1)} = k_{vv}^{(1)}(a_0^{(1)}, \nu, L/B, \delta)$ - bezwymiarowy współczynnik sztywności półprzestrzeni,

$c_{vv}^{(1)} = c_{vv}^{(1)}(a_0^{(1)}, \nu, L/B, \delta)$ - bezwymiarowy współczynnik tłumienia półprzestrzeni,

$$a_0^{(1)} = \frac{\omega \cdot B^*}{\sqrt{G/\rho}} = \frac{2\pi f \cdot B^*}{\sqrt{G/\rho}} - \text{bezwymiarowa częstość}, \quad (4.2.56)$$

G - moduł odkształcenia postaciowego półprzestrzeni,

$B^* = B/2$ - połowa szerokości bloku,

L - długość bloku,

ν - współczynnik Poissona półprzestrzeni,

ρ - gęstość półprzestrzeni,

δ - współczynnik tłumienia histerezowego półprzestrzeni,

L/B - bezwymiarowy współczynnik kształtu podstawy fundamentu,

ω, f - częstość i częstotliwość drgań.

Pionowa zespolona sztywność dynamiczna warstwy kontaktowej (zasyпки) $\tilde{K}_{VV}^{(2)}(\omega)$

grubości E z więzami nałożonymi przez sztywny, nieważki blok kołowy o promieniu $= R_{VV}$ może być zapisana w postaci

$$\tilde{K}_{VV}^{(2)}(a_{0v}^{(2)}) = K_{VV}^{(2)} + i\omega C_{VV}^{(2)} = G_s E (k_{vv}^{(2)} + ia_{0v}^{(2)} c_{vv}^{(2)}), \quad (4.2.57)$$

zie: $K_{VV}^{(2)} = \text{Re} \tilde{K}_{VV}^{(2)}$ - współczynnik sztywności zasyпки,

$$C_{VV}^{(2)} = \left(\frac{1}{\omega}\right) \text{Im} \tilde{K}_{VV}^{(2)} - \text{współczynnik tłumienia zasyпки},$$

$k_{vv}^{(2)} = k_{vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)}, \delta_s)$ - bezwymiarowy współczynnik sztywności zasyпки,

$c_{vv}^{(2)} = c_{vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)}, \delta_s)$ - bezwymiarowy współczynnik tłumienia zasyпки,

$$a_{0v}^{(2)} = \frac{\omega \cdot R_{vv}}{\sqrt{G_s / \rho_s}} = \frac{2\pi f \cdot R_{vv}}{\sqrt{G_s / \rho_s}} - \text{bezwymiarowa częstość,} \quad (4.2.58)$$

G_s - moduł odkształcenia postaciowego zasypki,

E - zagłębienie bloku,

ρ_s - gęstość zasypki.

Zastosowanie zależności (4.2.58) w analizie drgań wymaga ustalenia promienia zastępczego odpowiadającego rozpatrywanej formie drgań, który dla drgań pionowych określa wzór (Jazetas (1983))

$$R_{vv} = \left(\frac{4B^*L^*}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad L^* = L/2. \quad (4.2.59)$$

W pracy Sienkiewicza (1995) podano wartości bezwymiarowych współczynników sztywności $k_{vv}^{(1)}$ i tłumienia $c_{vv}^{(1)}$ dla wybranych wartości częstości bezwymiarowej $a_0^{(1)}$, współczynnika Poissona ν , współczynnika kształtu podstawy L/B i współczynnika tłumienia sterzowego δ . Podano również wartości bezwymiarowych współczynników sztywności $k_{vv}^{(2)}$ i tłumienia $c_{vv}^{(2)}$ dla wybranych wartości częstości bezwymiarowej $a_{0v}^{(2)}$ i współczynnika tłumienia histerezy δ_s . Ze względu na fakt, że w badaniach eksperymentalnych stosowano zmienne częstotliwości wzbudzenia, potrzebne są wartości współczynników $k_{vv}^{(1)}$, $k_{vv}^{(2)}$ i $c_{vv}^{(2)}$ dla odpowiednich częstości bezwymiarowych. W celu ich wyznaczenia, przyjęto funkcję aproksymującą w postaci wielomianu potęgowego stopnia trzeciego

$$f(x) = b_3^\alpha \cdot x^3 + b_2^\alpha \cdot x^2 + b_1^\alpha \cdot x + b_0^\alpha, \quad (4.2.60)$$

gdzie współczynniki b_i^α ($\alpha = k, c \quad i = 0, 1, 2, 3$) otrzymano, przeprowadzając estymację metodą najmniejszych kwadratów, na zbiorze wartości dyskretnej, podanych w pracy Sienkiewicza (1995 - tablice 4.3.2 i 4.3.9).

Zestawienie współczynników b_i^α wielomianów aproksymujących $f_{k,vv}^{(1)}(a_0^{(1)})$ i $f_{c,vv}^{(1)}(a_0^{(1)})$ podano w tablicy 4.2.3, natomiast $f_{k,vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)})$ i $f_{c,vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)})$ w tablicy 4.2.4.

Wartości dyskretne bezwymiarowych współczynników sztywności i tłumienia oraz wykresy funkcji aproksymujących przedstawiono na rysunkach 4.2.9-4.2.12.

obliczeniach bezwymiarowych współczynników sztywności i tłumienia $k_{vv}^{(1)}$, $c_{vv}^{(1)}$ i $k_{vv}^{(2)}$, $c_{vv}^{(2)}$ stosowano:

- stały współczynnik Poissona $\nu = 1/3$,
- połowę szerokości bloku $B^* = 0,4\text{m}$,
- połowę długości bloku $L^* = \{0,4; 0,6; 0,8\} [\text{m}]$,
- gęstość półprzestrzeni $\rho = 1700\text{kg} / \text{m}^3$,
- moduł odkształcenia postaciowego półprzestrzeni G w zależności od wielkości bloku zgodnie z oszacowaniem (4.2.52a,b,c), $G = G_{(z=0,4)} = \{23,6; 22,6; 17,6\} [\text{MPa}]$,
- gęstość zasypki $\rho_s = 0,75 \rho = 1275\text{kg} / \text{m}^3$,
- moduł odkształcenia postaciowego zasypki G_s (Beredugo i Novak (1972))

$$\left(\frac{G_s}{G}\right) \cong \left(\frac{\rho_s}{\rho}\right)^3 \cong 0,4219, \quad (4.2.61)$$

stąd $G_s = 0,4219 \cdot G_{(z=0,4)} = \{10,0; 9,5; 7,4\} [\text{MPa}]$, (4.2.62)

- dwie wartości współczynnika tłumienia histerezy półprzestrzeni $\delta = \{0,01; 0,1\}$, gdzie pierwsza wartość oznacza bardzo małe tłumienie materiałowe i stanowi symulację ośrodka sprężystego,
- dwie wartości współczynnika tłumienia histerezy zasypki $\delta_s = \{0; 0,1\}$.

Przyjęte wymiary podstawy bloku określają następujące wartości bezwymiarowego współczynnika kształtu podstawy fundamentu: $L/B = \{1; 1,5; 2\}$.

Obliczone wartości bezwymiarowych współczynników sztywności i tłumienia dla wymiarowych częstości odpowiadających częstotliwościom wzbudzenia stosowanym w eksperymencie (od 10 do 42Hz z przyrostem co 2Hz) zawarto w tabelicy 4.2.5.

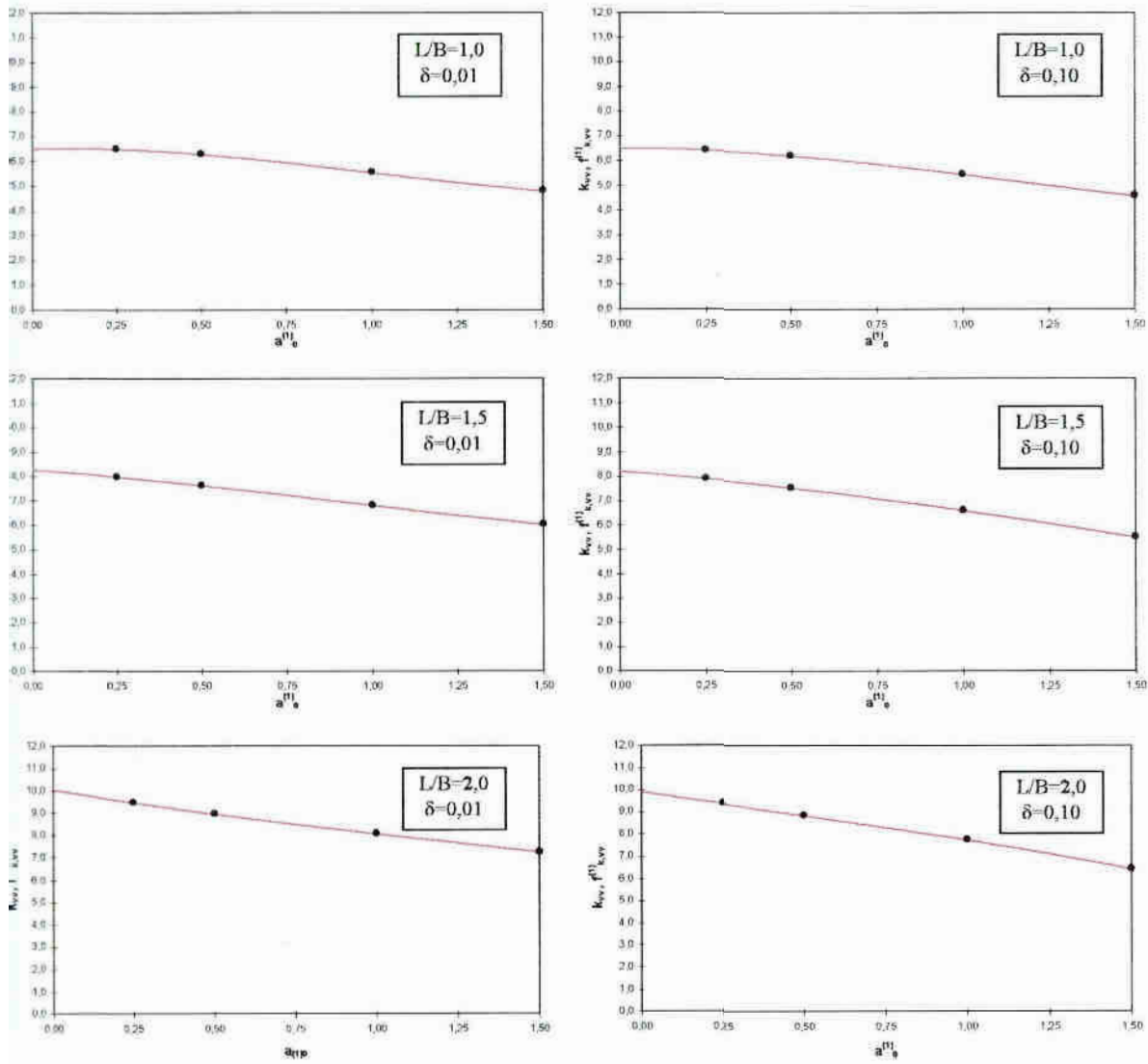
Wartości pionowych funkcji dynamicznych półprzestrzeni pod blokiem $K_{vv}^{(1)}$, $C_{vv}^{(1)}$ oraz zasypki $K_{vv}^{(2)}$, $C_{vv}^{(2)}$ podano w tabelicy Z3.6, zaś pionowych funkcji dynamicznych podłoża $K_{vv} = K_{vv}^{(1)} + K_{vv}^{(2)}$ oraz $C_{vv}^0 = C_{vv}^{(1)} + C_{vv}^{(2)}$ przedstawiono w tabelicy Z3.7.

Tablica 4.2.3 Współczynniki b_i^α wielomianów aproksymujących $f_{k,vv}^{(1)}(a_0^{(1)})$, $f_{c,vv}^{(1)}(a_0^{(1)})$
 $(v=1/3, a_0^{(1)} \in [0, 1,50])$

L/B=1							
$f_{k,vv}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^k \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^k \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^k \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^k$				$f_{c,vv}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^c \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^c \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^c \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^c$			
$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$		$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$	
b_3^k	0,6845	b_3^k	0,4683	b_3^c	-0,0670	b_3^c	-3,3436
b_2^k	-2,0582	b_2^k	-1,6252	b_2^c	0,6213	b_2^c	11,1659
b_1^k	0,4246	b_1^k	0,1144	b_1^c	-0,6935	b_1^c	-11,7496
b_0^k	6,5096	b_0^k	6,5137	b_0^c	6,2199	b_0^c	10,5990
L/B=1,5							
$f_{k,vv}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^k \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^k \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^k \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^k$				$f_{c,vv}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^c \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^c \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^c \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^c$			
$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$		$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$	
b_3^k	0,2520	b_3^k	0,1340	b_3^c	-0,4191	b_3^c	-4,6256
b_2^k	-0,6944	b_2^k	-0,6915	b_2^c	1,6823	b_2^c	14,9346
b_1^k	-1,0165	b_1^k	-1,0550	b_1^c	-1,4365	b_1^c	-15,0268
b_0^k	8,2844	b_0^k	8,2249	b_0^c	9,8230	b_0^c	15,1706
L/B=2							
$f_{k,vv}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^k \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^k \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^k \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^k$				$f_{c,vv}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^c \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^c \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^c \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^c$			
$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$		$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$	
b_3^k	-0,1805	b_3^k	-0,2004	b_3^c	-0,7712	b_3^c	-5,9077
b_2^k	0,6694	b_2^k	0,2421	b_2^c	2,7432	b_2^c	18,7032
b_1^k	-2,4575	b_1^k	-2,2243	b_1^c	-2,1796	b_1^c	-18,3040
b_0^k	10,0593	b_0^k	9,9361	b_0^c	13,4261	b_0^c	19,7423

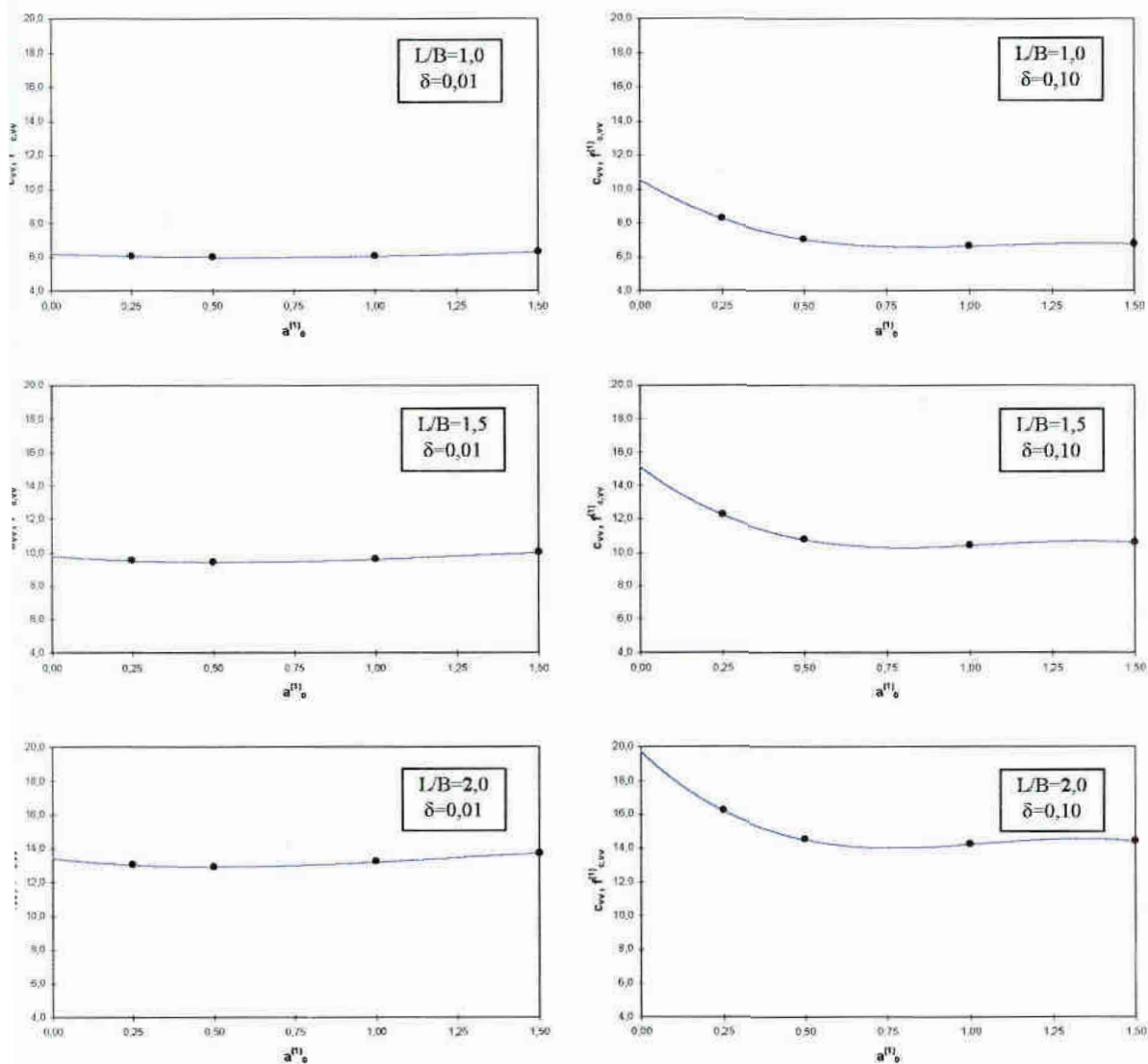
Tablica 4.2.4 Współczynniki b_i^α wielomianów aproksymujących $f_{k,vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)})$, $f_{c,vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)})$
 $(a_{0v}^{(2)} \in [0, 3])$

$f_{k,vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)}) = b_3^k \cdot (a_{0v}^{(2)})^3 + b_2^k \cdot (a_{0v}^{(2)})^2 + b_1^k \cdot (a_{0v}^{(2)}) + b_0^k$		$f_{c,vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)}) = b_3^c \cdot (a_{0v}^{(2)})^3 + b_2^c \cdot (a_{0v}^{(2)})^2 + b_1^c \cdot (a_{0v}^{(2)}) + b_0^c$	
$\delta_s = 0$		$\delta_s = 0,1$	
b_3^k	0,0950	b_3^k	0,0929
b_2^k	-0,6209	b_2^k	-0,6111
b_1^k	1,3769	b_1^k	1,0619
b_0^k	1,9849	b_0^k	1,9236
b_3^c	-0,4173	b_3^c	-0,5240
b_2^c	2,5522	b_2^c	3,2139
b_1^c	-5,0152	b_1^c	-6,3690
b_0^c	9,6013	b_0^c	10,6694



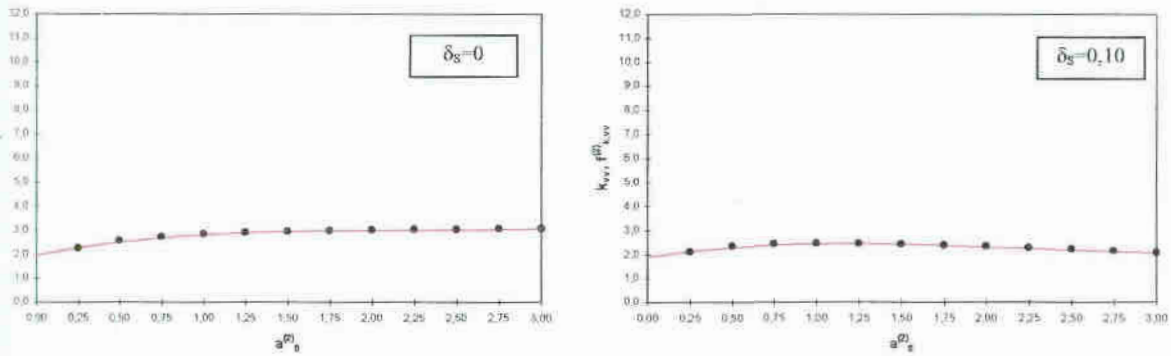
Rys. 4.2.9. Bezwymiarowy współczynnik sztywności $k_{vv}^{(1)}(a_0^{(1)})$ półprzestrzeni inercyjnej

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



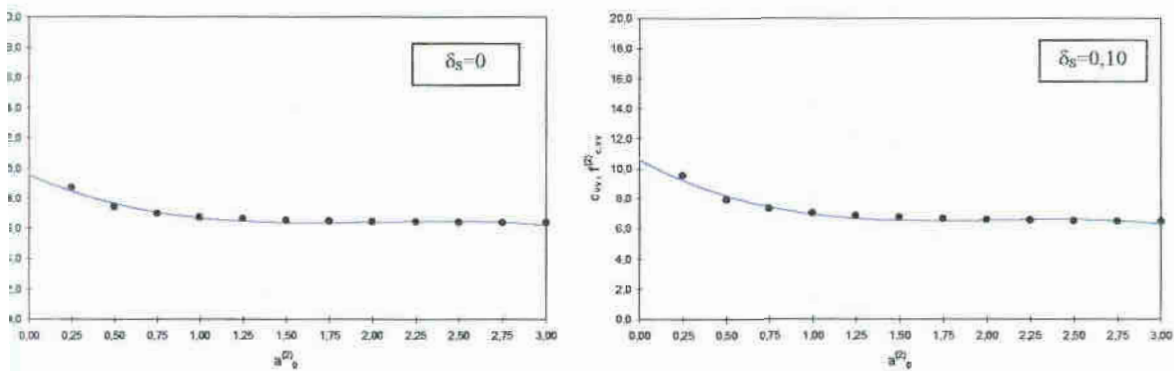
Rys. 4.2.10. Bezwymiarowy współczynnik tłumienia $c_{vv}^{(1)}(a_0^{(1)})$ półprzestrzeni inercyjnej

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



Rys. 4.2.11. Bezwymiarowy współczynnik sztywności $k_{vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)})$ zasyпки

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



Rys. 4.2.12. Bezwymiarowy współczynnik tłumienia $c_{vv}^{(2)}(a_{0v}^{(2)})$ zasyпки

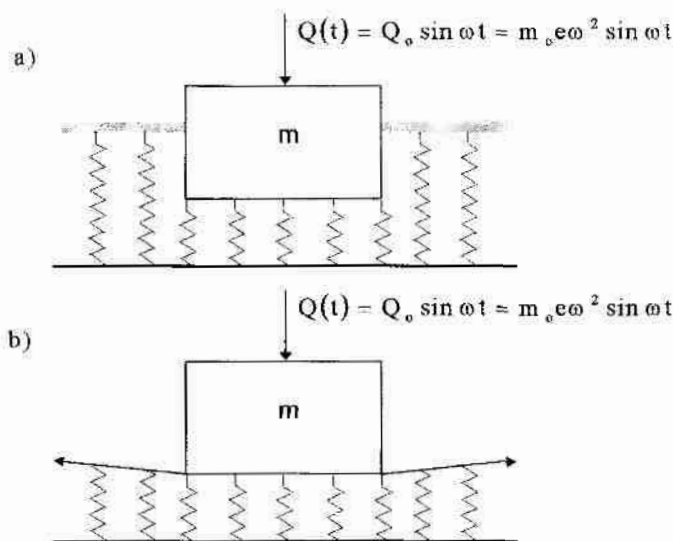
- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa

tablica 4.2.5 Bezwymiarowe współczynniki sztywności $k_{vv}^{(1)}$, $k_{vv}^{(2)}$ i tłumienia $c_{vv}^{(1)}$, $c_{vv}^{(2)}$

ω [rad/s]	$G_{(z=0,4)}$ [Pa]	$R_{VV}=(4B^*L^*/\pi)^{1/2}$ [m]	$a_0^{(1)}$	$k_{vv}^{(1)}$				$c_{vv}^{(1)}$				$a_{0v}^{(2)}$	$k_{vv}^{(2)}$				$c_{vv}^{(2)}$			
				L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]																
				$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$		$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$
62,83	2,36E+07	0,451	0,213	6,513	6,469	6,100	8,568	0,321	2,366	2,205	8,241	8,939								
75,40	2,36E+07	0,451	0,256	6,495	6,444	6,082	8,267	0,385	2,428	2,247	8,025	8,663								
87,96	2,36E+07	0,451	0,299	6,471	6,415	6,066	7,997	0,449	2,487	2,286	7,825	8,409								
100,53	2,36E+07	0,451	0,341	6,442	6,382	6,053	7,757	0,513	2,541	2,320	7,643	8,176								
113,10	2,36E+07	0,451	0,384	6,408	6,345	6,041	7,544	0,578	2,591	2,351	7,475	7,962								
125,66	2,36E+07	0,451	0,427	6,369	6,303	6,032	7,359	0,642	2,638	2,378	7,323	7,767								
138,23	2,36E+07	0,451	0,469	6,326	6,258	6,024	7,199	0,706	2,681	2,401	7,186	7,590								
150,80	2,36E+07	0,451	0,512	6,279	6,209	6,019	7,062	0,770	2,720	2,421	7,062	7,431								
163,36	2,36E+07	0,451	0,555	6,229	6,157	6,015	6,947	0,834	2,757	2,438	6,951	7,288								
175,93	2,36E+07	0,451	0,597	6,175	6,102	6,013	6,852	0,899	2,790	2,452	6,853	7,161								
188,50	2,36E+07	0,451	0,640	6,118	6,044	6,013	6,776	0,963	2,820	2,462	6,766	7,049								
201,06	2,36E+07	0,451	0,683	6,058	5,983	6,015	6,718	1,027	2,847	2,470	6,691	6,951								
213,63	2,36E+07	0,451	0,725	5,996	5,920	6,018	6,675	1,091	2,871	2,475	6,626	6,866								
226,19	2,36E+07	0,451	0,768	5,932	5,855	6,023	6,647	1,155	2,893	2,478	6,570	6,793								
238,76	2,36E+07	0,451	0,811	5,866	5,788	6,030	6,631	1,219	2,913	2,478	6,524	6,732								
251,33	2,36E+07	0,451	0,853	5,799	5,719	6,039	6,626	1,284	2,930	2,476	6,486	6,681								
263,89	2,36E+07	0,451	0,896	5,730	5,648	6,049	6,630	1,348	2,945	2,472	6,456	6,641								
ω [rad/s]	$G_{(z=0,4)}$ [Pa]	$R_{VV}=(4B^*L^*/\pi)^{1/2}$ [m]	$a_0^{(1)}$	$k_{vv}^{(1)}$				$c_{vv}^{(1)}$				$a_{0v}^{(2)}$	$k_{vv}^{(2)}$				$c_{vv}^{(2)}$			
				L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]																
				$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$		$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$
62,83	2,213E+07	0,553	0,218	8,032	7,963	9,585	12,557	0,402	2,444	2,258	7,972	8,596								
75,40	2,213E+07	0,553	0,262	7,976	7,904	9,555	12,179	0,462	2,515	2,304	7,730	8,288								
87,96	2,213E+07	0,553	0,305	7,917	7,842	9,529	11,844	0,562	2,580	2,344	7,514	8,011								
100,53	2,213E+07	0,553	0,349	7,856	7,779	9,509	11,550	0,643	2,639	2,378	7,322	7,765								
113,10	2,213E+07	0,553	0,392	7,794	7,713	9,493	11,294	0,723	2,692	2,407	7,152	7,547								
125,66	2,213E+07	0,553	0,436	7,730	7,645	9,482	11,075	0,803	2,740	2,430	7,003	7,356								
138,23	2,213E+07	0,553	0,480	7,665	7,575	9,475	10,889	0,884	2,782	2,449	6,875	7,190								
150,80	2,213E+07	0,553	0,523	7,599	7,503	9,472	10,734	0,964	2,820	2,463	6,765	7,047								
163,36	2,213E+07	0,553	0,567	7,531	7,429	9,473	10,609	1,044	2,854	2,472	6,672	6,927								
175,93	2,213E+07	0,553	0,610	7,463	7,354	9,478	10,511	1,125	2,883	2,477	6,596	6,826								
188,50	2,213E+07	0,553	0,654	7,393	7,277	9,486	10,437	1,205	2,909	2,478	6,534	6,745								
201,06	2,213E+07	0,553	0,698	7,323	7,198	9,497	10,386	1,285	2,931	2,476	6,485	6,680								
213,63	2,213E+07	0,553	0,741	7,252	7,118	9,512	10,354	1,366	2,949	2,471	6,449	6,631								
226,19	2,213E+07	0,553	0,785	7,181	7,036	9,529	10,340	1,446	2,965	2,462	6,424	6,596								
238,76	2,213E+07	0,553	0,828	7,109	6,953	9,549	10,342	1,526	2,978	2,451	6,408	6,572								
251,33	2,213E+07	0,553	0,872	7,037	6,868	9,572	10,356	1,607	2,988	2,438	6,401	6,560								
263,89	2,213E+07	0,553	0,916	6,965	6,782	9,596	10,382	1,687	2,997	2,422	6,401	6,556								
ω [rad/s]	$G_{(z=0,4)}$ [Pa]	$R_{VV}=(4B^*L^*/\pi)^{1/2}$ [m]	$a_0^{(1)}$	$k_{vv}^{(1)}$				$c_{vv}^{(1)}$				$a_{0v}^{(2)}$	$k_{vv}^{(2)}$				$c_{vv}^{(2)}$			
				L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]																
				$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$		$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$
62,83	1,652E+07	0,638	0,247	9,490	9,398	13,043	16,273	0,526	2,551	2,326	7,610	8,134								
75,40	1,652E+07	0,638	0,296	9,385	9,293	13,001	15,806	0,631	2,630	2,374	7,349	7,800								
87,96	1,652E+07	0,638	0,346	9,282	9,188	12,969	15,405	0,736	2,700	2,411	7,127	7,515								
100,53	1,652E+07	0,638	0,395	9,181	9,082	12,946	15,065	0,841	2,760	2,440	6,941	7,275								
113,10	1,652E+07	0,638	0,445	9,083	8,977	12,932	14,782	0,946	2,812	2,460	6,788	7,077								
125,66	1,652E+07	0,638	0,494	8,987	8,872	12,926	14,552	1,051	2,856	2,473	6,665	6,917								
138,23	1,652E+07	0,638	0,543	8,893	8,767	12,928	14,371	1,156	2,894	2,478	6,570	6,792								
150,80	1,652E+07	0,638	0,593	8,800	8,661	12,937	14,233	1,261	2,924	2,477	6,499	6,698								
163,36	1,652E+07	0,638	0,642	8,709	8,554	12,953	14,136	1,366	2,949	2,471	6,449	6,631								
175,93	1,652E+07	0,638	0,692	8,620	8,447	12,976	14,075	1,472	2,969	2,459	6,418	6,587								
188,50	1,652E+07	0,638	0,741	8,532	8,339	13,003	14,045	1,577	2,985	2,443	6,403	6,563								
201,06	1,652E+07	0,638	0,790	8,446	8,230	13,036	14,042	1,682	2,996	2,423	6,400	6,556								
213,63	1,652E+07	0,638	0,840	8,361	8,120	13,074	14,062	1,787	3,005	2,400	6,408	6,561								
226,19	1,652E+07	0,638	0,889	8,276	8,009	13,115	14,101	1,892	3,011	2,375	6,422	6,575								
238,76	1,652E+07	0,638	0,939	8,193	7,896	13,159	14,154	1,997	3,015	2,347	6,441	6,595								
251,33	1,652E+07	0,638	0,988	8,111	7,781	13,207	14,217	2,102	3,018	2,319	6,460	6,616								
263,89	1,652E+07	0,638	1,037	8,029	7,665	13,256	14,286	2,207	3,021	2,290	6,478	6,635								

2.2.4 Model podłoża w ujęciu normowym

Normowy model podłoża, w zagadnieniu drgań pionowych bloku fundamentowego, jest iowo-sprężystym nieinercyjnym podłożem Winklera w którym, zgodnie z hipotezą winowa, część podłoża winklerowskiego znajdująca się poza krawędziami fundamentu ączzona jest do współpracy dzięki nieograniczonej i jednorodnej (naciągniętej we wszystkich runkach) błonie, bez sił tarcia z płaszczyzną elementów sprężystych (rys. 4.2.13b). imienie typu lepkiego przyjmuje się zgodnie z hipotezą Voigta.



rys. 4.2.13. Dyskretny model drgań pionowych bloku fundamentowego o masie m na podłożu
 a) Winklera,
 b) Winklera-Sawinowa-Voigta (ujęcie normowe)

W modelu Winklera-Sawinowa-Voigta wartości współczynników sztywności K_{VV}^0 umienia C_{VV}^0 podłoża gruntowego zostały obliczone zgodnie z obowiązującymi przepisami mowymi (PN-80/B-03040).

Współczynnik sztywności podłoża K_{VV}^0 (oznaczenie normowe K_z) wyrażony jest wzorem

$$K_{VV}^0 \equiv K_z = C_z \cdot F \quad [\text{MN/m}], \quad (4.2.63)$$

którym:

F - pole powierzchni podstawy fundamentu, m^2 ,

C_z - dynamiczny współczynnik sprężystego równomiernego pionowego ugięcia podłoża

$$C_z = C_0 \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta \cdot F} \right] \sqrt{\frac{p}{0,02}} \quad [\text{MPa/m}], \quad (4.2.64)$$

Izbie: C_0 - dynamiczny współczynnik podłoża dla gruntów w stanie naturalnego zalegania przyjmowany z tablicy 1-1 normy, MPa/m; dla piasków drobnych, średnich i grubych, niezależnie od ich wilgotności i zagęszczenia $C_0 = 18 \text{ MPa/m}$ (przy nacisku na grunt $p = 0,02 \text{ MPa}$, dla fundamentów o polu podstawy $F \leq 50 \text{ m}^2$),

a, b - wymiary podstawy fundamentu w rzucie, przy czym b jest bokiem prostopadłym do rozpatrywanej płaszczyzny drgań ($a = B, b = L$), m,

Δ - współczynnik korekcyjny, $\Delta = 1 \text{ m}^{-1}$,

p - rzeczywisty nacisk statyczny fundamentu na grunt, MPa.

Wzór (4.2.64) dotyczy przypadku zalegania pod fundamentem warstwy gruntów inorodnych.

Grunt odznacza się właściwością tłumienia drgań. W ujęciu normowym tłumienie to grywa istotną rolę w przypadku, gdy występuje rezonans drgań wzbudzających z drganiami asynymi fundamentu. Właściwości tłumiące podłoża gruntowego opisane są przez czas retardacji Φ [s], przyjmowany z tablicy 1-3 normy. Wartości Φ wynoszą dla gruntów suchych nienawodnionych od 0,006s do 0,01s. Niższe wartości współczynnika Φ dotyczą fundamentów płytko posadowionych ($h_p = 1,0 \div 1,5 \text{ m}$), wyższe - fundamentów głęboko posadowionych ($h_p > 1,5 \text{ m}$). Obowiązująca norma nie różnicuje wartości Φ w zależności od stacji drgań.

Czas retardacji w modelu Voigta wynosi (Nowacki (1963)):

$$\Phi = \frac{C_{vv}^0}{K_{vv}^0}, \quad (4.2.65)$$

gdzie współczynnik tłumienia przy drganiach pionowych ma wartość

$$C_{vv}^0 = \Phi K_{vv}^0. \quad (4.2.66)$$

Współczynnik tłumienia przy drganiach pionowych obliczono, przyjmując minimalny czas retardacji $\Phi_{v,\min} = 0,006 \text{ s}$. Wyznaczone wartości dynamicznego współczynnika sprężystego w pionowym ugięciu podłoża C_z , współczynnika sztywności K_{vv}^0 i współczynnika tłumienia C_{vv}^0 podłoża przy drganiach pionowych zamieszczono w tablicy Z3.8.

2.3. Porównanie współczynników sztywności i tłumienia oraz charakterystyk amplitudowo-fazowych

Współczynniki sztywności i tłumienia, reprezentujące podłoże gruntowe w zagadnieniu gań pionowych bloku fundamentowego i wyznaczone w podrozdziale 4.2.2, przedstawiono w rysunkach od 4.2.1 do 4.2.6 w zależności od wielkości bloku, głębokości posadowienia, ęstotliwości drgań oraz poziomu obciążenia. Jakościowy charakter zmienności tych parametrów przedstawiono w tablicach 4.2.7 i 4.2.8.

Tablica 4.2.7 Zestawienie zmienności współczynnika sztywności K_{VV}^0 przy wzroście różnych czynników

Zmienny czynnik	Masa bloku przy stałej wysokości i szerokości $m \nearrow$	Głębokość posadowienia bloku $h_p \nearrow$	Częstotliwość drgań $f \nearrow$	Poziom obciążenia $Q_0 \nearrow$
Model podłoża gruntowego				
dwuparametrowy: estymacja K_{VV}^0 z zagadnienia odwrotnego	znacznie wzrasta	wzrasta	maleje	nieznacznie maleje
dwuparametrowy: estymacja K_{VV}^0 metodą najmniejszych kwadratów	znacznie wzrasta	znacznie wzrasta	nie zależy	maleje
Trójparametrowy	znacznie wzrasta	znacznie wzrasta	znacznie maleje	nieznacznie maleje
Półprzeźren inercyjna	nieznacznie wzrasta	nieznacznie wzrasta	maleje	nie zależy
Winklera-Sawinowa-Voigta (ujęcie normowe)	znacznie wzrasta	nie zależy	nie zależy	nie zależy

Tablica 4.2.8 Zestawienie zmienności współczynnika tłumienia C_{VV}^0 przy wzroście różnych czynników

Zmienny czynnik	Masa bloku przy stałej wysokości i szerokości $m \nearrow$	Głębokość posadowienia bloku $h_p \nearrow$	Częstotliwość drgań $f \nearrow$	Poziom obciążenia $Q_0 \nearrow$
Model podłoża gruntowego				
dwuparametrowy: estymacja C_{VV}^0 z zagadnienia odwrotnego	znacznie wzrasta	znacznie wzrasta	początkowo wzrasta następnie nieznacznie maleje	nieznacznie maleje
dwuparametrowy: estymacja C_{VV}^0 metodą najmniejszych kwadratów	znacznie wzrasta	znacznie wzrasta	nie zależy	nieznacznie maleje
Trójparametrowy	wzrasta	znacznie wzrasta	nie zależy	nieznacznie maleje
Półprzeźren inercyjna	znacznie wzrasta	znacznie wzrasta	znacznie maleje dla mniejszych f , a następnie nieznacznie wzrasta	nie zależy
Winklera-Sawinowa-Voigta (ujęcie normowe)	wzrasta	nie zależy	nie zależy	nie zależy

Mając określone współczynniki sztywności i tłumienia podłoża można opracować charakterystyki amplitudowe i fazowe trzech bloków fundamentowych będących przedmiotem badań. Zbiór charakterystyk przedstawiono na rysunkach od 4.2.7 do 4.2.12. Parametry podłoża i charakterystyki amplitudowo-fazowe bloków przedstawione w dziedzinie częstości i trzech poziomów posadowienia i obciążenia dają wgląd we właściwości dynamiczne stosowanych liniowych modeli drgań.

diskretny dwuparametrowy model podłoża

Dynamiczne właściwości inercyjnego podłoża gruntowego w dziedzinie częstości najlepiej zwierciedlają współczynniki sztywności i tłumienia otrzymywane z rozwiązania zagadnienia wrotnego w którym danymi są eksperymentalne amplitudy i fazy stacjonarnych drgań nowego bloku. Stanowią one dyskretne *dane bazowe*, z którymi porównywane są inne zagadnienia. I tak współczynniki sztywności i tłumienia podłoża otrzymane z estymacji różniczkowej na zbiorze eksperymentalnych amplitud drgań wykazują zróżnicowaną zgodność z *danymi bazowymi* w zależności od wielkości masy bloku, poziomu zagłębienia i częstotliwości drgań. Charakterystyki amplitudowe przedstawiają w tym przypadku jakość dopasowania równania teoretycznego do danych eksperymentalnych przez estymację dwóch parametrów metodą najmniejszych kwadratów, prognozowane są natomiast fazy drgań. Wykazują one dobrą lub umiarkowaną zgodność z danymi eksperymentalnymi. Zależy to od wielkości bloku, poziomu zagłębienia oraz częstotliwości drgań.

diskretny trójparametrowy model podłoża

Prognozowany dynamiczny współczynnik sztywności podłoża wykazuje dobrą lub umiarkowaną zgodność z *wartościami bazowymi* dwuparametrowego modelu podłoża. Jest to widoczny wpływ dodatkowej masy, która symuluje inercyjne cechy podłoża gruntowego. Natomiast ustalone wartości współczynnika tłumienia tylko w nieznacznym stopniu różnią się od odpowiadających im wartości analogicznych wielkości dla dwuparametrowego modelu podłoża. Charakterystyki amplitudowe przedstawiają jakość dopasowania równania teoretycznego do danych eksperymentalnych przez estymację trzech parametrów metodą najmniejszych kwadratów. Prognoza teoretyczna dotyczy charakterystyk fazowych, które wykazują dobrą zgodność z danymi eksperymentalnymi.

Półprzestrzeń inercyjna z histerezywnym tłumieniem materiałowym

Dynamiczne współczynniki sztywności i tłumienia wykazują zróżnicowaną zgodność wartościami bazowymi dwuparametrowego modelu podłoża. Zależy to od częstotliwości zbudzenia, wielkości masy i poziomu zagłębienia bloku. Istotnym faktem jest prognozowanie wyższych wartości współczynnika tłumienia względem wartości bazowych. tego powodu charakterystyki amplitudowe mają gładki przebieg bez strefy rezonansu. wykazują one zgodność z eksperymentem tylko w zakresie małych częstotliwości drgań strefie przedrezonansowej. Zgodność wyników ma miejsce w sytuacji, gdy bezwładność i tłumienie odgrywają małą rolę a decydujący wpływ na właściwości podłoża ma sztywność statyczna. Przy wyższych częstotliwościach, szczególnie w strefie rezonansowej, prognozowane amplitudy drgań są znacznie zaniżone w stosunku do wartości eksperymentalnych. Z teorii wiadomo, że model jednorodnej półprzestrzeni sprężystej charakteryzuje się najwyższym poziomem tłumienia radiacyjnego w przypadku drgań pionowych bloku fundamentowego (Gazetas (1983)). Z kolei w strukturalnie jednorodnym podłożu gruntowym następuje wzrost zagęszczenia z głębokością spowodowany naprężeniami statycznymi oraz ciężarem własnym bloku. Efektem tego jest redukcja tłumienia radiacyjnego i w konsekwencji amplitudy drgań bloku zarejestrowane podczas eksperymentu dużo większe w porównaniu z prognozą teoretyczną.

Wpływ zagłębienia bloku przejawia się we wzroście wartości współczynników sztywności i tłumienia, co w efekcie powoduje przesunięcie strefy rezonansowej w prawo oraz spadek prognozowanych amplitud drgań.

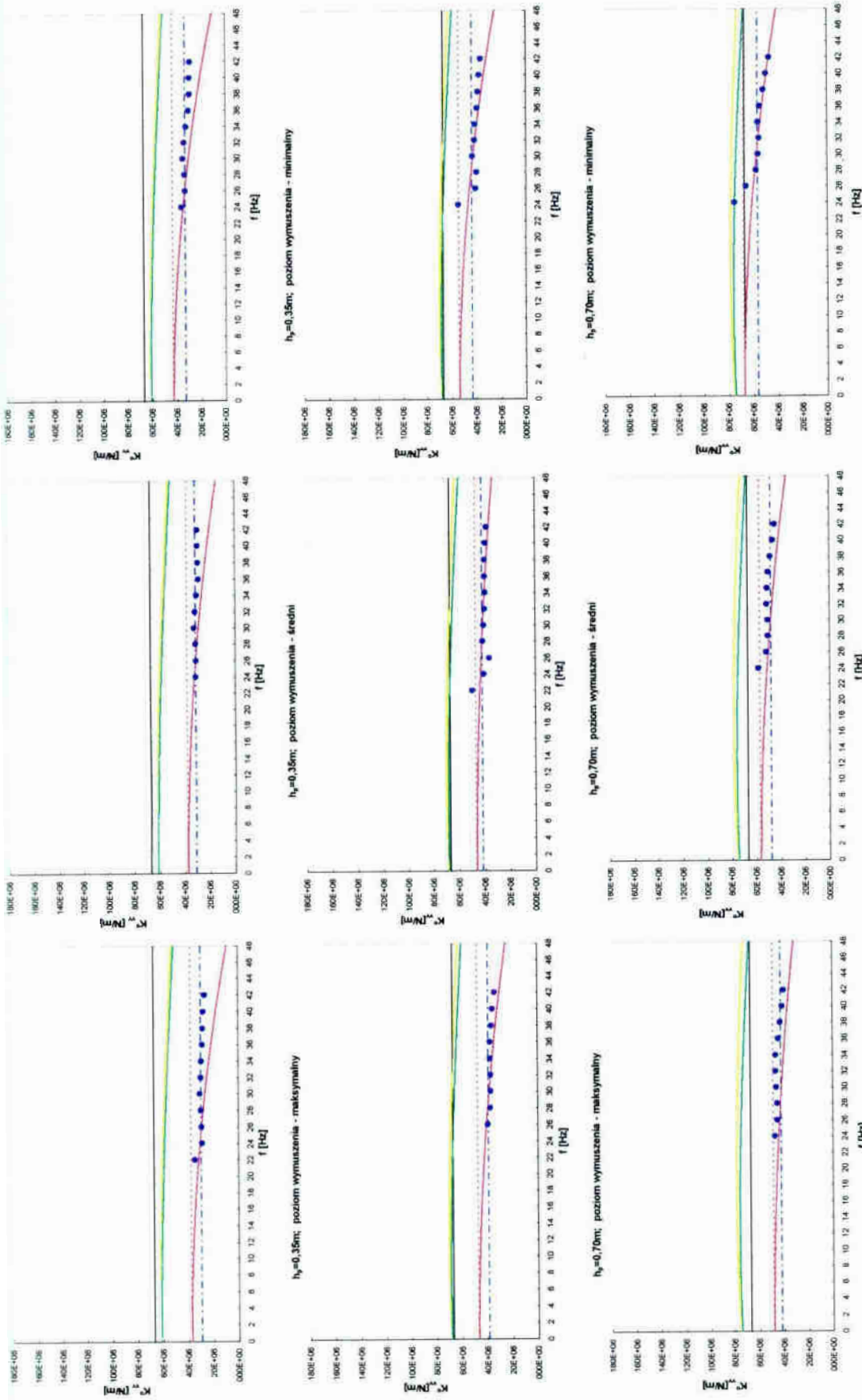
Model Winklera-Sawinowa-Voigtu (ujęcie normowe)

Dla bloków na powierzchni i zagłębionych do połowy wysokości, ustalone współczynniki sztywności są zawyżone w stosunku do wartości bazowych dwuparametrowego modelu podłoża. Zgodność wyników poprawia się w miarę wzrostu częstotliwości zbudzenia, wielkości masy bloku i poziomu zagłębienia. Wartości współczynników tłumienia są zawsze wyższe w stosunku do wartości bazowych.

Generalnie, prognozowane charakterystyki amplitudowo-fazowe bloków wykazują większą rozbieżność z wartościami eksperymentalnymi w porównaniu do prognoz z innymi modelami liniowymi. Zgodność z eksperymentem ma miejsce tylko w zakresie małych częstotliwości drgań w strefie przedrezonansowej. Przy wyższych częstotliwościach

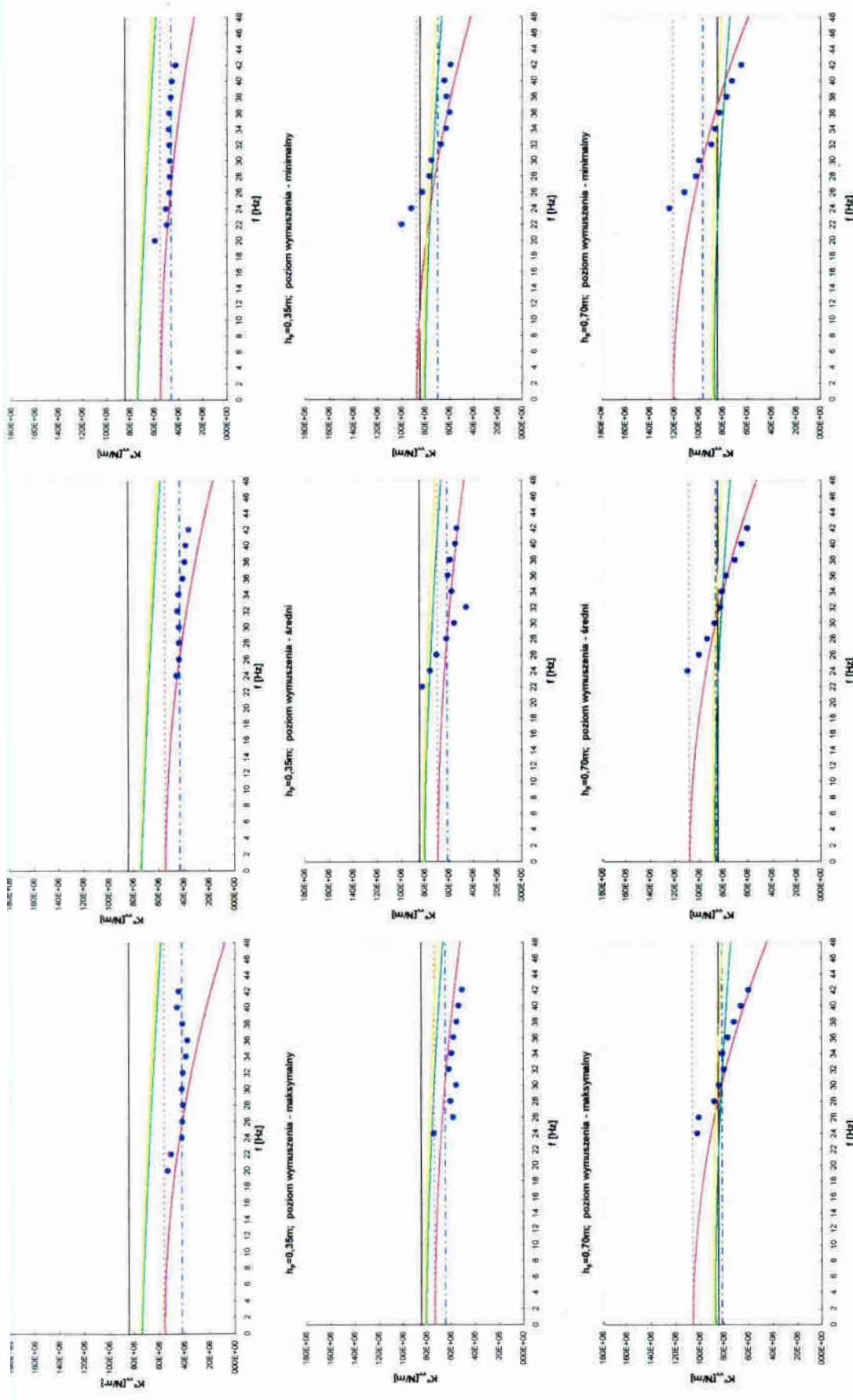
Prognozowane amplitudy drgań bloku są znacznie zaniżone. Wynika to z faktu, że poziom tłumienia w tym modelu, pomimo przyjęcia najmniejszej wartości czasu retardacji zalecanej przez normę, jest znacznie zawyżony względem danych eksperymentalnych. Ponadto pominięty jest wpływ bezwładności podłoża gruntowego, który przejawia się w zależności dynamicznego współczynnika sztywności od częstotliwości drgań.

Podsumowując uzyskane wyniki, należy stwierdzić, że niezadowalająca jest jakość prognozy drgań pionowych eksperymentalnych bloków fundamentowych przy zastosowaniu normowego modelu podłoża. Niezadowalającą jakość prognozy uzyskano również przy zastosowaniu modelu jednorodnej półprzestrzeni sprężystej. Jednakże rozwiązania teoretyczne dotyczące współczynników sztywności i tłumienia podłoża jednorodnego, mogą być wykorzystane do symulacji dynamicznych właściwości podłoża niejednorodnego, w którym chodzi o redukcję tłumienia radiacyjnego. Uzyskuje się to przez odpowiednie przeskalowanie normalizowanych współczynników sztywności i tłumienia na osi bezwymiarowej częstości. Prognozowane amplitudy drgań pionowych bloku po takiej modyfikacji parametrów podłoża wykazują zadowalającą zgodność z wynikami eksperymentalnymi (Sienkiewicz i Nowakowski 1998)).



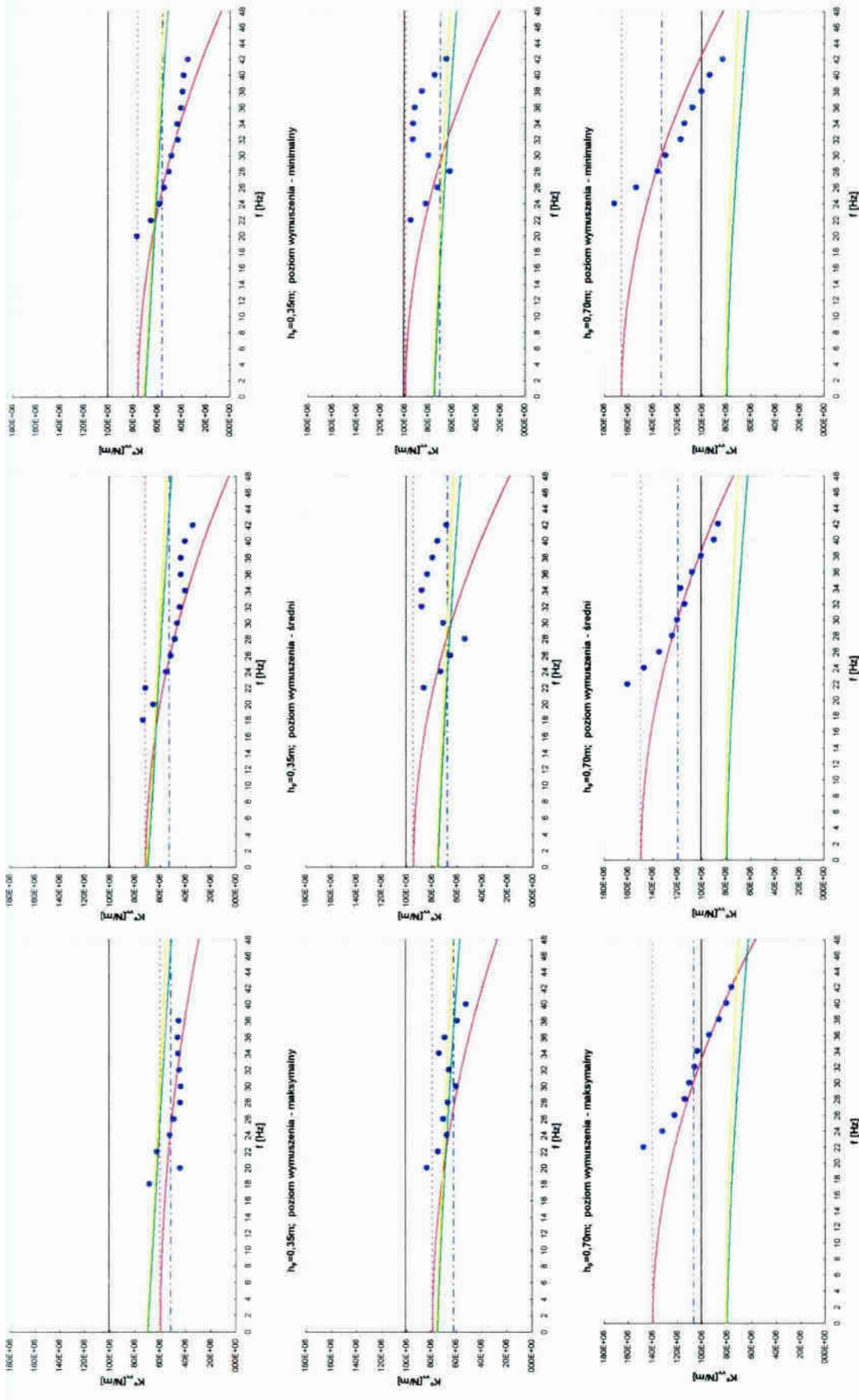
- model dwuparametrowy (zagadnienie odwrotne), model trójparametrowy ($K_{VV,sl}^0$), półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
- model dwuparametrowy (estymacja), model trójparametrowy ($K_{VV,dyn}^0$), półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),
- model W-S-V (ujęcie normowe)

Rys. 4.2.1 Współczynniki sztywności K_{VV}^0 [N/m], fundament $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$



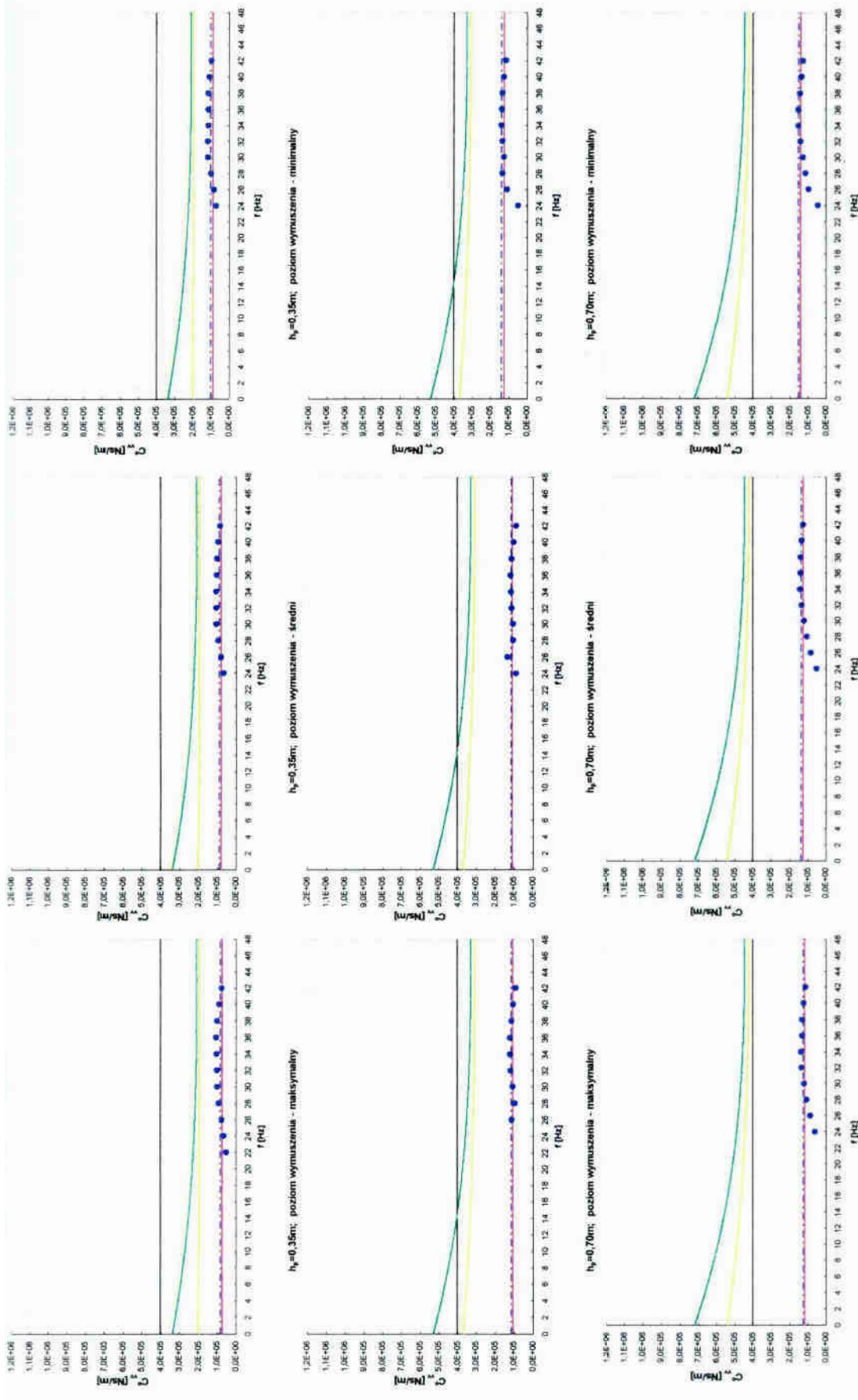
- model dwuparametrowy (zagadnienie odwrotne),
- model dwuparametrowy (estymacja),
- model W-S-V (ujęcie normowe)
- model trójparametrowy ($K_{VV,gr}^0$),
- model trójparametrowy ($K_{VV,dyn}^0$),
- półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
- półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),

Rys. 4.2.2 Współczynniki sztywności K_{VV}^0 [N/m], fundament $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$



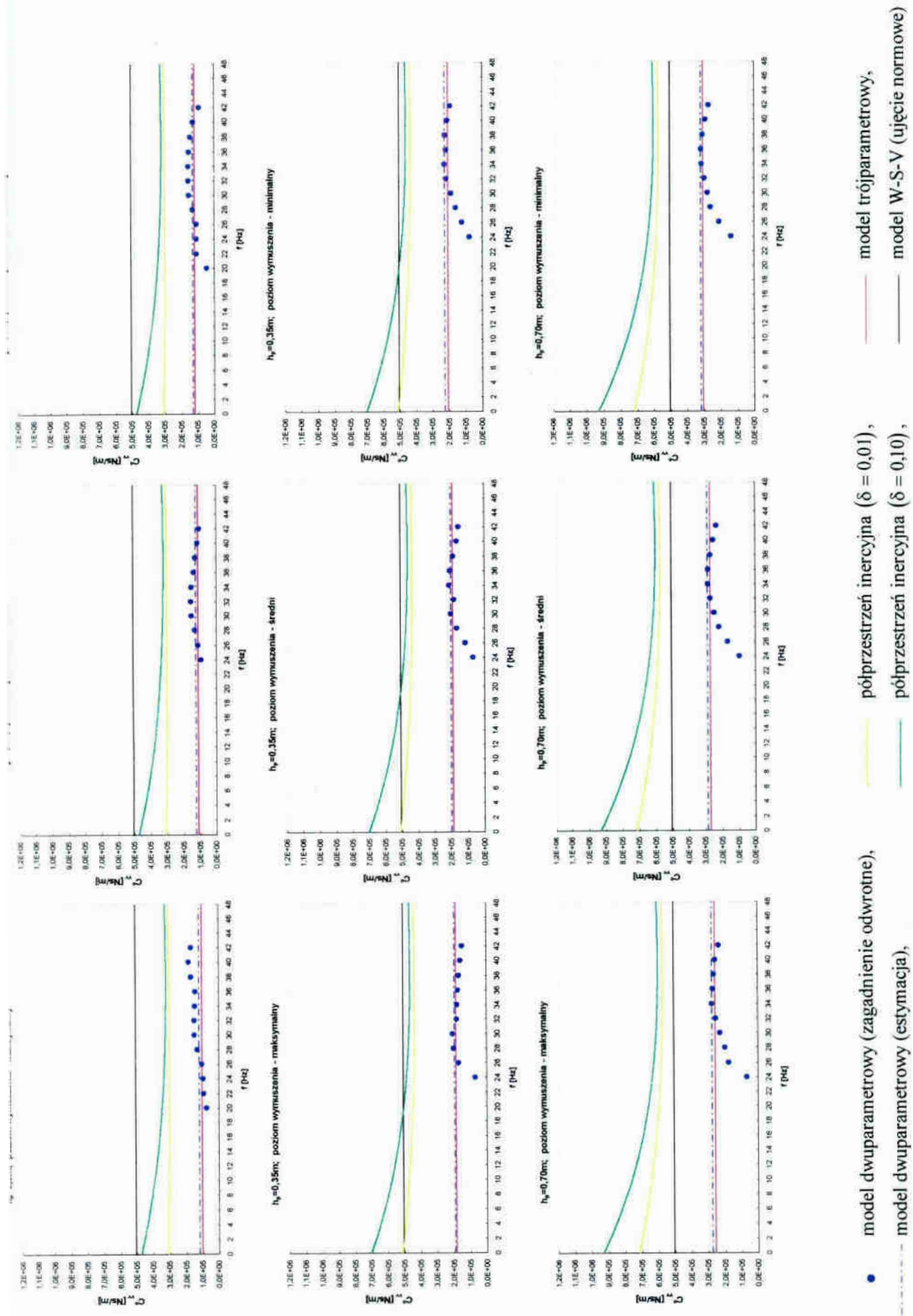
- model dwuparametrowy (zagadnienie odwrotne),
- model dwuparametrowy (estymacja),
- model W-S-V (ujęcie normowe)
- model trójparametrowy ($K_{VV, st}^0$),
- model trójparametrowy ($K_{VV, dyn}^0$),
- półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
- półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),

Rys. 4.2.3 Współczynniki sztywności K_{VV}^0 [N/m], fundament $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7m$

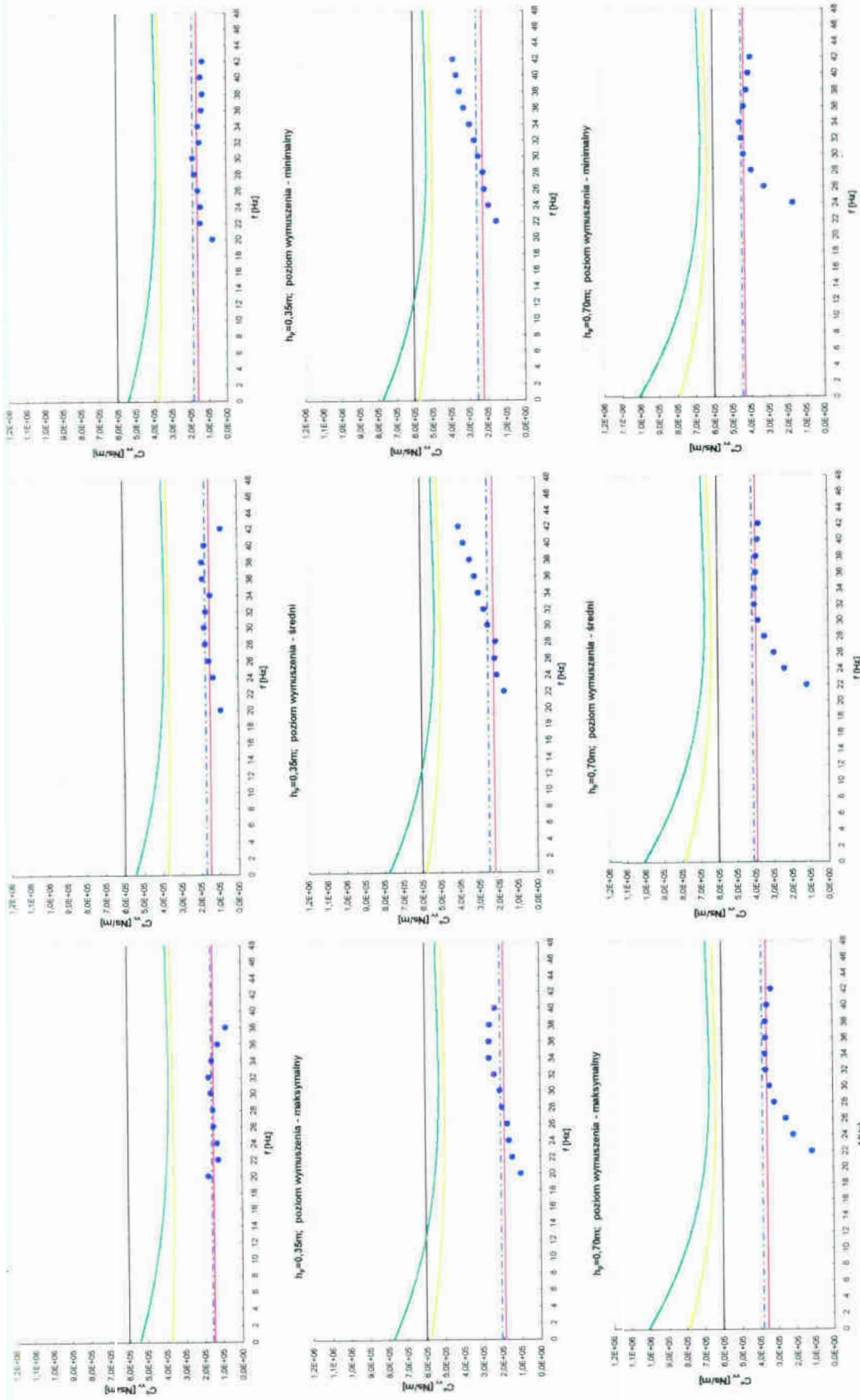


● model dwuparametrowy (zagadnienie odwrotne), — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$), - - - model trójparametrowy,
— model dwuparametrowy (estymacja), — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$), — model W-S-V (ujęcie normowe)

Rys. 4.2.4 Współczynniki tłumienia C_{vv}^0 [Ns/m], fundament $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$

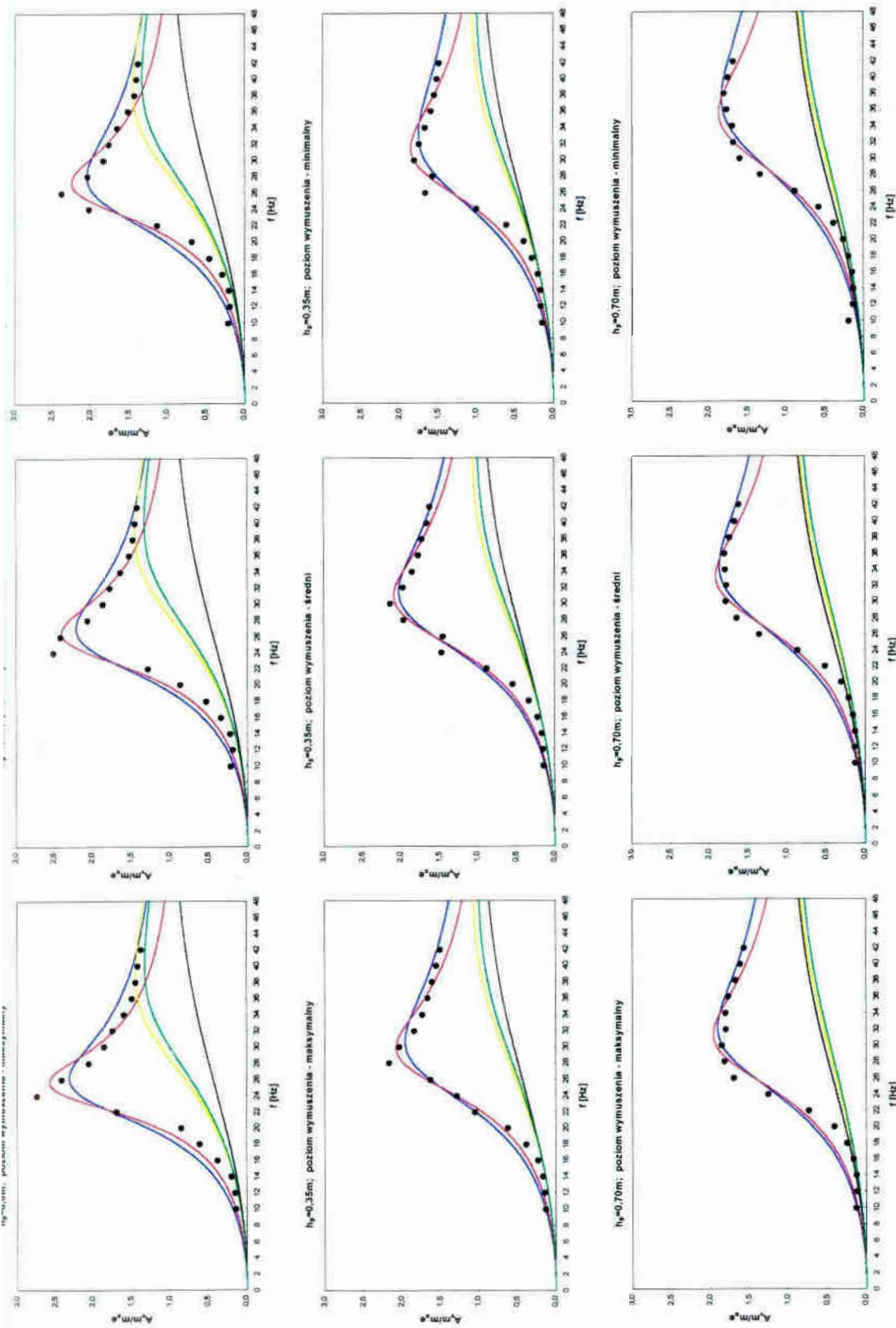


Rys. 4.2.5 Współczynniki tłumienia C_{vv}^0 [Ns/m], fundament $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7$ m



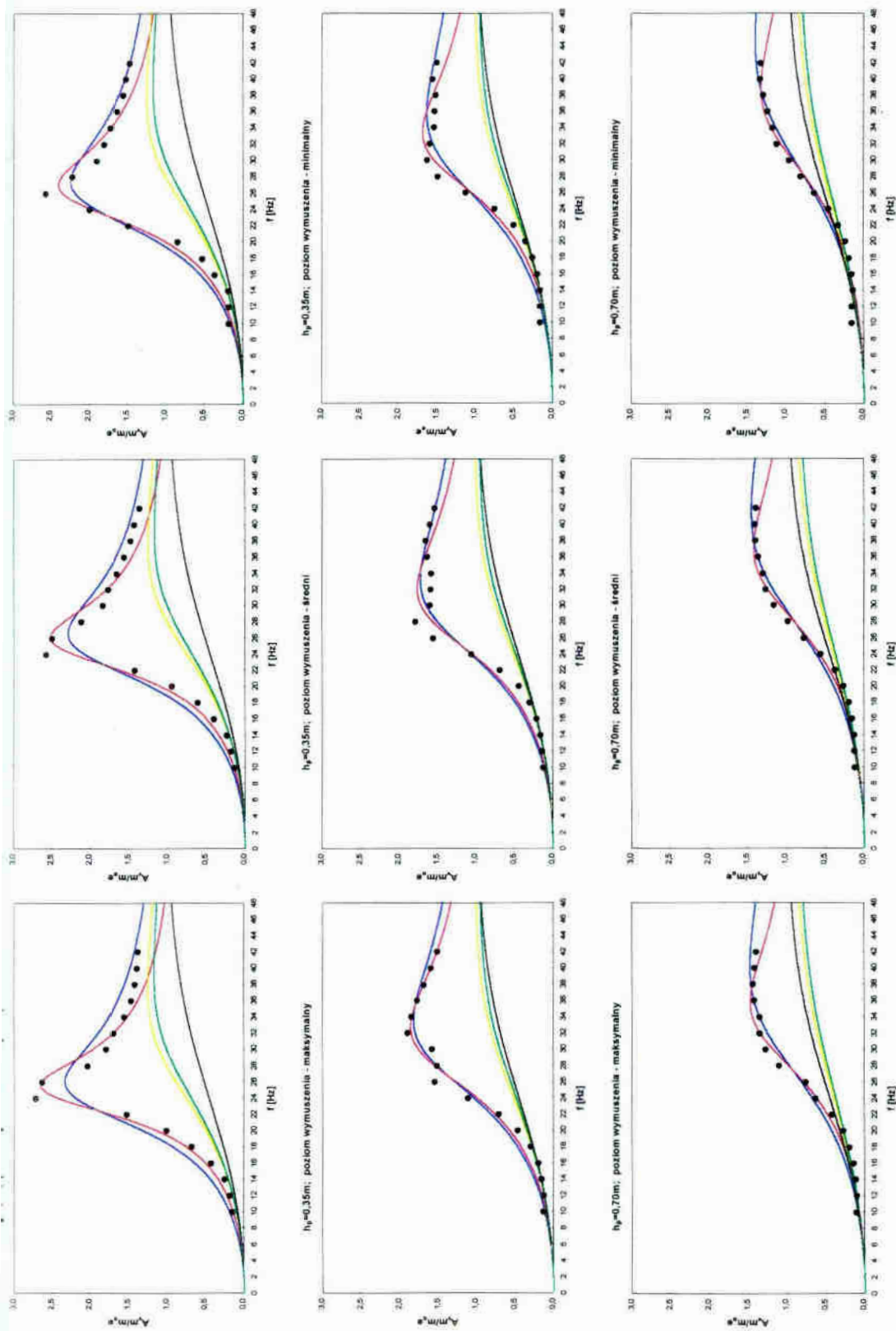
• model dwuparametrowy (zagadnienie odwrotne), — model trójparametrowy,
 — model dwuparametrowy (estymacja), — model W-S-V (ujęcie normowe)

Rys. 4.2.6 Współczynniki tłumienia C_{vv} [Ns/m], fundament $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7m$



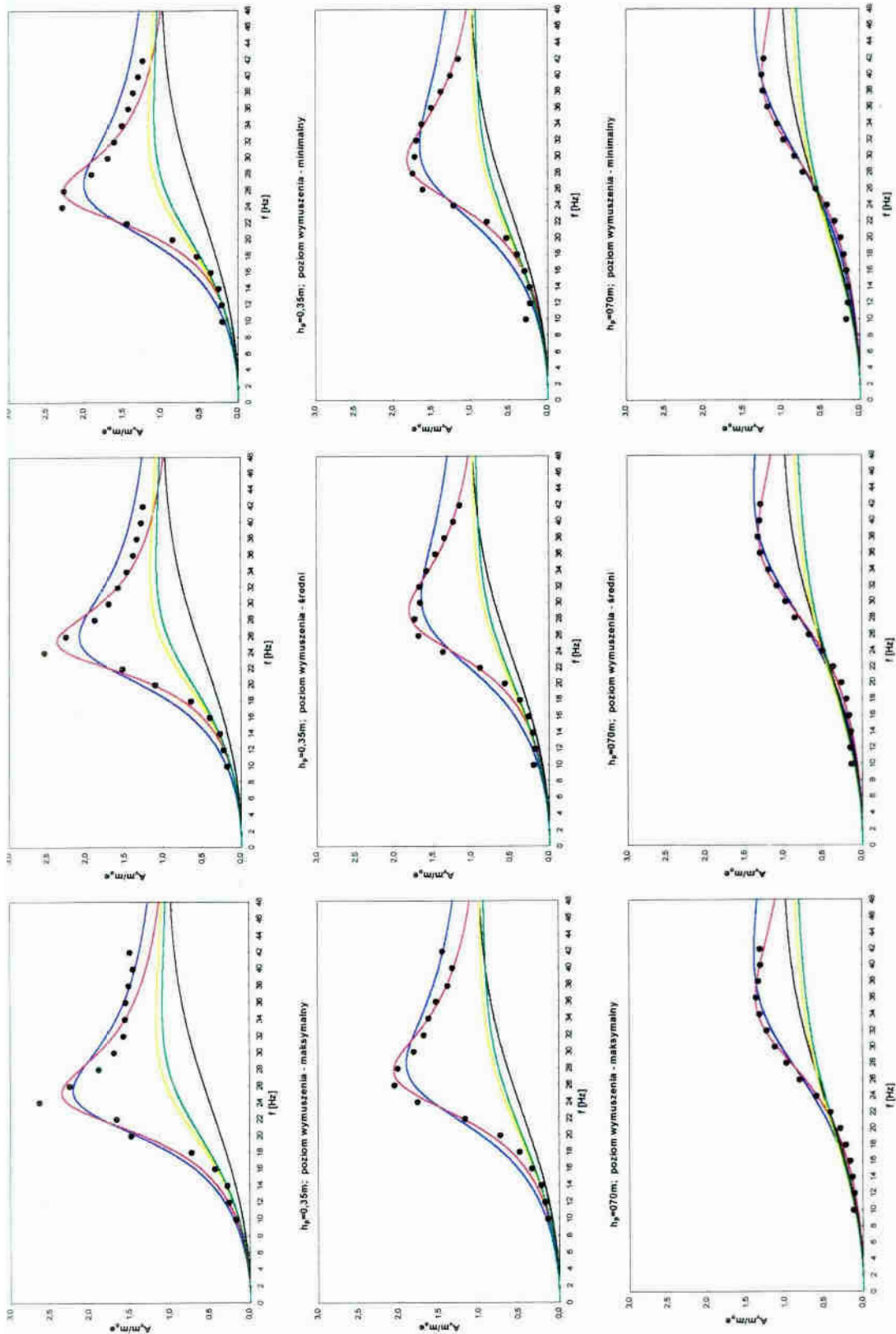
eksperyment,
 model dwuparametrowy (estymacja),
 model trójparametrowy,
 półprzeźrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
 półprzeźrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),

Rys. 4.2.7 Bezwymiarowe amplitudy przemieszczeń A_v , fundament $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7m$



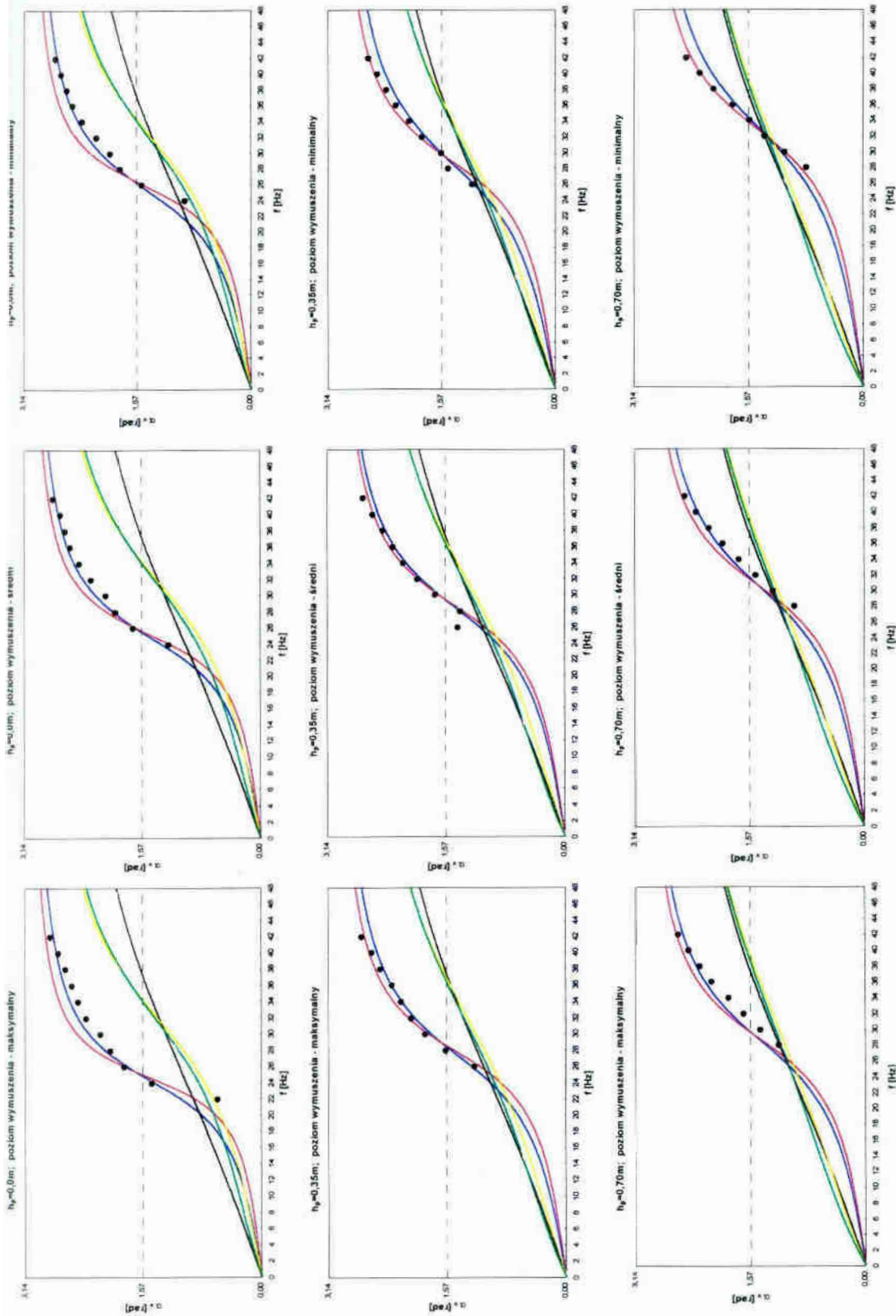
- eksperyment,
- półprzeźrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
- model dwuparametrowy (estymacja),
- model trójparametrowy,
- półprzeźrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),
- model W-S-V (ujęcie normowe),

Rys. 4.2.8 Bezwymiarowe amplitudy przemieszczeń A_v , fundament $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7m$



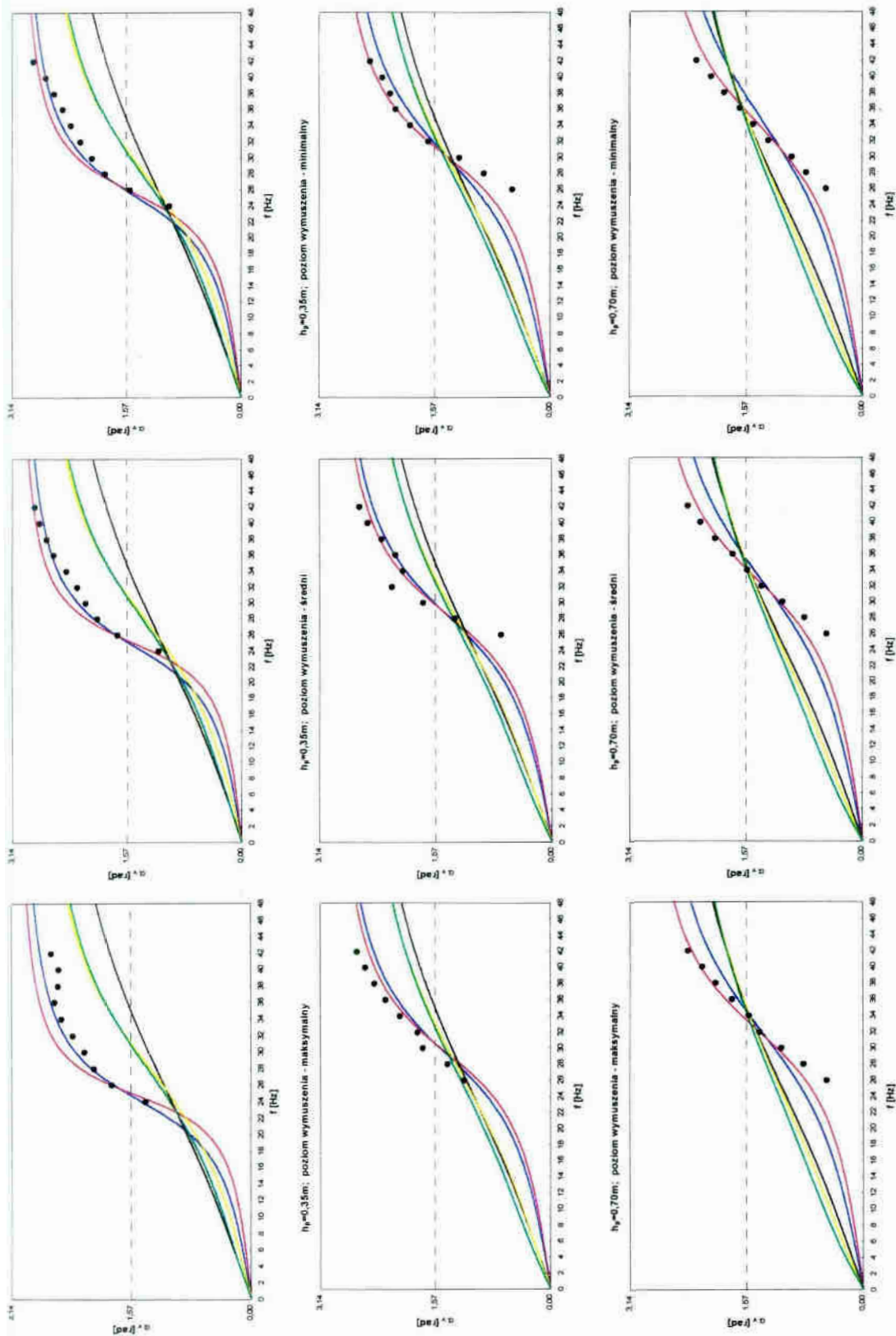
● eksperyment, — model dwuparametrowy (estymacja), — model trójparametrowy, — półprzeźren inercyjna ($\delta = 0.01$), — półprzeźren inercyjna ($\delta = 0.10$), — model W-S-V (ujęcie normowe), — model W-S-V (ujęcie normowe),

Rys. 4.2.9 Bezwymiarowe amplitudy przemieszczeń A_v , fundament $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7m$



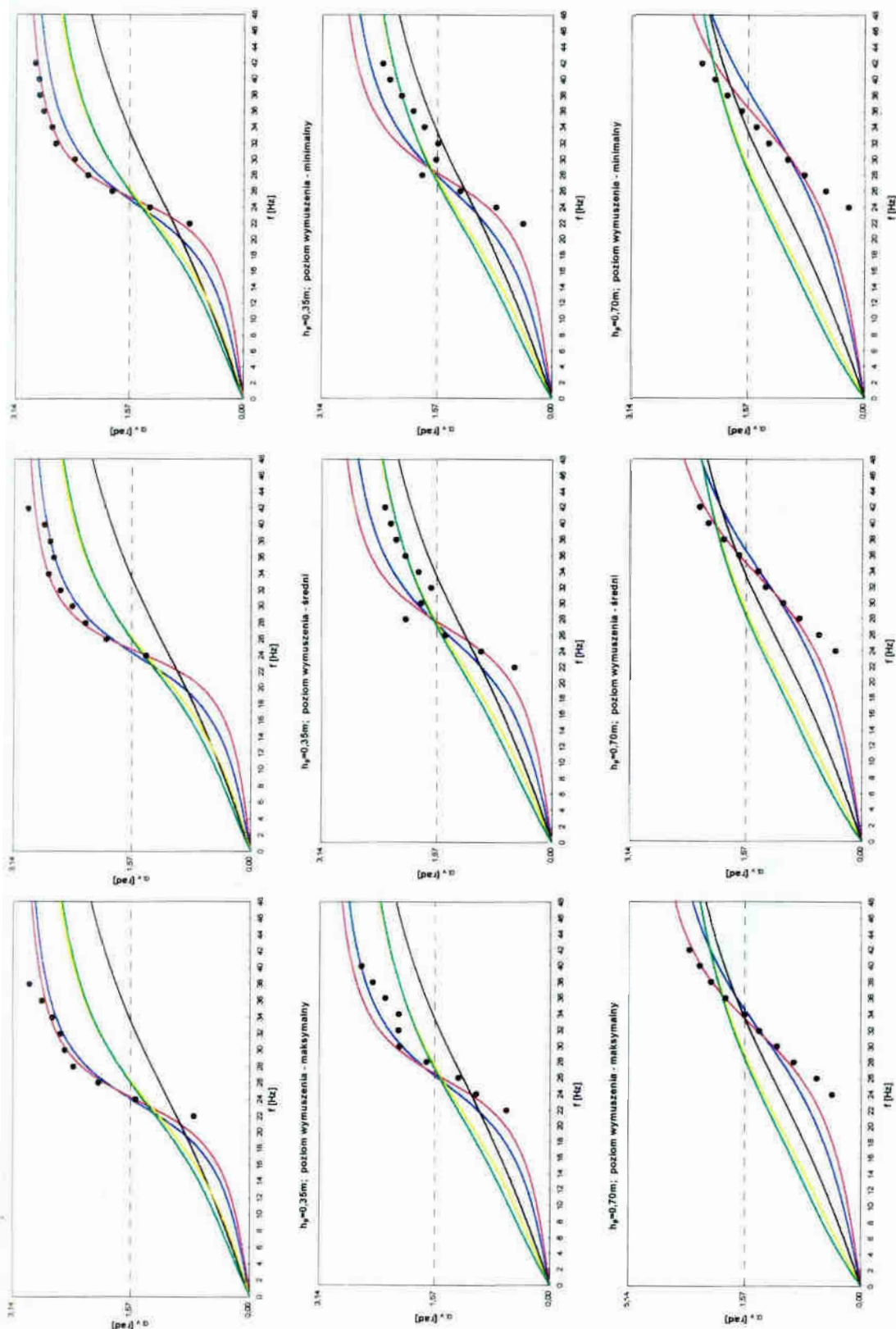
eksperyment,
 półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
 model dwuparametrowy (estymacja),
 model trójparametrowy,
 półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),
 model W-S-V (ujęcie normowe),

Rys. 4.2.10 Fazy drgań α_v [rad], fundament $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$.



• eksperyment, — model dwuparametrowy (estymacja), — model trójparametrowy, — półprzeźren inercyjna ($\delta = 0,01$), — półprzeźren inercyjna ($\delta = 0,10$), — model W-S-V (ujęcie normowe),

Rys. 4.2.11 Fazy drgań α_v [rad], fundament $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7m$



Rys. 4.2.12 Fazy drgań α_v [rad], fundament $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m

i. Drgania złożone przesuwno-obrotowe

i.1. Amplitudy i fazy drgań ustalonych oraz zredukowane zagadnienie odwrotne

Równania ruchu złożonego przesuwno-obrotowego masywnej sztywnej bryły na liniowo-odkształcalnym podłożu mają następującą postać:

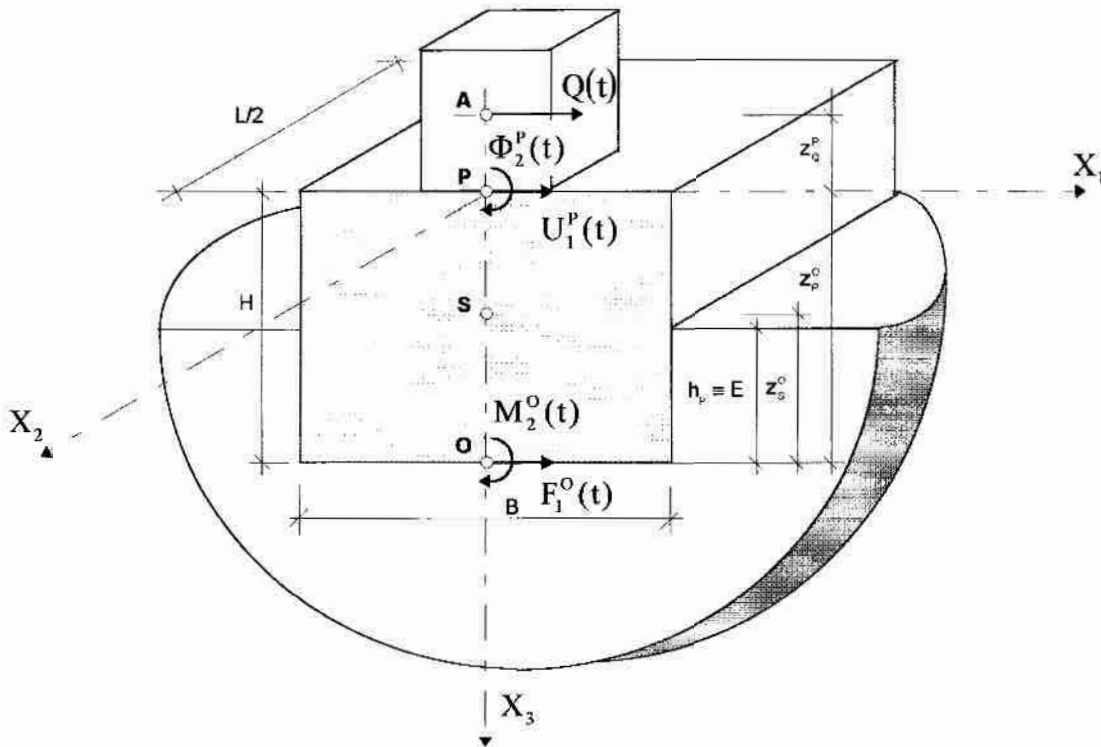
$$\begin{cases} m\ddot{u}_1^P(t) + mX_3^S\ddot{\phi}_2^P(t) = F_1^P(t), \\ mX_3^S\ddot{u}_1^P(t) + J_{22}^P\ddot{\phi}_2^P(t) = M_2^P(t), \end{cases} \quad (4.3.1)$$

zie: $F_1^P(t) = F_1^A(t) + F_1^O(t), \quad (4.3.2a)$

$$M_2^P(t) = X_3^A F_1^A(t) + X_3^O F_1^O(t) + M_2^O(t) \quad (4.3.2b)$$

aż zgodnie z rys. 4.3.1: $X_3^A = -z_Q^P, \quad X_3^O = z_P^O, \quad X_3^S = (z_P^O - z_S^O).$

zez z_Q^P, z_P^O oznaczono odległości pomiędzy odpowiednimi punktami.



Rys. 4.3.1. Geometria i obciążenie sztywnej masywnej bryły na liniowo-odkształcalnym podłożu (drżania złożone przesuwno-obrotowe)

ładowe obciążenia przyłożonego do punktu odniesienia P wynoszą:

- składowa czynnego obciążenia zewnętrznego

$$F_1^A(t) \equiv Q(t) = Q_0 e^{i\omega t} = m_0 \omega^2 e^{i\omega t}, \quad (4.3.3)$$

- składowe reakcji podłoża:

$$F_1^O(t) = -\left[K_{H_1 H_1}^O u_1^O(t) + C_{H_1 H_1}^O \dot{u}_1^O(t) + K_{H_1 \Phi_2}^O \varphi_2^O(t) + C_{H_1 \Phi_2}^O \dot{\varphi}_2^O(t) \right], \quad (4.3.4a)$$

$$M_2^O(t) = -\left[K_{\Phi_2 H_1}^O u_1^O(t) + C_{\Phi_2 H_1}^O \dot{u}_1^O(t) + K_{\Phi_2 \Phi_2}^O \varphi_2^O(t) + C_{\Phi_2 \Phi_2}^O \dot{\varphi}_2^O(t) \right]. \quad (4.3.4b)$$

wychodzą przy tym związki:

$$K_{H_1 \Phi_2}^O = K_{\Phi_2 H_1}^O, \quad C_{H_1 \Phi_2}^O = C_{\Phi_2 H_1}^O. \quad (4.3.5)$$

korzystując zależności geometryczne:

$$u_1^O(t) = u_1^P(t) + z_P^O \varphi_2^P(t), \quad (4.3.6a)$$

$$\varphi_2^O(t) = \varphi_2^P(t), \quad (4.3.6b)$$

lpowiedź ustalona dla drgań złożonych przesuwno-obrotowych określona jest wzorami:

$$u_1^P(t) = \tilde{A}_h^P e^{i\omega t} = |\tilde{A}_h^P| e^{i(\omega t - \alpha_h^P)}, \quad (4.3.7a)$$

$$\varphi_2^P(t) = \tilde{A}_\varphi^P e^{i\omega t} = |\tilde{A}_\varphi^P| e^{i(\omega t - \alpha_\varphi^P)}, \quad (4.3.7b)$$

dzie: \tilde{A}_h^P i \tilde{A}_φ^P oznaczają odpowiednio zespolone amplitudy ruchu translacyjnego rotacyjnego, α_h^P i α_φ^P oznaczają fazy drgań, natomiast $|\tilde{A}_h^P|$ i $|\tilde{A}_\varphi^P|$ są amplitudami rzeczywistymi.

zespolone amplitudy drgań mają następującą postać:

$$\tilde{A}_h^P = \frac{\gamma_1^P + i\gamma_2^P}{\varepsilon_1^P + i\varepsilon_2^P} = \frac{\gamma_1^P \varepsilon_1^P + \gamma_2^P \varepsilon_2^P}{(\varepsilon_1^P)^2 + (\varepsilon_2^P)^2} + i \frac{\gamma_2^P \varepsilon_1^P - \gamma_1^P \varepsilon_2^P}{(\varepsilon_1^P)^2 + (\varepsilon_2^P)^2} = |\tilde{A}_h^P| e^{-i\alpha_h^P}, \quad (4.3.8a)$$

$$\tilde{A}_\varphi^P = \frac{\delta_1^P + i\delta_2^P}{\varepsilon_1^P + i\varepsilon_2^P} = \frac{\delta_1^P \varepsilon_1^P + \delta_2^P \varepsilon_2^P}{(\varepsilon_1^P)^2 + (\varepsilon_2^P)^2} + i \frac{\delta_2^P \varepsilon_1^P - \delta_1^P \varepsilon_2^P}{(\varepsilon_1^P)^2 + (\varepsilon_2^P)^2} = |\tilde{A}_\varphi^P| e^{-i\alpha_\varphi^P}. \quad (4.3.8b)$$

artości rzeczywistych amplitud $|\tilde{A}_h^P|$ i $|\tilde{A}_\varphi^P|$ wynoszą

$$|\tilde{A}_h^P| = \sqrt{\frac{(\gamma_1^P)^2 + (\gamma_2^P)^2}{(\varepsilon_1^P)^2 + (\varepsilon_2^P)^2}}, \quad (4.3.9a)$$

$$|\tilde{A}_\varphi^P| = \sqrt{\frac{(\delta_1^P)^2 + (\delta_2^P)^2}{(\varepsilon_1^P)^2 + (\varepsilon_2^P)^2}} \quad (4.3.9b)$$

ry drgań α_h^P i α_φ^P opisują następujące wzory:

$$\alpha_h^P = \text{arctg} \left(\frac{\gamma_1^P \varepsilon_2^P - \gamma_2^P \varepsilon_1^P}{\gamma_1^P \varepsilon_1^P + \gamma_2^P \varepsilon_2^P} \right), \quad (4.3.10a)$$

$$\alpha_\varphi^P = \text{arctg} \left(\frac{\delta_1^P \varepsilon_2^P - \delta_2^P \varepsilon_1^P}{\delta_1^P \varepsilon_1^P + \delta_2^P \varepsilon_2^P} \right). \quad (4.3.10b)$$

Występujące we wzorach (4.3.8a)-(4.3.10b) wymiarowe współczynniki $\varepsilon_1^P, \varepsilon_2^P, \gamma_1^P, \gamma_2^P, \delta_1^P, \delta_2^P$ wynoszą odpowiednio:

$$\varepsilon_1^P = K_{H_1 H_1}^O K_{\Phi_2 \Phi_2}^O \Theta_1^P, \quad \varepsilon_2^P = K_{H_1 H_1}^O K_{\Phi_2 \Phi_2}^O \Theta_2^P, \quad (4.3.11a)$$

$$\gamma_1^P = m_o e \omega^2 K_{\Phi_2 \Phi_2}^O \Psi_1^P, \quad \gamma_2^P = m_o e \omega^2 K_{\Phi_2 \Phi_2}^O \Psi_2^P, \quad (4.3.11b)$$

$$\delta_1^P = -m_o e \omega^2 z_Q^P K_{H_1 H_1}^O \Delta_1^P, \quad \delta_2^P = -m_o e \omega^2 z_Q^P K_{H_1 H_1}^O \Delta_2^P \quad (4.3.11c)$$

ależą od bezwymiarowych funkcji $\Theta_1^P, \Theta_2^P, \Psi_1^P, \Psi_2^P, \Delta_1^P, \Delta_2^P$:

$$\begin{aligned} \Theta_1^P = & \left[1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_h^O} \right)^2 \right] \left[1 - \alpha_m \left(\frac{\omega}{\lambda_\varphi^O} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_h^O}{\lambda_\varphi^O} \right)^2 \left[\left(\frac{z_P^O}{i_m^O} \right)^2 + 2 \frac{z_P^O f_k}{i_m^O i_m^O} \right] - \left(\frac{\lambda_h^O}{\lambda_\varphi^O} \right)^2 \left[\frac{f_k}{i_m^O} + \frac{z_P^O}{i_m^O} - \frac{X_3^S}{i_m^O} \left(\frac{\omega}{\lambda_h^O} \right)^2 \right]^2 \right. \\ & \left. + 4\omega^2 \left(\frac{D_h^O}{\lambda_\varphi^O} \right)^2 \left(\frac{f_c}{i_m^O} \right)^2 - 4\omega^2 \left(\frac{D_h^O}{\lambda_h^O} \right) \left(\frac{D_\varphi^O}{\lambda_\varphi^O} \right), \quad (4.3.12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Theta_2^P = & 2\omega \left[1 - \left(\frac{\omega}{\lambda_h^O} \right)^2 \right] \left[\frac{D_\varphi^O}{\lambda_\varphi^O} + \frac{D_h^O \lambda_h^O}{(\lambda_\varphi^O)^2} \left[\left(\frac{z_P^O}{i_m^O} \right)^2 + 2 \frac{z_P^O f_c}{i_m^O i_m^O} \right] \right] + 2\omega \left(\frac{D_h^O}{\lambda_h^O} \right) \left[1 - \alpha_m \left(\frac{\omega}{\lambda_\varphi^O} \right)^2 \right] + \\ & + 2\omega \left[\frac{D_h^O \lambda_h^O}{(\lambda_\varphi^O)^2} \right] \left[-2 \frac{z_P^O f_c}{i_m^O i_m^O} - 2 \frac{f_c f_k}{i_m^O i_m^O} - \left(\frac{z_P^O}{i_m^O} \right)^2 \right] + 4\omega \left(\frac{D_h^O}{\lambda_h^O} \right) \left(\frac{\omega}{\lambda_\varphi^O} \right)^2 \frac{X_3^S}{i_m^O} \left(\frac{f_c}{i_m^O} + \frac{z_P^O}{i_m^O} \right), \quad (4.3.13) \end{aligned}$$

$$\Theta_1^P = 1 + \left(\frac{\omega}{\lambda_\varphi^O} \right)^2 \left(-\frac{z_Q^P X_3^S}{i_m^O i_m^O} - \alpha_m \right) + \left(\frac{\lambda_h^O}{\lambda_\varphi^O} \right)^2 \left[\left(\frac{z_P^O}{i_m^O} \right)^2 + \frac{z_Q^P z_P^O}{i_m^O i_m^O} + \frac{f_k}{i_m^O} \left(\frac{z_Q^P}{i_m^O} + 2 \frac{z_P^O}{i_m^O} \right) \right], \quad (4.3.14)$$

$$\Theta_2^P = 2\omega \frac{D_\varphi^O}{\lambda_\varphi^O} + 2\omega \frac{D_h^O \lambda_h^O}{(\lambda_\varphi^O)^2} \left[\left(\frac{z_P^O}{i_m^O} \right)^2 + \frac{z_Q^P z_P^O}{i_m^O i_m^O} + \frac{f_c}{i_m^O} \left(\frac{z_Q^P}{i_m^O} + 2 \frac{z_P^O}{i_m^O} \right) \right], \quad (4.3.15)$$

$$\Delta_1^p = 1 + \left(\frac{\omega}{\lambda_h^0} \right)^2 \left(-\frac{X_3^s}{z_Q^p} - 1 \right) + \frac{f_k}{i_m^0} \frac{i_m^0}{z_Q^p} + \frac{z_p^0}{z_Q^p}, \quad (4.3.16)$$

$$\Delta_2^p = 2\omega \frac{D_h^0}{\lambda_h^0} \left(1 + \frac{f_c}{i_m^0} \frac{i_m^0}{z_Q^p} + \frac{z_p^0}{z_Q^p} \right). \quad (4.3.17)$$

Występujące we wzorach (4.3.12)-(4.3.17) częstości drgań własnych λ_h^0 i λ_φ^0 , liczby tłumienia D_h^0 i D_φ^0 , bezwymiarowe współczynniki f_k , f_c , α_m oraz promień bezwładności osi i_m^0 wynoszą

$$\lambda_h^0 = \sqrt{\frac{K_{H_1 H_1}^0}{m}}, \quad \lambda_\varphi^0 = \sqrt{\frac{K_{\Phi_2 \Phi_2}^0}{J_{22}^0}}, \quad (4.3.18)$$

$$D_h^0 = \frac{C_{H_1 H_1}^0}{2\sqrt{K_{H_1 H_1}^0 m}}, \quad D_\varphi^0 = \frac{C_{\Phi_2 \Phi_2}^0}{2\sqrt{K_{\Phi_2 \Phi_2}^0 J_{22}^0}}, \quad (4.3.19)$$

$$f_k = \frac{K_{H_1 \Phi_2}^0}{K_{H_1 H_1}^0}, \quad f_c = \frac{C_{H_1 \Phi_1}^0}{C_{H_1 H_1}^0}, \quad (4.3.20)$$

$$\alpha_m = \frac{J_{22}^p}{J_{22}^0}, \quad i_m^0 = \sqrt{\frac{J_{22}^0}{m}}, \quad (4.3.21)$$

gdzie J_{22}^0 - masowy moment bezwładności bryły względem osi X_2^0 .

Amplitudy bezwymiarowe oraz fazy drgań złożonych przesuwno-obrotowych określają wzory:

$$\frac{|\tilde{A}_h^p|}{\left(\frac{m_0 e}{m} \right)} = \left(\frac{\omega}{\lambda_h^0} \right)^2 \sqrt{\frac{(\Psi_1^p)^2 + (\Psi_2^p)^2}{(\Theta_1^p)^2 + (\Theta_2^p)^2}}, \quad (4.3.22a)$$

$$\frac{|\tilde{A}_\varphi^p|}{\left(\frac{m_0 e z_Q^p}{J_{22}^p} \right)} = \alpha_m \left(\frac{\omega}{\lambda_\varphi^0} \right)^2 \sqrt{\frac{(\Delta_1^p)^2 + (\Delta_2^p)^2}{(\Theta_1^p)^2 + (\Theta_2^p)^2}}, \quad (4.3.22b)$$

$$\alpha_h^p = \text{arctg} \left(\frac{\Psi_1^p \Theta_2^p - \Psi_2^p \Theta_1^p}{\Psi_1^p \Theta_1^p + \Psi_2^p \Theta_2^p} \right), \quad (4.3.23a)$$

$$\alpha_\varphi^p = \text{arctg} \left(\frac{\Delta_1^p \Theta_2^p - \Delta_2^p \Theta_1^p}{\Delta_1^p \Theta_1^p + \Delta_2^p \Theta_2^p} \right). \quad (4.3.23b)$$

Zagadnienie odwrotne polega na wyznaczeniu wartości współczynników podłoża $K_{H_1H_1}^O$, $C_{H_1H_1}^O$, $K_{\Phi_2\Phi_2}^O$, $C_{\Phi_2\Phi_2}^O$, $K_{H_1\Phi_2}^O$ i $C_{H_1\Phi_2}^O$ w zależności od wartości amplitudy i fazy w ruchu translacyjnym $|\tilde{A}_h^P|$ i α_h^P oraz w ruchu rotacyjnym $|\tilde{A}_\varphi^P|$ i α_φ^P . Wobec sześciu niewiadomych i czterech wartościach danych, konieczne jest zredukowanie liczby niewiadomych. W pracy przyjęto, że relacje pomiędzy $K_{H_1\Phi_2}^O$ i $K_{H_1H_1}^O$ oraz pomiędzy $C_{H_1\Phi_2}^O$ i $C_{H_1H_1}^O$ są ustalone i prezentowane przez bezwymiarowe współczynniki f_k i f_c (wzór 4.3.20).

Uwzględniając w równaniach ruchu (4.3.1) odpowiedź ustaloną dla drgań złożonych przesuwno-obrotowych (4.3.7a, b):

$$u_1^P(t) = \tilde{A}_h^P e^{i\omega t} = (X_1 + iX_2)e^{i\omega t}, \quad (4.3.24)$$

$$\dot{u}_1^P(t) = i\omega \tilde{A}_h^P e^{i\omega t}, \quad (4.3.25)$$

$$\ddot{u}_1^P(t) = -\omega^2 \tilde{A}_h^P e^{i\omega t}, \quad (4.3.26)$$

$$\varphi_2^P(t) = \tilde{A}_\varphi^P e^{i\omega t} = (Y_1 + iY_2)e^{i\omega t}, \quad (4.3.27)$$

$$\dot{\varphi}_2^P(t) = i\omega \tilde{A}_\varphi^P e^{i\omega t}, \quad (4.3.28)$$

$$\ddot{\varphi}_2^P(t) = -\omega^2 \tilde{A}_\varphi^P e^{i\omega t}, \quad (4.3.29)$$

związki geometryczne (2.4.7a, b):

$$u_1^O(t) = u_1^P(t) + z_p^O \varphi_2^P(t) = \tilde{A}_h^P e^{i\omega t} + z_p^O \tilde{A}_\varphi^P e^{i\omega t} = (\tilde{A}_h^P + z_p^O \tilde{A}_\varphi^P) e^{i\omega t}, \quad (4.3.30)$$

$$\dot{u}_1^O(t) = \dot{u}_1^P(t) + z_p^O \dot{\varphi}_2^P(t) = i\omega \tilde{A}_h^P e^{i\omega t} + i\omega z_p^O \tilde{A}_\varphi^P e^{i\omega t} = i\omega (\tilde{A}_h^P + z_p^O \tilde{A}_\varphi^P) e^{i\omega t}, \quad (4.3.31)$$

$$\dot{\varphi}_2^O(t) = \dot{\varphi}_2^P(t) = i\omega \tilde{A}_\varphi^P e^{i\omega t}, \quad (4.3.32)$$

zostaje układ dwóch równań algebraicznych zespolonych, który równoważny jest układowi czterech równań algebraicznych rzeczywistych ze względu na $K_{H_1H_1}^O$, $C_{H_1H_1}^O$, $K_{\Phi_2\Phi_2}^O$ i $C_{\Phi_2\Phi_2}^O$ będące niewiadomymi.

W zapisie macierzowym otrzymuje się

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} K_{H_1H_1}^O \\ C_{H_1H_1}^O \\ K_{\Phi_2\Phi_2}^O \\ C_{\Phi_2\Phi_2}^O \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \end{Bmatrix}, \quad (4.3.33)$$

licze:

$$a_{11} = X_1 + (f_k + z_p^0)Y_1, \quad (4.3.34a)$$

$$a_{12} = -\omega X_2 - \omega(f_c + z_p^0)Y_2, \quad (4.3.34b)$$

$$a_{21} = X_2 + (f_k + z_p^0)Y_2, \quad (4.3.34c)$$

$$a_{22} = \omega X_1 + \omega(f_c + z_p^0)Y_1, \quad (4.3.34d)$$

$$a_{31} = (f_k + z_p^0)X_1 + \left((z_p^0)^2 + 2z_p^0 f_k \right) Y_1, \quad (4.3.34e)$$

$$a_{32} = -\omega(f_c + z_p^0)X_2 - \omega \left((z_p^0)^2 + 2z_p^0 f_c \right) Y_2, \quad (4.3.34f)$$

$$a_{33} = Y_1, \quad (4.3.34g)$$

$$a_{34} = -\omega Y_2, \quad (4.3.34h)$$

$$a_{41} = (f_k + z_p^0)X_2 + \left((z_p^0)^2 + 2z_p^0 f_k \right) Y_2, \quad (4.3.34i)$$

$$a_{42} = \omega(f_c + z_p^0)X_1 + \omega \left((z_p^0)^2 + 2z_p^0 f_c \right) Y_1, \quad (4.3.34j)$$

$$a_{43} = Y_2, \quad (4.3.34k)$$

$$a_{44} = \omega Y_1, \quad (4.3.34l)$$

$$b_1 = Q_0 + m\omega^2 X_1 + mX_3^s \omega^2 Y_1, \quad (4.3.34m)$$

$$b_2 = m\omega^2 X_2 + mX_3^s \omega^2 Y_2, \quad (4.3.34n)$$

$$b_3 = -z_Q^p Q_0 + mX_3^s \omega^2 X_1 + J_{22}^p \omega^2 Y_1, \quad (4.3.34o)$$

$$b_4 = mX_3^s \omega^2 X_2 + J_{22}^p \omega^2 Y_2, \quad (4.3.34p)$$

$$X_1 = |\tilde{A}_h^p| \cos \alpha_h^p, \quad (4.3.34r)$$

$$X_2 = -|\tilde{A}_h^p| \sin \alpha_h^p, \quad (4.3.34s)$$

$$Y_1 = |\tilde{A}_\varphi^p| \cos \alpha_\varphi^p, \quad (4.3.34t)$$

$$Y_2 = -|\tilde{A}_\varphi^p| \sin \alpha_\varphi^p. \quad (4.3.34u)$$

3.2. Estymacja parametrów podłoża w zagadnieniu drgań złożonych przesuwno-obrotowych

3.2.1. Dyskretny sześcioparametrowy model podłoża ($K_{H_1H_1}^0, K_{\Phi_2\Phi_2}^0, K_{H_1\Phi_2}^0, C_{H_1H_1}^0, C_{\Phi_2\Phi_2}^0, C_{H_1\Phi_2}^0$)

Podstawowy model liniowo-odkształcalnego podłoża w zagadnieniu drgań złożonych przesuwno-obrotowych reprezentowany jest przez trzy współczynniki sztywności $K_{H_1H_1}^0$, $K_{\Phi_2\Phi_2}^0$ i $K_{H_1\Phi_2}^0$ oraz trzy współczynniki tłumienia $C_{H_1H_1}^0$, $C_{\Phi_2\Phi_2}^0$ i $C_{H_1\Phi_2}^0$. Wartości tych parametrów podłoża można wyznaczyć wykorzystując eksperymentalne pomiary amplitudy ruchu rotacyjnego bloku, która jest identyczna w każdym punkcie sztywnej bryły. Postać równania opisującego zależność między amplitudą ruchu rotacyjnego bloku i parametrami podłoża znana jest z teorii drgań i określona wzorem (4.3.22b). Zadanie polega na dopasowaniu tego równania teoretycznego do danych eksperymentalnych w analizowanym zakresie częstotliwości drgań od 10 do 42Hz, przez estymację sześciu parametrów: λ_h^0 , λ_φ^0 , $\lambda_{h\varphi}^0$, D_φ^0 , $\frac{f_k}{i_m^0}$, $\frac{f_c}{i_m^0}$. Wartości tych parametrów wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów, wykorzystując program komputerowy Mathcad® 6.0 i podano w tabelicy 4.3.1. Obliczone na tej podstawie współczynniki sztywności $K_{H_1H_1}^0$, $K_{\Phi_2\Phi_2}^0$, $K_{H_1\Phi_2}^0$ i tłumienia $C_{H_1H_1}^0$, $C_{\Phi_2\Phi_2}^0$, $C_{H_1\Phi_2}^0$ zestawiono w tabelicy Z3.9.

Cztery parametry podłoża $K_{H_1H_1}^0$, $C_{H_1H_1}^0$, $K_{\Phi_2\Phi_2}^0$ i $C_{\Phi_2\Phi_2}^0$ można również wyznaczyć w dziedzinie częstości z rozwiązania zredukowanego zagadnienia odwrotnego (4.3.33) w których danymi są eksperymentalne wartości amplitud i faz w ruchu translacyjnym i rotacyjnym. Pierwszą trudność w tym podejściu stanowi interpretacja części zarejestrowanych sygnałów z których nie udało się wyznaczyć fazy drgań bloków dla niektórych częstości drgań. Drugim problemem jest konieczność przyjęcia relacji między $K_{H_1\Phi_2}^0$ i $K_{H_1H_1}^0$ oraz $C_{H_1\Phi_2}^0$ i $C_{H_1H_1}^0$, reprezentowanych przez współczynniki f_k i f_c (4.3.20). Obliczenia wartości parametrów podłoża przeprowadzono przy dwóch założeniach dotyczących wartości współczynników f_k i f_c . Pierwsze założenie to przyjęcie wartości f_k i f_c z estymacji metodą najmniejszych kwadratów (tablica 4.3.1). Drugie założenie to przyjęcie

rowych wartości współczynników f_k i f_c . Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicach 10÷Z3.15.

Tablica 4.3.1 Wartości parametrów λ_h^o , λ_φ^o , D_h^o , D_φ^o , $\frac{f_k}{i_m^o}$, $\frac{f_c}{i_m^o}$ z estymacji metodą najmniejszych kwadratów

Głębokość h_p [m]	Parametry	Blok L x B x H [m]								
		0,8 x 0,8 x 0,7			1,2 x 0,8 x 0,7			1,6 x 0,8 x 0,7		
		m_{oe} [kgm]	m_{oe} [kgm]	m_{oe} [kgm]	m_{oe} [kgm]	m_{oe} [kgm]	m_{oe} [kgm]	m_{oe} [kgm]	m_{oe} [kgm]	m_{oe} [kgm]
		0,28470	0,22280	0,16702	0,28470	0,22280	0,16702	0,28470	0,22280	0,16702
0,00	λ_h^o	113,640	120,105	129,324	104,569	108,270	113,065	107,97	115,134	125,579
	λ_φ^o	54,301	55,473	61,858	49,609	50,103	50,859	53,739	57,213	69,015
	D_h^o	0,046	0,055	0,075	0,024	0,033	0,060	0,050	0,046	0,071
	D_φ^o	0,049	0,028	0,061	-0,013	0,014	0,027	0,043	0,063	0,136
	f_k / i_m^o	0,354	0,326	0,305	0,360	0,357	0,311	0,327	0,286	0,239
	f_c / i_m^o	-0,897	-0,961	-0,579	-2,942	-1,737	-0,688	-1,608	-1,581	-0,575
0,35	λ_h^o	155,807	138,428	172,447	195,958	147,884	202,57	135,877	162,167	158,740
	λ_φ^o	85,280	85,603	83,815	90,444	104,296	188,648	103,140	137,768	174,214
	D_h^o	0,393	0,171	0,181	-0,150	-0,265	-0,925	-0,251	-0,400	-0,394
	D_φ^o	0,014	0,124	0,108	-0,056	0,144	0,306	0,120	0,379	0,496
	f_k / i_m^o	0,018	0,343	0,227	0,046	0,131	-0,663	0,088	-0,363	-0,538
	f_c / i_m^o	0,149	0,048	0,043	-1,552	-0,231	-0,279	-0,275	-0,035	-0,138
0,70	λ_h^o	130,710	130,618	117,241	99,015	110,814	121,207	114,085	119,200	128,827
	λ_φ^o	120,174	123,843	130,889	111,698	125,777	128,253	157,545	163,705	175,896
	D_h^o	5,235	3,000	1,522	0,106	0,122	0,154	0,060	0,065	0,081
	D_φ^o	0,036	-0,134	-0,158	0,210	0,230	0,184	0,229	0,229	0,230
	f_k / i_m^o	1,828	1,950	2,120	1,331	1,279	1,231	1,273	1,219	1,200
	f_c / i_m^o	0,121	0,129	0,198	0,833	0,727	0,839	-0,097	0,139	0,357

3.2.2. Półprzestrzeń inercyjna z histerezowym tłumieniem materiałowym

Model inercyjnej półprzestrzeni sprężystej w zagadnieniu drgań bloków fundamentowych opisano w podrozdziale 4.2.2.3. W równaniu drgań złożonych przesuwno-obrotowych tywnej masywnej bryły, które zachodzą w płaszczyźnie X_1X_3 , półprzestrzeń reprezentowana jest przez zespolone sztywności dynamiczne $\tilde{K}_{H_1H_1}^o(\omega)$, $\tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^o(\omega)$ oraz $\tilde{K}_{H_1\Phi_2}^o(\omega) = \tilde{K}_{\Phi_2H_1}^o(\omega)$, (4.1.16) i (4.1.17).

Poziomą zespoloną sztywność dynamiczną podłoża $\tilde{K}_{H_1H_1}^o(\omega)$ odniesioną do środka ciężkości podstawy bloku można zapisać na podstawie równania (4.1.3) z uwzględnieniem (4.1.16) oraz (4.1.17), jako równą sumie poziomej zespolonej sztywności dynamicznej półprzestrzeni pod blokiem $\tilde{K}_{H_1H_1}^{(1)}(\omega)$ i poziomej zespolonej sztywności dynamicznej warstwy asypki) otaczającej blok zagłębiony $\tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}(\omega)$

$$\tilde{K}_{H_1H_1}^o(\omega) = \tilde{K}_{H_1H_1}^{(1)}(\omega) + \tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}(\omega) = K_{H_1H_1}^o + i\omega C_{H_1H_1}^o, \quad (4.3.35)$$

gdzie: $K_{H_1H_1}^o = \text{Re} \tilde{K}_{H_1H_1}^o$ - współczynnik sztywności podłoża,

$$C_{H_1H_1}^o = \left(\frac{1}{\omega}\right) \text{Im} \tilde{K}_{H_1H_1}^o - \text{współczynnik tłumienia podłoża.}$$

Pozioma zespolona sztywność dynamiczna półprzestrzeni $\tilde{K}_{H_1H_1}^{(1)}(\omega)$ z więzami nałożonymi zesztywniony nieważki blok o podstawie prostokątnej ($B \times L$, $B \leq L$, $B = 2B^*$, $L = 2L^*$) określona jest wzorem

$$\tilde{K}_{H_1H_1}^{(1)}(a_0^{(1)}) = K_{H_1H_1}^{(1)} + i\omega C_{H_1H_1}^{(1)} = GB^* \left(k_{h_1h_1}^{(1)} + ia_0^{(1)} c_{h_1h_1}^{(1)} \right), \quad (4.3.36)$$

gdzie: $K_{H_1H_1}^{(1)} = \text{Re} \tilde{K}_{H_1H_1}^{(1)}$ - współczynnik sztywności półprzestrzeni,

$$C_{H_1H_1}^{(1)} = \left(\frac{1}{\omega}\right) \text{Im} \tilde{K}_{H_1H_1}^{(1)} - \text{współczynnik tłumienia półprzestrzeni,}$$

$$k_{h_1h_1}^{(1)} = k_{h_1h_1}^{(1)}(a_0^{(1)}, \nu, L/B, \delta) - \text{bezwymiarowy współczynnik sztywności półprzestrzeni,}$$

$$c_{h_1h_1}^{(1)} = c_{h_1h_1}^{(1)}(a_0^{(1)}, \nu, L/B, \delta) - \text{bezwymiarowy współczynnik tłumienia półprzestrzeni,}$$

$$a_0^{(1)} = \frac{\omega \cdot B^*}{\sqrt{G/\rho}} = \frac{2\pi f \cdot B^*}{\sqrt{G/\rho}} - \text{bezwymiarowa częstość (podrozdział 4.2.2.3, wzór (4.2.56)).}$$

G - moduł odkształcenia postaciowego półprzestrzeni,

$B^* = B/2$ - połowa szerokości bloku,

L - długość bloku,

ν - współczynnik Poissona półprzestrzeni,

ρ - gęstość półprzestrzeni,

δ - współczynnik tłumienia histerezy półprzestrzeni.

Pozioma zespolona sztywność dynamiczna warstwy kontaktowej (zasyпки) $\tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}(\omega)$ grubości E z więzami nałożonymi przez sztywny nieważki blok kołowy o promieniu $R_{H_1H_1}$ może być zapisana w postaci

$$\tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}(a_{0h}^{(2)}) = K_{H_1H_1}^{(2)} + i\omega C_{H_1H_1}^{(2)} = G_s E \left(k_{h,h_1}^{(2)} + i a_{0h}^{(2)} c_{h,h_1}^{(2)} \right), \quad (4.3.37)$$

gdzie: $K_{H_1H_1}^{(2)} = \text{Re } \tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}$ - współczynnik sztywności zasyпки,

$C_{H_1H_1}^{(2)} = \left(\frac{1}{\omega} \right) \text{Im } \tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}$ - współczynnik tłumienia zasyпки,

$k_{h,h_1}^{(2)} = k_{h_1h_1}^{(2)}(a_{0h}^{(2)}, \nu_s, \delta_s)$ - bezwymiarowy współczynnik sztywności zasyпки,

$c_{h,h_1}^{(2)} = c_{h_1h_1}^{(2)}(a_{0h}^{(2)}, \nu_s, \delta_s)$ - bezwymiarowy współczynnik tłumienia zasyпки,

$$a_{0h}^{(2)} = \frac{\omega \cdot R_{H_1H_1}}{\sqrt{G_s / \rho_s}} = \frac{2\pi f \cdot R_{H_1H_1}}{\sqrt{G_s / \rho_s}} \quad \text{- bezwymiarowa częstość.} \quad (4.3.38)$$

G_s - moduł odkształcenia postaciowego zasyпки,

ν_s - współczynnik Poissona zasyпки,

ρ_s - gęstość zasyпки,

δ_s - współczynnik tłumienia histerezy zasyпки.

Zastosowanie zależności (4.3.38) w analizie drgań wymaga ustalenia promienia występczego, który dla drgań poziomych oblicza się ze wzoru (Gazetas (1983))

$$R_{H_1H_1} = \left(\frac{4B^*L^*}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad L^* = L/2. \quad (4.3.39)$$

Obrotową zespoloną sztywność dynamiczną podłoża $\tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^0(\omega)$ odniesioną do środka ciężkości podstawy bloku można zapisać na podstawie równania (4.1.3) z uwzględnieniem (4.1.16) oraz (4.1.17), jako równą sumie obrotowej zespolonej sztywności dynamicznej w przestrzeni pod blokiem $\tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}(\omega)$ i obrotowej zespolonej sztywności dynamicznej warstwy (zasyпки) otaczającej blok zagłębiony $\tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(2)}(\omega)$

$$\tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^0(\omega) = \tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}(\omega) + \tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(2)}(\omega) = K_{\Phi_2\Phi_2}^0 + i\omega C_{\Phi_2\Phi_2}^0. \quad (4.3.40)$$

Obrotowa zespolona sztywność dynamiczna półprzestrzeni $\tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}(\omega)$ z więzami nałożonymi przez sztywny nieważki blok o podstawie prostokątnej ($B \times L$, $B \leq L$, $B = 2B^*$, $L = 2L^*$) może być zapisana w postaci

$$\tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}(a_0^{(1)}) = K_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)} + i\omega C_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)} = G(B^*)^3 \left(k_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)} + ia_0^{(1)} c_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)} \right), \quad (4.3.41)$$

gdzie: $K_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)} = \text{Re} \tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}$ - współczynnik sztywności półprzestrzeni,

$C_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)} = \left(\frac{1}{\omega} \right) \text{Im} \tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}$ - współczynnik tłumienia półprzestrzeni,

$k_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)} = k_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}(a_0^{(1)}, \nu, L/B, \delta)$ - bezwymiarowy współczynnik sztywności półprzestrzeni,

$c_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)} = c_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}(a_0^{(1)}, \nu, L/B, \delta)$ - bezwymiarowy współczynnik tłumienia półprzestrzeni,

$a_0^{(1)} = \frac{\omega \cdot B^*}{\sqrt{G/\rho}} = \frac{2\pi f \cdot B^*}{\sqrt{G/\rho}}$ - bezwymiarowa częstość (podrozdział 4.2.2.3, wzór (4.2.56)).

Obrotowa zespolona sztywność dynamiczna warstwy (zasyпки) $\tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(2)}(\omega)$ o grubości E więzami nałożonymi przez sztywny nieważki blok kołowy określona jest wzorem Śienkiewicza (1995))

$$\tilde{K}_{\Phi_2\Phi_2}^{(2)}(\omega) = \frac{1}{3} E^2 \tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}(\omega) + \tilde{K}_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}(\omega), \quad (4.3.42)$$

gdzie: $\tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}(\omega)$ - pozioma zespolona sztywność dynamiczna warstwy (zasyпки) o grubości E z więzami nałożonymi przez sztywny nieważki blok kołowy o promieniu $R = R_{H_1H_1}$ (wzór 4.3.37),

$\tilde{K}_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}(\omega)$ - antysymetryczna zespolona sztywność dynamiczna warstwy (zasyпки) o grubości E z więzami nałożonymi przez sztywny nieważki blok kołowy o promieniu $R = R_{\Phi_2\Phi_2}$.

Antysymetryczna zespolona sztywność dynamiczna warstwy (zasyпки) $\tilde{K}_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}(\omega)$ o grubości z więzami nałożonymi przez sztywny nieważki blok kołowy o promieniu $R = R_{\Phi_2\Phi_2}$ może być zapisana w postaci

$$\tilde{K}_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}(a_{0\Psi}^{(2)}) = K_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)} + i\omega C_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)} = G_s ER^2 \left(k_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)} + ia_{0\Psi}^{(2)} c_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)} \right), \quad (4.3.43)$$

dzie: $K_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)} = \text{Re} \tilde{K}_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}$ - współczynnik sztywności zasypki,

$C_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)} = \left(\frac{1}{\omega} \right) \text{Im} \tilde{K}_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}$ - współczynnik tłumienia zasypki,

$k_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)} = k_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}(a_{0\Psi}^{(2)}, \delta_s)$ - bezwymiarowy współczynnik sztywności zasypki,

$c_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)} = c_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}(a_{0\Psi}^{(2)}, \delta_s)$ - bezwymiarowy współczynnik tłumienia zasypki,

$$a_{0\Psi}^{(2)} = \frac{\omega \cdot R_{\Phi_2\Phi_2}}{\sqrt{G_s / \rho_s}} = \frac{2\pi f \cdot R_{\Phi_2\Phi_2}}{\sqrt{G_s / \rho_s}} - \text{bezwymiarowa częstość.} \quad (4.3.44)$$

Zastosowanie zależności (4.3.44) w analizie drgań wymaga ustalenia promienia astępczego, który dla drgań obrotowych oblicza się ze wzoru (Gazetas (1983))

$$R_{\Phi_2\Phi_2} = \left(\frac{16(B^*)^3 L^*}{3\pi} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (4.3.45)$$

Sprężoną zespoloną sztywność dynamiczną podłoża $\tilde{K}_{H_1\Phi_2}^o(\omega) = \tilde{K}_{\Phi_2H_1}^o(\omega)$ odniesioną o środka ciężkości podstawy bloku można zapisać na podstawie równania (4.1.3) uwzględnieniem (4.1.16) oraz (4.1.17), jako równą sumie sprężonej zespolonej sztywności dynamicznej półprzestrzeni pod blokiem $\tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(1)}(\omega)$ i sprężonej zespolonej sztywności dynamicznej warstwy (zasypki) otaczającej blok zagłębiony $\tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(2)}(\omega)$

$$\tilde{K}_{H_1\Phi_2}^o(\omega) = \tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(1)}(\omega) + \tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(2)}(\omega) = K_{H_1\Phi_2}^o + i\omega C_{H_1\Phi_2}^o, \quad (4.3.46)$$

dzie: $K_{H_1\Phi_2}^o = \text{Re} \tilde{K}_{H_1\Phi_2}^o$ - współczynnik sztywności podłoża,

$C_{H_1\Phi_2}^o = \left(\frac{1}{\omega} \right) \text{Im} \tilde{K}_{H_1\Phi_2}^o$ - współczynnik tłumienia podłoża.

Wpływ sprężeń opisywanych przez pozadiagonalne składowe macierzy sztywności (4.1.16) jest niewielki, zatem w tym przypadku **sprężona zespolona sztywność dynamiczna półprzestrzeni** $\tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(1)}(\omega)$ może być pominięta, tzn.

$$\tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(1)}(\omega) \cong 0. \quad (4.3.47)$$

Sprężona zespolona sztywność dynamiczna warstwy (zasyпки) $\tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(2)}(\omega)$ o grubości E więzami nałożonymi przez sztywny nieważki blok kołowy określona jest wzorem Sienkiewicza (1995))

$$\tilde{K}_{H_1\Phi_2}^{(2)}(\omega) = -\frac{1}{2}E \cdot \tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}(\omega), \quad (4.3.48)$$

gdzie $\tilde{K}_{H_1H_1}^{(2)}(\omega)$ - pozioma zespolona sztywność dynamiczna warstwy (zasyпки) o grubości E więzami nałożonymi przez sztywny nieważki blok kołowy o promieniu $R = R_{H_1H_1}$ (wzór 4.3.37).

W pracy Sienkiewicza (1995) podano wartości bezwymiarowych współczynników sztywności i tłumienia w zależności od kształtu bloku, częstości bezwymiarowych, współczynnika Poissona i współczynnika tłumienia histerezy ($k_{h_1h_1}^{(1)}, c_{h_1h_1}^{(1)}$ w tablicy 4.3.4, $k_{h_1h_1}^{(2)}, c_{h_1h_1}^{(2)}$ w tablicy 4.3.8, $k_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}, c_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}$ w tablicy 4.3.7, $k_{\psi_2\psi_2}^{(2)}, c_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$ w tablicy 4.3.10).

Ze względu na fakt, że w badaniach eksperymentalnych stosowano zmienne częstotliwości zbudzenia, potrzebne są wartości współczynników $k_{h_1h_1}^{(1)}, c_{h_1h_1}^{(1)}, k_{h_1h_1}^{(2)}, c_{h_1h_1}^{(2)}, k_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}, c_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}, k_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$ i $c_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$ dla odpowiednich częstości bezwymiarowych. W celu ich wyznaczenia, przyjęto funkcję aproksymującą w postaci wielomianu potęgowego stopnia trzeciego (podrozdział 2.2.3, wzór (4.2.60)), którego współczynniki b_i^α ($\alpha = k, c$ $i = 0, 1, 2, 3$) otrzymano, przeprowadzając estymację metodą najmniejszych kwadratów na zbiorze wartości eksperymentalnych, podanych w pracy Sienkiewicza (1995, tablice: (4.3.4), (4.3.8), (4.3.7) (4.3.10)).

Zestawienie współczynników b_i^α wielomianów aproksymujących podano w tablicach 4.3.2÷4.3.5. Wartości dyskretne bezwymiarowych współczynników sztywności i tłumienia oraz wykresy funkcji aproksymujących przedstawiono odpowiednio na rysunkach 4.3.2÷4.3.9.

W obliczeniach bezwymiarowych współczynników sztywności i tłumienia $k_{h_1h_1}^{(1)}, c_{h_1h_1}^{(1)}, k_{h_1h_1}^{(2)}, c_{h_1h_1}^{(2)}, k_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}, c_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}, k_{\psi_2\psi_2}^{(2)}, c_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$ przyjęto analogiczne, jak w przypadku drgań harmonicznych (podrozdział 4.2.2.4), wartości parametrów: $B^*, L^*, E, L/B, \rho, \nu, G, \delta, \rho_s, \delta_s$ oraz $\nu_s = \nu$.

Obliczone wartości bezwymiarowych współczynników sztywności i tłumienia dla ezwymiarowych częstości odpowiadających częstotliwościom wzbudzenia stosowanym w eksperymencie (od 10 do 42Hz z przyrostem co 2Hz) pokazano w tablicach 4.3.6 i 4.3.7.

Wymiarowe wartości współczynników sztywności i tłumienia półprzestrzeni pod blokiem raz zasyпки podano w tablicach Z3.16, Z3.18 i Z3.19, natomiast sumaryczne wartości współczynników sztywności i tłumienia podłoża zestawiono w tablicach Z3.17, Z3.20 oraz 3.21.

ablica 4.3.2 Współczynniki b_i^{α} wielomianów aproksymujących $f_{k,h,h_1}^{(1)}(a_0^{(1)})$, $f_{c,h,h_1}^{(1)}(a_0^{(1)})$
 $(\nu = 1/3, a_0^{(1)} \in [0, 1,50])$

L/B=1							
$f_{k,h,h_1}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^k \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^k \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^k \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^k$				$f_{c,h,h_1}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^c \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^c \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^c \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^c$			
$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$		$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$	
b_3^k	0,1982	b_3^k	0,1601	b_3^c	-0,3045	b_3^c	-2,8559
b_2^k	-0,4674	b_2^k	-0,3892	b_2^c	1,0384	b_2^c	9,3176
b_1^k	0,0318	b_1^k	-0,1334	b_1^c	-1,0084	b_1^c	-9,8932
b_0^k	5,2824	b_0^k	5,2839	b_0^c	3,8197	b_0^c	7,4417
L/B=1,5							
$f_{k,h,h_1}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^k \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^k \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^k \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^k$				$f_{c,h,h_1}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^c \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^c \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^c \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^c$			
$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$		$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$	
b_3^k	0,8101	b_3^k	0,7277	b_3^c	-0,0580	b_3^c	-3,2121
b_2^k	-1,4998	b_2^k	-1,3752	b_2^c	0,3197	b_2^c	10,6003
b_1^k	0,5530	b_1^k	0,3008	b_1^c	-0,5142	b_1^c	-11,5802
b_0^k	6,5417	b_0^k	6,5416	b_0^c	5,9779	b_0^c	10,4989
L/B=2							
$f_{k,h,h_1}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^k \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^k \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^k \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^k$				$f_{c,h,h_1}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^c \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^c \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^c \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^c$			
$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$		$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$	
b_3^k	1,4220	b_3^k	1,2954	b_3^c	0,1885	b_3^c	-3,5682
b_2^k	-2,5323	b_2^k	-2,3613	b_2^c	-0,3990	b_2^c	11,8830
b_1^k	1,0743	b_1^k	0,7350	b_1^c	-0,0200	b_1^c	-13,2672
b_0^k	7,8011	b_0^k	7,7993	b_0^c	8,1361	b_0^c	13,5561

ablica 4.3.3 Współczynniki b_i^α wielomianów aproksymujących $f_{k,b_1,b_1}^{(2)}(a_{0h}^{(2)})$, $f_{c,b_1,b_1}^{(2)}(a_{0h}^{(2)})$
 $(a_{0h}^{(2)} \in [0, 3])$

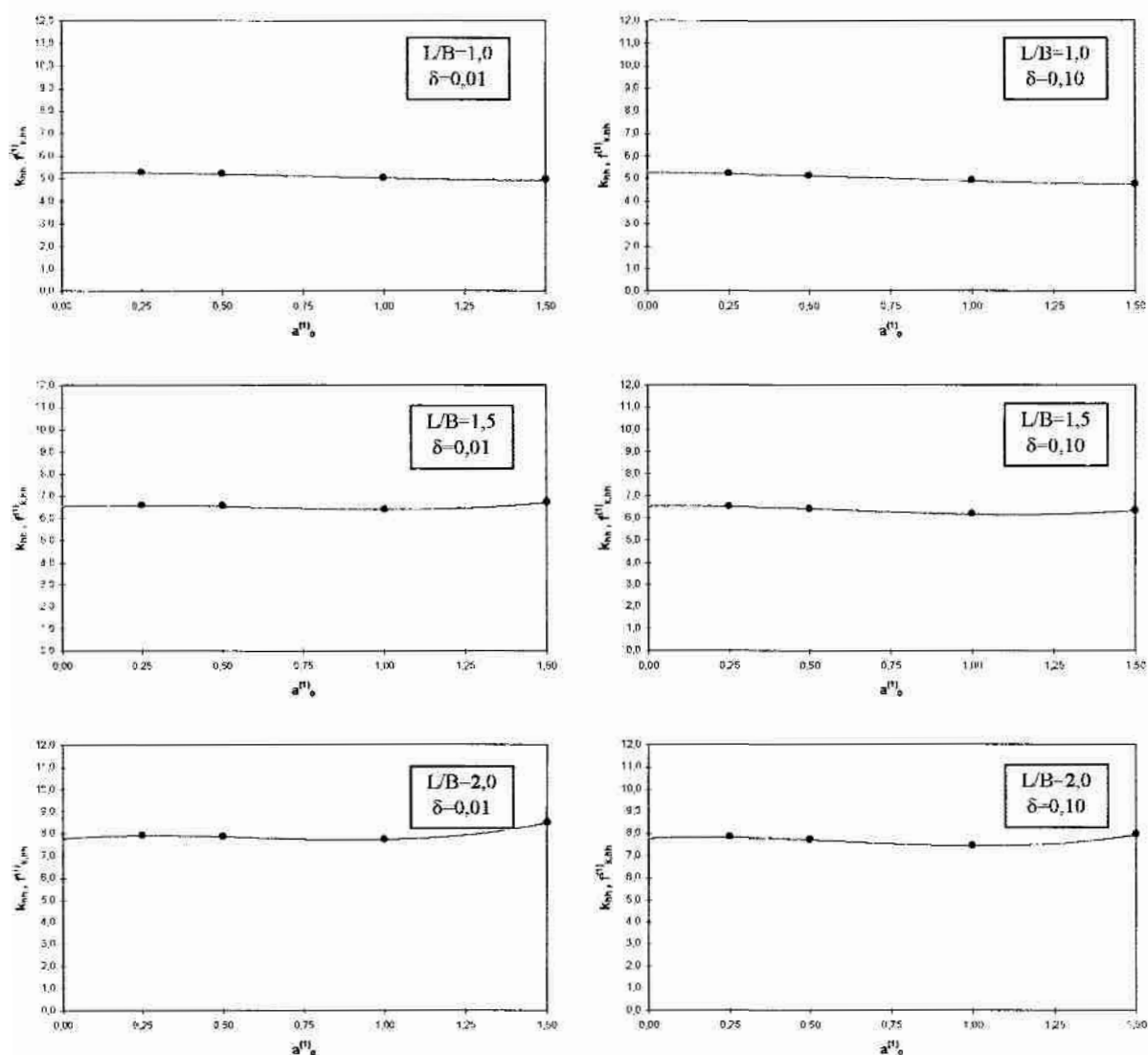
$f_{k,b_1,b_1}^{(2)}(a_{0h}^{(2)}) = b_3^k \cdot (a_{0h}^{(2)})^3 + b_2^k \cdot (a_{0h}^{(2)})^2 + b_1^k \cdot (a_{0h}^{(2)}) + b_0^k$				$f_{c,b_1,b_1}^{(2)}(a_{0h}^{(2)}) = b_3^c \cdot (a_{0h}^{(2)})^3 + b_2^c \cdot (a_{0h}^{(2)})^2 + b_1^c \cdot (a_{0h}^{(2)}) + b_0^c$			
$\delta_s = 0$		$\delta_s = 0,1$		$\delta_s = 0$		$\delta_s = 0,1$	
b_3^k	0,1863	b_3^k	0,1821	b_3^c	-0,6488	b_3^c	-0,8431
b_2^k	-1,0301	b_2^k	-1,0281	b_2^c	3,8979	b_2^c	5,0955
b_1^k	1,7412	b_1^k	1,3256	b_1^c	-7,3285	b_1^c	-9,7475
b_0^k	3,1806	b_0^k	3,0770	b_0^c	13,8279	b_0^c	15,6453

ablica 4.3.4 Współczynniki b_i^α wielomianów aproksymujących $f_{k,\varphi_2,\varphi_2}^{(1)}(a_0^{(1)})$, $f_{c,\varphi_2,\varphi_2}^{(1)}(a_0^{(1)})$
 $(v = 1/3, a_0^{(1)} \in [0, 1,50])$

L/B=1							
$f_{k,\varphi_2,\varphi_2}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^k \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^k \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^k \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^k$				$f_{c,\varphi_2,\varphi_2}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^c \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^c \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^c \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^c$			
$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$		$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$	
b_3^k	-5,2281	b_3^k	-5,2165	b_3^c	-1,1953	b_3^c	-5,8495
b_2^k	15,8318	b_2^k	15,8112	b_2^c	3,2776	b_2^c	17,9732
b_1^k	-15,9217	b_1^k	-15,8998	b_1^c	-1,7520	b_1^c	-16,7332
b_0^k	9,7989	b_0^k	9,7960	b_0^c	0,6992	b_0^c	6,0697
L/B=1,5							
$f_{k,\varphi_2,\varphi_2}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^k \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^k \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^k \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^k$				$f_{c,\varphi_2,\varphi_2}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^c \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^c \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^c \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^c$			
$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$		$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$	
b_3^k	-7,8225	b_3^k	-7,8012	b_3^c	-1,8097	b_3^c	-8,4591
b_2^k	23,7459	b_2^k	23,6939	b_2^c	4,6757	b_2^c	25,6969
b_1^k	-23,7579	b_1^k	-23,7124	b_1^c	-2,1312	b_1^c	-23,5424
b_0^k	14,0158	b_0^k	14,0100	b_0^c	1,0189	b_0^c	8,6419
L/B=2							
$f_{k,\varphi_2,\varphi_2}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^k \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^k \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^k \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^k$				$f_{c,\varphi_2,\varphi_2}^{(1)}(a_0^{(1)}) = b_3^c \cdot (a_0^{(1)})^3 + b_2^c \cdot (a_0^{(1)})^2 + b_1^c \cdot (a_0^{(1)}) + b_0^c$			
$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$		$\delta = 0,01$		$\delta = 0,10$	
b_3^k	-10,4170	b_3^k	-10,3860	b_3^c	-2,4242	b_3^c	-11,0686
b_2^k	31,6601	b_2^k	31,5765	b_2^c	6,0738	b_2^c	33,4205
b_1^k	-31,5940	b_1^k	-31,5249	b_1^c	-2,5104	b_1^c	-30,3517
b_0^k	18,2326	b_0^k	18,2241	b_0^c	1,3385	b_0^c	11,2142

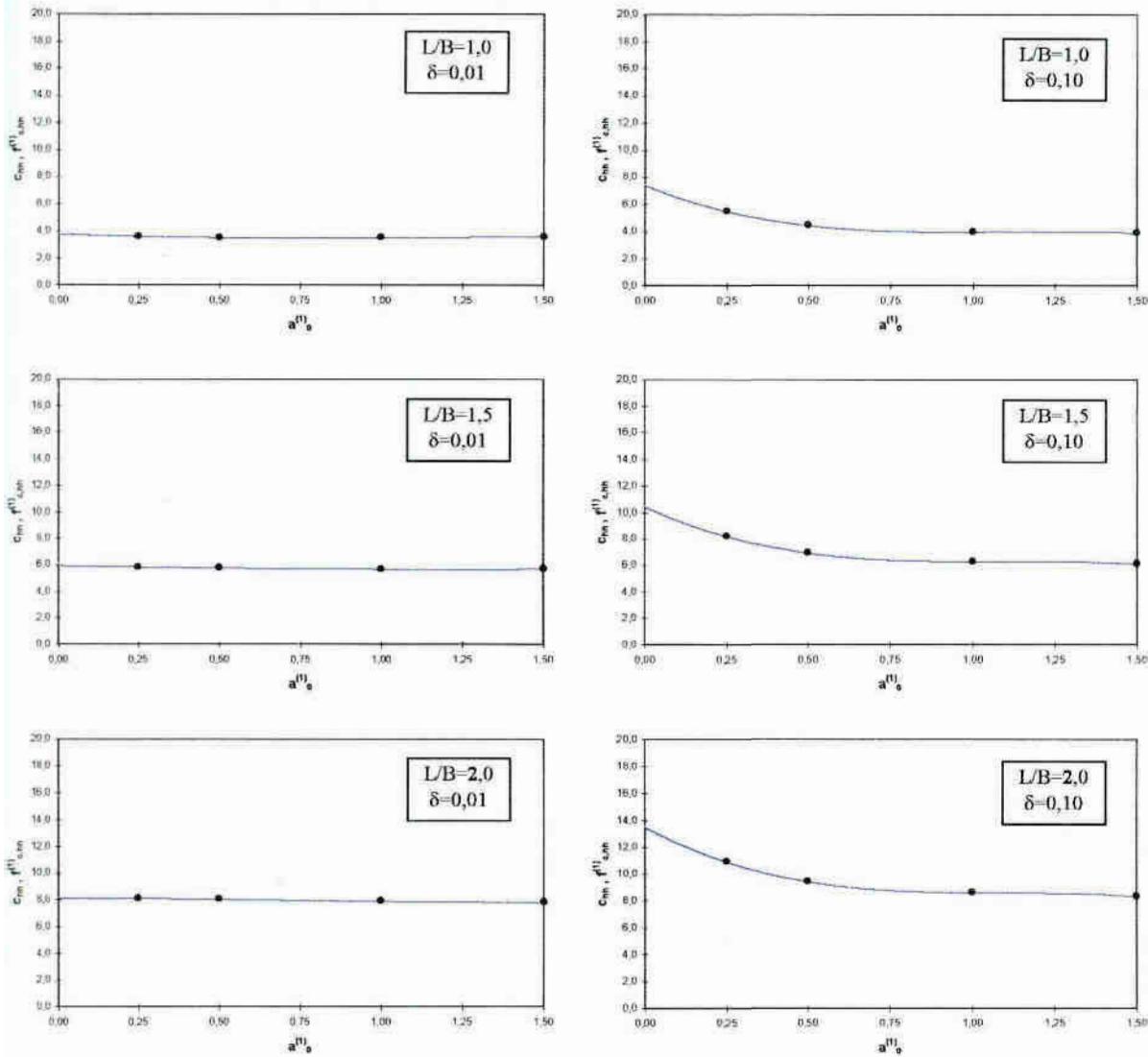
tablica 4.3.5 Współczynniki b_i^α wielomianów aproksymujących $f_{k,\psi_2\psi_2}^{(2)}(a_{0\psi}^{(2)})$, $f_{c,\psi_2\psi_2}^{(2)}(a_{0\psi}^{(2)})$ ($a_{0\psi}^{(2)} \in [0, 3]$)

$f_{k,\psi_2\psi_2}^{(2)}(a_{0\psi}^{(2)}) = b_3^k \cdot (a_{0\psi}^{(2)})^3 + b_2^k \cdot (a_{0\psi}^{(2)})^2 + b_1^k \cdot (a_{0\psi}^{(2)}) + b_0^k$				$f_{c,\psi_2\psi_2}^{(2)}(a_{0\psi}^{(2)}) = b_3^c \cdot (a_{0\psi}^{(2)})^3 + b_2^c \cdot (a_{0\psi}^{(2)})^2 + b_1^c \cdot (a_{0\psi}^{(2)}) + b_0^c$			
$\delta_s = 0$		$\delta_s = 0,1$		$\delta_s = 0$		$\delta_s = 0,1$	
b_3^k	-0,0998	b_3^k	-0,0887	b_3^c	0,2279	b_3^c	0,0174
b_2^k	0,7051	b_2^k	0,6383	b_2^c	-1,5053	b_2^c	-0,2248
b_1^k	-1,7402	b_1^k	-1,7850	b_1^c	3,3515	b_1^c	0,8557
b_0^k	3,2363	b_0^k	3,2518	b_0^c	0,4068	b_0^c	2,0630



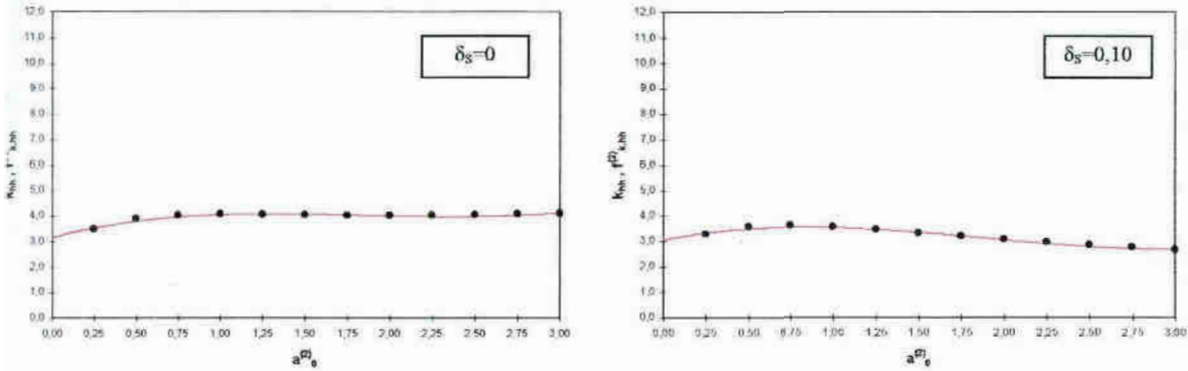
Rys. 4.3.2. Bezwymiarowy współczynnik sztywności $k_{h_1, b_1}^{(1)}(a_0^{(1)})$ półprzestrzeni inercyjnej

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



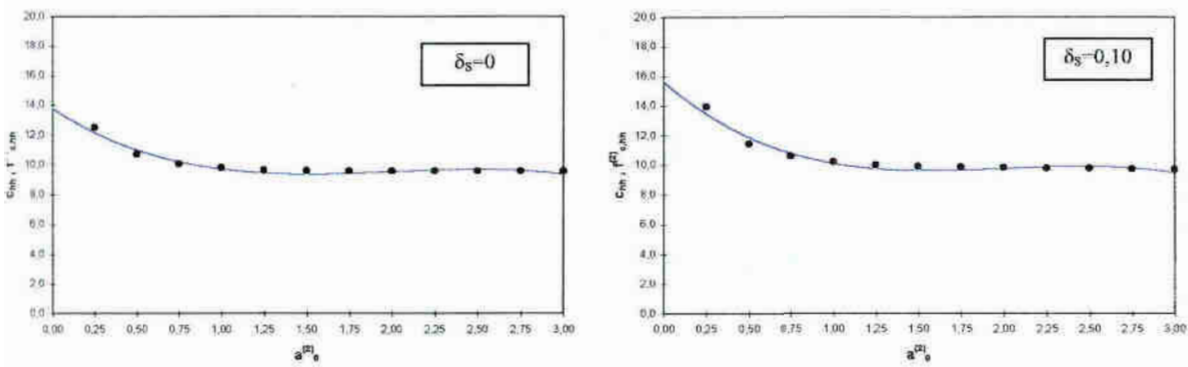
Rys. 4.3.3. Bezwymiarowy współczynnik tłumienia $c_{h_1, h_1}^{(1)}(a_0^{(1)})$ półprzestrzeni inercyjnej

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



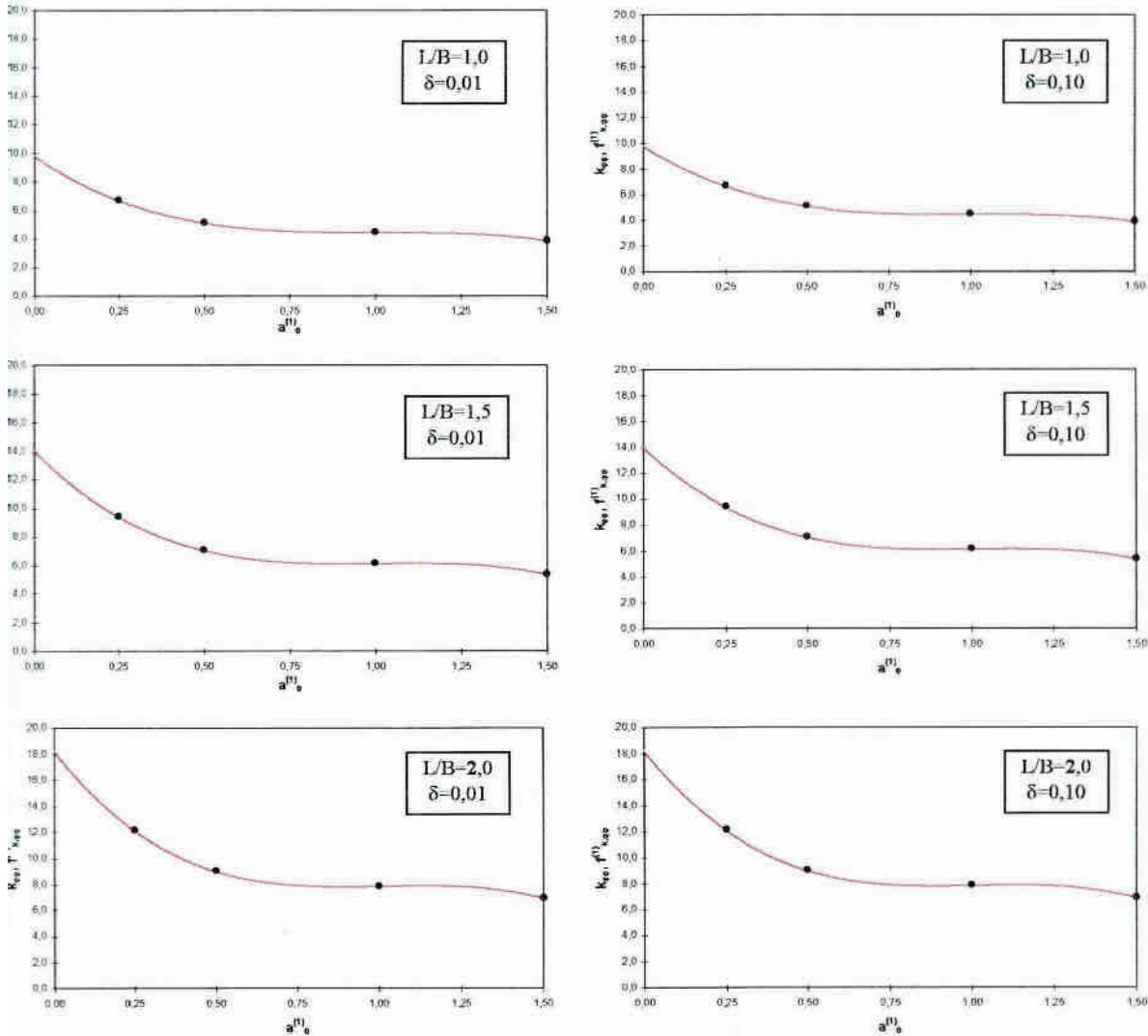
Rys. 4.3.4. Bezwymiarowy współczynnik sztywności $k_{h_1, h_1}^{(2)}(a_{0h}^{(2)})$ zasyпки

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



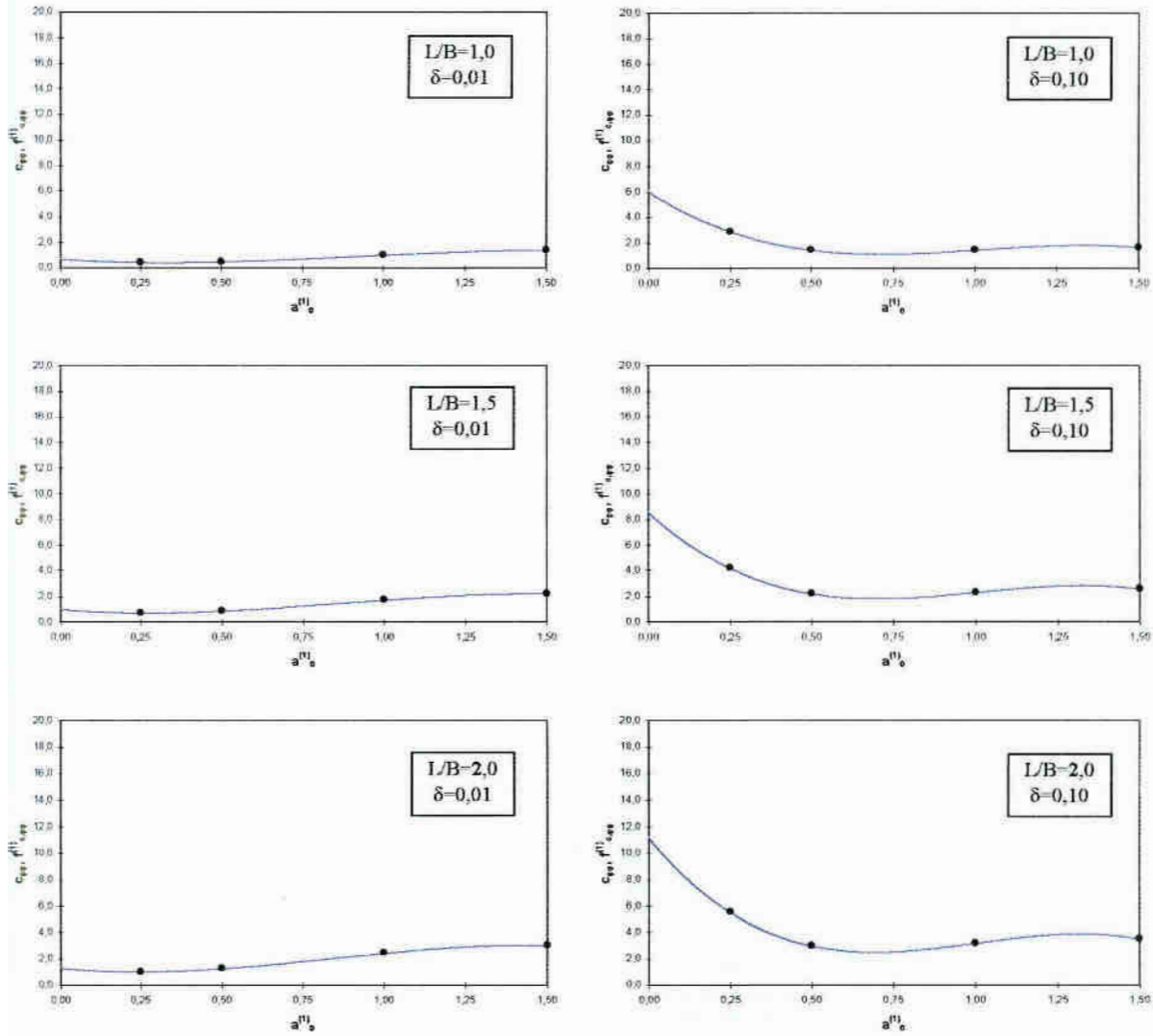
Rys. 4.3.5. Bezwymiarowy współczynnik tłumienia $c_{h_1, h_1}^{(2)}(a_{0h}^{(2)})$ zasyпки

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



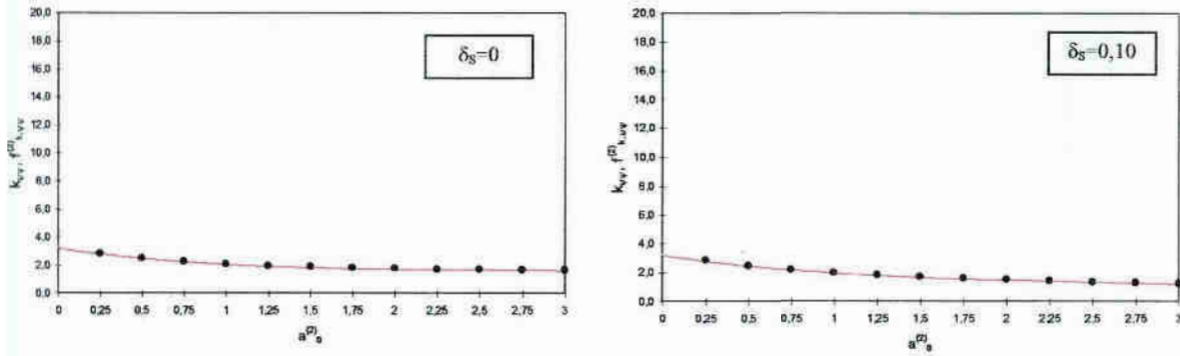
Rys. 4.3.6. Bezwymiarowy współczynnik sztywności $k_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}(a_0^{(1)})$ półprzestrzeni inercyjnej

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



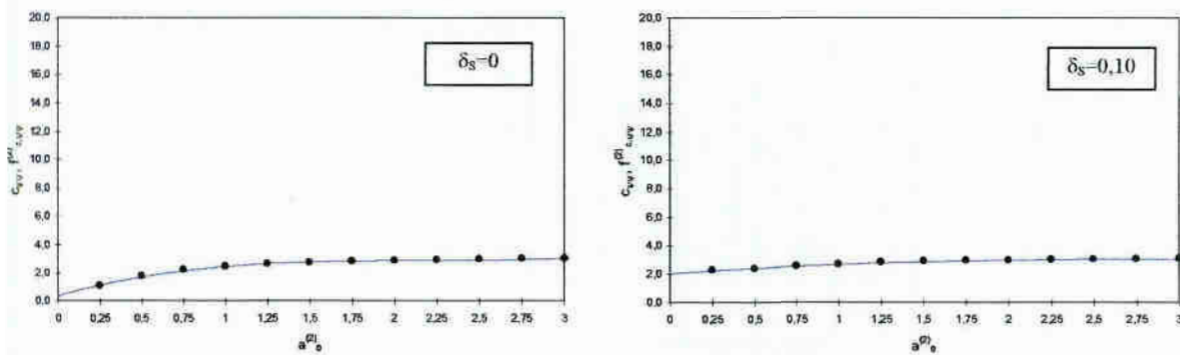
Rys. 4.3.7. Bezwymiarowy współczynnik tłumienia $c_{\Phi_2, \Phi_2}^{(1)}(a_0^{(1)})$ półprzestrzeni inercyjnej

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



Rys. 4.3.8. Bezwymiarowy współczynnik sztywności $k_{\psi_2\psi_2}^{(2)}(a_{0\psi}^{(2)})$ zasypki

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa



Rys. 4.3.9. Bezwymiarowy współczynnik tłumienia $c_{\psi_2\psi_2}^{(2)}(a_{0\psi}^{(2)})$ zasypki

- wartości dyskretne,
- aproksymacja wielomianowa

tablica 4.3.6 Bezwymiarowe współczynniki sztywności $k_{h_1 h_1}^{(1)}$, $k_{h_1 h_1}^{(2)}$ i tłumienia $c_{h_1 h_1}^{(1)}$, $c_{h_1 h_1}^{(2)}$

f [Hz]	ω [rad/s]	$G_{(\alpha=0,4)}$ [Pa]	$R_{H_{H_1}} =$ $= (4B^2 L^* / \pi)^{1/2}$ [m]	$a_0^{(1)}$	$k_{h_1 h_1}^{(1)}$				$c_{h_1 h_1}^{(1)}$				$a_{0h}^{(2)}$	$k_{h_1 h_1}^{(2)}$				$c_{h_1 h_1}^{(2)}$			
					L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]									L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]							
					$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$		$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$
0	62,83	2,36E+07	0,451	0,213	5,270	5,239	3,649	5,728	0,321	3,639	3,402	11,856	13,014								
2	75,40	2,36E+07	0,451	0,256	5,263	5,227	3,624	5,472	0,385	3,709	3,445	11,547	12,599								
4	87,96	2,36E+07	0,451	0,299	5,255	5,214	3,603	5,242	0,449	3,772	3,481	11,263	12,218								
6	100,53	2,36E+07	0,451	0,341	5,247	5,199	3,584	5,037	0,513	3,828	3,511	11,005	11,870								
8	113,10	2,36E+07	0,451	0,384	5,237	5,184	3,568	4,855	0,578	3,879	3,535	10,770	11,552								
10	125,66	2,36E+07	0,451	0,427	5,226	5,169	3,555	4,695	0,642	3,923	3,552	10,558	11,265								
12	138,23	2,36E+07	0,451	0,469	5,215	5,152	3,544	4,556	0,706	3,962	3,564	10,368	11,007								
14	150,80	2,36E+07	0,451	0,512	5,203	5,135	3,535	4,436	0,770	3,996	3,571	10,199	10,775								
16	163,36	2,36E+07	0,451	0,555	5,190	5,118	3,528	4,334	0,834	4,024	3,573	10,050	10,570								
18	175,93	2,36E+07	0,451	0,597	5,177	5,099	3,523	4,248	0,899	4,049	3,570	9,919	10,389								
20	188,50	2,340E+07	0,451	0,640	5,163	5,081	3,520	4,178	0,963	4,068	3,563	9,806	10,232								
22	201,06	2,36E+07	0,451	0,683	5,149	5,062	3,518	4,122	1,027	4,084	3,551	9,710	10,096								
24	213,63	2,36E+07	0,451	0,725	5,135	5,044	3,518	4,078	1,091	4,096	3,536	9,629	9,981								
26	226,19	2,36E+07	0,451	0,768	5,121	5,024	3,520	4,046	1,155	4,104	3,517	9,563	9,885								
28	238,76	2,36E+07	0,451	0,811	5,107	5,005	3,522	4,024	1,219	4,110	3,495	9,511	9,807								
30	251,33	2,36E+07	0,451	0,853	5,092	4,986	3,526	4,010	1,284	4,112	3,470	9,471	9,746								
32	263,89	2,36E+07	0,451	0,896	5,078	4,967	3,531	4,003	1,348	4,112	3,442	9,443	9,700								

f [Hz]	ω [rad/s]	$G_{(\alpha=0,4)}$ [Pa]	$R_{H_{H_1}} =$ $= (4B^2 L^* / \pi)^{1/2}$ [m]	$a_0^{(1)}$	$k_{h_1 h_1}^{(1)}$				$c_{h_1 h_1}^{(1)}$				$a_{0h}^{(2)}$	$k_{h_1 h_1}^{(2)}$				$c_{h_1 h_1}^{(2)}$			
					L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]									L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]							
					$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$		$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$
0	62,83	2,213E+07	0,553	0,218	6,599	6,549	5,880	8,445	0,402	3,726	3,455	11,471	12,498								
2	75,40	2,213E+07	0,553	0,262	6,598	6,539	5,864	8,138	0,482	3,801	3,497	11,129	12,037								
4	87,96	2,213E+07	0,553	0,305	6,594	6,526	5,849	7,861	0,562	3,867	3,530	10,824	11,626								
6	100,53	2,213E+07	0,553	0,349	6,587	6,510	5,835	7,613	0,643	3,924	3,553	10,556	11,262								
8	113,10	2,213E+07	0,553	0,392	6,577	6,492	5,822	7,393	0,723	3,971	3,567	10,322	10,943								
10	125,66	2,213E+07	0,553	0,436	6,565	6,472	5,810	7,199	0,803	4,011	3,573	10,120	10,666								
12	138,23	2,213E+07	0,553	0,480	6,551	6,450	5,798	7,029	0,884	4,043	3,571	9,948	10,429								
14	150,80	2,213E+07	0,553	0,523	6,537	6,427	5,788	6,882	0,964	4,069	3,563	9,804	10,229								
16	163,36	2,213E+07	0,553	0,567	6,521	6,403	5,779	6,756	1,044	4,088	3,547	9,687	10,063								
18	175,93	2,213E+07	0,553	0,610	6,505	6,378	5,770	6,650	1,125	4,101	3,526	9,593	9,929								
20	188,50	2,213E+07	0,553	0,654	6,489	6,354	5,762	6,561	1,205	4,109	3,500	9,522	9,823								
22	201,06	2,213E+07	0,553	0,698	6,473	6,329	5,755	6,489	1,285	4,112	3,469	9,470	9,744								
24	213,63	2,213E+07	0,553	0,741	6,458	6,305	5,749	6,431	1,366	4,112	3,434	9,437	9,689								
26	226,19	2,213E+07	0,553	0,785	6,444	6,282	5,743	6,387	1,446	4,108	3,395	9,419	9,656								
28	238,76	2,213E+07	0,553	0,828	6,431	6,261	5,738	6,354	1,526	4,101	3,353	9,416	9,640								
30	251,33	2,213E+07	0,553	0,872	6,421	6,241	5,734	6,332	1,607	4,092	3,308	9,424	9,641								
32	263,89	2,213E+07	0,553	0,916	6,413	6,223	5,731	6,317	1,687	4,081	3,262	9,443	9,655								

f [Hz]	ω [rad/s]	$G_{(\alpha=0,4)}$ [Pa]	$R_{H_{H_1}} =$ $= (4B^2 L^* / \pi)^{1/2}$ [m]	$a_0^{(1)}$	$k_{h_1 h_1}^{(1)}$				$c_{h_1 h_1}^{(1)}$				$a_{0h}^{(2)}$	$k_{h_1 h_1}^{(2)}$				$c_{h_1 h_1}^{(2)}$			
					L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]									L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]							
					$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$		$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$
10	62,83	1,652E+07	0,638	0,247	7,933	7,856	8,110	10,950	0,526	3,838	3,516	10,959	11,808								
12	75,40	1,652E+07	0,638	0,296	7,934	7,843	8,100	10,575	0,631	3,916	3,550	10,594	11,313								
14	87,96	1,652E+07	0,638	0,346	7,929	7,825	8,089	10,242	0,736	3,978	3,568	10,288	10,896								
16	100,53	1,652E+07	0,638	0,395	7,918	7,801	8,078	9,948	0,841	4,027	3,573	10,036	10,551								
18	113,10	1,652E+07	0,638	0,445	7,903	7,773	8,065	9,693	0,946	4,064	3,565	9,834	10,271								
20	125,66	1,652E+07	0,638	0,494	7,885	7,742	8,052	9,472	1,051	4,089	3,546	9,678	10,050								
22	138,23	1,652E+07	0,638	0,543	7,865	7,709	8,038	9,283	1,156	4,105	3,517	9,563	9,884								
24	150,80	1,652E+07	0,638	0,593	7,844	7,675	8,023	9,124	1,261	4,112	3,479	9,484	9,765								
26	163,36	1,652E+07	0,638	0,642	7,823	7,641	8,009	8,992	1,366	4,112	3,433	9,437	9,689								
28	175,93	1,652E+07	0,638	0,692	7,803	7,607	7,994	8,884	1,472	4,106	3,382	9,417	9,649								
30	188,50	1,652E+07	0,638	0,741	7,785	7,574	7,979	8,798	1,577	4,095	3,325	9,420	9,639								
32	201,06	1,652E+07	0,638	0,790	7,770	7,545	7,964	8,731	1,682	4,081	3,265	9,441	9,654								
34	213,63	1,652E+07	0,638	0,840	7,760	7,518	7,950	8,682	1,787	4,066	3,202	9,477	9,687								
36	226,19	1,652E+07	0,638	0,889	7,754	7,497	7,935	8,646	1,892	4,049	3,138	9,521	9,733								
38	238,76	1,652E+07	0,638	0,939	7,754	7,480	7,922	8,622	1,997	4,033	3,074	9,570	9,786								
40	251,33	1,652E+07	0,638	0,988	7,762	7,470	7,909	8,606	2,102	4,019	3,012	9,620	9,840								
42	263,89	1,652E+07	0,638	1,037	7,778	7,467	7,896	8,597	2,207	4,008	2,952	9,665	9,889								

ablica 4.3.7 Bezwymiarowe współczynniki sztywności $k_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}$, $k_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$ i tłumienia $c_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}$, $c_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$

z]	ω [rad/s]	$G_{(z,0,4)}$ [Pa]	$R_{\varphi_2\varphi_2} =$ $-(4B^2L^2/\pi)^{1/2}$ [m]	$a_0^{(1)}$	$k_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}$		$c_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}$		$a_{0\psi}^{(2)}$	$k_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$		$c_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$	
					L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]					L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]			
					$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$		$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$
0	62,83	2,36E+07	0,457	0,213	7,072	7,073	0,463	3,261	0,325	2,742	2,737	1,344	2,318
2	75,40	2,36E+07	0,457	0,256	6,673	6,675	0,445	2,866	0,390	2,659	2,648	1,497	2,363
4	87,96	2,36E+07	0,457	0,299	6,317	6,319	0,436	2,520	0,454	2,582	2,564	1,640	2,407
6	100,53	2,36E+07	0,457	0,341	6,001	6,004	0,436	2,220	0,519	2,509	2,484	1,773	2,449
8	113,10	2,36E+07	0,457	0,384	5,724	5,727	0,442	1,963	0,584	2,440	2,409	1,897	2,490
0	125,66	2,36E+07	0,457	0,427	5,482	5,485	0,456	1,748	0,649	2,376	2,338	2,011	2,529
2	138,23	2,36E+07	0,457	0,469	5,273	5,277	0,475	1,571	0,714	2,317	2,270	2,116	2,566
4	150,80	2,36E+07	0,457	0,512	5,096	5,100	0,501	1,429	0,779	2,261	2,207	2,212	2,601
6	163,36	2,36E+07	0,457	0,555	4,946	4,951	0,532	1,320	0,844	2,210	2,147	2,300	2,636
8	175,93	2,36E+07	0,457	0,597	4,823	4,828	0,567	1,241	0,909	2,162	2,090	2,381	2,668
0	188,50	2,340E+07	0,457	0,640	4,723	4,729	0,607	1,189	0,974	2,118	2,037	2,454	2,699
2	201,06	2,36E+07	0,457	0,683	4,645	4,651	0,650	1,162	1,039	2,077	1,987	2,519	2,729
4	213,63	2,36E+07	0,457	0,725	4,585	4,591	0,697	1,156	1,104	2,040	1,940	2,579	2,757
6	226,19	2,36E+07	0,457	0,768	4,541	4,548	0,745	1,170	1,169	2,006	1,896	2,631	2,784
8	238,76	2,36E+07	0,457	0,811	4,511	4,518	0,796	1,200	1,234	1,975	1,855	2,678	2,809
0	251,33	2,36E+07	0,457	0,853	4,492	4,500	0,848	1,244	1,299	1,947	1,816	2,720	2,833
2	263,89	2,36E+07	0,457	0,896	4,482	4,491	0,901	1,298	1,363	1,921	1,780	2,756	2,856
z]	ω [rad/s]	$G_{(z=0,4)}$ [Pa]	$R_{\varphi_2\varphi_2} =$ $-(4B^2L^2/\pi)^{1/2}$ [m]	$a_0^{(1)}$	$k_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}$		$c_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}$		$a_{0\psi}^{(2)}$	$k_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$		$c_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$	
					L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]					L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]			
					$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$		$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$
0	62,83	2,213E+07	0,505	0,218	9,884	9,886	0,758	4,644	0,367	2,687	2,678	1,446	2,348
2	75,40	2,213E+07	0,505	0,262	9,286	9,289	0,749	4,091	0,441	2,598	2,582	1,611	2,398
4	87,96	2,213E+07	0,505	0,305	8,755	8,759	0,752	3,610	0,514	2,515	2,491	1,763	2,446
6	100,53	2,213E+07	0,505	0,349	8,286	8,291	0,768	3,198	0,587	2,437	2,406	1,902	2,492
8	113,10	2,213E+07	0,505	0,392	7,877	7,883	0,793	2,850	0,661	2,365	2,325	2,030	2,535
0	125,66	2,213E+07	0,505	0,436	7,523	7,529	0,828	2,561	0,734	2,299	2,250	2,146	2,577
2	138,23	2,213E+07	0,505	0,480	7,221	7,227	0,873	2,329	0,808	2,238	2,180	2,252	2,617
4	150,80	2,213E+07	0,505	0,523	6,966	6,973	0,924	2,147	0,881	2,182	2,114	2,347	2,654
6	163,36	2,213E+07	0,505	0,567	6,754	6,762	0,983	2,013	0,955	2,131	2,052	2,433	2,690
8	175,93	2,213E+07	0,505	0,610	6,583	6,590	1,048	1,922	1,028	2,084	1,995	2,509	2,724
0	188,50	2,213E+07	0,505	0,654	6,447	6,454	1,119	1,870	1,101	2,042	1,942	2,577	2,756
2	201,06	2,213E+07	0,505	0,698	6,343	6,351	1,193	1,852	1,175	2,003	1,892	2,636	2,786
4	213,63	2,213E+07	0,505	0,741	6,267	6,275	1,271	1,865	1,248	1,968	1,846	2,688	2,815
6	226,19	2,213E+07	0,505	0,785	6,215	6,223	1,351	1,904	1,322	1,937	1,803	2,733	2,842
8	238,76	2,213E+07	0,505	0,828	6,183	6,192	1,433	1,965	1,395	1,910	1,763	2,771	2,867
0	251,33	2,213E+07	0,505	0,872	6,168	6,177	1,516	2,043	1,469	1,885	1,726	2,804	2,890
2	263,89	2,213E+07	0,505	0,916	6,165	6,174	1,598	2,136	1,542	1,863	1,692	2,831	2,912
z]	ω [rad/s]	$G_{(z,0,4)}$ [Pa]	$R_{\varphi_2\varphi_2} =$ $-(4B^2L^2/\pi)^{1/2}$ [m]	$a_0^{(1)}$	$k_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}$		$c_{\varphi_2\varphi_2}^{(1)}$		$a_{0\psi}^{(2)}$	$k_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$		$c_{\psi_2\psi_2}^{(2)}$	
					L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]					L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]			
					$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$		$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,1$
0	62,83	1,652E+07	0,543	0,247	12,203	12,207	1,052	5,589	0,447	2,590	2,573	1,625	2,402
2	75,40	1,652E+07	0,543	0,296	11,378	11,384	1,065	4,866	0,536	2,490	2,464	1,807	2,460
4	87,96	1,652E+07	0,543	0,346	10,662	10,669	1,096	4,257	0,626	2,399	2,363	1,971	2,515
6	100,53	1,652E+07	0,543	0,395	10,048	10,056	1,145	3,756	0,715	2,316	2,269	2,117	2,566
8	113,10	1,652E+07	0,543	0,445	9,529	9,537	1,210	3,353	0,805	2,240	2,183	2,248	2,615
0	125,66	1,652E+07	0,543	0,494	9,095	9,104	1,288	3,042	0,894	2,173	2,103	2,363	2,661
2	138,23	1,652E+07	0,543	0,543	8,742	8,751	1,379	2,814	0,984	2,112	2,029	2,464	2,704
4	150,80	1,652E+07	0,543	0,593	8,459	8,469	1,480	2,660	1,073	2,058	1,962	2,551	2,744
6	163,36	1,652E+07	0,543	0,642	8,241	8,251	1,589	2,574	1,162	2,009	1,900	2,627	2,781
8	175,93	1,652E+07	0,543	0,692	8,080	8,089	1,706	2,547	1,252	1,967	1,844	2,690	2,816
0	188,50	1,652E+07	0,543	0,741	7,967	7,976	1,827	2,571	1,341	1,930	1,792	2,744	2,848
2	201,06	1,652E+07	0,543	0,790	7,896	7,905	1,952	2,638	1,431	1,897	1,745	2,788	2,878
4	213,63	1,652E+07	0,543	0,840	7,859	7,868	2,078	2,739	1,520	1,870	1,702	2,824	2,905
6	226,19	1,652E+07	0,543	0,889	7,848	7,857	2,204	2,868	1,609	1,846	1,663	2,852	2,931
8	238,76	1,652E+07	0,543	0,939	7,856	7,865	2,329	3,016	1,699	1,825	1,627	2,873	2,953
0	251,33	1,652E+07	0,543	0,988	7,876	7,884	2,449	3,175	1,788	1,808	1,594	2,890	2,974
2	263,89	1,652E+07	0,543	1,037	7,900	7,907	2,564	3,337	1,878	1,794	1,563	2,901	2,992

3.2.3. Model podłoża w ujęciu normowym

Na podstawie zaleceń normy PN-80/B-03040 sprężyste właściwości podłoża gruntowego i rozpatrywanym zagadnieniu określone są za pomocą dynamicznych współczynników odłoża do których zalicza się:

- współczynnik sprężystego nierównomiernego pionowego ugięcia

$$C_{\varphi} = C_o \left[1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta \cdot F} \right] \sqrt{\frac{p}{0,02}} \text{ MPa/m} , \quad (4.3.49)$$

- współczynnik sprężystego równomiernego poziomego przesuwu

$$C_x = 0,70 C_z \text{ MPa/m} , \quad (4.3.50)$$

gdzie współczynnik C_z oraz wielkości występujące we wzorze (4.3.49) opisano w podrozdziale 4.2.2.4. Wyznaczone wartości dynamicznych współczynników podłoża C_{φ} i C_x podano w tabelicy Z3.22.

Na podstawie współczynników podłoża oblicza się współczynniki sztywności $K_{\Phi_2\Phi_2}^o$ i $K_{H_1H_1}^o$ (oznaczenia normowe odpowiednio K_{φ} i K_x) ze wzorów:

- współczynnik sztywności przy nierównomiernym nacisku pionowym $K_{\Phi_2\Phi_2}^o$
(dla drgań w płaszczyźnie X_1X_3)

$$K_{\Phi_2\Phi_2}^o \equiv K_{\varphi} = C_{\varphi} \cdot \bar{J}_{22}^o \text{ MNm} , \quad (4.3.51)$$

gdzie \bar{J}_{22}^o - moment bezwładności podstawy fundamentu względem osi X_2^o prostopadłej do pionowej płaszczyzny drgań, m^4 , (podrozdział 3.3 tabela 3.1),

- współczynnik sztywności przy równomiernym ścinaniu (przesuwie) poziomym $K_{H_1H_1}^o$

$$K_{H_1H_1}^o \equiv K_x = C_x \cdot F \text{ MN/m} . \quad (4.3.52)$$

W ujęciu normowym

$$K_{H_1\Phi_2}^o = K_{\Phi_2H_1}^o = 0 . \quad (4.3.53)$$

Wyznaczone wartości współczynników $K_{\Phi_2\Phi_2}^o$ i $K_{H_1H_1}^o$ podano w tabelicy Z3.22.

Na podstawie czasu retardacji Φ w modelu Voigta, uzyskano wzory na współczynniki tłumienia $C_{\Phi_2\Phi_2}^o$, $C_{H_1H_1}^o$ i $C_{H_1\Phi_2}^o$ (norma nie różnicuje czasu retardacji w zależności od postaci drgań)

$$C_{\Phi_2\Phi_2}^o = \Phi K_{\Phi_2\Phi_2}^o \text{ MNsm} , \quad (4.3.54)$$

$$C_{H_1 H_1}^0 = \Phi K_{H_1 H_1}^0 \quad \text{MN/m} , \quad (4.3.55)$$

$$C_{H_1 \Phi_2}^0 = C_{\Phi_2 H_1}^0 = \Phi K_{H_1 \Phi_2}^0 = 0 \quad \text{MN/m} . \quad (4.3.56)$$

W obliczeniach rozpatrzono trzy przypadki tłumienia w zależności od czasu retardacji Φ .

Przypadek 1 - pominięcie wpływu tłumienia

$$C_{\Phi_2 \Phi_2}^0 = 0 , \quad (4.3.57)$$

$$C_{H_1 H_1}^0 = 0 , \quad (4.3.58)$$

$$C_{H_1 \Phi_2}^0 = 0 . \quad (4.3.59)$$

Przypadek 2 - minimalne tłumienie według normy ($\Phi = 0,006$ s)

$$C_{\Phi_2 \Phi_2}^0 = 0,006 \cdot K_{\Phi_2 \Phi_2}^0 \quad \text{MNsm} , \quad (4.3.60)$$

$$C_{H_1 H_1}^0 = 0,006 \cdot K_{H_1 H_1}^0 \quad \text{MN/m} , \quad (4.3.61)$$

$$C_{H_1 \Phi_2}^0 = 0 .$$

Przypadek 3 - pominięcie tłumienia składowej obrotowej ruchu przy minimalnym tłumieniu składowej translacyjnej

$$C_{\Phi_2 \Phi_2}^0 = 0 ,$$

$$C_{H_1 H_1}^0 = 0,006 \cdot K_{H_1 H_1}^0 ,$$

$$C_{H_1 \Phi_2}^0 = 0 .$$

Wartości współczynników tłumienia podłoża $C_{\Phi_2 \Phi_2}^0$ i $C_{H_1 H_1}^0$ podano w tabelicy Z3.22.

4.3.3. Porównanie współczynników sztywności i tłumienia oraz charakterystyk amplitudowo-fazowych

Współczynniki sztywności i tłumienia reprezentujące liniowo-odkształcalne podłoże w równaniu drgań złożonych przesuwno-obrotowych bloku fundamentowego określono w podrozdziale 4.3.2 w przypadku trzech liniowych modeli drgań. Wybrane parametry: $K_{H,II}^0$, ζ_{Φ_2, Φ_2}^0 , $C_{H,II}^0$ i C_{Φ_2, Φ_2}^0 przedstawiono na rys. 4.3.10÷4.3.21 w zależności od wielkości bloku, głębokości posadowienia, poziomu obciążenia oraz częstotliwości drgań. Charakterystyki amplitudowe i fazowe eksperymentalnych bloków fundamentowych pokazano na rys. 4.3.22÷4.3.33. Uzyskane wyniki dają wgląd we właściwości dynamiczne poszczególnych modeli podłoża gruntowego, opisane w dziedzinie częstości.

Dyskretny sześcioparametrowy model podłoża

Przedstawiono dwa zbiory parametrów uzyskanych w odmienny sposób. Pierwszy zbiór stanowią parametry podłoża otrzymane metodą najmniejszych kwadratów z wykorzystaniem eksperymentalnych amplitud składowej obrotowej ruchu bloków fundamentowych. Współczynniki sztywności i tłumienia są niezależne od częstości drgań. Charakterystyki amplitudowe składowej obrotowej ruchu bloków przedstawiają w tym przypadku jakość opasowania danego równania teoretycznego do wyników eksperymentalnych, prognozowana jest natomiast charakterystyka amplitudowa składowej translacyjnej ruchu złożonego bloków oraz charakterystyki fazowe. Zgodność prognozowanych amplitud z danymi eksperymentalnymi jest zadowalająca z wyjątkiem bezpośredniej strefy rezonansu, gdzie prognozowane amplitudy maksymalne są większe od wartości eksperymentalnych, przy czym stopień przewyższenia zależy głównie od wielkości zagłębienia. Zgodne z danymi eksperymentalnymi jest prognozowane położenie strefy rezonansu składowej translacyjnej ruchu bloków. Teoretyczne charakterystyki fazowe wykazują zróżnicowaną zgodność z danymi eksperymentalnymi. Zależy to od wielkości bloku, poziomu zagłębienia, intensywności obciążenia i postaci ruchu składowego.

Drugi zbiór parametrów podłoża z rozwiązania zredukowanego zagadnienia odwrotnego przedstawiono dla dwóch różnych założeń odnośnie do wartości dodatkowych danych uzupełniających wyniki pomiarów. Ilustruje to wrażliwość rozwiązania zredukowanego zagadnienia odwrotnego na przyjmowane wartości sprzężonych parametrów podłoża K_{H, Φ_2}^0

C_{11,ϕ_2}^0 . Wrażliwość ta jest zróżnicowana, od małej do bardzo dużej, przy czym zależy to od wielkości bloku, poziomu zagłębienia, poziomu obciążenia i częstotliwości drgań.

Interpretując uzyskane wyniki należy mieć na względzie następujące fakty. Po pierwsze, poszukiwanie w przestrzeni sześciowymiarowej minimum danej funkcji celu (suma kwadratów różnic wyników pomiarów i funkcji teoretycznej dla danych częstotliwości wzbudzenia) jest trudnym problemem obliczeniowym, który wymaga iteracyjnego rozwiązywania układu nieliniowych równań algebraicznych. Znalezione rozwiązanie może być punktem stacjonarnym, niekoniecznie minimalnym. Choć zadanie aproksymacji średniokwadratowej rozwiązano używając komercyjny program Mathcad[®] 6.0, problem uznaje się za otwarty do dalszych badań z wykorzystaniem zaawansowanego oprogramowania. Po drugie, w przypadku drgań przesuwno-obrotowych liczba parametrów podłoża jest większa od czterech danych eksperymentalnych. Zredukowanie liczby niewiadomych do czterech uzależnia rozwiązanie problemu od dodatkowych danych, które nie są danymi eksperymentalnymi przez co komplikuje się interpretacja uzyskanych na tej drodze wyników.

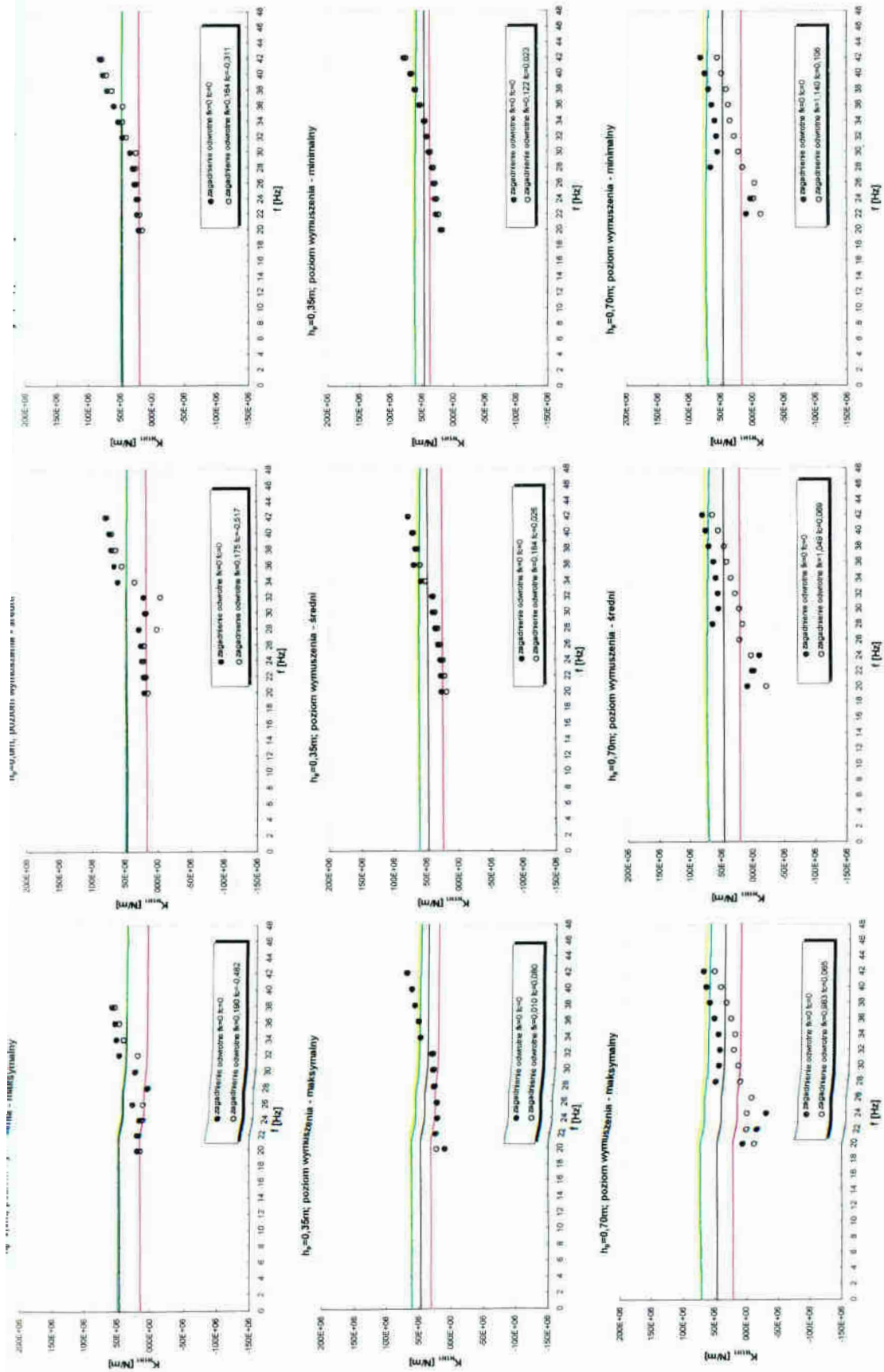
Przestrzeń inercyjna z histerezywnym tłumieniem materiałowym

Prognozowane współczynniki sztywności i tłumienia zmieniają się wraz z częstością drgań ponadto zależą od wielkości prostokątnego pola podstawy bloku i poziomu zagłębienia. Parametry te przedstawiono w zależności od dwóch wartości histerezywnego współczynnika tłumienia w celu zilustrowania wpływu tłumienia materiałowego na dynamiczne właściwości przestrzeni inercyjnej. Tłumienie materiałowe w nieznacznym stopniu zmniejsza wartości współczynników sztywności oraz podwyższa wartości współczynników tłumienia w porównaniu do wielkości dla przestrzeni idealnie sprężystej. Teoretyczne strefy rezonansowe są przesunięte w prawo względem stref eksperymentalnych dla obu składowych ruchu złożonego, przy czym największe przesunięcie występuje dla bloków na powierzchni szorstkiej, zmniejsza się wraz ze wzrostem zagłębienia. Prognozowane amplitudy składowej rotacyjnej ruchu są znacznie zaniżone względem amplitud eksperymentalnych we wszystkich przypadkach. Odnośnie do amplitudy składowej translacyjnej ruchu bloków obserwuje się doskonałą zgodność z danymi eksperymentalnymi.

Model Winklera-Sawinowa-Voigta (ujęcie normowe)

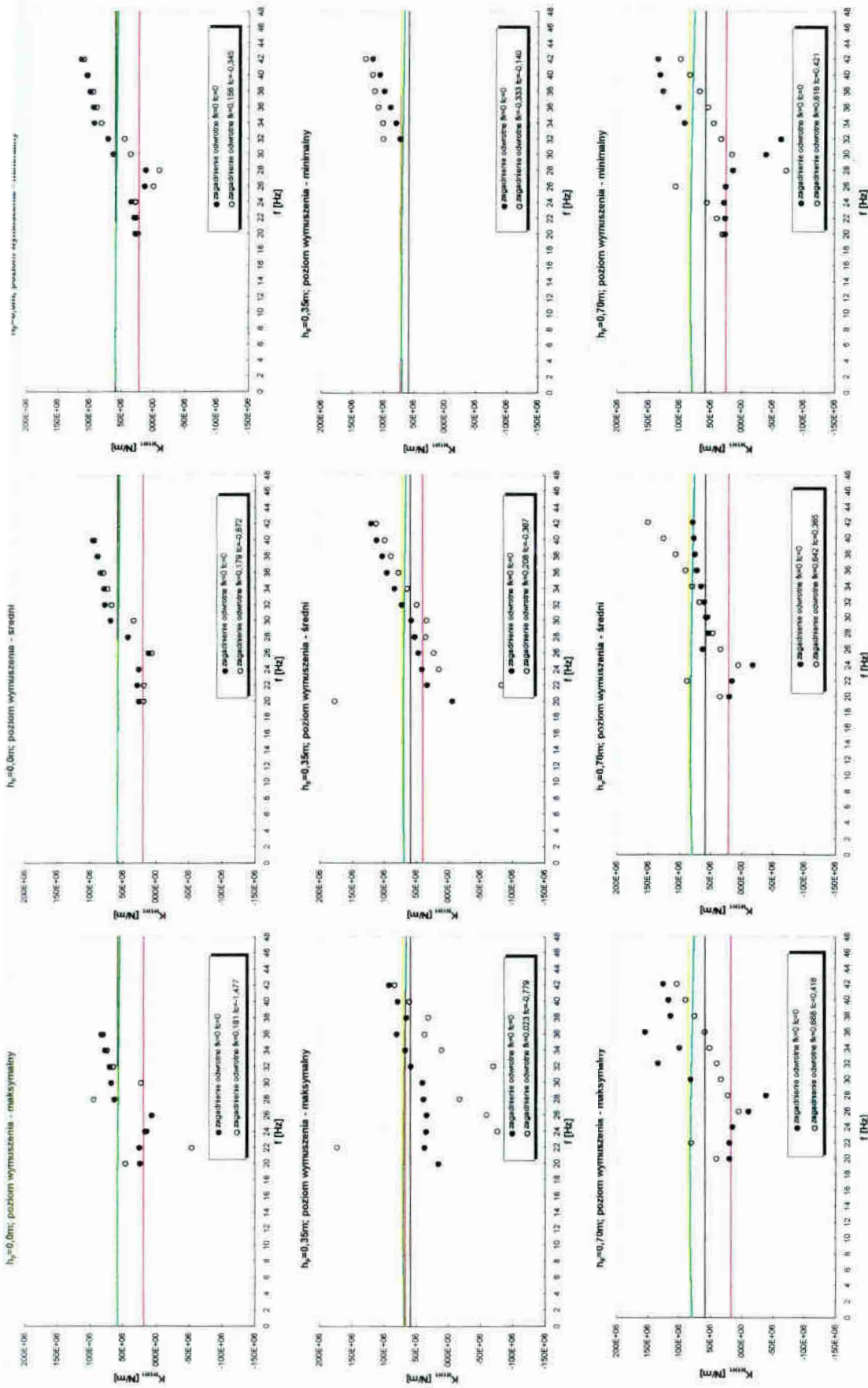
Prognozowane współczynniki sztywności i tłumienia są niezależne od częstości drgań oraz i poziomu zagłębienia. W zbiorze parametrów opisujących właściwości podłoża pomija się składowe sprzężone $K_{H_1\Phi_2}^0$ i $C_{H_1\Phi_2}^0$, co jest uzasadnione tylko w przypadku bloków leżących na powierzchni gruntu. Teoretyczne strefy rezonansowe są przesunięte w prawo względem danych eksperymentalnych odzwierciedlając większą sztywność modelu W-S-V. Przesunięcie to jest największe dla bloków na powierzchni i zmniejsza się w miarę wzrostu zagłębienia.

Z analizy prognozowanych charakterystyk amplitudowych wynika, że znacznie zawyżony jest również poziom tłumienia reprezentowany przez wartości $C_{H_1H_1}^0$ i $C_{\Phi_2\Phi_2}^0$, pomimo przyjęcia najmniejszego czasu retardacji według normy. Umiarkowana zgodność wyników teoretycznych i eksperymentalnych dotyczy tylko amplitudy składowej translacyjnej ruchu bloków maksymalnie zagłębionych. Arbitralne pominięcie tłumienia składowej obrotowej ruchu bloków w części prognoz poprawia (amplitudy składowej obrotowej ruchu bloków na powierzchni oraz w połowie zagłębionych) a inną pogarsza (zawyżone amplitudy składowej obrotowej ruchu bloków w pełni zagłębionych oraz wszystkie amplitudy składowej translacyjnej).



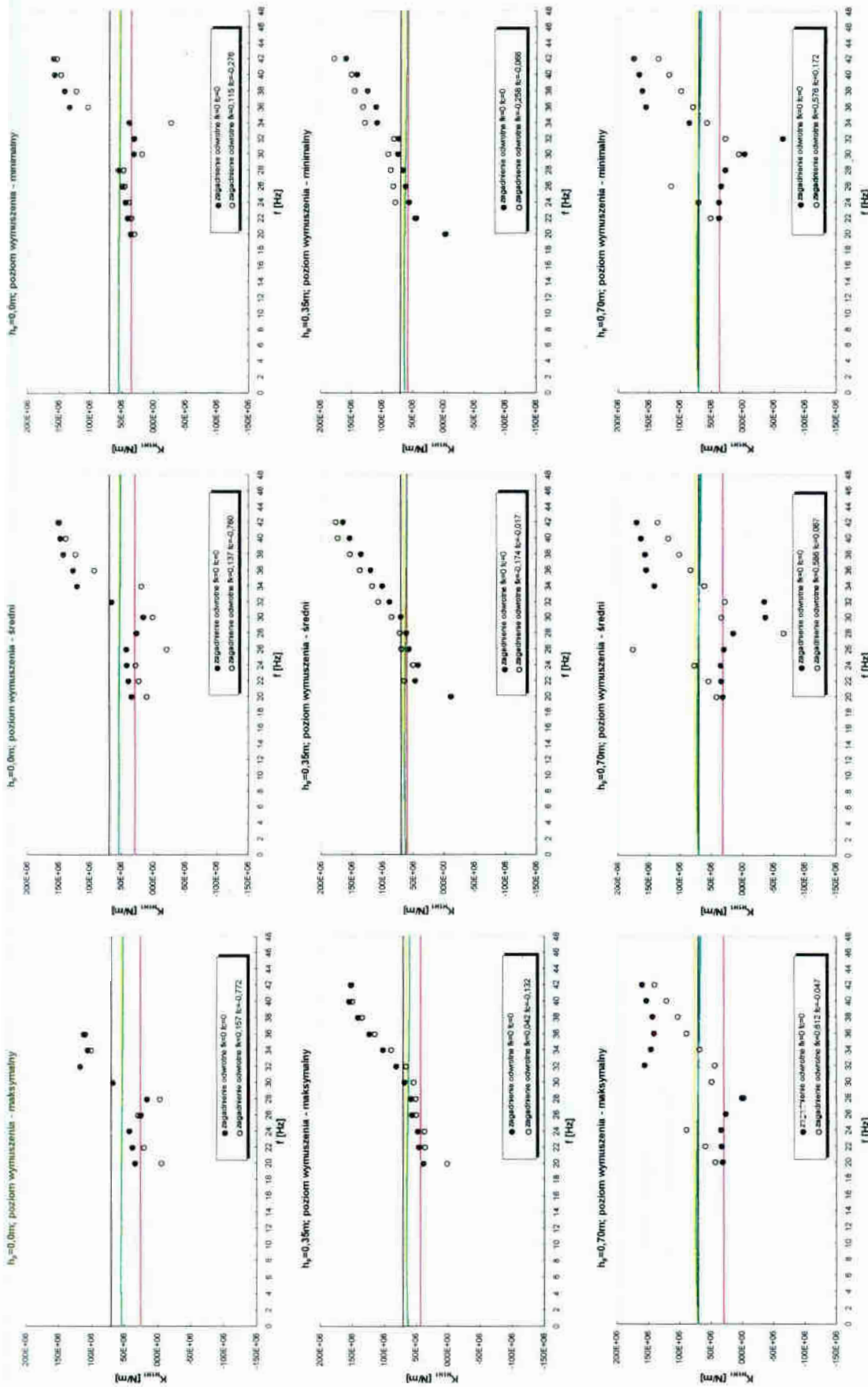
— model W-S-V (ujęcie normowe), ● model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k = 0; f_c = 0$, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
 — model sześcioparametrowy, ○ model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0; f_c \neq 0$, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),

Rys. 4.3.10 Współczynniki sztywności $K_{H_1H_1}^O$ [N/m], fundament $L_x B_x H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7m$



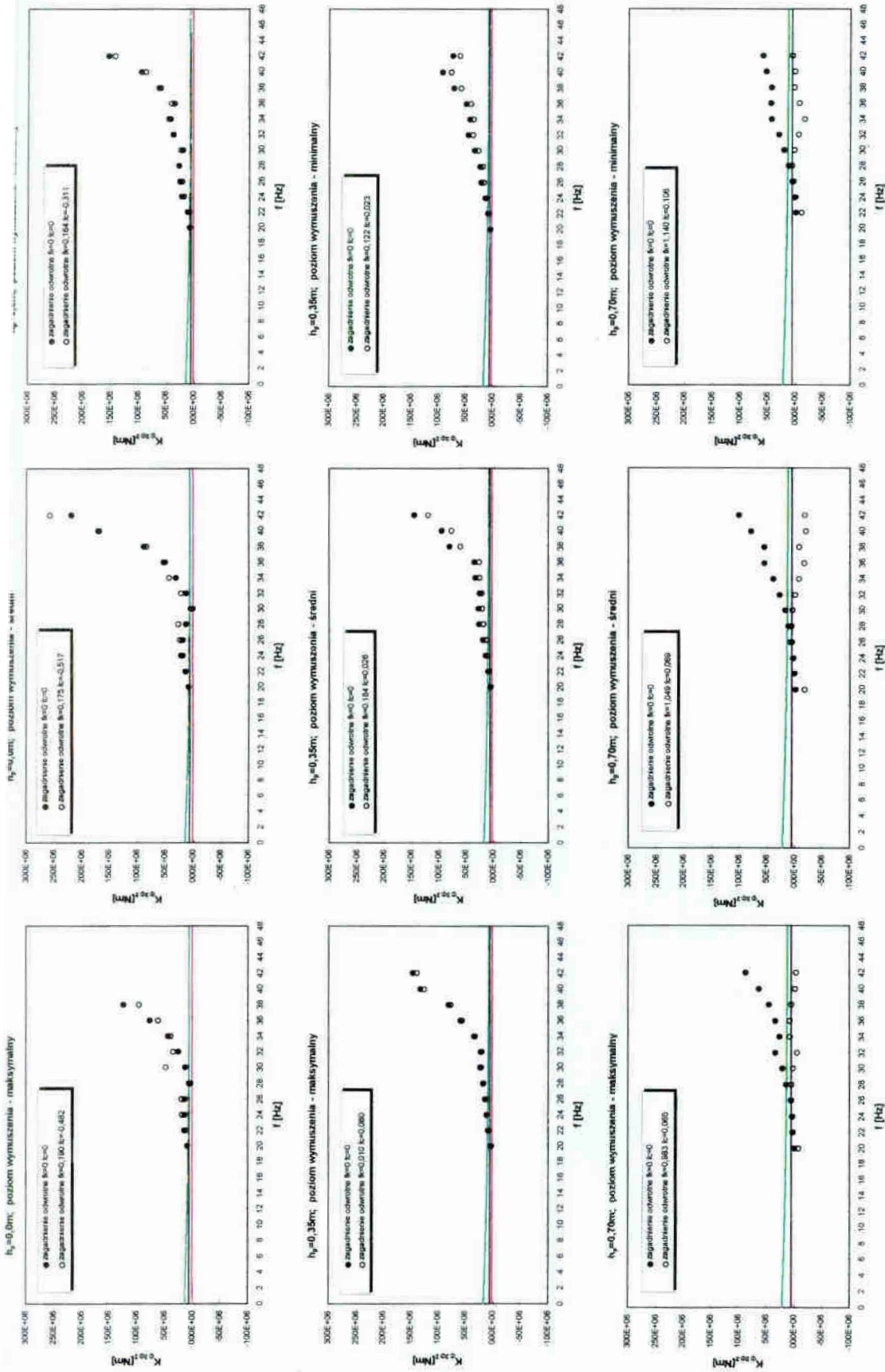
— model W-S-V (ujęcie normowe), ● model szścioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k = 0$; $f_c = 0$, półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
 — model szścioparametrowy, ○ model szścioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0$; $f_c \neq 0$, półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),

Rys. 4.3.11 Współczynniki sztywności $K_{H,H}^D$ [N/m], fundament $Lx Bx H=1,2 \times 0,8 \times 0,7m$



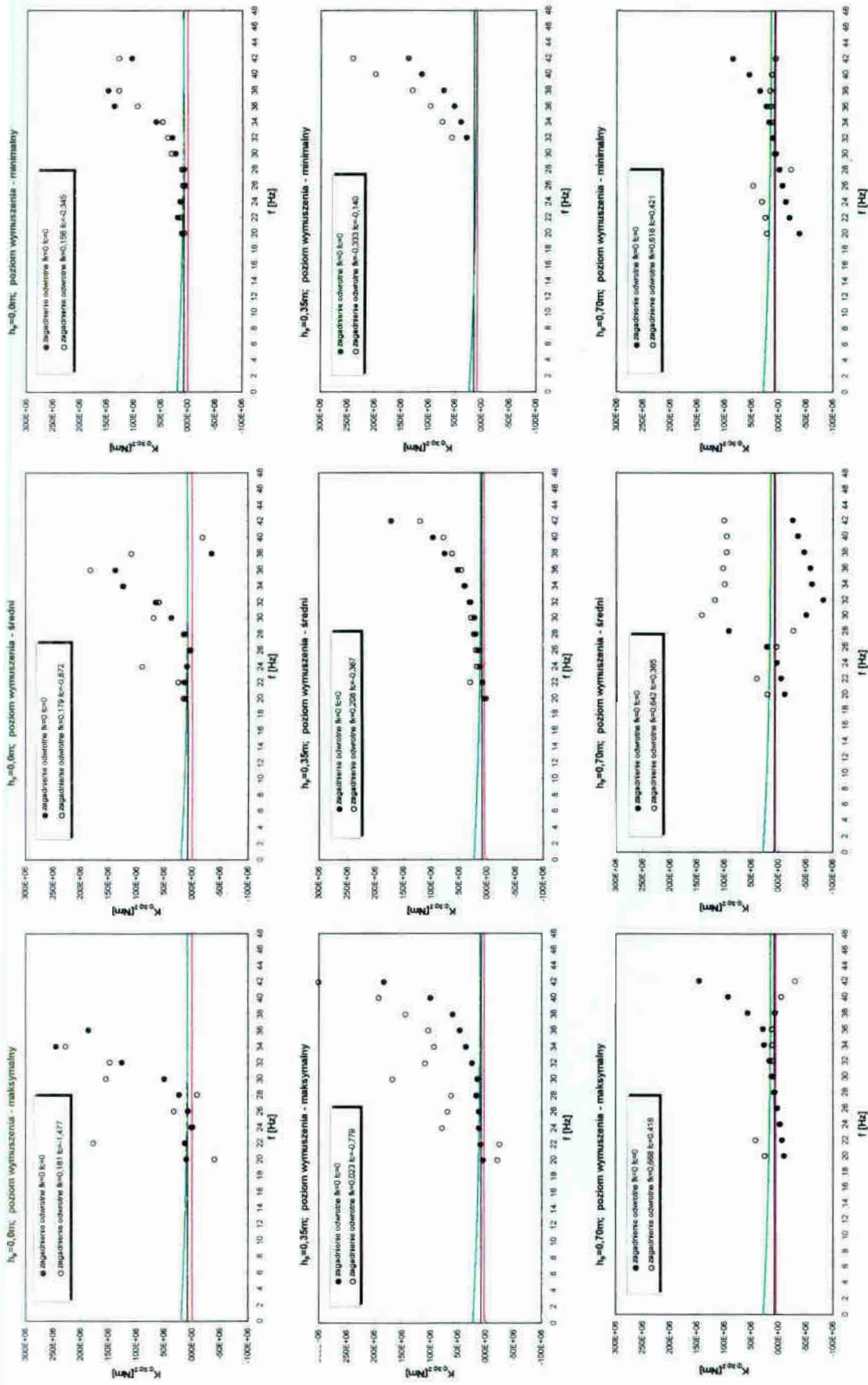
— model W-S-V (ujęcie normowe), ● model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k = 0$; $f_c = 0$, półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
 - - - model sześcioparametrowy, ○ model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0$; $f_c \neq 0$, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),
 - - - model sześcioparametrowy, ○ model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0$; $f_c \neq 0$, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,279$).

Rys. 4.3.12 Współczynniki sztywności $K_{H,1}^O$ [N/m], fundament $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7m$



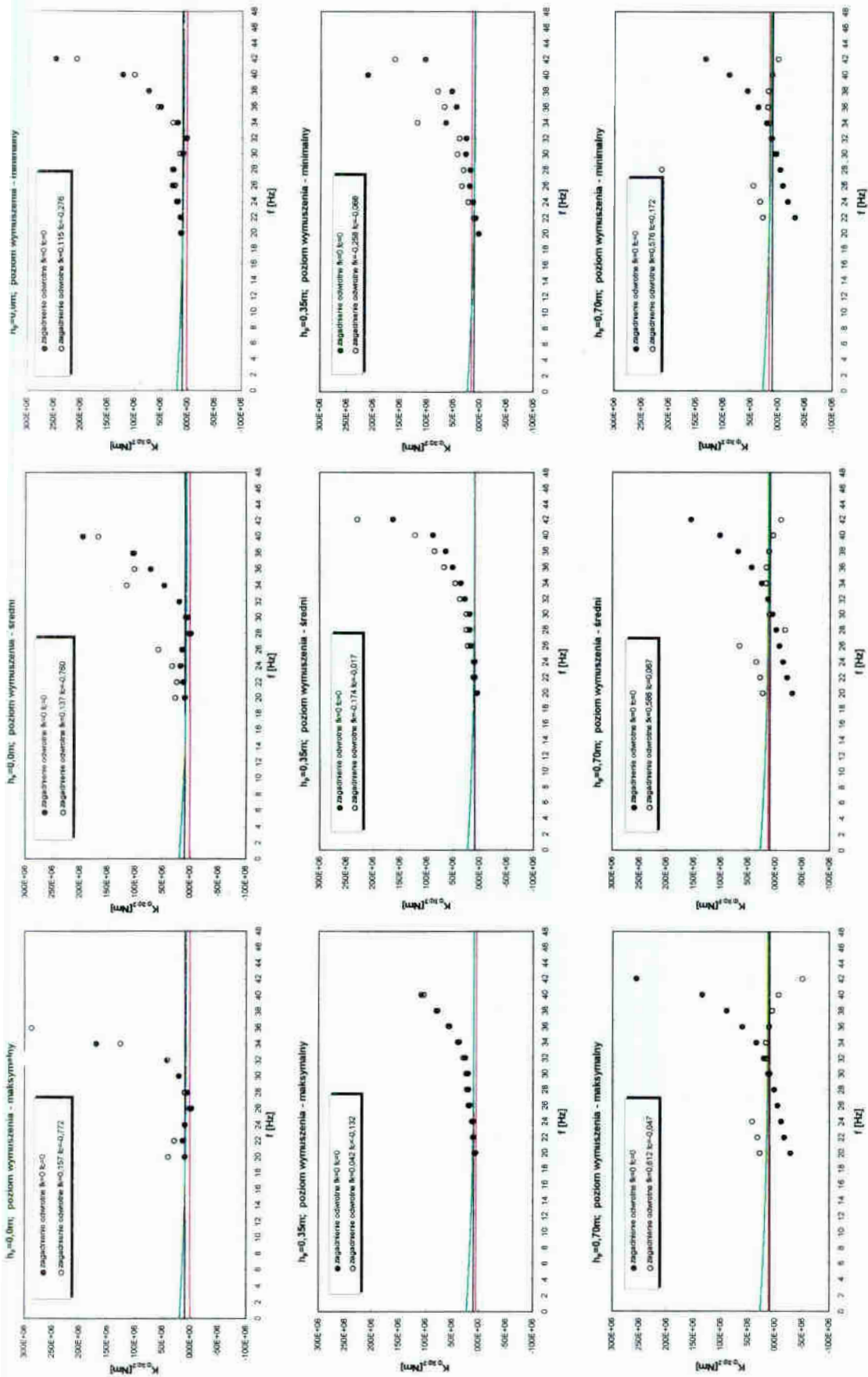
— model W-S-V (ujęcie normowe), ● model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k = 0$; $f_c = 0$, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
 — model sześcioparametrowy, ○ model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0$; $f_c \neq 0$, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),

Rys. 4.3.13 Współczynniki sztywności $K_{\phi_2}^O$ [Nm], fundament $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7m$



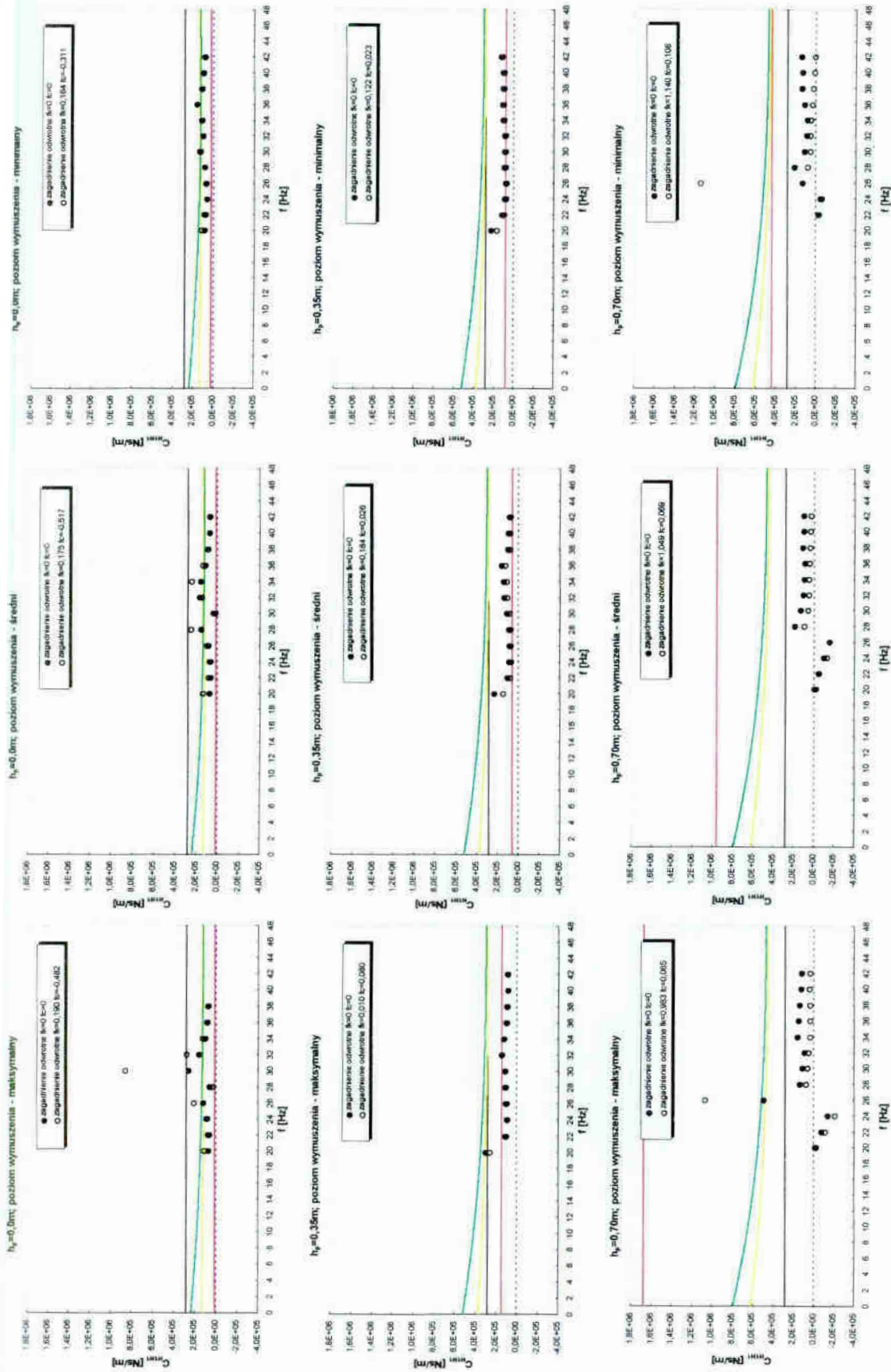
— model W-S-V (ujęcie normowe), ● model sztywnościowy (zagadnienie odwrotne): $f_c = 0$; $f_c \neq 0$, ○ półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
 — model sztywnościowy, ○ model sztywnościowy (zagadnienie odwrotne): $f_c \neq 0$; $f_c = 0$, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),

Rys. 4.3.14 Współczynniki sztywności $K_{\phi_3\phi_1}$ [Nm], fundament $LxBxH=1,2 \times 0,8 \times 0,7m$



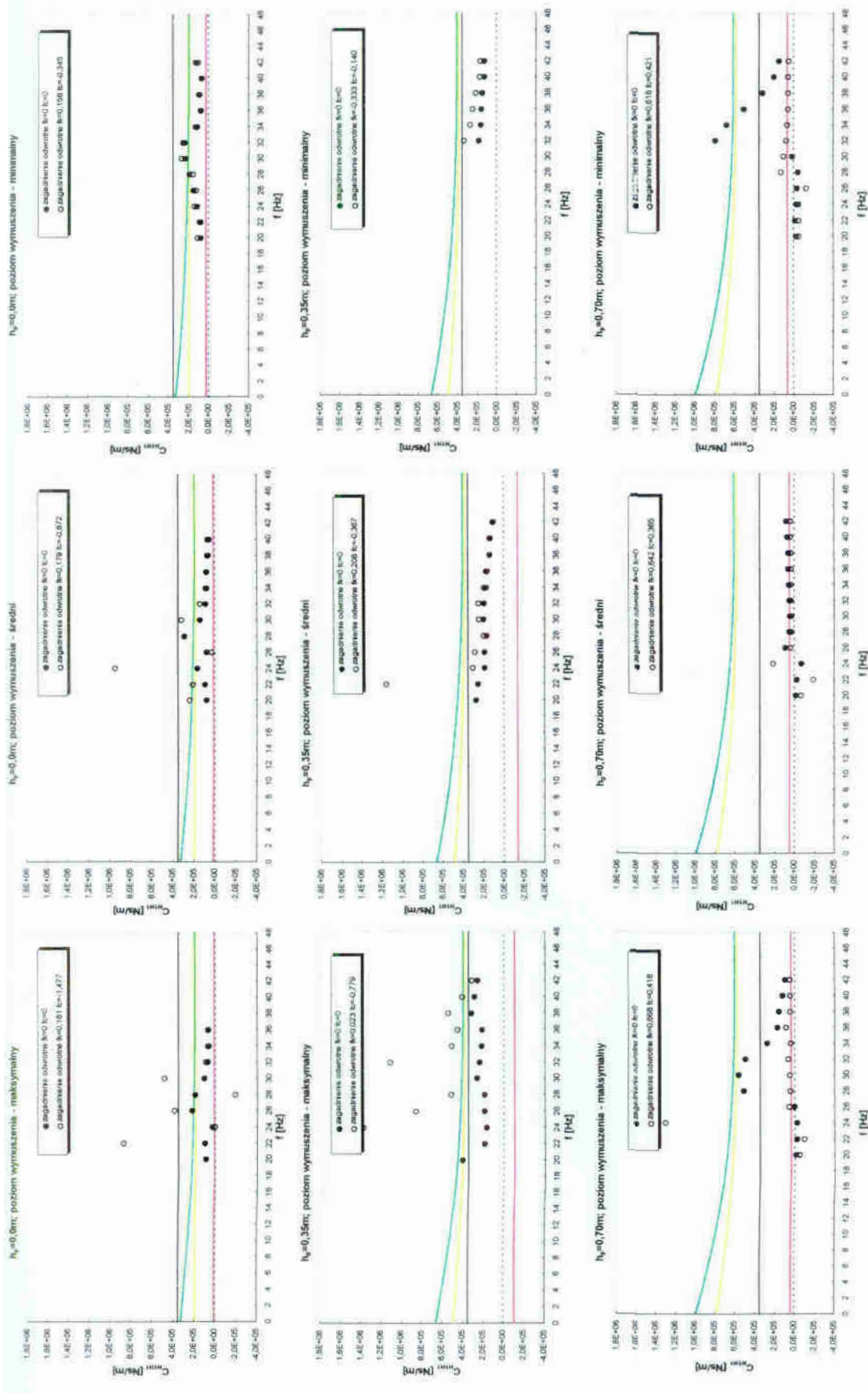
— model W-S-V (ujęcie normowe), ● model sztywnościowy (zagadnienie odwrotne): $f_k = 0$; $f_c = 0$, półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
 — model sztywnościowy, ○ model sztywnościowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0$; $f_c \neq 0$, półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),

Rys. 4.3.15 Współczynniki sztywności K_{ϕ_2} [Nm], fundament $LxBxH=1,6 \times 0,8 \times 0,7m$

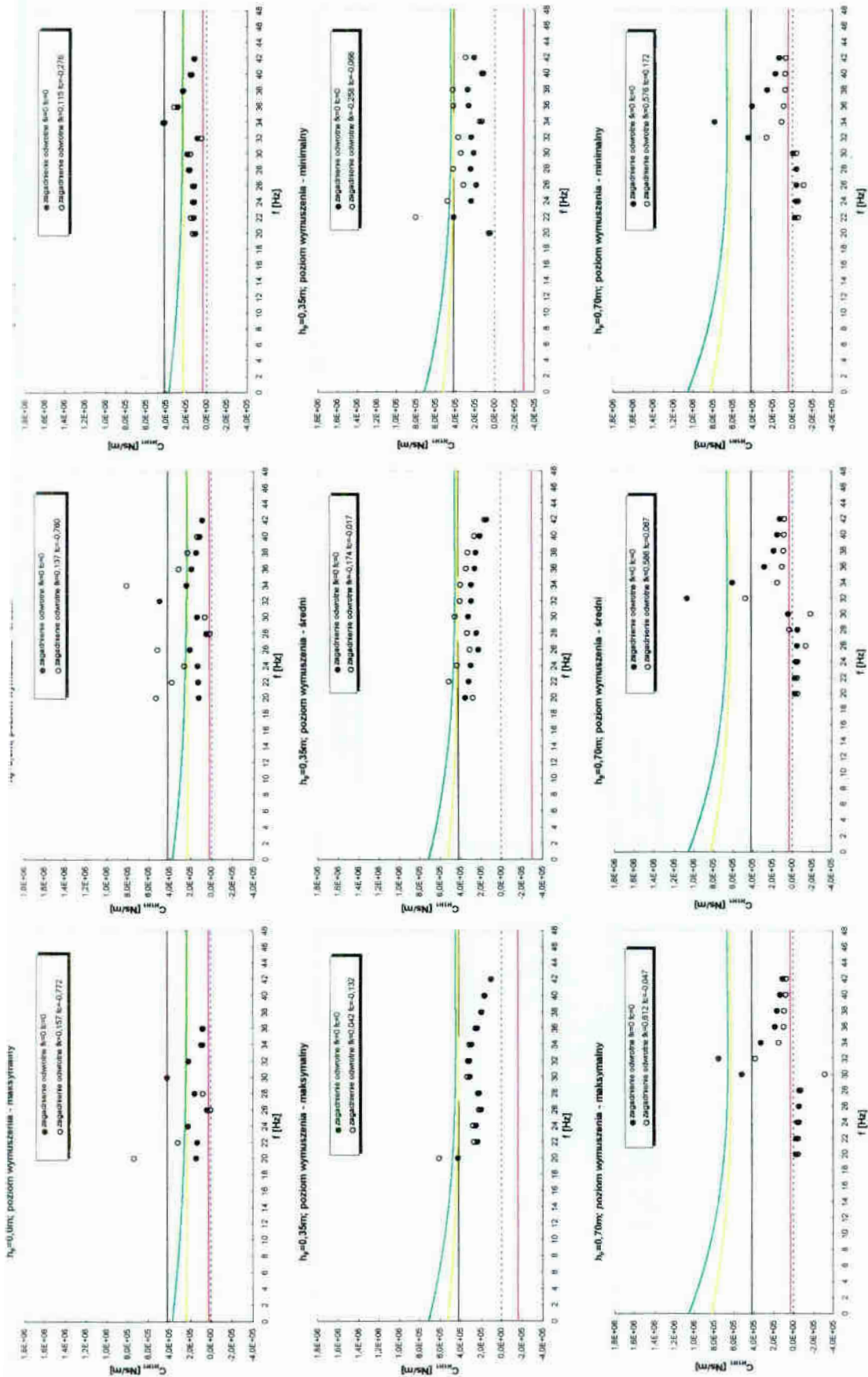


Rys. 4.3.16 Współczynniki tłumienia C_{H1H1}^0 [Ns/m], fundament $LxBxH=0,8 \times 0,8 \times 0,7m$

— model sześcioparametrowy, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$), — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$), ● model W-S-V: $\Phi = 0$, ● model sztywności (zagadnienie odwrotne): $f_k = 0; f_c = 0$, ● model sztywności i tłumienia (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0; f_c = 0$, model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, model sztywności i tłumienia (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0; f_c \neq 0$

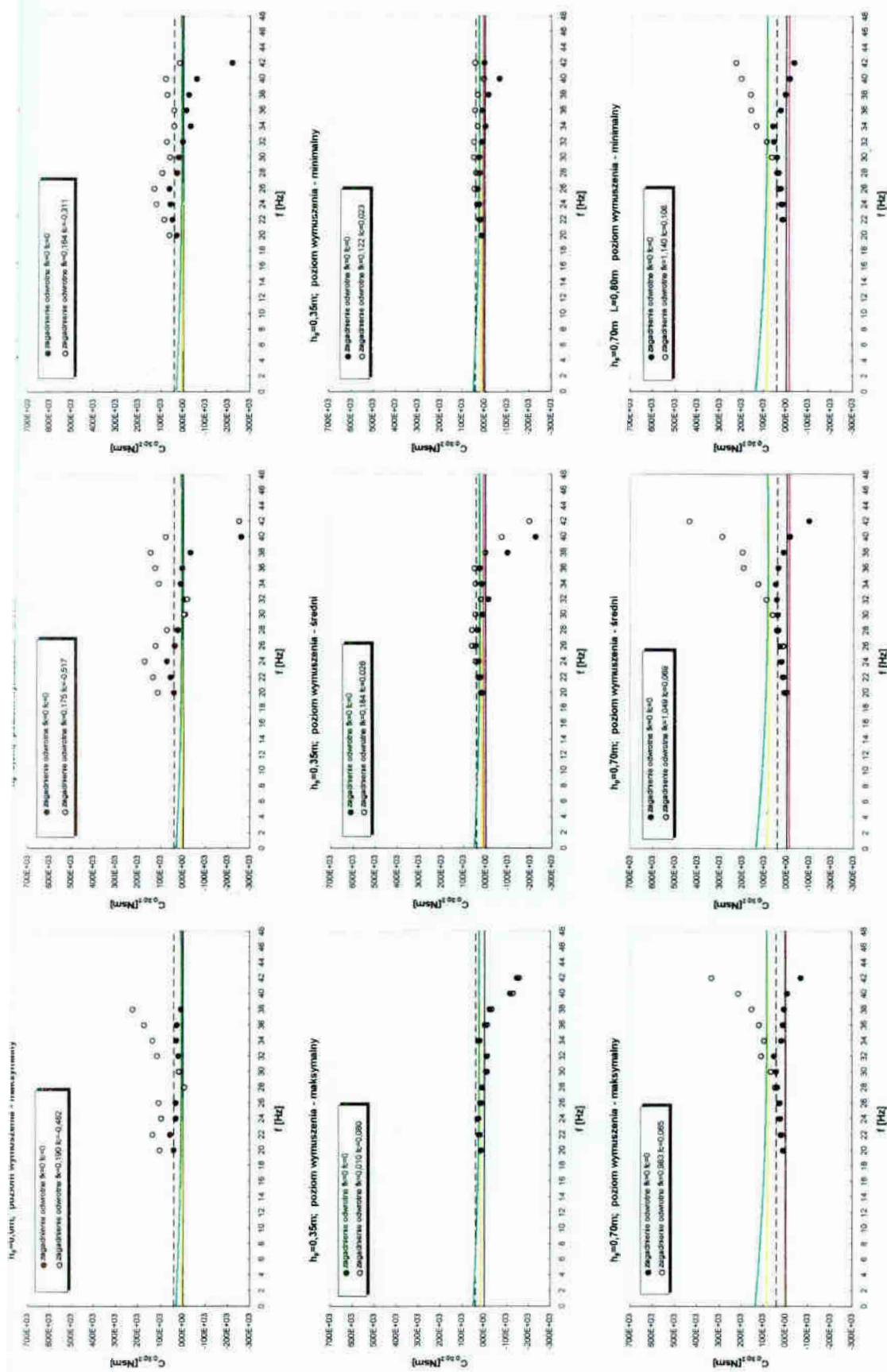


Rys. 4.3.17 Współczynniki tłumienia $C_{H_1H_1}$ [Ns/m], fundament $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7m$



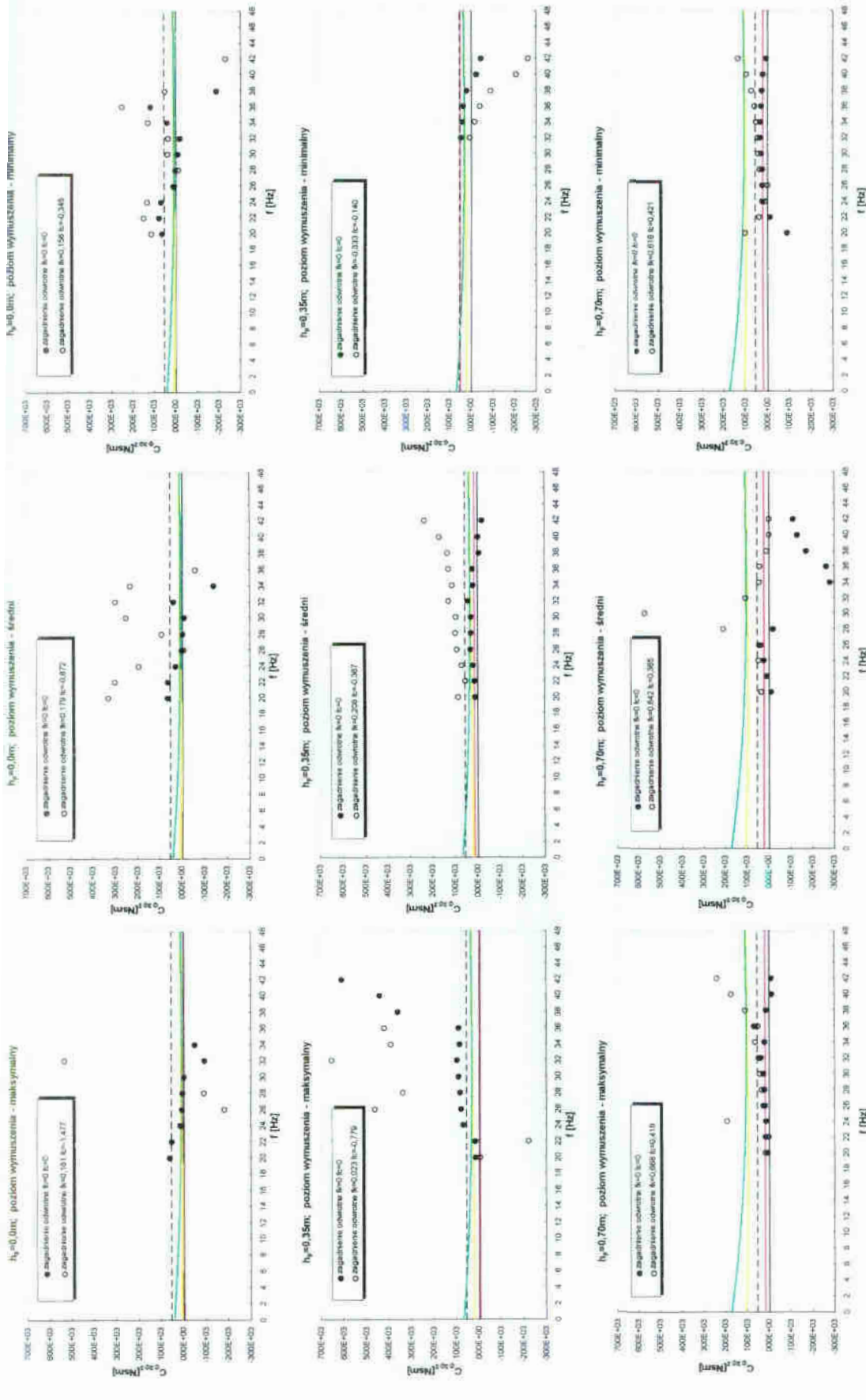
Rys. 4.3.18 Współczynniki tłumienia $C_{H_1H_1}^0$ [Ns/m], fundament $LxBxH=1,6 \times 0,8 \times 0,7m$

— model sześcioparametrowy, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$), — model W-S-V: $\Phi = 0$,
● model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k = 0; f_c = 0$, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$), — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$,
○ model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0; f_c \neq 0$



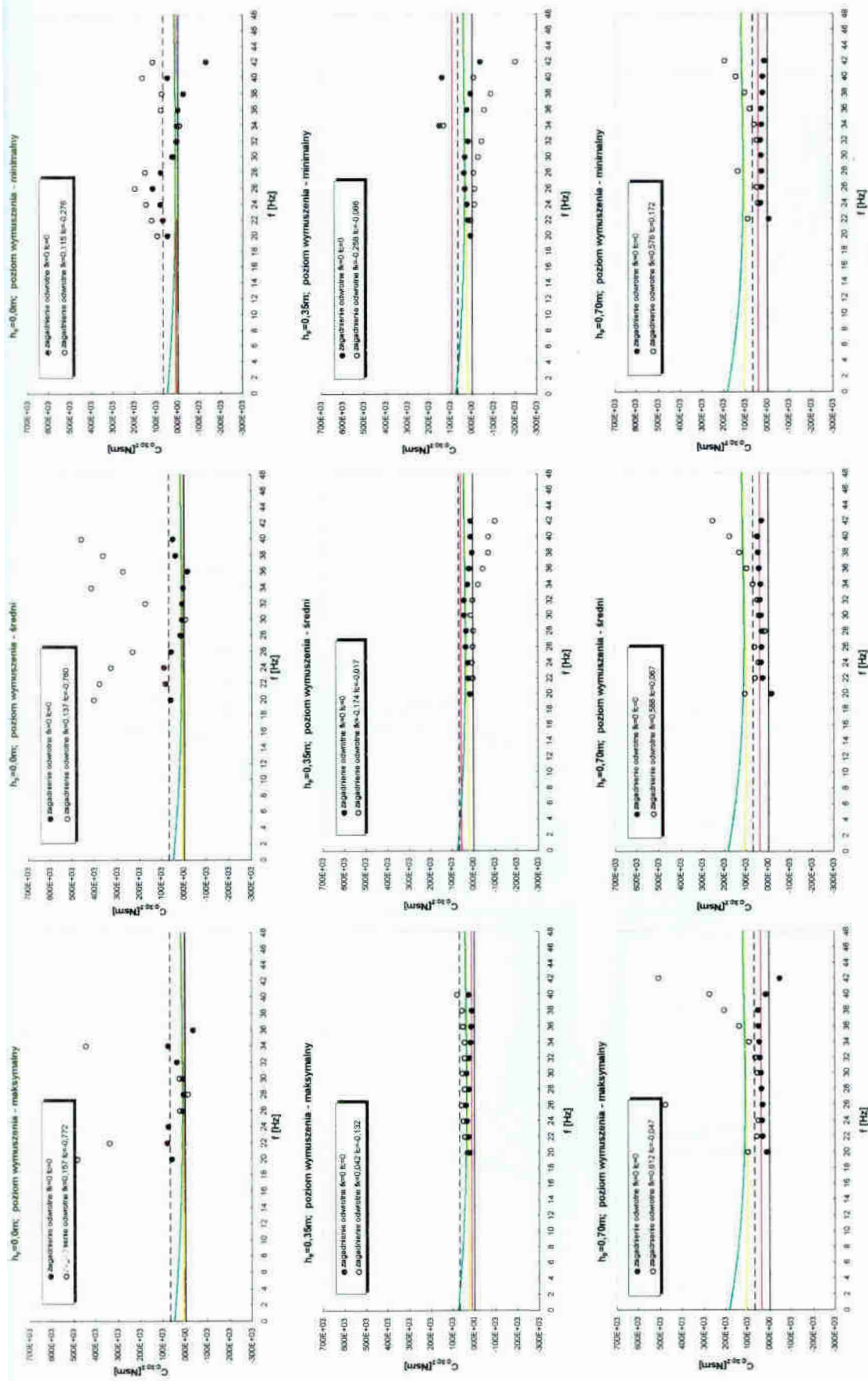
— model sześcioparametrowy,
 — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$),
 — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),
 ● model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrótnie): $f_k = 0; f_c = 0$,
 ○ model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrótnie): $f_k \neq 0; f_c \neq 0$

Rys. 4.3.19 Współczynniki tłumienia C_{ϕ_1, ϕ_2}^0 [Ns/m], fundament $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7\text{m}$



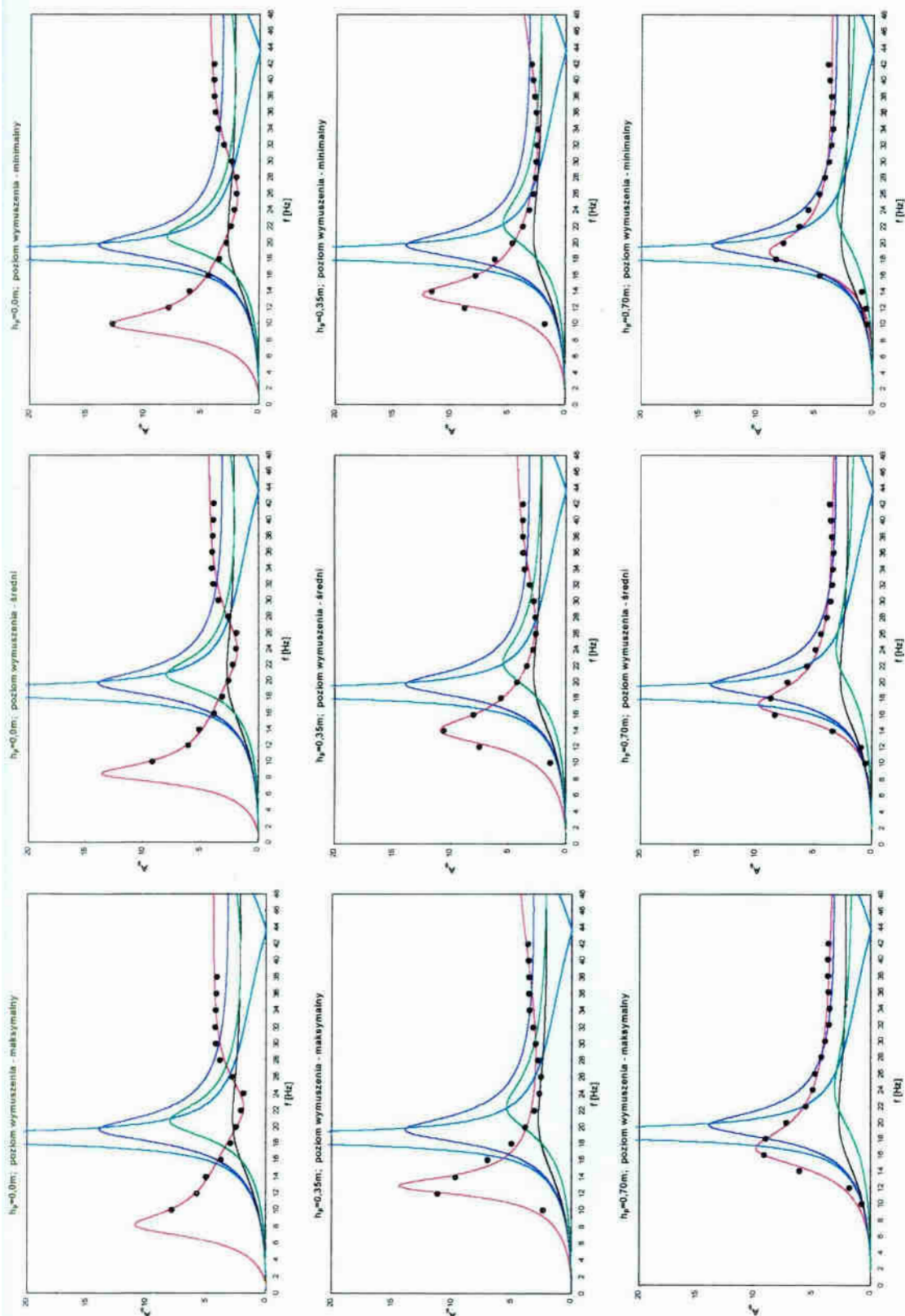
Rys. 4.3.20 Współczynniki tłumienia C_{ϕ, ϕ_1}^0 [Nsm], fundament $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7m$

— model sześcioparametrowy, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$), — przestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$), — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, ● model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k = 0; f_c = 0$, ○ model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0; f_c \neq 0$

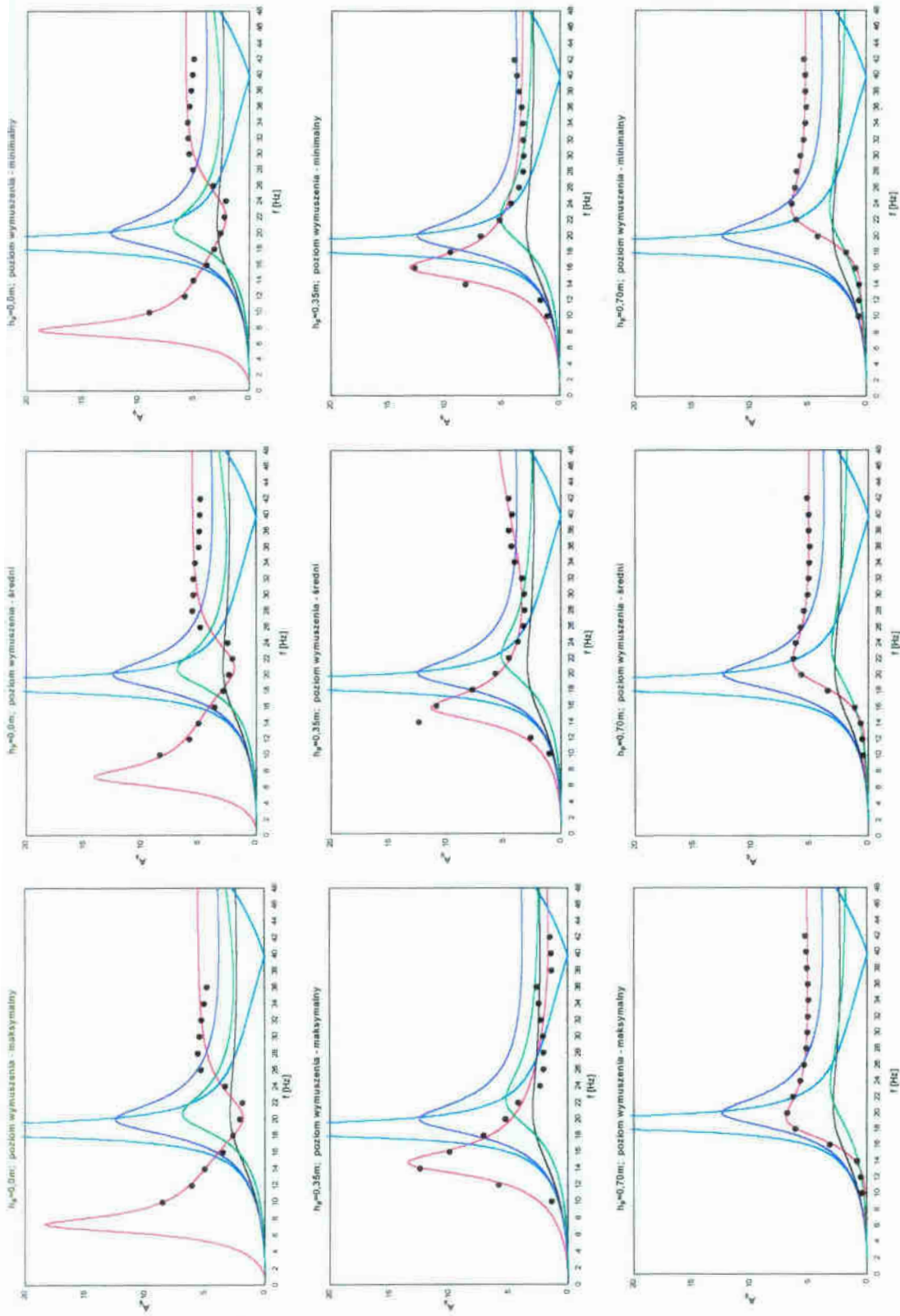


— model sześcioparametrowy, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,01$), — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$), — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, ● model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k = 0; f_c = 0$, ● model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0; f_c \neq 0$, ○ model sześcioparametrowy (zagadnienie odwrotne): $f_k \neq 0; f_c = 0$

Rys. 4.3.21 Współczynniki tłumienia C_{ϕ_2, ϕ_3}^0 [Nsm], fundament $LxBxH=1,6 \times 0,8 \times 0,7m$

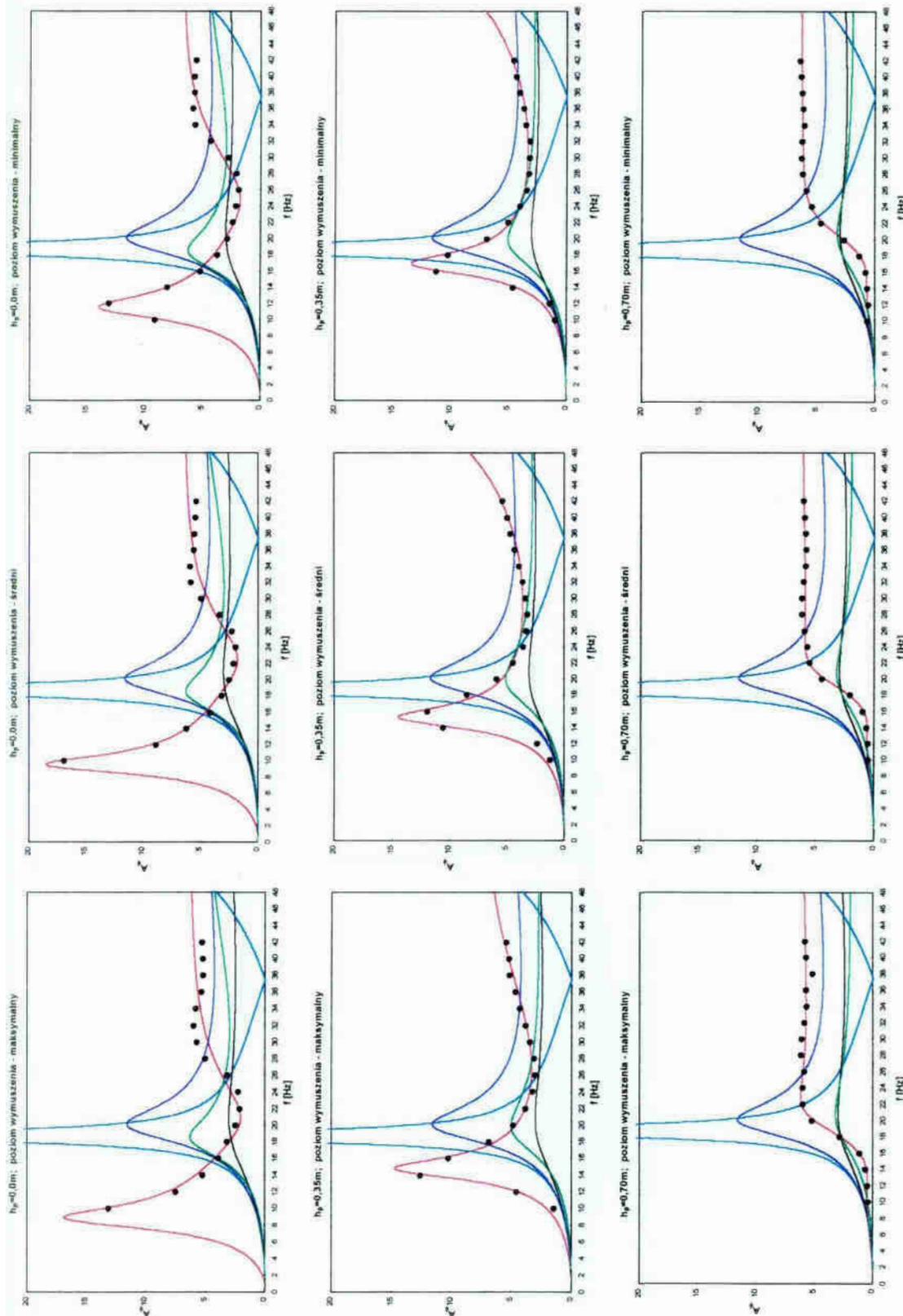


Rys. 4.3.22 Bezwymiarowe amplitudy przemieszczeń A_{ϕ} , fundament $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7m$

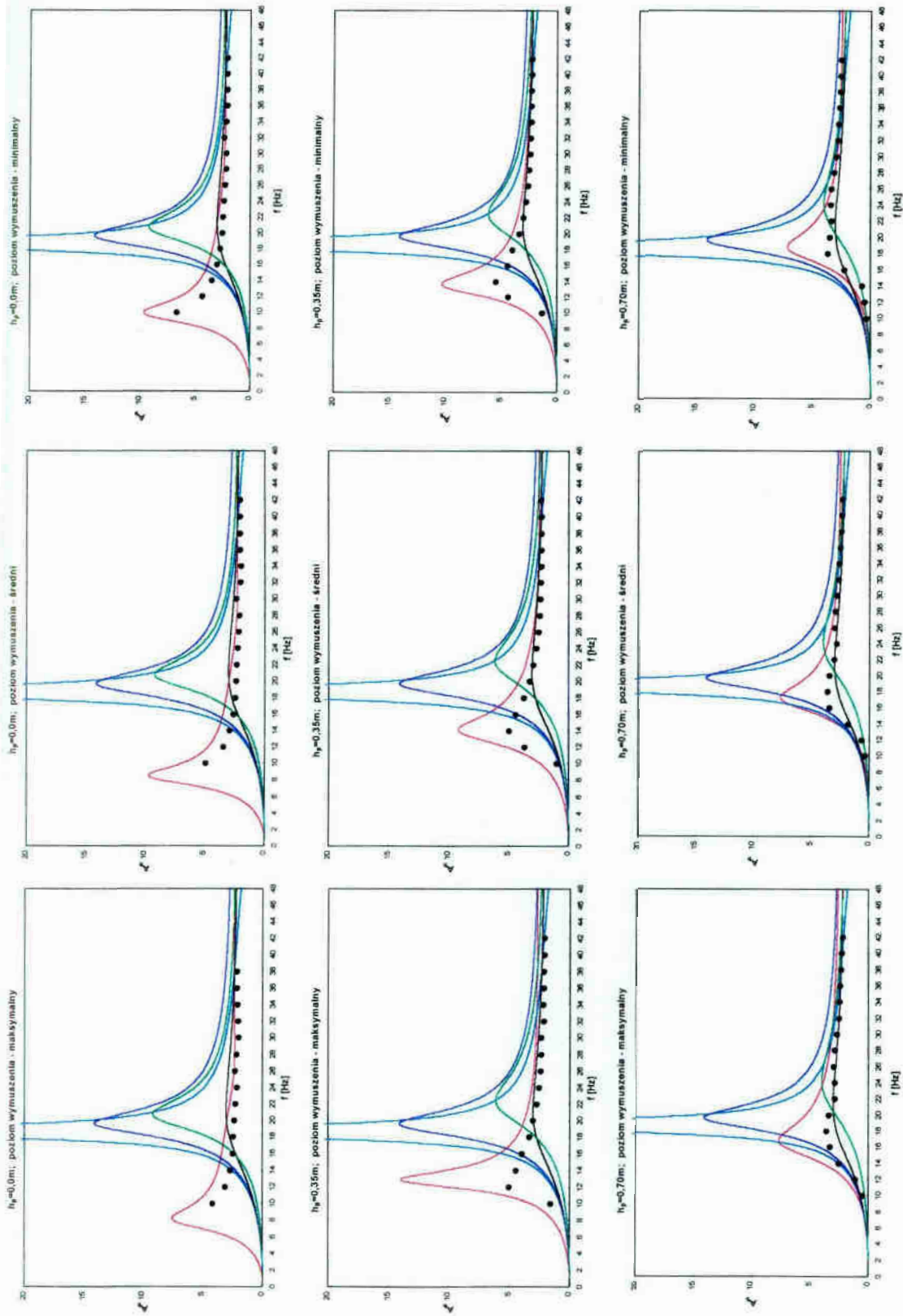


• eksperyment,
 — model sześcioparametrowy,
 — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),
 — model W-S-V: $\Phi = 0$,
 — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$,
 — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, $C_{\phi_2, \phi_3} = 0$

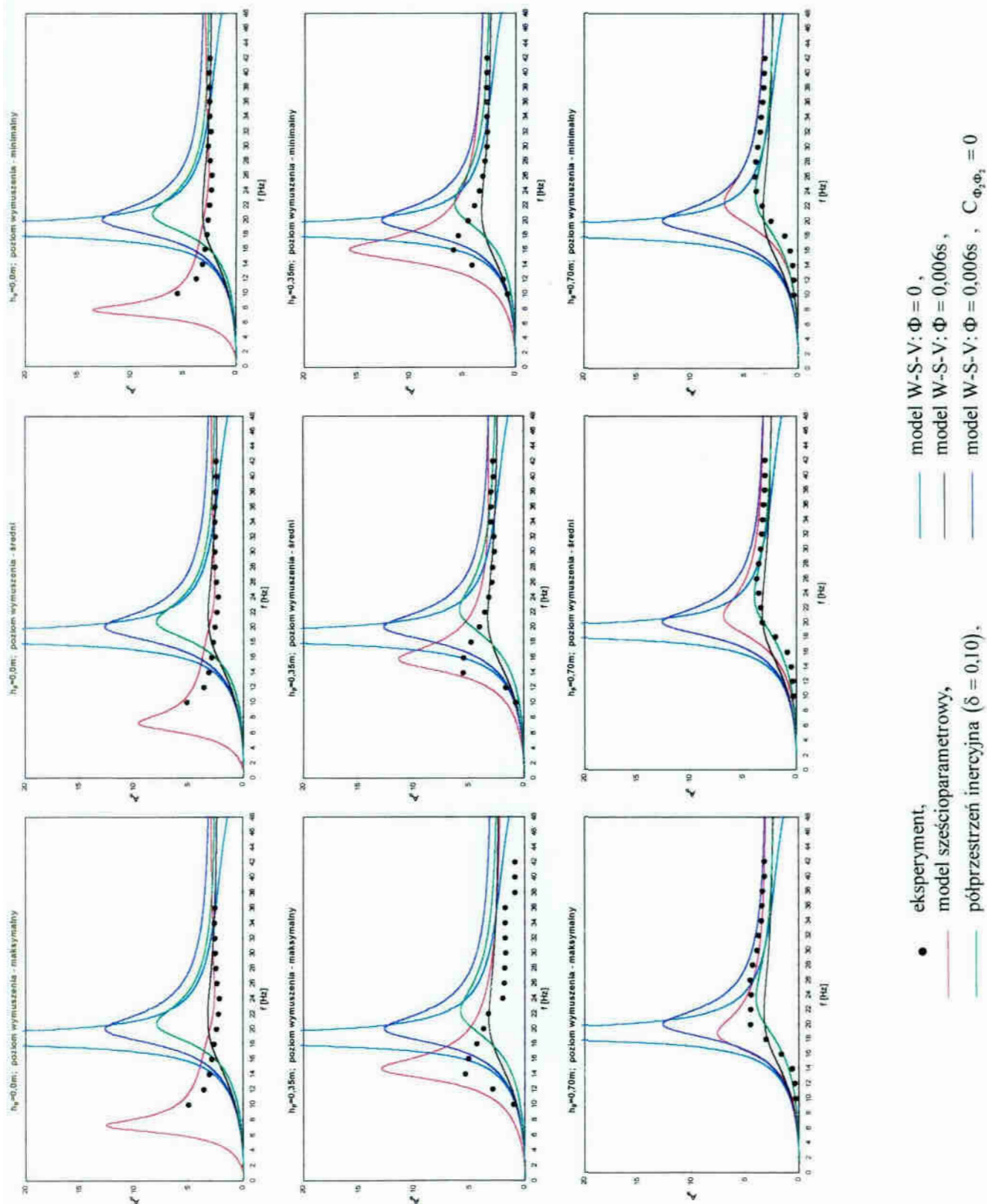
Rys. 4.3.23 Bezwymiarowe amplitudy przemieszczeń A_{ϕ} , fundament $1,2 \times 0,8 \times 0,7m$



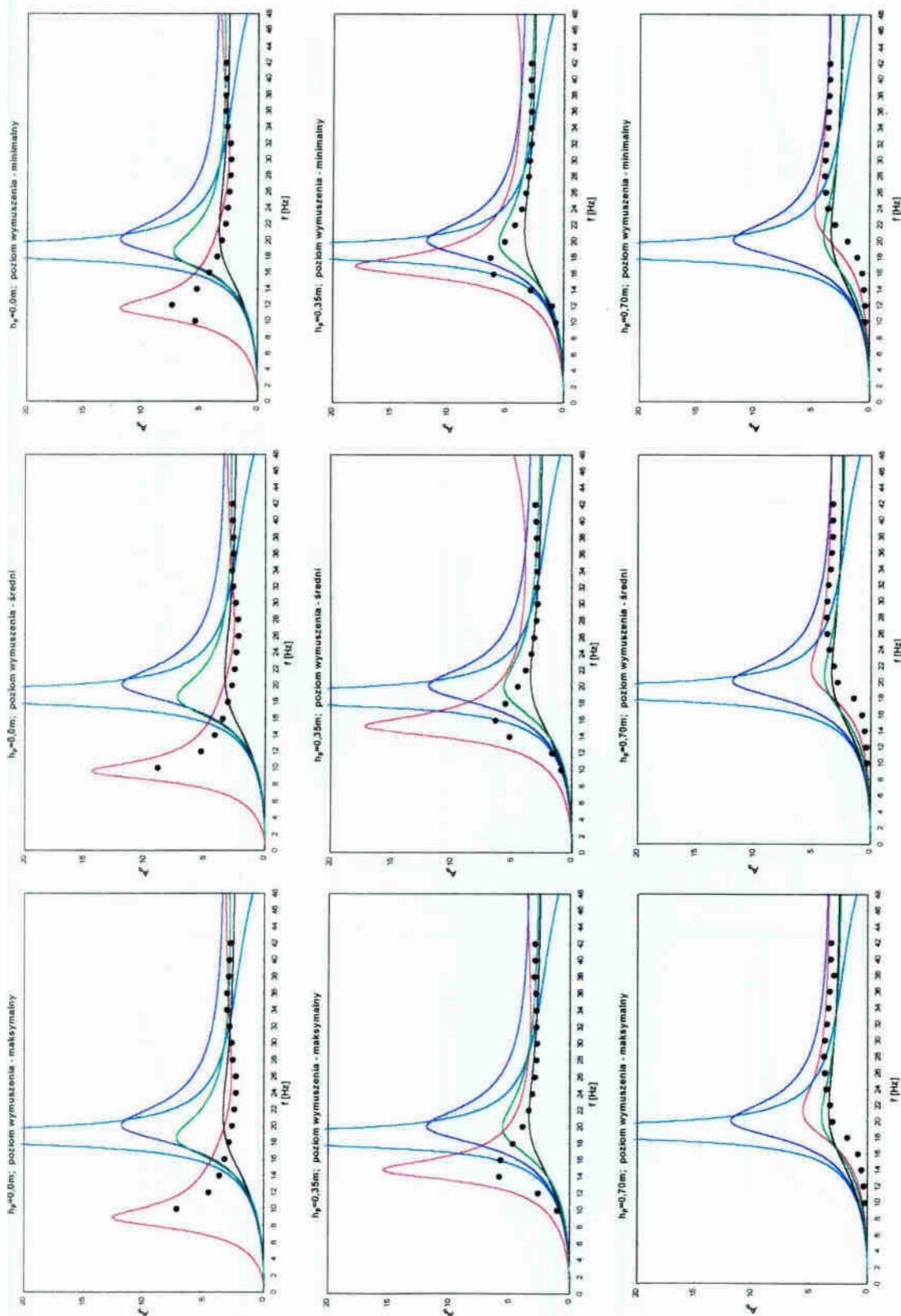
● eksperyment, — model W-S-V: $\Phi = 0$, — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),
 Rys. 4.3.24 Bezwymiarowe amplitudy przemieszczeń A_0 , fundament $LxBxH=1,6 \times 0,8 \times 0,7m$



• eksperyment, — model W-S-V: $\Phi = 0$, — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$,
 — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, $C_{\phi_2, \phi_3} = 0$
 Rys. 4.3.25 Bezwymiarowe amplitudy przemieszczeń A_h , fundament $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7m$

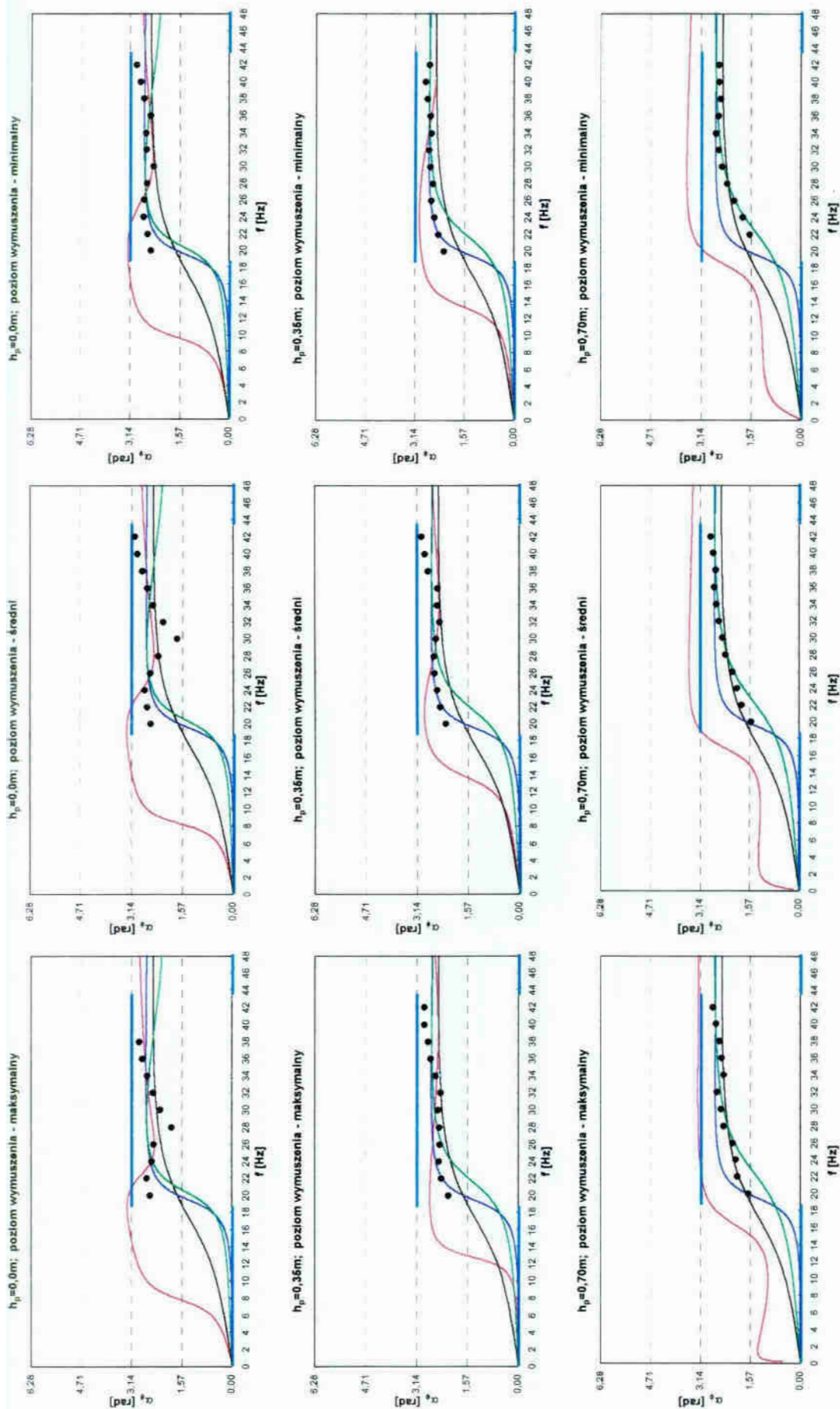


Rys. 4.3.26 Bezwymiarowe amplitudy przemieszczeń A_{η} , fundament $LxBxH=1,2 \times 0,8 \times 0,7m$



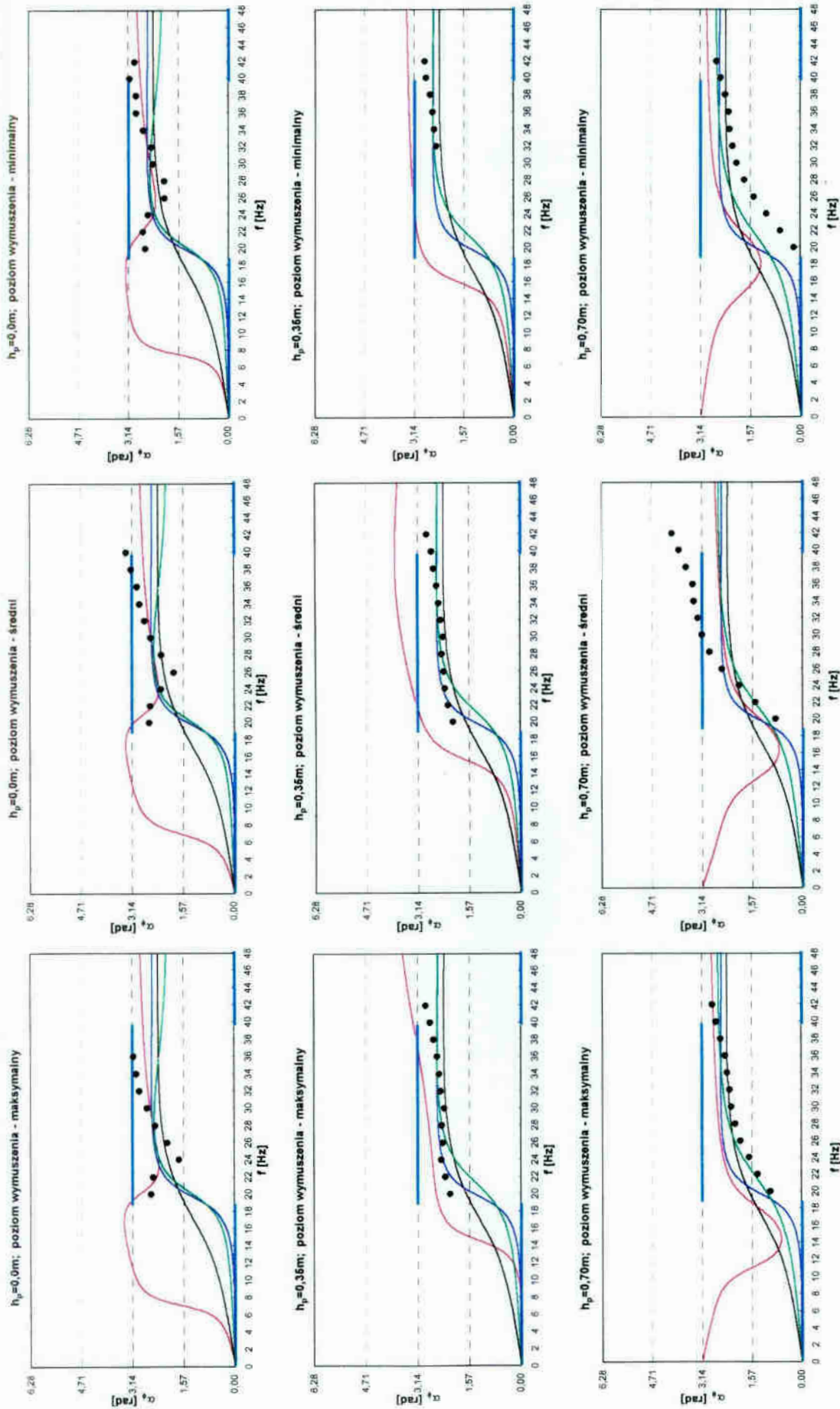
● eksperyment, — model W-S-V: $\Phi = 0$,
 — model sześcioparametrowy, — model W-S-V: $\Phi = 0.006s$,
 — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0.10$), — model W-S-V: $\Phi = 0.006s, C_{\phi, \phi} = 0$

Rys. 4.3.27 Bezwymiarowe amplitudy przemieszczeń A_h , fundament $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7m$



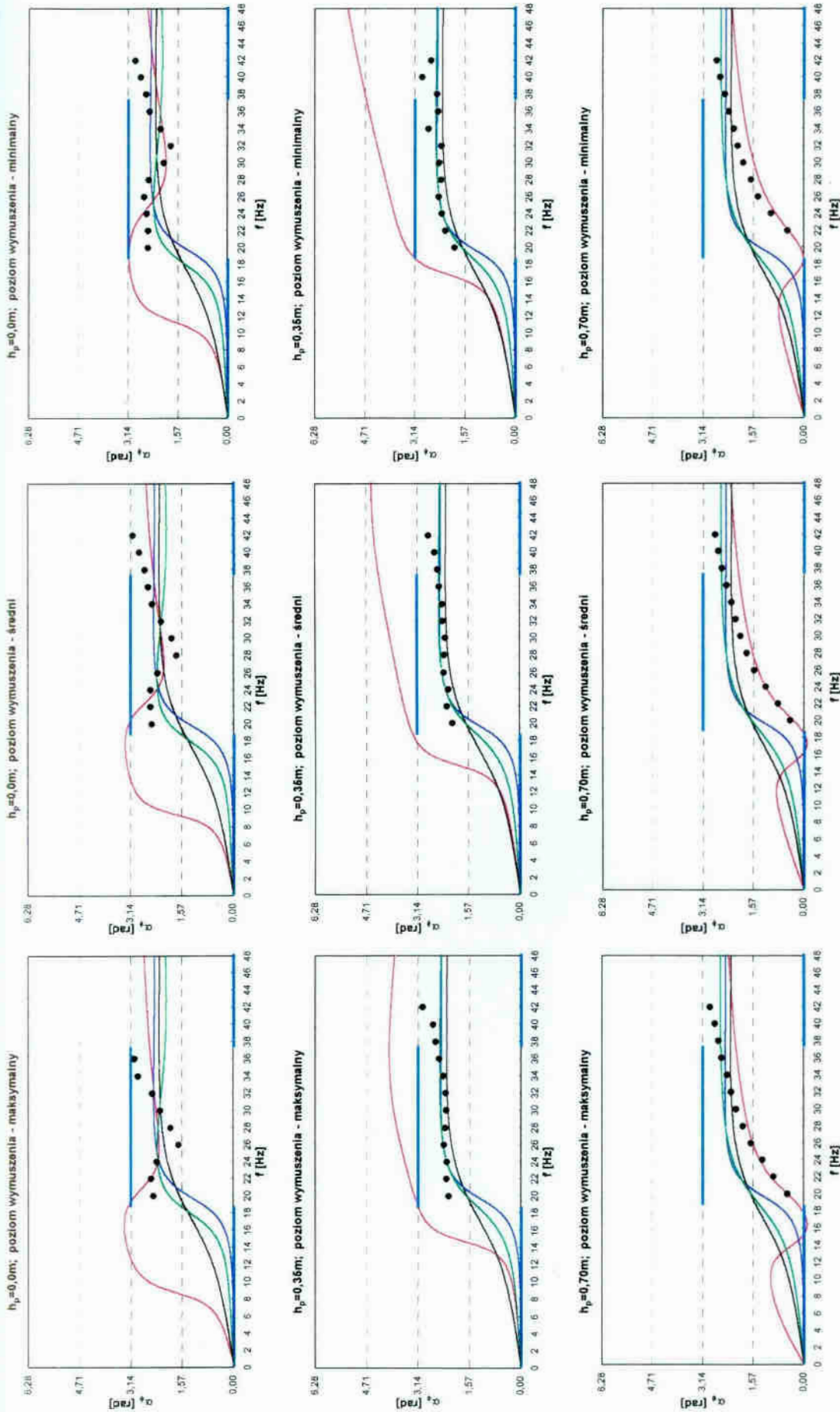
● eksperyment, model W-S-V: $\Phi = 0$,
 — model sześcioparametrowy, model W-S-V: $\Phi = 0,006s$,
 — półprzeźren inercyjna ($\delta = 0,10$), model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, $C_{\omega, \phi} = 0$

Rys. 4.3.28 Fazy drgań α_{ϕ} [rad], fundament $LxBxH=0,8 \times 0,8 \times 0,7m$



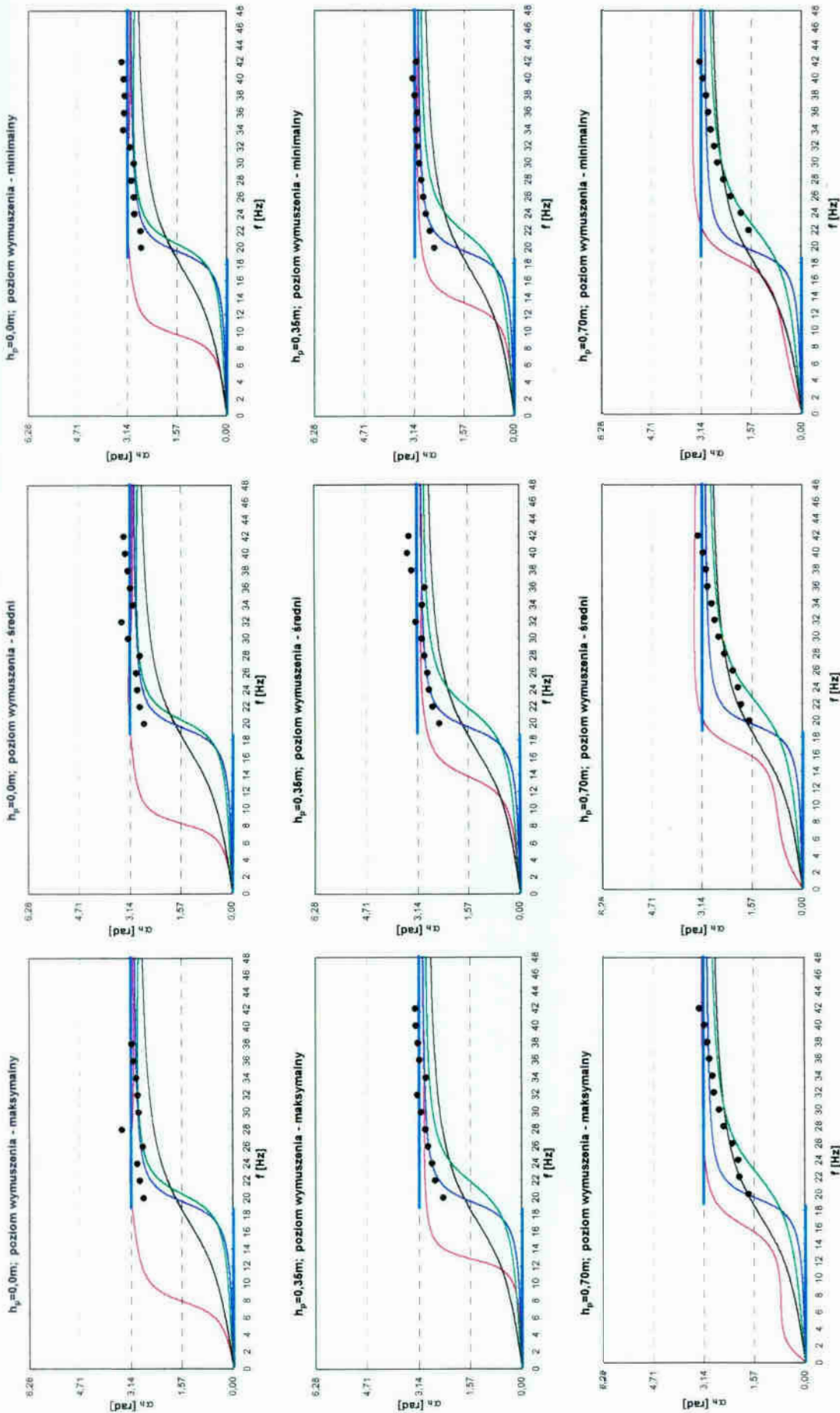
• eksperyment, model W-S-V: $\Phi = 0$,
 — model sześcioparametrowy, model W-S-V: $\Phi = 0,006s$,
 — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$), model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, $C_{\phi_1} = C_{\phi_2} = 0$

Rys. 4.3.29 Fazy drgań α_0 [rad], fundament $LxBxH=1,2 \times 0,8 \times 0,7m$



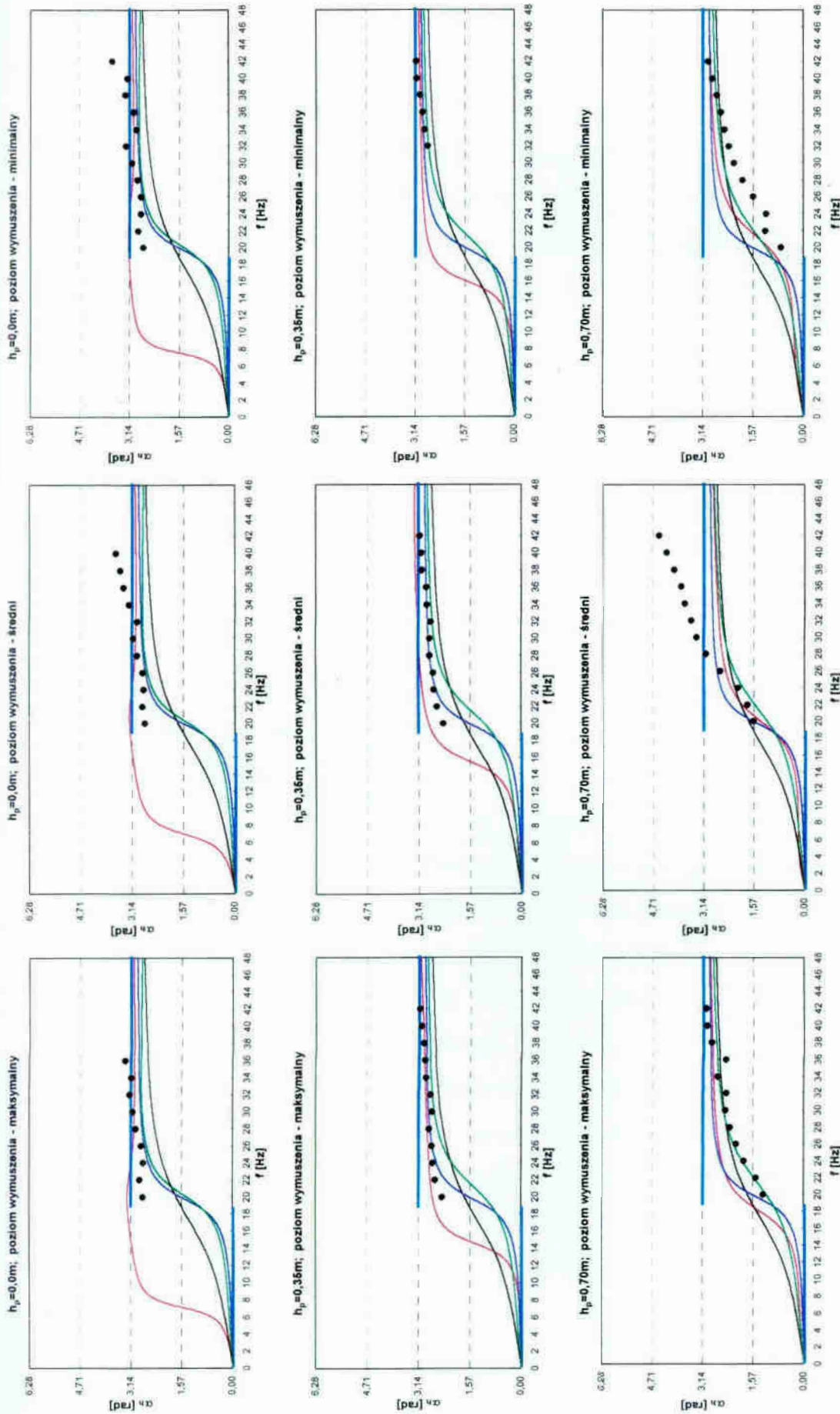
• eksperyment,
 — model sześcioparametrowy,
 — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),
 — model W-S-V: $\Phi = 0$,
 — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$,
 — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, $C_{\phi_2, \phi_3} = 0$

Rys. 4.3.30 Fazy drgań α_{ϕ} [rad], fundament $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7m$



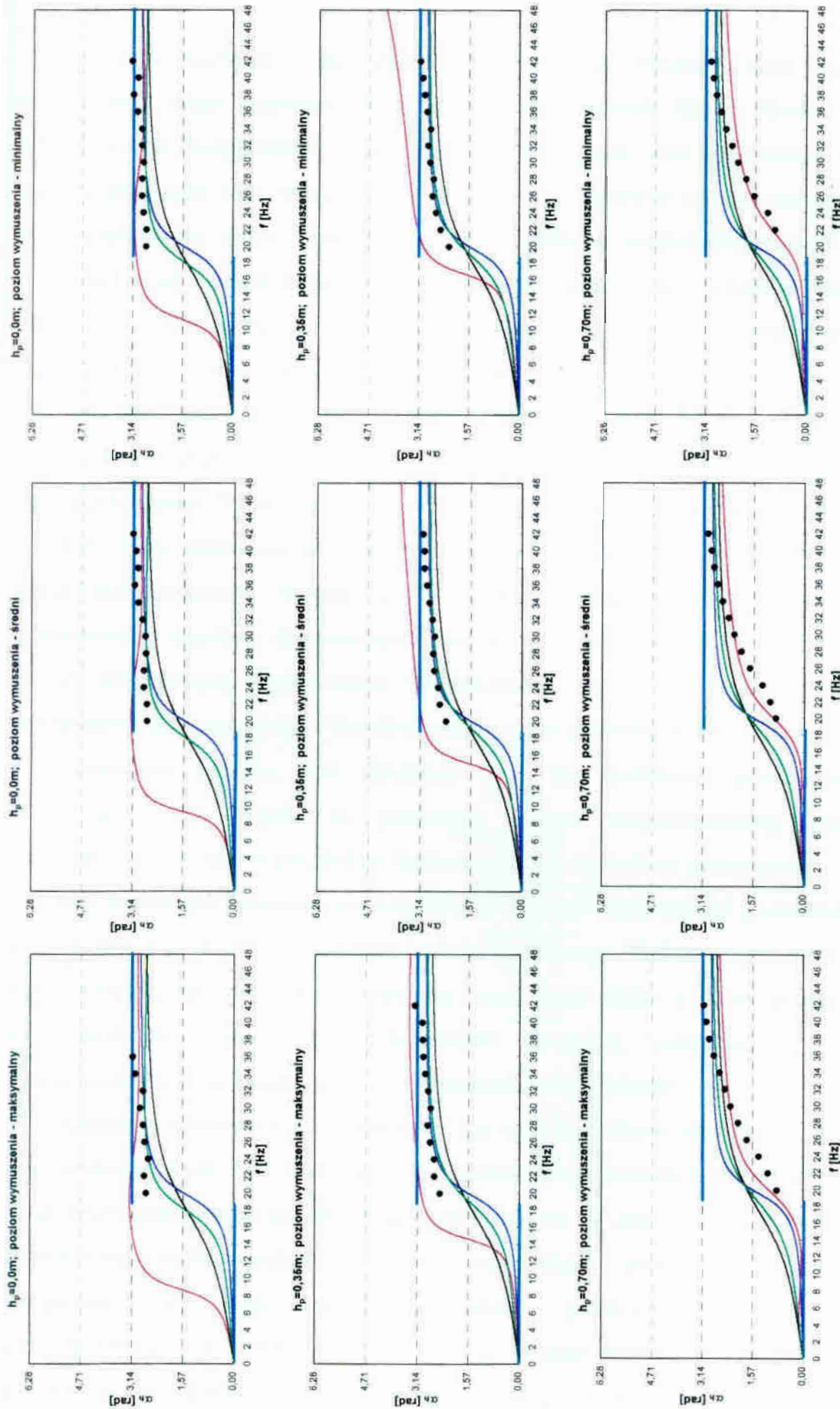
• eksperyment,
 — model szescioperametryowy,
 — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$),
 — model W-S-V: $\Phi = 0$,
 — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$,
 — model W-S-V: $\Phi = 0,006s, C_{\phi_i}\phi_i = 0$

Rys. 4.3.31 Fazy drgań α_h [rad], fundament $LxBxH=0,8 \times 0,8 \times 0,7m$



● eksperyment, model W-S-V: $\Phi = 0$,
 — model sześcioparametrowy, model W-S-V: $\Phi = 0,006s$,
 — półprzestrzeń inercyjna ($\delta = 0,10$), model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, $C_{\phi} \cdot \phi = 0$

Rys. 4.3.32 Fazy drgań α_h [rad], fundament $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7m$



- eksperyment,
- model sześcioparametrowy, — model W-S-V: $\Phi = 0$,
- — — — — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$,
- — — — — model W-S-V: $\Phi = 0,006s$, $C_{\phi_2} = 0$

Rys. 4.3.33 Fazy drgań α_h [rad], fundament $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7m$

. PODSUMOWANIE

. W pracy przedstawiono wyniki eksperymentalnych i teoretycznych badań zagadnienia stacjonarnych drgań pionowych oraz przesuwno-obrotowych bloków fundamentowych posadowionych bezpośrednio na niespoistym podłożu gruntowym. Porównania wyników eksperymentalnych oraz teoretycznych dokonano w szerokim paśmie częstości drgań z uwzględnieniem dwóch form drgań, trzech wielkości prostopadłościennych bloków fundamentowych, trzech poziomów posadowienia oraz trzech poziomów obciążenia. Zapewnia to wiarygodną weryfikację przedstawionych w pracy matematycznych modeli drgań bloków fundamentowych na podłożu gruntowym.

. Badania eksperymentalne przeprowadzono na stanowisku polowym, które charakteryzuje się łatwością montażu i demontażu prostopadłościennych bloków żelbetowych o znacznych wymiarach i masie. Źródłem drgań był wzbudnik typu bezwładnościowego ze sterowanym napędem, który generował pionową lub poziomą siłę harmonicznie zmienną w czasie. Stanowisko badawcze wyposażono w zestaw pomiarowy do wielokanałowego przetwarzania sygnałów dynamicznych oraz komputerowy moduł rejestracji i analizy danych pomiarowych. Rejestrowane wielokanałowo sygnały pochodziły z czujników przyspieszeń, przy czym jeden z kanałów pomiarowych przeznaczono do rejestracji sygnału z dodatkowego czujnika, tzw. detektora fazy. Ten dodatkowy pomiar umożliwił oszacowanie fazy drgań, co poszerzyło zakres eksperymentalnej weryfikacji matematycznych modeli drgań bloków fundamentowych na podłożu gruntowym.

Polowe stanowisko badawcze wykorzystano do zbadania dyspersji fali powierzchniowej, generowanej w gruncie przez drgający blok fundamentowy. Wykorzystując aproksymację średniokwadratową zależności dyspersyjnej oraz znane fakty z teorii propagacji fal w jednorodnej, izotropowej półprzestrzeni sprężystej, oszacowano zmienność dynamicznego modułu ścinania podłoża w zależności od głębokości.

W badaniach teoretycznych zastosowano trzy modele podłoża: dyskretny, kontynuálny oraz normowy. Dyskretne modele podłoża, zawierające minimalną liczbę parametrów dla danej formy drgań określono jako modele podstawowe. W pracy zastosowano dyskretny podstawowy model podłoża w zagadnieniu drgań pionowych bloku (model dwuparametrowy) oraz drgań złożonych przesuwno-obrotowych (model sześcioparametrowy). Można również tworzyć modele dyskretny o większej liczbie parametrów. Przykładem jest trójparametrowy model podłoża w zagadnieniu drgań

pionowych bloku. Dyskretne modele podłoża umożliwiają oszacowanie współczynników sztywności i tłumienia przez zastosowanie aproksymacji średniokwadratowej do eksperymentalnych amplitud drgań bloku. Dodatkowy pomiar fazy drgań pozwala na wyznaczenie dynamicznych parametrów podłoża przez rozwiązanie zagadnienia odwrotnego w przypadku drgań pionowych lub zredukowanego zagadnienia odwrotnego w przypadku drgań przesuwno-obrotowych. Wyznaczone różnymi metodami współczynniki sztywności i tłumienia podłoża tworzą bazę porównawczą dla parametrów prognozowanych przez kontynualny oraz normowy model podłoża.

Kontynualnym modelem podłoża gruntowego w zagadnieniu drgań bloku fundamentowego jest jednorodna, izotropowa półprzestrzeń sprężysta pod blokiem oraz niezależna warstwa sprężysta wokół bloku, o grubości równej głębokości zagłębienia. Jest to model podstawowy, który charakteryzuje się racjonalnym uwzględnieniem wielu istotnych czynników, mających wpływ na prognozę teoretyczną drgań układu fundament-podłoże, takich jak: częstość i postać drgań, wielkość i kształt pola podstawy bloku, tłumienie radiacyjne oraz tłumienie materiałowe. Właściwości jednorodnej, izotropowej półprzestrzeni sprężystej są w pełni określone przez moduł odkształcenia postaciowego G , współczynnik Poissona ν oraz gęstość ρ . Uwzględnienie tłumienia materiałowego wymaga dodatkowo przyjęcia wartości współczynnika tłumienia histerezy δ . Zasyпка wokół bloku reprezentowana jest przez niezależną warstwę inercyjnego ośrodka sprężystego w osiowosymetrycznym płaskim stanie odkształcenia. Materiał warstwy zasyпки charakteryzuje moduł ścinania G_s , współczynnik Poissona ν_s , gęstość ρ_s oraz współczynnik tłumienia histerezy δ_s . W zagadnieniu drgań bloku ośrodek składający się z półprzestrzeni i warstwy sprężystej reprezentowany jest przez zespoloną macierz sztywności, którą otrzymuje się, rozwiązując dynamiczne zagadnienie kontaktowe warstwa-blok-półprzestrzeń. Wyniki takich rozwiązań znane są w literaturze. Część rzeczywista zespolonej macierzy sztywności reprezentuje sztywność oraz inercyjne właściwości podłoża, część urojona podzielona przez częstość drgań jest macierzą tłumienia podłoża. Parametrem, którego wartość ma decydujący wpływ na jakość prognozowania drgań przez kontynualny model podłoża jest dynamiczny moduł ścinania jednorodnej, izotropowej półprzestrzeni sprężystej pod blokiem fundamentowym. Do ustalenia wartości modułu ścinania wykorzystano oszacowaną na podstawie badania pola falowego zależność modułu ścinania gruntu od głębokości, przyjmując, że głębokość odniesienia znajduje się

w odległości równej połowie szerokości bloku. Wartości pozostałych parametrów modelu kontynualnego ustalono na podstawie badań geotechnicznych lub przyjęto z literatury.

Charakterystyczne cechy prognozy drgań bloku wynikające ze stosowania podstawowego modelu kontynualnego to zaniżanie maksymalnych amplitud drgań oraz zawyżanie częstości rezonansowych (częstości drgań z amplitudą maksymalną). Zaniżanie maksymalnych amplitud drgań wynika z wysokiego poziomu tłumienia radiacyjnego w jednorodnej półprzestrzeni sprężystej. Redukcję tego tłumienia można uzyskać przez zastosowanie modelu niejednorodnej półprzestrzeni sprężystej. Inną możliwość stanowi odpowiednie przeskalowanie rozwiązań z modelu półprzestrzeni jednorodnej. Zawyżanie częstości rezonansowych świadczy o prognozowaniu większej sztywności podłoża przez model półprzestrzeni jednorodnej i wynika z pominięcia zależności dynamicznego modułu ścinania od amplitudy odkształceń postaciowych. Moduł ścinania gruntu zależy od wielu czynników, między innymi znacznie maleje ze wzrostem amplitudy odkształceń postaciowych.

Normowe ujęcie dynamicznych właściwości podłoża gruntowego prowadzi do prognozy drgań eksperymentalnych bloków fundamentowych, która jest niezadowolająca zarówno z punktu widzenia jakości, jak i niezawodności prognozowania. Podstawowe wady ujęcia normowego to diagonalna struktura macierzy sztywności, która może być akceptowana tylko dla fundamentów posadowionych na powierzchni gruntu, zawyżanie wartości współczynników sztywności, pomijanie inercyjnych właściwości podłoża gruntowego oraz zbyt uproszczone modelowanie zjawiska tłumienia drgań w ośrodku gruntowym.

4. UWAGI KOŃCOWE

Zastosowanie w praktyce inżynierskiej kontynualnego modelu podłoża gruntowego wymaga dalszych badań eksperymentalnych oraz teoretycznych. Konieczne jest powtórzenie badań polowych dla innych rodzajów gruntu przy stosowaniu zarówno symetrycznego, jak i niesymetrycznego obciążenia dynamicznego na eksperymentalne bloki fundamentowe.

1. Konieczne są badania teoretyczne, w których uwzględni się nieliniowe właściwości półnieskończonego wielofazowego ośrodka gruntowego. Na podstawie tych badań będzie można zaproponować procedurę ustalania parametrów w równoważnym modelu liniowym. Po eksperymentalnej weryfikacji tej procedury można oczekiwać poprawy zarówno jakości, jak i niezawodności prognozowania drgań bloków fundamentowych przy stosowaniu kontynualnego liniowo-odkształcalnego modelu podłoża gruntowego.

LITERATURA

- 1000 System, Instruction Manual, 1988, Instruments Division Measurements Group, Inc., USA
- Achenbach J. D., 1973, Wave propagation in elastic solids, North-Holland, Amsterdam
- Ahmad S., Israil A. S. M., Chen K., 1988, Comparison of dynamic stiffnesses of rigid square and rectangular foundations by DBEM and IBEM, *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.*, 12, 657-678
- Adeli H., Hejazi M. S., Keer L. M., Nemat-Nasser S., 1981, Dynamic response of foundations with arbitrary geometries, *J. Engng Mech. Div., ASCE*, 107, 953-967
- Barkan D. D., 1962, Dynamics of bases and foundations (translated from the Russian by J. Drashevskaja), McGraw-Hill, New York
- Bendat J.S., Piersol A.G., 1976, Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych, PWN, Warszawa
- Beredugo Y., Novak M., 1972, Coupled horizontal and rocking vibration of embedded footings, *Can. Geotech. J.*, 9, 477-497
- Betti R., 1994, An alternative formulation of the Substructure Deletion Method for the seismic analysis of embedded foundations, *Studies in Applied Mechanics* 35, G. Z. Voyiadjis, L. C. Bank, L. J. Jacobs (Editors), Mechanics of Materials and Structures, Elsevier, Amsterdam, 359-378
- Brandt S., 1976, Metody statystyczne i obliczeniowe analizy danych, PWN, Warszawa
- Chow Y. K., 1986, Simplified analysis of dynamic response of rigid foundations with arbitrary geometries, *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 14, 643-653
- Chow Y. K., 1987, Vertical vibration of three-dimensional rigid foundations on layered media, *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 15, 585-594
- Christensen R., 1971, Theory of viscoelasticity, Academic Press, New York
- Ciesielski R., Maciąg E., 1990, Drgania drogowe i ich wpływ na budynki, WKŁ, Warszawa
- Ciesielski R., Maciąg E., Tatara T., 1990, Eksperymentalne badania dynamicznej interakcji układu udynek-podłoże, *XLI Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB „KRYNICA'95”*, 3, 65-72
- Cough R. W., Penzien J., 1993, Dynamics of structures, McGraw-Hill, New York
- Collins W. D., 1962, The forced torsional oscillations of an elastic half-space and an elastic stratum, *Proc. London Math. Soc.*, 12, 226-244
- Dasgupta G., 1980, Foundation impedance matrices by substructure deletion, *J. Engng Mech. Div., ASCE*, 106, 17-523
- Dasgupta S. P., Kameswara Rao N. S., 1978, Dynamics of rectangular footings by finite elements, *J. Geotech. Engng Div., ASCE*, 104, 621-637
- Dasgupta S. P., Kameswara Rao N. S., 1979, Dynamic response of strip footings on elastic halfspace, *Int. Numer. Methods Engng*, 14, 1597-1612
- Dembiński M., 1999, Rezonans przejściowy fundamentu pilarki ramowej, *XLV Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB „KRYNICA'99”*, 1, 31-38
- Dominguez J., 1978, Dynamic stiffness of rectangular foundations, Report No.R78-20, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.

- ESA, Version 2.0, 1993, User's Manual, ESA Messtechnik GmbH, Germany
- Elorduy J., Nieto J. A., Szekely E. M., 1967, Dynamic response of bases of arbitrary shape subjected to periodic vertical loading, Proceedings of the International Symposium on Wave Propagation and Dynamic Properties of Earth Materials, University of New Mexico, Albuquerque, N. M., 105-121
- Falkowski J., 1988, Einfluß der Trägheitskräfte höherer Ordnung, Bautechnik, 5/1988, 164-167
- Falkowski J., 1991a, Doświadczalna analiza drgań własnych konstrukcji wsporczych pod maszyny, Monografia Wydziału Inżynierii Lądowej i Sanitarnej nr 36, Wyższa Szkoła Inżynierska w Koszalinie, Koszalin, 122 str
- Falkowski J., 1991b, Doświadczalna analiza drgań własnych konstrukcji wsporczych pod maszyny, VI symposium Wpływy Sejsmiczne i Parasejsmiczne na Budowle, Instytut Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej, listopad 1991, Kraków
- Falkowski J., Filipkowski J., 1986, O drganiach mechanicznych wywołanych pracą traków. Inz. Bud., 7/1986, 247-250
- Filipkowski J., Hryniewicz Z., Sienkiewicz Z., 1987, Problemy drgań fundamentów blokowych na podłożu gruntowym i zagadnienia falowe, Monografia Wydziału Inżynierii Lądowej i Sanitarnej nr 22, Wyższa Szkoła Inżynierska w Koszalinie, Koszalin, 1-269
- Filipkowski J., Sienkiewicz Z., 1988, Rozwiązanie numeryczne ustalonego pola falowego w dwuwymiarowym ośrodku lepkosprężystym, Mechanika i Komputer, 7, 1988, 71-86
- Filipkowski J., Sienkiewicz Z., 1990, Vertical vibration of rigid embedded foundations, Archiwum Inżynierii Lądowej, XXXVI, 331-350
- Filipkowski J., Sienkiewicz Z., 1995, Modeling of soil medium in design procedures for machine foundations, Zeszyt Naukowe Politechniki Gdańskiej Nr 522, Budownictwo Lądowe LI, 67-91
- Filipkowski J., Sienkiewicz Z., Nowakowski M., 1997, Urządzenie i system pomiarowy do badań dynamicznych bloków fundamentowych na podłożu gruntowym, VIII Symposium Wpływy Sejsmiczne i Parasejsmiczne na Budowle, Instytut Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej, Kraków, 125-132
- Filipkowski J., Sienkiewicz Z., Nowakowski M., 1998a, Field tests of vertical vibrations of foundation block, XVIII Symposium Vibrations in Physical Systems, Poznań-Błażejewko
- Filipkowski J., Sienkiewicz Z., Nowakowski M., 1998b, Experimental study of dynamic oil-block interaction by large-scale forced vibration test, XXXII Solid Mechanics Conference, wrzesień 1998, Zakopane
- Filipkowski J., Sienkiewicz Z., Nowakowski M., 1998c, Weryfikacja eksperymentalna drgań bloków fundamentowych współdziałających z podłożem gruntowym, XLIV Konferencja Naukowa KILiW PAN KN PZITB „KRYNICA '98”, 3, 79-86
- Filipkowski J., Sienkiewicz Z., Nowakowski M., 1998d, O dynamicznym współdziałaniu konstrukcji budowlanej z podłożem gruntowym, Zeszyt Naukowy Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska nr 13, Politechnika Koszalińska, Koszalin, 77-90
- Fung Y.C., 1969, Podstawy mechaniki ciała stałego, PWN, Warszawa
- Gaitanaros A. P., Karabalis D. L., 1988, Dynamic analysis of 3-D flexible embedded foundations by a frequency domain BEM-FEM, Earthquake Engng Struct. Dyn., 16, 653-674
- Gaul L., 1978, Dynamic interaction of a foundation with viscoelastic halfspace, Proc. Dyn. Methods in Soil and Rock Mech., A. A. Balkema, Rotterdam, 1, 167-183

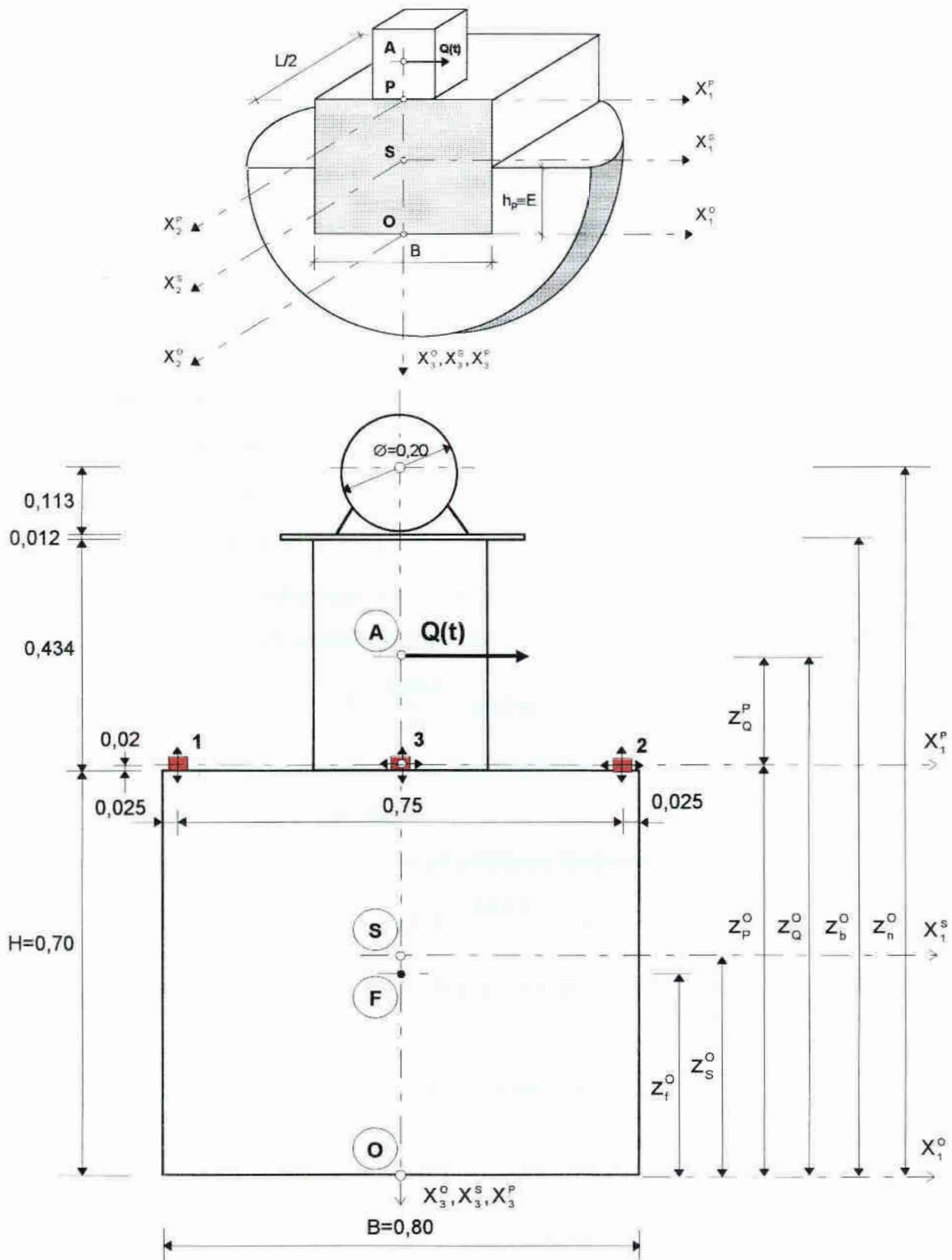
- Gazetas G., 1980, Static and dynamic displacements of foundations on heterogeneous multilayered soils, *Geotechnique*, 30, 159-177
- Gazetas G., 1981a, Strip foundations on a cross-anisotropic soil layer subjected to dynamic loading, *Geotechnique*, 31, 161-179
- Gazetas G., 1981b, Dynamic compliance matrix of rigid strip footing bonded to a viscoelastic cross anisotropic half-space, *Int. J. Mech. Sci.*, 23, 547-559
- Gazetas G., 1983, Analysis of machine foundation vibrations: state of the art, *Soil Dyn. Earthquake Engng.*, 2, 1, 2-42
- Gazetas G., Roësset M., 1979, Vertical vibrations of machine foundations, *J Geotech. Engng Div., ASCE*, 105, 1435-1454
- Gladwell G. M., 1968, Forced tangential and rotatory vibration of a rigid circular disc on a semi-infinite solid, *Int. J. Eng. Sci.*, 6, 591-607
- Glazer Z., 1985, *Mechanika gruntów*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa
- Hamidzadeh-Eraghi, Grootenhuis P., 1981, The dynamics of a rigid foundation on the surface of an elastic half-space, *Earthquake Engng Struc. Dyn.*, 9, 501-515
- Han Y., 1989, Coupled vibration of embedded foundation, *J. Geotech. Engng, ASCE*, 115, 1227-1238
- Hardin B. O., Drnevich V. P., 1972, Shear modulus and damping in soils: Design equations and curves, *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, Vol.98, No.7, 667-692
- Hardin B. O., Richart F. E., Jr., 1963, Elastic wave velocities in granular soils, *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, Vol.83, No.1, 33-65
- Hellwig Z., 1975, *Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej*, PWN, Warszawa
- Hryniewicz Z., 1980, Vibration of a rigid body on an elastic half-plane, *Comp. Meth. Appl. Mech. Engng*, 24, 113-123
- Hryniewicz Z., 1981, Dynamic response of a rigid strip on an elastic half-space, *Comp. Meth. Appl. Mech. Engng*, 25, 355-364
- Karasudhi P., Keer L. M., Lee S. L., 1968, Vibratory motion of a body on an elastic half plane, *J. Appl. Mech., ASME*, 35, 697-705
- Kisiel I., 1957, *Dynamika fundamentów pod maszyny*, PWN, Warszawa
- Krał L., 1974, *Elementy budownictwa przemysłowego*, PWN, Warszawa
- Langer J., Ruta P., 1989, Dynamiczne sztywności podłoża w zagadnieniu drgań fundamentu blokowego pod maszyny nieudarowe, *Rozprawy inżynierskie*, 37, 469-499
- Lamb H., 1904, On the propagation of tremors over the surface of an elastic solid, *Phil. Trans. Roy. Soc., London*, A203, 1-42
- Lipiński J., 1969, *Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyny*, Arkady, Warszawa
- Lipiński J., 1985, *Fundamenty pod maszyny*, Arkady, Warszawa
- Luco J. E., 1974, Impedance functions for a rigid foundation on a layered medium, *Nucl. Engng Design*, 31, 204-207

- Luco J. E., 1976, Vibrations of a rigid disc on a layered viscoelastic medium, Nucl. Engng Design, 36, 325-340
- Luco J. E., Westmann R. A., 1971, Dynamic response of circular footings, J. Engng Mech. Div., ASCE, 97, 1381-1395
- Luco J. E., Westmann R. A., 1972, Dynamic response of a rigid footing bonded to an elastic half-space, J. Appl. Mech., ASME, 39, 527-534
- Lyons R. G., 1999, Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Myrner J., 1965, Vertical motion of rigid footings, Report No. 3-115, Department of Civil Engineering, University of Michigan
- Myrner J., Kuhlemeyer R. L., 1969, Finite dynamic model for infinite media, J. Engng Mech. Div., ASCE, 95, 859-877
- Myrner J., Kuhlemeyer R. L., 1971, Finite dynamic model for infinite media, J. Engng Mech. Div., ASCE, 95, 859-977 (1969), Closure to discussions, 97, 129-131
- Major A., 1980, Dynamics in civil engineering. Analysis and design, Vols. I-IV, Akademiai Kiado, Budapest
- Mathcad. User's Guide Mathcad 6.0, 1991-1995, MathSoft Inc. 101 Main Street Cambridge, Massachusetts 02142 USA
- Nowacki W., 1963, Teoria pełzania, Arkady, Warszawa
- Novak M., Sachs K., 1973, Torsional and coupled vibrations of embedded footings, Earthquake Engng Struct. Dyn., 2, 11-33
- Żurawski E., 1985, Podstawy teoretyczne analizy widmowej sygnałów, PWN, Warszawa-Poznań
- PN-80/B-03040, Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyny, PKNMiJ, Warszawa 1980
- PN-81/B-03020, Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli, PKNMiJ, Warszawa 1981
- Prakash S., 1981, Soil dynamics, McGraw-Hill, New York
- Quinlan P. M., 1953, The elastic theory of soil dynamics, Symposium on Dynamic Testing of Soils, ASTM Special Technical Publication No. 156, 3-34
- Rücker W., 1982, Dynamic behaviour of rigid foundations of arbitrary shape on a halfspace, Earthquake Engng Struct. Dyn., 10, 675-690
- Rausch E., 1959, Maschinenfundamente und andere dynamisch beanspruchte Baukonstruktionen, VDI-Verlag GmbH, Dusseldorf
- Rausch E., Vol.1 1936, Vol.2 1940, Vol.3 1942, Maschinenfundamente und andere dynamische Bauaufgaben, VDI-Verlag GmbH, Berlin
- Reissner E., 1936, Stationary axially symmetrical vibration of a homogeneous elastic half space caused by a vibration mass, Ing. Archiv., 7, 381-396
- Richart F. E., Hall J. R., Woods R. D., 1970, Vibrations of soils and foundations, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

- Robertson I. A., 1966, Forced vertical vibration of a rigid circular disc on a semi-infinite elastic solid, Proc. Camb. Phil. Soc., 62, 547-553
- Lawinow O. A., 1955, Fundamenty pod maszyny. Osnovy projektowanija. Gos. Izd. Lit. po Stroitu i Arch., Leningrad-Moskwa
- Lawinow O. A., 1964, Sowremiennyje konstrukcii fundamentow pod masziny i ich rasczot, Strojizdat
- Lawinow O. A., 1972, Rasczot fundamentow pod masziny z dinamicieskimi nagruskami. Sprawocznik po dinamike sooruzenij. Strojizdat
- Lenkiewicz Z., 1984, Analiza numeryczna propagacji fal w dwuwymiarowym ośrodku lepkosprężystym, Praca doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 1984, 1-141
- Lenkiewicz Z., 1989, Dynamic response of 3-D rigid embedded foundations, IX Konf. Metody Komputerowe w Mechanice, Kraków-Rybro maj 1989, 985-992
- Lenkiewicz Z., 1992, Forced vibrations of rectangular foundations embedded in a half-space, Archives of Civil Engineering, XXXVIII, 35-58
- Lenkiewicz Z., 1993, Dynamic impedances of a weakly anelastic medium, Earthquake Engng Struct. Dyn., 22, 1009-1014
- Lenkiewicz Z., 1995, Drgania sztywnej bryły na liniowo-odkształcalnym podłożu, Monografia Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska nr 55, Wyższa Szkoła Inżynierska w Koszalinie, Koszalin, 221 str
- Lenkiewicz Z., Ingiciewicz R., Nowakowski M., Zagubień A., 1998, Urządzenia i systemy pomiarowe do badań konstrukcji inżynierskich i hałasu, Zeszyt Naukowy Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska nr 3, Politechnika Koszalińska, Koszalin, 91-104
- Lenkiewicz Z., Nowakowski M., 1998, Teoretyczne i eksperymentalne badania stacjonarnych drgań pionowych łoków fundamentowych na podłożu gruntowym, XVI Krajowa Konferencja Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania, „MIELNO'98”
- SNiP II-B.7-70, Fundamenty maszyn s dynamiczeskimi nagruskami. Normy projektowanija, Moskwa 1971
- Luong T. Y., 1953, Vibrations in semi-infinite solids due to periodic surface loadings, Symposium on Dynamic Testing of Soils. ASTM Special Technical Publication No.156, 35-64
- Triantafyllidis Th., 1986, Dynamic stiffness of rigid rectangular foundations on the half-space, Earthquake Engng Struct. Dyn., 14, 391-411
- Veletsos A. S, Tang Y., 1987, Vertical vibration of ring foundations, Earthquake Engng Struct. Dyn., 15, 1-21
- Veletsos A. S, Verbic B., 1973, Vibration of viscoelastic foundations, Earthquake Engng Struct. Dyn., 2, 87-102
- Veletsos A. S, Verbic B., 1974, Basic response functions for elastic foundations, J. Engng Mech. Div., ASCE, 100, 189-202
- Veletsos A. S, Wei Y. T., 1971, Lateral and rocking vibration of footings, J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, 7, 1227-1248
- Verno M.(red.), 1985, Podłoże gruntowe obciążone cyklicznie, WKŁ, Warszawa
- Vinkler E., 1867, Die Lehre von der Elastizität und Festigkeit, Dominicus, Prague
- Volf J. P., 1985, Dynamic soil-structure interaction, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

ZALĄCZNIK 1

Podstawowe wielkości charakteryzujące badane bloki fundamentowe oraz układy maszyna-fundament



Rys. Z.1. Dane geometryczne układu maszyna-fundament przy wzbudzeniu poziomym

Z.1. Blok fundamentowy $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7$ m**Z.1.1. Dane geometryczne:**

-) odległość środka masy fundamentu od jego podstawy

$$z_f^o = \frac{0,70}{2} = 0,35 \text{ m},$$

-) pole powierzchni podstawy fundamentu

$$F = 0,80 \cdot 0,80 = 0,64 \text{ m}^2,$$

-) momenty bezwładności pola podstawy fundamentu względem osi X_1^o i X_2^o oraz biegunowy moment bezwładności pola podstawy fundamentu

$$\bar{J}_{11}^o = \bar{J}_{22}^o = \frac{0,80^4}{12} = 0,034 \text{ m}^4, \quad \bar{J}_{33}^o = \bar{J}_{11}^o + \bar{J}_{22}^o = 0,068 \text{ m}^4.$$

Z.1.2. Urządzenia na fundamencie:

a) wzbudnik drgań (rysunki 1.3 i 1.4)

wymiary: $l \times b \times h = 28,4 \times 25,0 \times 43,4$ cm - wzbudzenie poziome,

wymiary: $l \times b \times h = 43,4 \times 25,0 \times 28,4$ cm - wzbudzenie pionowe,

-) masa wzbudnika $m_Q = 123,8$ kg,

-) odległość środka masy wzbudnika od podstawy fundamentu przy wzbudzeniu poziomym ($h = 43,4$ cm)

$$z_Q^o = 0,70 + \frac{0,434}{2} = 0,92 \text{ m},$$

b) płyta mocująca silnik do wzbudnika (grub. 0,012m)

-) masa płyty $m_b = 18,0$ kg,

-) odległość środka masy płyty od podstawy fundamentu

$$z_b^o = 0,70 + 0,434 + \frac{0,012}{2} = 1,14 \text{ m},$$

c) silnik elektryczny (gabaryty: $\phi = 0,20$ m, $l = 0,31$ m, $z_s' = 0,113$ m)

-) masa silnika $m_n = 32,8$ kg,

-) odległość środka masy silnika od podstawy fundamentu

$$z_n^o = 0,70 + 0,434 + 0,012 + 0,113 = 1,26 \text{ m}.$$

Z.1.3. Zestawienie mas:

-) masa bloku fundamentowego $m_f = 1050,0 \text{ kg}$,

-) masa urządzeń na fundamencie

$$m_u = m_Q + m_b + m_n = 123,8 + 18,0 + 32,8 = 174,6 \text{ kg},$$

-) masa całkowita układu maszyna-fundament

$$m = m_f + m_u = 1050,0 + 174,6 = 1224,6 \text{ kg}.$$

Z.1.4. Odległość środka masy układu maszyna-fundament od podstawy fundamentu

$$\begin{aligned} z_s^0 &= \frac{1}{m} (m_f \cdot z_f^0 + m_Q \cdot z_Q^0 + m_b \cdot z_b^0 + m_n \cdot z_n^0) = \\ &= \frac{1}{1224,6} (1050,0 \cdot 0,35 + 123,8 \cdot 0,92 + 18,0 \cdot 1,14 + 32,8 \cdot 1,26) = 0,444 \text{ m}. \end{aligned}$$

Z.1.5. Momenty bezwładności masy poszczególnych elementów układu maszyna-fundament względem płaszczyzn $X_1'X_2'$ przechodzących przez środki ciężkości tych elementów i równoległych do płaszczyzny $X_1^sX_2^s$:

-) fundament $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$

$$J_{r'2'}^f = m_f \cdot \frac{H^2}{12} = 1050,0 \cdot \frac{0,70^2}{12} = 42,88 \text{ kgm}^2,$$

-) wzbudnik (przy wzbudzeniu poziomym $H=43,4 \text{ cm}$)

$$J_{r'2'}^Q = m_Q \cdot \frac{H^2}{12} = 123,8 \cdot \frac{0,434^2}{12} = 1,94 \text{ kgm}^2,$$

-) płyta mocująca silnik (grub. $0,012 \text{ m}$)

$$J_{r'2'}^b = m_b \cdot \frac{g^2}{12} = 18,0 \cdot \frac{0,012^2}{12} \cong 0,$$

-) silnik ($d = \phi = 0,20 \text{ m}$)

$$J_{r'2'}^n = m_n \cdot \frac{d^2}{16} = 32,8 \cdot \frac{0,20^2}{16} = 0,08 \text{ kgm}^2.$$

Uwaga. Momenty bezwładności masy poszczególnych elementów układu maszyna-fundament względem płaszczyzn $X_2'X_3'$ są równe zero z uwagi na symetrię układu, zatem całkowity moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem płaszczyzny $X_2^sX_3^s$ jest również równy zero ($J_{23}^s = 0$).

Z.1.6. Momenty bezwładności masy poszczególnych elementów układu maszyna-fundament względem płaszczyzny $X_1^S X_2^S$:

-) fundament

$$J_{12}^{S,f} = J_{12'}^f + m_f \cdot (z_s^o - z_f^o)^2 = 42,88 + 1050,0 \cdot (0,444 - 0,35)^2 = 52,15 \text{ kgm}^2,$$

-) wzbudnik

$$J_{12}^{S,Q} = J_{12'}^Q + m_Q \cdot (z_Q^o - z_s^o)^2 = 1,94 + 123,8 \cdot (0,92 - 0,444)^2 = 29,99 \text{ kgm}^2,$$

-) płyta mocująca wzbudnik do silnika

$$J_{12}^{S,b} = J_{12'}^b + m_b \cdot (z_b^o - z_s^o)^2 = 0 + 18,0 \cdot (1,14 - 0,444)^2 = 8,72 \text{ kgm}^2,$$

-) silnik

$$J_{12}^{S,n} = J_{12'}^n + m_n \cdot (z_n^o - z_s^o)^2 = 0,08 + 32,8 \cdot (1,26 - 0,444)^2 = 21,84 \text{ kgm}^2.$$

Z.1.7. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem płaszczyzny $X_1^S X_2^S$

$$J_{12}^S = J_{12}^{S,f} + J_{12}^{S,Q} + J_{12}^{S,b} + J_{12}^{S,n} = 52,15 + 29,99 + 8,72 + 21,84 = 112,70 \text{ kgm}^2.$$

Z.1.8. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^S przechodzącej przez środek masy S

$$J_{22}^S = J_{12}^S + J_{23}^S = 112,70 + 0 = 112,70 \text{ kgm}^2.$$

Z.1.9. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^O przechodzącej przez środek podstawy fundamentu O

$$J_{22}^O = J_{22}^S + m \cdot (z_s^o)^2 = 112,70 + 1224,6 \cdot 0,444^2 = 354,11 \text{ kgm}^2.$$

Z.1.10. Promień bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^O

$$i_m^O = \sqrt{\frac{J_{22}^O}{m}} = \sqrt{\frac{354,11}{1224,6}} = 0,538 \text{ m}.$$

Z.1.11. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^P przechodzącej przez punkt P na powierzchni bloku fundamentowego

$$J_{22}^P = J_{22}^S + m \cdot (z_P^o - z_s^o)^2 = 112,70 + 1224,6 \cdot (0,72 - 0,444)^2 = 205,99 \text{ kgm}^2.$$

Z.1.12. Rzeczywisty nacisk fundamentu na grunt

$$p = \frac{Q_o}{F} = \frac{m \cdot g}{F} = \frac{1224,6 \cdot 9,81}{0,64} = 18,77 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \cong 0,019 \text{ MPa}.$$

Z.2. Blok fundamentowy $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7$ m**Z.2.1. Dane geometryczne:**

-) odległość środka masy fundamentu od jego podstawy

$$z_f^0 = \frac{0,70}{2} = 0,35 \text{ m},$$

-) pole powierzchni podstawy fundamentu

$$F = 1,20 \cdot 0,80 = 0,96 \text{ m}^2,$$

-) momenty bezwładności pola podstawy fundamentu względem osi X_1^0 i X_2^0 oraz biegunowy moment bezwładności pola podstawy fundamentu

$$\bar{J}_{11}^0 = \frac{0,80 \cdot 1,20^3}{12} = 0,115 \text{ m}^4, \quad \bar{J}_{22}^0 = \frac{1,20 \cdot 0,80^3}{12} = 0,051 \text{ m}^4, \quad \bar{J}_{33}^0 = \bar{J}_{11}^0 + \bar{J}_{22}^0 = 0,166 \text{ m}^4.$$

Z.2.2. Urządzenia na fundamencie - wg p.Z.1.2.**Z.2.3. Zestawienie mas:**

-) masa bloku fundamentowego $m_f = 1575,0 \text{ kg}$,

-) masa urządzeń na fundamencie $m_u = 174,6 \text{ kg}$ (wg p.Z.1.3),

-) masa całkowita układu maszyna-fundament

$$m = m_f + m_u = 1575,0 + 174,6 = 1749,6 \text{ kg}.$$

Z.2.4. Odległość środka masy układu maszyna-fundament od podstawy fundamentu

$$\begin{aligned} z_s^0 &= \frac{1}{m} (m_f \cdot z_f^0 + m_Q \cdot z_Q^0 + m_b \cdot z_b^0 + m_u \cdot z_u^0) = \\ &= \frac{1}{1749,6} (1575,0 \cdot 0,35 + 123,8 \cdot 0,92 + 18,0 \cdot 1,14 + 32,8 \cdot 1,26) = 0,416 \text{ m}. \end{aligned}$$

Z.2.5. Momenty bezwładności masy poszczególnych elementów układu maszyna-fundament

względem płaszczyzn $X_1'X_2'$ przechodzących przez środki ciężkości tych elementów

i równoległych do płaszczyzny $X_1^sX_2^s$ (wg p. Z.1.5):

-) fundament $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7$ m

$$J_{f'z'}^f = m_f \cdot \frac{H^2}{12} = 1575,0 \cdot \frac{0,70^2}{12} = 64,31 \text{ kgm}^2,$$

-) wzbudnik (przy wzbudzeniu poziomym $H=43,4$ cm)

$$J_{f'z'}^Q = 1,94 \text{ kgm}^2,$$

-) płyta mocująca silnik (grub. 0,012m) $J_{f'z'}^b \cong 0$,

-) silnik ($d \cong \phi = 0,20$ m) $J_{f'z'}^n = 0,08 \text{ kgm}^2$.

Z.2.6. Momenty bezwładności masy poszczególnych elementów układu maszyna-fundament względem płaszczyzny $X_1^S X_2^S$:

-) fundament

$$J_{12}^{S,f} = J_{12'}^f + m_f \cdot (z_s^0 - z_f^0)^2 = 64,31 + 1575,0 \cdot (0,416 - 0,35)^2 = 71,17 \text{ kgm}^2,$$

-) wzbudnik

$$J_{12}^{S,Q} = J_{12'}^Q + m_Q \cdot (z_Q^0 - z_s^0)^2 = 1,94 + 123,8 \cdot (0,92 - 0,416)^2 = 33,39 \text{ kgm}^2,$$

-) płyta mocująca wzbudnik do silnika

$$J_{12}^{S,b} = J_{12'}^b + m_b \cdot (z_b^0 - z_s^0)^2 = 0 + 18,0 \cdot (1,14 - 0,416)^2 = 9,44 \text{ kgm}^2,$$

-) silnik

$$J_{12}^{S,n} = J_{12'}^n + m_n \cdot (z_n^0 - z_s^0)^2 = 0,08 + 32,8 \cdot (1,26 - 0,416)^2 = 23,44 \text{ kgm}^2.$$

Z.2.7. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem płaszczyzny $X_1^S X_2^S$

$$J_{12}^S = J_{12}^{S,f} + J_{12}^{S,Q} + J_{12}^{S,b} + J_{12}^{S,n} = 71,17 + 33,39 + 9,44 + 23,44 = 137,44 \text{ kgm}^2.$$

Z.2.8. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^S przechodzącej przez środek masy S

$$J_{22}^S = J_{12}^S + J_{23}^S = 137,44 + 0 = 137,44 \text{ kgm}^2.$$

Z.2.9. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^O przechodzącej przez środek podstawy fundamentu O

$$J_{22}^O = J_{22}^S + m \cdot (z_s^0)^2 = 137,44 + 1749,6 \cdot 0,416^2 = 440,22 \text{ kgm}^2.$$

Z.2.10. Promień bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^O

$$i_m^O = \sqrt{\frac{J_{22}^O}{m}} = \sqrt{\frac{440,22}{1749,6}} = 0,502 \text{ m}.$$

Z.2.11. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^P przechodzącej przez punkt P na powierzchni bloku fundamentowego

$$J_{22}^P = J_{22}^S + m \cdot (z_P^0 - z_s^0)^2 = 137,44 + 1749,6 \cdot (0,72 - 0,416)^2 = 299,13 \text{ kgm}^2.$$

Z.2.12. Rzeczywisty nacisk fundamentu na grunt

$$p = \frac{Q_e}{F} = \frac{m \cdot g}{F'} = \frac{1749,6 \cdot 9,81}{0,96} = 17,88 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \cong 0,018 \text{ MPa}.$$

Z.3. Blok fundamentowy $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m

Z.3.1. Dane geometryczne:

-) odległość środka masy fundamentu od jego podstawy

$$z_f^o = \frac{0,70}{2} = 0,35 \text{ m},$$

-) pole powierzchni podstawy fundamentu

$$F = 1,60 \cdot 0,80 = 1,28 \text{ m}^2,$$

-) momenty bezwładności pola podstawy fundamentu względem osi X_1^o i X_2^o oraz biegunowy moment bezwładności pola podstawy fundamentu

$$\bar{J}_{11}^o = \frac{0,80 \cdot 1,60^3}{12} = 0,273 \text{ m}^4, \quad \bar{J}_{22}^o = \frac{1,60 \cdot 0,80^3}{12} = 0,068 \text{ m}^4,$$

$$\bar{J}_{33}^o = \bar{J}_{11}^o + \bar{J}_{22}^o = 0,341 \text{ m}^4.$$

Z.3.2. Urządzenia na fundamencie - wg p.Z.1.2.

Z.3.3. Zestawienie mas:

-) masa bloku fundamentowego $m_f = 2100,0 \text{ kg}$,

-) masa urządzeń na fundamencie $m_u = 174,6 \text{ kg}$ (wg p.Z.1.3),

-) masa całkowita układu maszyna-fundament

$$m = m_f + m_u = 2100,0 + 174,6 = 2274,6 \text{ kg}.$$

Z.3.4. Odległość środka masy układu maszyna-fundament od podstawy fundamentu

$$\begin{aligned} z_s^o &= \frac{1}{m} (m_f \cdot z_f^o + m_Q \cdot z_Q^o + m_b \cdot z_b^o + m_u \cdot z_u^o) = \\ &= \frac{1}{2274,6} (2100,0 \cdot 0,35 + 123,8 \cdot 0,92 + 18,0 \cdot 1,14 + 32,8 \cdot 1,26) = 0,400 \text{ m}. \end{aligned}$$

Z.3.5. Momenty bezwładności masy poszczególnych elementów układu maszyna-fundament względem płaszczyzn $X_1^s X_2^s$ przechodzących przez środki ciężkości tych elementów i równoległych do płaszczyzny $X_1^s X_2^s$ (wg p. Z.1.5):

-) fundament $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7$ m

$$J_{r'z'}^f = m_f \cdot \frac{H^2}{12} = 2100,0 \cdot \frac{0,70^2}{12} = 85,75 \text{ kgm}^2,$$

-) wzbudnik (przy wzbudzeniu poziomym $H=43,4 \text{ cm}$) $J_{r'z'}^Q = 1,94 \text{ kgm}^2$,

-) płyta mocująca silnik (grub. $0,012 \text{ m}$) $J_{r'z'}^b \cong 0$,

-) silnik ($d \equiv \phi = 0,20 \text{ m}$) $J_{r'z'}^a = 0,08 \text{ kgm}^2$.

Z.3.6. Momenty bezwładności masy poszczególnych elementów układu maszyna-fundament względem płaszczyzny $X_1^s X_2^s$:

-) fundament

$$J_{12}^{s,f} = J_{r2'}^f + m_f \cdot (z_s^o - z_f^o)^2 = 85,75 + 2100,0 \cdot (0,400 - 0,35)^2 = 91,00 \text{ kgm}^2,$$

-) wzbudnik

$$J_{12}^{s,Q} = J_{r2'}^Q + m_Q \cdot (z_Q^o - z_s^o)^2 = 1,94 + 123,8 \cdot (0,92 - 0,400)^2 = 35,42 \text{ kgm}^2,$$

-) płyta mocująca wzbudnik do silnika

$$J_{12}^{s,b} = J_{r2'}^b + m_b \cdot (z_b^o - z_s^o)^2 = 0 + 18,0 \cdot (1,14 - 0,400)^2 = 9,86 \text{ kgm}^2,$$

-) silnik

$$J_{12}^{s,n} = J_{r2'}^n + m_n \cdot (z_n^o - z_s^o)^2 = 0,08 + 32,8 \cdot (1,26 - 0,400)^2 = 24,34 \text{ kgm}^2.$$

Z.3.7. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem płaszczyzny $X_1^s X_2^s$

$$J_{12}^s = J_{12}^{s,f} + J_{12}^{s,Q} + J_{12}^{s,b} + J_{12}^{s,n} = 91,00 + 35,42 + 9,86 + 24,34 = 160,62 \text{ kgm}^2.$$

Z.3.8. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^s przechodzącej przez środek masy S

$$J_{22}^s = J_{12}^s + J_{23}^s = 160,62 + 0 = 160,62 \text{ kgm}^2.$$

Z.3.9. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^o przechodzącej przez środek podstawy fundamentu O

$$J_{22}^o = J_{22}^s + m \cdot (z_s^o)^2 = 160,62 + 2274,6 \cdot 0,400^2 = 524,56 \text{ kgm}^2.$$

Z.3.10. Promień bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^o

$$i_m^o = \sqrt{\frac{J_{22}^o}{m}} = \sqrt{\frac{524,56}{2274,6}} = 0,480 \text{ m}.$$

Z.3.11. Moment bezwładności masy układu maszyna-fundament względem osi X_2^p przechodzącej przez punkt P na powierzchni bloku fundamentowego

$$J_{22}^p = J_{22}^s + m \cdot (z_p^o - z_s^o)^2 = 160,62 + 2274,6 \cdot (0,72 - 0,400)^2 = 393,54 \text{ kgm}^2.$$

Z.3.12. Rzeczywisty nacisk fundamentu na grunt

$$p = \frac{Q_c}{F} = \frac{m \cdot g}{F} = \frac{2274,6 \cdot 9,81}{1,28} = 17,43 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \cong 0,017 \text{ MPa}.$$

Tablica Z.1 Podstawowe wielkości charakteryzujące badane bloki fundamentowe oraz układy maszyna-fundament (m-f)

Wielkość	Fundament L×B×H [m]		
	0,8 × 0,8 × 0,7	1,2 × 0,8 × 0,7	1,6 × 0,8 × 0,7
Masa bloku fundamentowego m_f [kg]	1050	1575	2100
Masa układu maszyna-fundament m [kg]	1224,6	1749,6	2274,6
Pole powierzchni podstawy bloku F [m ²]	0,64	0,96	1,28
Moment bezwładności pola podst. \bar{J}_{11}^O [m ⁴]	0,034	0,115	0,273
Moment bezwładności pola podst. \bar{J}_{22}^O [m ⁴]	0,034	0,051	0,068
Moment bezwładności pola podst. \bar{J}_{33}^O [m ⁴]	0,068	0,166	0,341
Odległość środka masy układu maszyna-fundament z_s^O [m] względem podstawy (przy wzbudzeniu poziomym)	0,444	0,416	0,400
Odległość punktów pomiarowych na powierzchni bloku z_p^O [m] względem podstawy	0,720	0,720	0,720
Odległość środka masy wzbudnika z_Q^P [m] od punktów pomiarowych (przy wzbudzeniu poziomym)	0,197	0,197	0,197
Odległość środka masy wzbudnika z_Q^O [m] względem podstawy (przy wzbudzeniu poziomym)	0,917	0,917	0,917
Masowy moment bezwładności J_{22}^S [kgm ²] układu maszyna-fundament względem osi X_2^S , przechodzącej przez środek masy S	112,70	137,44	160,62
Masowy moment bezwładności J_{22}^O [kgm ²] układu maszyna-fundament względem osi X_2^O , przechodzącej przez środek O podstawy bloku	354,11	440,22	524,56
Promień bezwładności masy i_m^O [m] układu maszyna-fundament względem osi X_2^O	0,538	0,502	0,480
Masowy moment bezwładności J_{22}^P [kgm ²] układu maszyna-fundament względem osi X_2^P , przechodzącej przez punkt P na powierzchni bloku	205,99	299,13	393,54
Statyczny nacisk fundamentu na grunt, p [MPa]	0,019	0,018	0,017

ZALĄCZNIK 2

Wyniki badań

Z2.1. Drgania pionowe

Tablica Z2.1 Amplitudy przyspieszeń drgań $\ddot{A}_v = \ddot{A}_{sv}$ w ruchu pionowym bloków fundamentowych

f [Hz]	\ddot{A}_v [m/s ²]								
	A/80/Vmax	A/80/Vsr	A/80/Vmin	B/80/Vmax	B/80/Vsr	B/80/Vmin	C/80/Vmax	C/80/Vsr	C/80/Vmin
10	0,1367	0,1600	0,1167	0,1200	0,1033	0,0800	0,1200	0,0967	0,1067
12	0,2067	0,2033	0,1533	0,1933	0,1600	0,1300	0,1567	0,1433	0,1067
14	0,3700	0,3200	0,2200	0,3000	0,2367	0,1767	0,2233	0,1900	0,1367
16	0,9067	0,6333	0,4067	0,5400	0,4100	0,2800	0,3867	0,2900	0,2000
18	1,8167	1,2400	0,8000	1,1500	0,7767	0,4833	0,7367	0,4933	0,3367
20	3,1367	2,4833	1,4733	2,2733	1,5700	0,8333	1,5167	0,8967	0,5767
22	7,5300	4,4600	2,9500	4,6700	3,0733	1,5833	3,2767	1,8033	1,0267
24	14,4400	10,3733	6,2500	6,8067	6,0833	3,1033	6,6567	3,5867	1,7967
26	14,9833	11,7400	8,6367	10,0933	7,0533	6,0567	10,5500	6,6100	3,2267
28	14,7967	11,6133	8,6033	15,6033	11,0500	6,6533	13,1100	9,3200	5,6333
30	15,3200	12,0433	8,8667	16,7967	13,8533	8,7600	15,3200	11,5867	7,7600
32	16,3800	13,0433	9,6933	17,2667	14,4833	9,6233	16,9200	13,1400	9,3000
34	16,9733	13,5700	10,2467	18,3900	15,4100	10,4067	19,1400	14,9100	10,5867
36	17,8000	14,1833	10,5467	19,7867	16,4800	11,1367	21,0733	16,8033	12,3367
38	19,1533	15,2800	11,1167	21,3467	17,9200	12,0967	22,2300	18,0700	14,0133
40	20,8300	16,6167	12,0767	22,8100	19,1267	13,0700	23,7200	19,3500	15,1367
42	22,2100	18,0033	13,1067	24,3900	20,5233	14,1267	25,3900	20,5800	16,0300
f [Hz]	\ddot{A}_v [m/s ²]								
	A/120/Vmax	A/120/Vsr	A/120/Vmin	B/120/Vmax	B/120/Vsr	B/120/Vmin	C/120/Vmax	C/120/Vsr	C/120/Vmin
10	0,1000	0,0700	0,0700	0,0833	0,0633	0,0600	0,0667	0,0600	0,0567
12	0,1700	0,1300	0,1033	0,1167	0,1033	0,0867	0,0933	0,0900	0,0833
14	0,3200	0,2300	0,1433	0,1933	0,1600	0,1167	0,1433	0,1267	0,1033
16	0,7033	0,5133	0,3533	0,3267	0,2733	0,1867	0,2333	0,2000	0,1500
18	1,4033	0,9933	0,6433	0,6067	0,4900	0,3133	0,4133	0,3233	0,2267
20	2,5833	1,9000	1,2767	1,1933	0,8833	0,5233	0,7033	0,5300	0,3600
22	4,7300	3,4600	2,7200	2,2067	1,6633	0,9133	1,2967	0,9133	0,6000
24	10,0333	7,4433	4,3167	4,0800	3,0600	1,6233	2,3200	1,6100	0,9933
26	11,4233	8,4767	6,5233	6,6700	5,2700	2,8700	3,2933	2,6300	1,6133
28	10,2133	8,3200	6,5300	7,5933	7,0267	4,4033	5,5367	3,8600	2,3967
30	10,3667	8,3100	6,4267	9,0800	7,2000	5,5200	7,3500	5,2633	3,2500
32	11,1350	9,1000	6,9633	12,4833	8,1533	6,1500	8,8767	6,5000	4,3300
34	11,5750	9,6233	7,4900	13,6933	9,1433	6,7167	10,0167	7,5600	5,1333
36	12,2150	10,1567	7,9900	14,7400	10,6067	7,4967	11,8067	8,8633	6,0500
38	13,1300	10,6967	8,4600	15,5667	11,9633	8,2567	13,2833	10,1467	7,0433
40	14,2950	11,5067	9,1667	16,3067	12,8133	9,4033	14,4867	11,2933	8,0500
42	15,5450	12,0367	9,7733	17,0700	13,5800	9,9800	15,7633	12,3433	8,8500
f [Hz]	\ddot{A}_v [m/s ²]								
	A/160/Vmax	A/160/Vsr	A/160/Vmin	B/160/Vmax	B/160/Vsr	B/160/Vmin	C/160/Vmax	C/160/Vsr	C/160/Vmin
10	0,0867	0,0733	0,0600	0,0700	0,0767	0,0800	0,0600	0,0533	0,0500
12	0,1867	0,1267	0,0900	0,1233	0,1000	0,0967	0,0800	0,0833	0,0633
14	0,2733	0,2100	0,1467	0,2167	0,1567	0,1333	0,1267	0,1100	0,0867
16	0,5533	0,4033	0,2700	0,4200	0,2633	0,2233	0,2067	0,1667	0,1267
18	1,1667	0,8100	0,5067	0,7833	0,4667	0,3700	0,3467	0,2567	0,1933
20	2,9233	1,7133	0,9900	1,4400	0,8800	0,6233	0,5667	0,4067	0,2867
22	3,9733	2,8600	2,0333	2,7933	1,6700	1,1033	0,9867	0,6867	0,4533
24	7,4667	5,6533	3,8100	5,0167	3,0533	2,0333	1,6933	1,1267	0,7033
26	7,5000	5,8833	4,4300	6,8400	4,4033	3,1767	2,7033	1,7900	1,1067
28	7,2667	5,7033	4,3200	7,7800	5,2567	3,9733	3,8000	2,6100	1,6667
30	7,5067	5,9167	4,4100	8,0333	5,8000	4,4867	5,0100	3,4133	2,1933
32	7,9700	6,2567	4,7733	8,4967	6,6233	5,0467	6,2100	4,3367	2,9100
34	8,8767	6,5967	5,0633	9,2633	7,0733	5,4700	7,5367	5,3567	3,5533
36	9,8867	6,9567	5,3633	9,7600	7,3567	5,6533	8,7300	6,5133	4,4400
38	10,7533	7,4900	5,6967	9,8267	7,5167	5,7833	9,5200	7,4300	5,2233
40	11,4633	7,9500	6,0100	10,4467	7,6167	5,8300	10,3500	8,0900	5,8467
42	13,0333	8,5800	6,3300	12,5967	7,8067	5,8967	11,4467	8,8100	6,3033

Tablica Z2.2 Amplitudy drgań A_v w ruchu pionowym bloków fundamentowych

f [Hz]	Amplitudy drgań A_v [m]; Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 m								
	A/80/vmax	A/80/vśr	A/80/vmin	B/80/vmax	B/80/vśr	B/80/vmin	C/80/vmax	C/80/vśr	C/80/vmin
10	3,46E-05	4,05E-05	2,96E-05	3,04E-05	2,62E-05	2,03E-05	3,04E-05	2,45E-05	2,70E-05
12	3,64E-05	3,58E-05	2,70E-05	3,40E-05	2,81E-05	2,29E-05	2,76E-05	2,52E-05	1,88E-05
14	4,78E-05	4,14E-05	2,84E-05	3,88E-05	3,06E-05	2,28E-05	2,89E-05	2,46E-05	1,77E-05
16	8,97E-05	6,27E-05	4,02E-05	5,34E-05	4,06E-05	2,77E-05	3,83E-05	2,87E-05	1,98E-05
18	1,42E-04	9,69E-05	6,25E-05	8,99E-05	6,07E-05	3,78E-05	5,76E-05	3,86E-05	2,63E-05
20	1,99E-04	1,57E-04	9,33E-05	1,44E-04	9,94E-05	5,28E-05	9,60E-05	5,68E-05	3,65E-05
22	3,94E-04	2,33E-04	1,54E-04	2,44E-04	1,61E-04	8,29E-05	1,71E-04	9,44E-05	5,37E-05
24	6,35E-04	4,56E-04	2,75E-04	2,99E-04	2,68E-04	1,36E-04	2,93E-04	1,58E-04	7,90E-05
26	5,61E-04	4,40E-04	3,24E-04	3,78E-04	2,64E-04	2,27E-04	3,95E-04	2,48E-04	1,21E-04
28	4,78E-04	3,75E-04	2,78E-04	5,04E-04	3,57E-04	2,15E-04	4,24E-04	3,01E-04	1,82E-04
30	4,31E-04	3,39E-04	2,50E-04	4,73E-04	3,90E-04	2,47E-04	4,31E-04	3,26E-04	2,18E-04
32	4,05E-04	3,23E-04	2,40E-04	4,27E-04	3,58E-04	2,38E-04	4,19E-04	3,25E-04	2,30E-04
34	3,72E-04	2,97E-04	2,25E-04	4,03E-04	3,38E-04	2,28E-04	4,19E-04	3,27E-04	2,32E-04
36	3,48E-04	2,77E-04	2,06E-04	3,87E-04	3,22E-04	2,18E-04	4,12E-04	3,28E-04	2,41E-04
38	3,36E-04	2,68E-04	1,95E-04	3,74E-04	3,14E-04	2,12E-04	3,90E-04	3,17E-04	2,46E-04
40	3,30E-04	2,63E-04	1,91E-04	3,61E-04	3,03E-04	2,07E-04	3,76E-04	3,06E-04	2,40E-04
42	3,19E-04	2,59E-04	1,88E-04	3,50E-04	2,95E-04	2,03E-04	3,65E-04	2,96E-04	2,30E-04
f [Hz]	Amplitudy drgań A_v [m]; Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 m								
	A/120/vmax	A/120/vśr	A/120/vmin	B/120/vmax	B/120/vśr	B/120/vmin	C/120/vmax	C/120/vśr	C/120/vmin
10	2,53E-05	1,77E-05	1,77E-05	2,11E-05	1,60E-05	1,52E-05	1,69E-05	1,52E-05	1,44E-05
12	2,99E-05	2,29E-05	1,82E-05	2,05E-05	1,82E-05	1,52E-05	1,64E-05	1,58E-05	1,47E-05
14	4,14E-05	2,97E-05	1,85E-05	2,50E-05	2,07E-05	1,51E-05	1,85E-05	1,64E-05	1,34E-05
16	6,96E-05	5,08E-05	3,50E-05	3,23E-05	2,70E-05	1,85E-05	2,31E-05	1,98E-05	1,48E-05
18	1,10E-04	7,77E-05	5,03E-05	4,74E-05	3,83E-05	2,45E-05	3,23E-05	2,53E-05	1,77E-05
20	1,64E-04	1,20E-04	8,08E-05	7,56E-05	5,59E-05	3,31E-05	4,45E-05	3,36E-05	2,28E-05
22	2,48E-04	1,81E-04	1,42E-04	1,15E-04	8,71E-05	4,78E-05	6,79E-05	4,78E-05	3,14E-05
24	4,41E-04	3,27E-04	1,90E-04	1,79E-04	1,35E-04	7,14E-05	1,02E-04	7,08E-05	4,37E-05
26	4,28E-04	3,18E-04	2,44E-04	2,50E-04	1,97E-04	1,08E-04	1,23E-04	9,85E-05	6,05E-05
28	3,30E-04	2,69E-04	2,11E-04	2,45E-04	2,27E-04	1,42E-04	1,79E-04	1,25E-04	7,74E-05
30	2,92E-04	2,34E-04	1,81E-04	2,56E-04	2,03E-04	1,55E-04	2,07E-04	1,48E-04	9,15E-05
32	2,75E-04	2,25E-04	1,72E-04	3,09E-04	2,02E-04	1,52E-04	2,20E-04	1,61E-04	1,07E-04
34	2,54E-04	2,11E-04	1,64E-04	3,00E-04	2,00E-04	1,47E-04	2,19E-04	1,66E-04	1,12E-04
36	2,39E-04	1,99E-04	1,56E-04	2,88E-04	2,07E-04	1,47E-04	2,31E-04	1,73E-04	1,18E-04
38	2,30E-04	1,88E-04	1,48E-04	2,73E-04	2,10E-04	1,45E-04	2,33E-04	1,78E-04	1,24E-04
40	2,26E-04	1,82E-04	1,45E-04	2,58E-04	2,03E-04	1,49E-04	2,29E-04	1,79E-04	1,27E-04
42	2,23E-04	1,73E-04	1,40E-04	2,45E-04	1,95E-04	1,43E-04	2,26E-04	1,77E-04	1,27E-04
f [Hz]	Amplitudy drgań A_v [m]; Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m								
	A/160/vmax	A/160/vśr	A/160/vmin	B/160/vmax	B/160/vśr	B/160/vmin	C/160/vmax	C/160/vśr	C/160/vmin
10	2,20E-05	1,86E-05	1,52E-05	1,77E-05	1,94E-05	2,03E-05	1,52E-05	1,35E-05	1,27E-05
12	3,28E-05	2,23E-05	1,58E-05	2,17E-05	1,76E-05	1,70E-05	1,41E-05	1,47E-05	1,11E-05
14	3,53E-05	2,71E-05	1,90E-05	2,80E-05	2,02E-05	1,72E-05	1,64E-05	1,42E-05	1,12E-05
16	5,48E-05	3,99E-05	2,67E-05	4,16E-05	2,61E-05	2,21E-05	2,04E-05	1,65E-05	1,25E-05
18	9,12E-05	6,33E-05	3,96E-05	6,12E-05	3,65E-05	2,89E-05	2,71E-05	2,01E-05	1,51E-05
20	1,85E-04	1,08E-04	6,27E-05	9,12E-05	5,57E-05	3,95E-05	3,59E-05	2,58E-05	1,82E-05
22	2,08E-04	1,50E-04	1,06E-04	1,46E-04	8,74E-05	5,77E-05	5,16E-05	3,59E-05	2,37E-05
24	3,28E-04	2,49E-04	1,68E-04	2,21E-04	1,34E-04	8,94E-05	7,45E-05	4,95E-05	3,09E-05
26	2,81E-04	2,20E-04	1,66E-04	2,56E-04	1,65E-04	1,19E-04	1,01E-04	6,71E-05	4,15E-05
28	2,35E-04	1,84E-04	1,40E-04	2,51E-04	1,70E-04	1,28E-04	1,23E-04	8,43E-05	5,38E-05
30	2,11E-04	1,67E-04	1,24E-04	2,26E-04	1,63E-04	1,26E-04	1,41E-04	9,61E-05	6,17E-05
32	1,97E-04	1,55E-04	1,18E-04	2,10E-04	1,64E-04	1,25E-04	1,54E-04	1,07E-04	7,20E-05
34	1,95E-04	1,45E-04	1,11E-04	2,03E-04	1,55E-04	1,20E-04	1,65E-04	1,17E-04	7,79E-05
36	1,93E-04	1,36E-04	1,05E-04	1,91E-04	1,44E-04	1,10E-04	1,71E-04	1,27E-04	8,68E-05
38	1,89E-04	1,31E-04	9,99E-05	1,72E-04	1,32E-04	1,01E-04	1,67E-04	1,30E-04	9,16E-05
40	1,81E-04	1,26E-04	9,51E-05	1,65E-04	1,21E-04	9,23E-05	1,64E-04	1,28E-04	9,26E-05
42	1,87E-04	1,23E-04	9,09E-05	1,81E-04	1,12E-04	8,47E-05	1,64E-04	1,27E-04	9,05E-05

Tablica Z2.3 Bezwymiarowe amplitudy drgań \tilde{A}_v w ruchu pionowym bloków fundamentowych

Amplitudy drgań \tilde{A}_v ; Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 m									
f [Hz]	A/80/Vmax	A/80/Vsr	A/80/Vmin	B/80/Vmax	B/80/Vsr	B/80/Vmin	C/80/Vmax	C/80/Vsr	C/80/Vmin
	2,325E-04	1,819E-04	1,364E-04	2,325E-04	1,819E-04	1,364E-04	2,325E-04	1,819E-04	1,364E-04
10	0,149	0,223	0,217	0,131	0,144	0,149	0,131	0,135	0,198
12	0,156	0,197	0,198	0,146	0,155	0,168	0,119	0,139	0,138
14	0,206	0,227	0,208	0,167	0,168	0,167	0,124	0,135	0,130
16	0,386	0,344	0,295	0,230	0,223	0,203	0,165	0,158	0,145
18	0,611	0,533	0,459	0,387	0,334	0,277	0,248	0,212	0,193
20	0,854	0,864	0,684	0,619	0,546	0,387	0,413	0,312	0,268
22	1,695	1,283	1,132	1,051	0,884	0,608	0,738	0,519	0,394
24	2,731	2,507	2,015	1,288	1,470	1,001	1,259	0,867	0,579
26	2,415	2,418	2,373	1,627	1,453	1,664	1,700	1,361	0,886
28	2,056	2,062	2,038	2,168	1,962	1,576	1,822	1,655	1,334
30	1,855	1,863	1,830	2,033	2,143	1,808	1,855	1,792	1,601
32	1,743	1,773	1,758	1,837	1,969	1,745	1,800	1,787	1,687
34	1,600	1,634	1,646	1,733	1,856	1,672	1,804	1,796	1,701
36	1,496	1,524	1,511	1,663	1,770	1,596	1,772	1,805	1,768
38	1,445	1,473	1,430	1,611	1,728	1,556	1,677	1,742	1,802
40	1,418	1,446	1,402	1,553	1,664	1,517	1,615	1,684	1,757
42	1,372	1,421	1,380	1,506	1,620	1,487	1,568	1,624	1,688
Amplitudy drgań \tilde{A}_v ; Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 m									
f [Hz]	A/120/Vmax	A/120/Vsr	A/120/Vmin	B/120/Vmax	B/120/Vsr	B/120/Vmin	C/120/Vmax	C/120/Vsr	C/120/Vmin
	1,627E-04	1,273E-04	9,546E-05	1,627E-04	1,273E-04	9,546E-05	1,627E-04	1,273E-04	9,546E-05
10	0,156	0,139	0,186	0,130	0,126	0,159	0,104	0,119	0,150
12	0,184	0,180	0,190	0,126	0,143	0,160	0,101	0,124	0,154
14	0,254	0,233	0,194	0,154	0,162	0,158	0,114	0,129	0,140
16	0,428	0,399	0,366	0,199	0,212	0,193	0,142	0,155	0,155
18	0,674	0,610	0,527	0,291	0,301	0,257	0,199	0,199	0,186
20	1,005	0,945	0,847	0,464	0,439	0,347	0,274	0,264	0,239
22	1,521	1,422	1,491	0,710	0,684	0,501	0,417	0,375	0,329
24	2,712	2,570	1,989	1,103	1,057	0,748	0,627	0,556	0,458
26	2,630	2,494	2,561	1,536	1,551	1,127	0,758	0,774	0,633
28	2,028	2,111	2,210	1,508	1,783	1,490	1,099	0,979	0,811
30	1,793	1,837	1,895	1,570	1,591	1,627	1,271	1,163	0,958
32	1,693	1,768	1,804	1,898	1,584	1,594	1,349	1,263	1,122
34	1,559	1,656	1,719	1,844	1,573	1,542	1,349	1,301	1,178
36	1,467	1,559	1,636	1,770	1,628	1,535	1,418	1,360	1,239
38	1,415	1,473	1,555	1,678	1,648	1,517	1,432	1,398	1,294
40	1,391	1,431	1,520	1,586	1,593	1,559	1,409	1,404	1,335
42	1,372	1,357	1,470	1,506	1,531	1,501	1,391	1,392	1,331
Amplitudy drgań \tilde{A}_v ; Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m									
f [Hz]	A/160/Vmax	A/160/Vsr	A/160/Vmin	B/160/Vmax	B/160/Vsr	B/160/Vmin	C/160/Vmax	C/160/Vsr	C/160/Vmin
	1,252E-04	9,795E-05	7,343E-05	1,252E-04	9,795E-05	7,343E-05	1,252E-04	9,795E-05	7,343E-05
10	0,175	0,190	0,207	0,142	0,198	0,276	0,121	0,138	0,172
12	0,262	0,227	0,216	0,173	0,180	0,232	0,112	0,150	0,152
14	0,282	0,277	0,258	0,224	0,207	0,235	0,131	0,145	0,153
16	0,437	0,407	0,364	0,332	0,266	0,301	0,163	0,168	0,171
18	0,729	0,647	0,539	0,489	0,372	0,394	0,217	0,205	0,206
20	1,479	1,108	0,854	0,729	0,569	0,538	0,287	0,263	0,247
22	1,661	1,528	1,449	1,168	0,892	0,786	0,413	0,367	0,323
24	2,623	2,538	2,282	1,763	1,371	1,218	0,595	0,506	0,421
26	2,245	2,251	2,261	2,048	1,684	1,621	0,809	0,685	0,565
28	1,876	1,881	1,901	2,008	1,734	1,748	0,981	0,861	0,733
30	1,688	1,700	1,690	1,806	1,667	1,720	1,127	0,981	0,841
32	1,575	1,580	1,608	1,679	1,673	1,700	1,227	1,095	0,980
34	1,554	1,476	1,511	1,622	1,582	1,632	1,319	1,198	1,060
36	1,544	1,388	1,428	1,524	1,468	1,505	1,363	1,300	1,182
38	1,507	1,341	1,361	1,377	1,346	1,382	1,334	1,331	1,248
40	1,450	1,285	1,296	1,321	1,231	1,257	1,309	1,308	1,261
42	1,495	1,258	1,238	1,445	1,144	1,153	1,313	1,292	1,233

Tablica Z2.4 Różnice w czasie Δt pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzącą w ruchu pionowym bloków fundamentowych

f [Hz]	Δt [s]; Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 m								
	A/80/vmax	A/80/vśr	A/80/vmin	B/80/vmax	B/80/vśr	B/80/vmin	C/80/vmax	C/80/vśr	C/80/vmin
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0,00423	-	-	0,00116	0,00040	-	-	-	-
24	0,00963	0,00808	0,00608	0,00000	0,00532	0,00185	0,00296	0,00173	0,00093
26	0,01114	0,01032	0,00919	0,00736	0,00861	0,00703	0,00508	0,00378	0,00269
28	0,01141	0,01094	0,01023	0,00899	0,00786	0,00839	0,00672	0,00545	0,00445
30	0,01135	0,01088	0,01028	0,00985	0,00908	0,00834	0,00761	0,00663	0,00574
32	0,01157	0,01119	0,01061	0,01017	0,00970	0,00919	0,00825	0,00739	0,00674
34	0,01139	0,01124	0,01088	0,01019	0,01001	0,00946	0,00874	0,00801	0,00730
36	0,01112	0,01114	0,01086	0,01017	0,01004	0,00974	0,00928	0,00854	0,00788
38	0,01088	0,01086	0,01063	0,01026	0,01008	0,00977	0,00948	0,00888	0,00857
40	0,01074	0,01057	0,01041	0,01021	0,01010	0,00979	0,00962	0,00914	0,00892
42	0,01062	0,01043	0,01023	0,01023	0,01010	0,00979	0,00968	0,00928	0,00917
f [Hz]	Δt [s]; Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 m								
A/120/vmax	A/120/vśr	A/120/vmin	B/120/vmax	B/120/vśr	B/120/vmin	C/120/vmax	C/120/vśr	C/120/vmin	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	-0,00018	-0,00071	-	-	-	-	-	-	
20	0,00282	0,00290	0,00149	-	-0,00105	-	-0,00109	-	-
22	0,00463	0,00000	0,00545	-0,00009	0,00031	0,00060	-0,00029	0,00002	-
24	0,00916	0,00752	0,00650	0,00202	0,00193	0,00151	0,00114	0,00140	0,00164
26	0,01117	0,01041	0,00932	0,00716	0,00414	0,00313	0,00300	0,00294	0,00298
28	0,01166	0,01121	0,01057	0,00794	0,00743	0,00509	0,00459	0,00445	0,00432
30	0,01155	0,01130	0,01081	0,00919	0,00919	0,00652	0,00581	0,00572	0,00503
32	0,01162	0,01119	0,01092	0,00899	0,01074	0,00821	0,00692	0,00674	0,00630
34	0,01162	0,01119	0,01088	0,00961	0,00942	0,00890	0,00721	0,00725	0,00690
36	0,01138	0,01135	0,01079	0,00994	0,00934	0,00928	0,00781	0,00772	0,00732
38	0,01058	0,01117	0,01070	0,01008	0,00965	0,00910	0,00830	0,00832	0,00781
40	0,01001	0,01097	0,01062	0,01006	0,00992	0,00908	0,00863	0,00868	0,00812
42	0,00991	0,01070	0,01077	0,01001	0,00986	0,00930	0,00892	0,00890	0,00848
f [Hz]	Δt [s]; Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m								
A/160/vmax	A/160/vśr	A/160/vmin	B/160/vmax	B/160/vśr	B/160/vmin	C/160/vmax	C/160/vśr	C/160/vmin	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	0,00076	0,00031	-	-	-	-	-	-	
20	0,00957	0,00302	0,00192	0,00213	-	-	-	-	
22	0,00532	0,00000	0,00541	0,00423	0,00363	0,00282	0,00111	0,00102	-
24	0,01001	0,00917	0,00852	0,00663	0,00643	0,00507	0,00256	0,00240	0,00140
26	0,01226	0,01168	0,01108	0,00761	0,00886	0,00768	0,00365	0,00356	0,00318
28	0,01326	0,01242	0,01213	0,00952	0,01130	0,01008	0,00516	0,00481	0,00461
30	0,01295	0,01250	0,01229	0,01086	0,00943	0,00839	0,00603	0,00567	0,00547
32	0,01242	0,01249	0,01284	0,01028	0,00817	0,00770	0,00685	0,00648	0,00643
34	0,01222	0,01253	0,01233	0,00964	0,00848	0,00814	0,00732	0,00659	0,00683
36	0,01217	0,01153	0,01217	0,00990	0,00884	0,00837	0,00808	0,00734	0,00730
38	0,01220	0,01112	0,01177	0,01012	0,00888	0,00861	0,00850	0,00783	0,00774
40	0,00000	0,01088	0,01121	0,01021	0,00874	0,00881	0,00868	0,00826	0,00803
42	0,00000	0,01119	0,01088	0,00000	0,00863	0,00877	0,00879	0,00831	0,00830

Tablica Z2.5 Kąty przesunięcia fazowego α_v pomiędzy odpowiedzią bloku a siłą wzbudzącą w ruchu pionowym bloków fundamentowych

f	ω	α_v [rad]								
		A/80/Vmax	A/80/Vsr	A/80/Vmin	B/80/Vmax	B/80/Vsr	B/80/Vmin	C/80/Vmax	C/80/Vsr	C/80/Vmin
10	62,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	75,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	87,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	100,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	113,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	125,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	138,23	0,585	-	-	0,160	0,055	-	-	-	-
24	150,80	1,452	1,218	0,917	0,000	0,802	0,279	0,446	0,261	0,140
26	163,36	1,820	1,686	1,501	1,202	1,407	1,148	0,830	0,618	0,439
28	175,93	2,007	1,925	1,800	1,582	1,383	1,476	1,182	0,959	0,783
30	188,50	2,139	2,051	1,938	1,857	1,712	1,572	1,434	1,250	1,082
32	201,06	2,326	2,250	2,133	2,045	1,950	1,848	1,659	1,486	1,355
34	213,63	2,433	2,401	2,324	2,177	2,138	2,021	1,867	1,711	1,559
36	226,19	2,515	2,520	2,456	2,300	2,271	2,203	2,099	1,932	1,782
38	238,76	2,598	2,593	2,538	2,450	2,407	2,333	2,263	2,120	2,046
40	251,33	2,699	2,657	2,616	2,566	2,538	2,460	2,418	2,297	2,242
42	263,89	2,803	2,752	2,700	2,700	2,665	2,584	2,554	2,449	2,420
f	ω	α_v [rad]								
[Hz]	[rad/s]	A/120/Vmax	A/120/Vsr	A/120/Vmin	B/120/Vmax	B/120/Vsr	B/120/Vmin	C/120/Vmax	C/120/Vsr	C/120/Vmin
10	62,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	75,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	87,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	100,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	113,10	-0,020	-0,080	-	-	-	-	-	-	-
20	125,66	0,354	0,364	0,187	-	-0,132	-	-0,137	-	-
22	138,23	0,640	0,000	0,753	-0,012	0,043	0,083	-0,040	0,003	-
24	150,80	1,381	1,134	0,980	0,305	0,291	0,228	0,172	0,211	0,247
26	163,36	1,825	1,701	1,523	1,170	0,676	0,511	0,490	0,480	0,487
28	175,93	2,051	1,972	1,860	1,397	1,307	0,895	0,808	0,783	0,760
30	188,50	2,177	2,130	2,038	1,732	1,732	1,229	1,095	1,078	0,948
32	201,06	2,336	2,250	2,196	1,808	2,159	1,651	1,391	1,355	1,267
34	213,63	2,482	2,391	2,324	2,053	2,012	1,901	1,540	1,549	1,474
36	226,19	2,574	2,567	2,441	2,248	2,113	2,099	1,767	1,746	1,656
38	238,76	2,526	2,667	2,555	2,407	2,304	2,173	1,982	1,986	1,865
40	251,33	2,516	2,757	2,669	2,528	2,493	2,282	2,169	2,182	2,041
42	263,89	2,615	2,824	2,842	2,642	2,602	2,454	2,354	2,349	2,238
f	ω	α_v [rad]								
[Hz]	[rad/s]	A/160/Vmax	A/160/Vsr	A/160/Vmin	B/160/Vmax	B/160/Vsr	B/160/Vmin	C/160/Vmax	C/160/Vsr	C/160/Vmin
10	62,83	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	75,40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	87,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	100,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	113,10	0,086	0,035	-	-	-	-	-	-	-
20	125,66	1,203	0,380	0,241	0,268	-	-	-	-	-
22	138,23	0,735	0,000	0,748	0,585	0,502	0,390	0,153	0,141	-
24	150,80	1,509	1,383	1,285	1,000	0,970	0,765	0,386	0,362	0,211
26	163,36	2,003	1,908	1,810	1,243	1,447	1,255	0,596	0,582	0,519
28	175,93	2,333	2,185	2,134	1,675	1,988	1,773	0,908	0,846	0,811
30	188,50	2,441	2,356	2,317	2,047	1,778	1,581	1,137	1,069	1,031
32	201,06	2,497	2,511	2,582	2,067	1,643	1,548	1,377	1,303	1,293
34	213,63	2,611	2,677	2,634	2,059	1,812	1,739	1,564	1,408	1,459
36	226,19	2,753	2,608	2,753	2,239	2,000	1,893	1,828	1,660	1,651
38	238,76	2,913	2,655	2,810	2,416	2,120	2,056	2,029	1,869	1,848
40	251,33	0,000	2,734	2,817	2,566	2,197	2,214	2,182	2,076	2,018
42	263,89	0,000	2,953	2,871	0,000	2,277	2,314	2,320	2,193	2,190

Z2.2. Drgania złożone przesuwno-obrotowe

Tablica Z2.6 Amplitudy drgań A1v, A2v, A3h w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych. Blok o wymiarach L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 m

f [Hz]	A/80/hmax [m]			A/80/hśr [m]			A/80/hmin [m]		
	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h=A _h
10	8,02E-04	8,00E-04	9,62E-04	7,40E-04	7,34E-04	8,92E-04	7,61E-04	7,67E-04	9,05E-04
12	5,86E-04	5,98E-04	7,18E-04	4,85E-04	4,95E-04	6,25E-04	4,65E-04	4,76E-04	5,93E-04
14	4,99E-04	5,22E-04	6,28E-04	4,06E-04	4,20E-04	5,30E-04	3,57E-04	3,69E-04	4,76E-04
16	3,60E-04	4,09E-04	5,80E-04	2,95E-04	3,27E-04	4,78E-04	2,51E-04	2,82E-04	4,11E-04
18	2,71E-04	3,34E-04	5,66E-04	2,32E-04	2,76E-04	4,46E-04	1,90E-04	2,30E-04	3,69E-04
20	2,24E-04	2,86E-04	5,47E-04	1,90E-04	2,33E-04	4,39E-04	1,54E-04	1,95E-04	3,47E-04
22	1,84E-04	2,43E-04	5,22E-04	1,58E-04	2,04E-04	4,24E-04	1,30E-04	1,70E-04	3,37E-04
24	1,76E-04	2,06E-04	4,95E-04	1,39E-04	1,83E-04	4,08E-04	1,12E-04	1,55E-04	3,23E-04
26	3,12E-04	2,73E-04	5,36E-04	1,51E-04	1,56E-04	3,93E-04	1,07E-04	1,39E-04	3,13E-04
28	4,10E-04	3,82E-04	5,08E-04	2,29E-04	2,00E-04	3,90E-04	1,21E-04	1,22E-04	3,02E-04
30	4,34E-04	4,26E-04	4,60E-04	2,89E-04	2,71E-04	4,39E-04	1,55E-04	1,39E-04	3,00E-04
32	4,33E-04	4,41E-04	4,77E-04	3,13E-04	3,21E-04	3,72E-04	1,87E-04	1,89E-04	3,24E-04
34	4,26E-04	4,40E-04	4,87E-04	3,23E-04	3,36E-04	3,67E-04	2,11E-04	2,26E-04	2,99E-04
36	4,17E-04	4,32E-04	4,91E-04	3,21E-04	3,33E-04	3,75E-04	2,25E-04	2,41E-04	2,90E-04
38	4,14E-04	4,29E-04	4,97E-04	3,16E-04	3,29E-04	3,77E-04	2,32E-04	2,48E-04	2,89E-04
40	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,11E-04	3,24E-04	3,79E-04	2,29E-04	2,48E-04	2,89E-04
42	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,10E-04	3,22E-04	3,82E-04	2,29E-04	2,49E-04	2,89E-04
f [Hz]	B/80/hmax [m]			B/80/hśr [m]			B/80/hmin [m]		
	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h=A _h
10	2,32E-04	2,58E-04	3,69E-04	1,06E-04	1,13E-04	1,85E-04	1,02E-04	1,15E-04	1,79E-04
12	1,18E-03	1,11E-03	1,17E-03	6,17E-04	5,82E-04	6,69E-04	5,24E-04	5,30E-04	5,96E-04
14	1,01E-03	9,68E-04	1,03E-03	8,76E-04	8,20E-04	9,03E-04	7,13E-04	6,83E-04	7,45E-04
16	7,21E-04	7,17E-04	9,23E-04	6,46E-04	6,35E-04	8,03E-04	4,68E-04	4,77E-04	6,03E-04
18	5,02E-04	5,26E-04	7,77E-04	4,43E-04	4,57E-04	6,75E-04	3,56E-04	3,86E-04	5,48E-04
20	3,81E-04	4,14E-04	7,04E-04	3,29E-04	3,51E-04	5,85E-04	2,62E-04	2,98E-04	4,61E-04
22	2,94E-04	3,45E-04	6,38E-04	2,55E-04	2,86E-04	5,29E-04	2,08E-04	2,44E-04	4,09E-04
24	2,49E-04	3,04E-04	5,92E-04	2,06E-04	2,50E-04	4,80E-04	1,74E-04	2,11E-04	3,77E-04
26	2,52E-04	2,71E-04	5,61E-04	1,92E-04	2,23E-04	4,51E-04	1,51E-04	1,88E-04	3,52E-04
28	3,01E-04	2,77E-04	5,51E-04	2,16E-04	2,06E-04	4,36E-04	1,43E-04	1,71E-04	3,35E-04
30	3,28E-04	2,88E-04	5,50E-04	2,45E-04	2,05E-04	4,31E-04	1,51E-04	1,58E-04	3,24E-04
32	3,47E-04	3,16E-04	5,04E-04	2,69E-04	2,38E-04	4,18E-04	1,53E-04	1,48E-04	3,18E-04
34	3,72E-04	3,48E-04	5,07E-04	3,00E-04	2,79E-04	4,07E-04	1,49E-04	1,46E-04	3,11E-04
36	3,76E-04	3,54E-04	5,06E-04	3,09E-04	2,90E-04	4,12E-04	1,55E-04	1,55E-04	3,09E-04
38	3,72E-04	3,60E-04	4,98E-04	3,09E-04	2,94E-04	4,13E-04	1,62E-04	1,65E-04	3,10E-04
40	3,70E-04	3,72E-04	4,94E-04	3,05E-04	2,97E-04	4,11E-04	1,67E-04	1,75E-04	3,07E-04
42	3,70E-04	3,85E-04	4,91E-04	3,03E-04	3,01E-04	4,16E-04	1,75E-04	1,84E-04	3,03E-04
f [Hz]	C/80/hmax [m]			C/80/hśr [m]			C/80/hmin [m]		
	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h=A _h
10	8,36E-05	7,85E-05	1,33E-04	5,28E-05	4,10E-05	7,77E-05	3,67E-05	2,79E-05	5,11E-05
12	1,95E-04	1,79E-04	2,71E-04	7,77E-05	7,62E-05	1,29E-04	4,08E-05	3,40E-05	6,80E-05
14	6,35E-04	6,20E-04	6,03E-04	2,77E-04	2,70E-04	3,34E-04	6,03E-05	5,47E-05	9,95E-05
16	9,26E-04	9,50E-04	7,68E-04	6,74E-04	6,64E-04	6,32E-04	2,80E-04	2,75E-04	3,10E-04
18	8,82E-04	9,57E-04	8,40E-04	6,99E-04	6,97E-04	6,61E-04	4,99E-04	5,03E-04	4,98E-04
20	6,97E-04	7,88E-04	7,88E-04	5,70E-04	5,98E-04	6,30E-04	4,50E-04	4,77E-04	4,76E-04
22	5,20E-04	6,26E-04	6,78E-04	4,23E-04	4,82E-04	5,55E-04	3,66E-04	4,01E-04	4,58E-04
24	4,77E-04	5,44E-04	6,79E-04	3,78E-04	4,09E-04	5,17E-04	3,24E-04	3,45E-04	4,65E-04
26	4,54E-04	5,26E-04	6,95E-04	3,50E-04	3,60E-04	5,49E-04	2,75E-04	2,77E-04	4,58E-04
28	4,14E-04	4,54E-04	6,71E-04	3,27E-04	3,00E-04	5,40E-04	2,48E-04	2,50E-04	4,29E-04
30	3,91E-04	4,11E-04	6,37E-04	3,04E-04	2,75E-04	5,13E-04	2,30E-04	2,26E-04	4,03E-04
32	3,69E-04	3,71E-04	5,92E-04	2,97E-04	2,59E-04	4,92E-04	2,24E-04	2,07E-04	3,86E-04
34	3,77E-04	3,49E-04	5,81E-04	2,97E-04	2,52E-04	4,77E-04	2,23E-04	1,95E-04	3,75E-04
36	3,70E-04	3,76E-04	5,62E-04	2,90E-04	2,51E-04	4,61E-04	2,24E-04	1,98E-04	3,66E-04
38	3,76E-04	3,77E-04	5,50E-04	2,95E-04	2,64E-04	4,49E-04	2,27E-04	2,06E-04	3,60E-04
40	3,75E-04	3,82E-04	5,30E-04	3,04E-04	2,75E-04	4,41E-04	2,31E-04	2,15E-04	3,52E-04
42	3,83E-04	3,62E-04	5,09E-04	3,12E-04	2,79E-04	4,26E-04	2,44E-04	2,24E-04	3,44E-04

Tablica Z2.7 Amplitudy drgań A1v, A2v, A3h w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych. Blok o wymiarach L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 m

f [Hz]	A/120/hmax [m]			A/120/hśr [m]			A/120/hmin [m]		
	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h=A _b
10	5,93E-04	6,03E-04	8,16E-04	4,55E-04	4,71E-04	6,59E-04	3,62E-04	3,78E-04	5,35E-04
12	4,15E-04	4,41E-04	5,86E-04	3,08E-04	3,35E-04	4,64E-04	2,28E-04	2,49E-04	3,65E-04
14	3,39E-04	3,71E-04	5,06E-04	2,65E-04	2,92E-04	4,07E-04	2,00E-04	2,18E-04	3,05E-04
16	2,20E-04	2,74E-04	4,67E-04	1,82E-04	2,24E-04	3,74E-04	1,46E-04	1,74E-04	2,86E-04
18	1,59E-04	2,20E-04	4,30E-04	1,37E-04	1,87E-04	3,49E-04	1,15E-04	1,49E-04	2,68E-04
20	1,21E-04	1,79E-04	4,00E-04	1,10E-04	1,58E-04	3,32E-04	9,05E-05	1,27E-04	2,56E-04
22	1,13E-04	1,51E-04	3,71E-04	9,52E-05	1,38E-04	3,11E-04	7,46E-05	1,13E-04	2,42E-04
24	2,46E-04	2,26E-04	3,53E-04	1,35E-04	1,41E-04	2,94E-04	7,35E-05	1,03E-04	2,27E-04
26	3,92E-04	3,59E-04	3,90E-04	2,86E-04	2,50E-04	3,15E-04	1,46E-04	1,26E-04	2,21E-04
28	4,10E-04	3,82E-04	4,06E-04	3,19E-04	2,92E-04	3,32E-04	2,24E-04	1,95E-04	2,39E-04
30	3,90E-04	3,77E-04	4,15E-04	3,08E-04	2,94E-04	3,31E-04	2,33E-04	2,16E-04	2,58E-04
32	3,70E-04	3,78E-04	4,17E-04	3,05E-04	2,99E-04	3,27E-04	2,31E-04	2,25E-04	2,32E-04
34	3,50E-04	3,65E-04	4,28E-04	2,92E-04	2,93E-04	3,35E-04	2,30E-04	2,29E-04	2,43E-04
36	3,34E-04	3,50E-04	4,16E-04	2,70E-04	2,81E-04	3,30E-04	2,23E-04	2,21E-04	2,45E-04
38	-	0,00E+00	0,00E+00	2,68E-04	2,77E-04	3,21E-04	2,18E-04	2,15E-04	2,48E-04
40	-	0,00E+00	0,00E+00	2,70E-04	2,69E-04	3,11E-04	2,10E-04	2,10E-04	2,48E-04
42	-	0,00E+00	0,00E+00	2,66E-04	2,70E-04	3,13E-04	2,06E-04	2,04E-04	2,41E-04
f [Hz]	B/120/hmax [m]			B/120/hśr [m]			B/120/hmin [m]		
	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h=A _b
10	9,63E-05	9,67E-05	1,66E-04	6,04E-05	5,70E-05	9,58E-05	4,77E-05	4,31E-05	7,56E-05
12	4,08E-04	4,12E-04	4,76E-04	1,48E-04	1,46E-04	2,11E-04	6,98E-05	6,98E-05	1,16E-04
14	8,85E-04	8,64E-04	8,74E-04	6,91E-04	6,73E-04	7,03E-04	3,37E-04	3,43E-04	3,96E-04
16	6,98E-04	7,03E-04	8,28E-04	5,95E-04	5,98E-04	6,98E-04	5,25E-04	5,20E-04	5,63E-04
18	4,77E-04	5,17E-04	7,11E-04	4,12E-04	4,39E-04	6,09E-04	3,87E-04	4,05E-04	5,21E-04
20	3,41E-04	3,95E-04	6,09E-04	2,94E-04	3,35E-04	5,12E-04	2,70E-04	3,03E-04	4,35E-04
22	2,71E-04	3,14E-04	5,39E-04	2,35E-04	2,64E-04	4,49E-04	2,05E-04	2,32E-04	3,73E-04
24	1,47E-04	1,80E-04	3,26E-04	1,91E-04	2,23E-04	4,02E-04	1,67E-04	1,90E-04	3,28E-04
26	1,29E-04	1,57E-04	3,00E-04	1,64E-04	1,93E-04	3,66E-04	1,33E-04	1,64E-04	2,99E-04
28	1,40E-04	1,45E-04	2,91E-04	1,72E-04	1,76E-04	3,55E-04	1,22E-04	1,46E-04	2,81E-04
30	1,57E-04	1,36E-04	2,78E-04	1,89E-04	1,65E-04	3,39E-04	1,29E-04	1,34E-04	2,66E-04
32	1,71E-04	1,49E-04	2,87E-04	2,05E-04	1,68E-04	3,45E-04	1,43E-04	1,23E-04	2,61E-04
34	1,78E-04	1,66E-04	2,88E-04	2,35E-04	2,12E-04	3,75E-04	1,46E-04	1,23E-04	2,63E-04
36	1,89E-04	1,81E-04	2,89E-04	2,45E-04	2,29E-04	3,75E-04	1,50E-04	1,30E-04	2,64E-04
38	9,85E-05	9,56E-05	1,44E-04	2,57E-04	2,43E-04	3,74E-04	1,58E-04	1,41E-04	2,67E-04
40	1,02E-04	1,00E-04	1,44E-04	2,39E-04	2,30E-04	3,47E-04	1,63E-04	1,52E-04	2,62E-04
42	1,07E-04	1,06E-04	1,47E-04	2,54E-04	2,45E-04	3,54E-04	1,70E-04	1,63E-04	2,63E-04
f [Hz]	C/120/hmax [m]			C/120/hśr [m]			C/120/hmin [m]		
	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h=A _b
10	3,08E-05	3,17E-05	4,85E-05	2,87E-05	2,83E-05	4,05E-05	2,91E-05	2,70E-05	3,76E-05
12	4,05E-05	3,81E-05	6,77E-05	3,14E-05	2,81E-05	4,81E-05	2,73E-05	2,43E-05	3,93E-05
14	6,16E-05	6,33E-05	1,08E-04	3,92E-05	3,86E-05	6,76E-05	2,86E-05	2,67E-05	4,76E-05
16	2,17E-04	2,34E-04	2,65E-04	6,56E-05	6,78E-05	1,12E-04	3,99E-05	3,89E-05	6,79E-05
18	4,06E-04	4,59E-04	5,01E-04	1,82E-04	2,04E-04	2,55E-04	7,26E-05	7,37E-05	1,16E-04
20	4,40E-04	5,19E-04	7,26E-04	2,97E-04	3,40E-04	4,11E-04	1,67E-04	1,79E-04	2,42E-04
22	4,11E-04	4,80E-04	7,33E-04	3,30E-04	3,76E-04	4,33E-04	2,44E-04	2,54E-04	3,21E-04
24	3,78E-04	4,27E-04	7,22E-04	3,26E-04	3,60E-04	4,55E-04	2,59E-04	2,73E-04	3,70E-04
26	3,70E-04	3,94E-04	7,37E-04	3,15E-04	3,28E-04	4,77E-04	2,53E-04	2,53E-04	3,83E-04
28	3,66E-04	3,69E-04	7,03E-04	3,02E-04	3,09E-04	4,56E-04	2,53E-04	2,46E-04	3,76E-04
30	3,64E-04	3,56E-04	6,30E-04	2,90E-04	2,87E-04	4,33E-04	2,42E-04	2,28E-04	3,57E-04
32	3,65E-04	3,53E-04	6,08E-04	2,87E-04	2,79E-04	4,19E-04	2,32E-04	2,13E-04	3,38E-04
34	3,59E-04	3,54E-04	5,68E-04	2,83E-04	2,76E-04	4,05E-04	2,27E-04	2,07E-04	3,26E-04
36	3,56E-04	3,60E-04	5,60E-04	2,75E-04	2,81E-04	3,92E-04	2,21E-04	2,07E-04	3,13E-04
38	3,63E-04	3,63E-04	5,49E-04	2,77E-04	2,87E-04	3,85E-04	2,20E-04	2,14E-04	3,07E-04
40	3,66E-04	3,66E-04	5,22E-04	2,81E-04	2,86E-04	3,78E-04	2,20E-04	2,16E-04	3,02E-04
42	3,75E-04	3,73E-04	5,21E-04	2,90E-04	2,91E-04	3,75E-04	2,27E-04	2,21E-04	2,99E-04

Tablica Z2.8 Amplitudy drgań A1v, A2v, A3h w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych. Blok o wymiarach L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m

f [Hz]	A/160/h _{max} [m]			A/160/h _{sr} [m]			A/160/h _{min} [m]		
	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h=A _b
10	6,97E-04	7,05E-04	9,02E-04	7,00E-04	7,12E-04	8,69E-04	2,83E-04	2,90E-04	3,99E-04
12	3,99E-04	4,03E-04	5,72E-04	3,66E-04	3,77E-04	5,20E-04	4,05E-04	4,15E-04	5,42E-04
14	2,73E-04	2,85E-04	4,64E-04	2,51E-04	2,70E-04	4,12E-04	2,48E-04	2,60E-04	3,87E-04
16	1,95E-04	2,24E-04	4,06E-04	1,63E-04	1,90E-04	3,47E-04	1,55E-04	1,73E-04	3,09E-04
18	1,52E-04	1,88E-04	3,64E-04	1,17E-04	1,50E-04	3,03E-04	1,06E-04	1,30E-04	2,60E-04
20	1,17E-04	1,50E-04	3,31E-04	9,29E-05	1,21E-04	2,73E-04	7,94E-05	1,04E-04	2,29E-04
22	1,03E-04	1,27E-04	3,10E-04	8,03E-05	1,02E-04	2,53E-04	6,70E-05	8,70E-05	2,08E-04
24	1,24E-04	1,17E-04	2,91E-04	7,31E-05	9,27E-05	2,36E-04	5,78E-05	7,76E-05	1,92E-04
26	1,87E-04	1,57E-04	2,94E-04	1,09E-04	8,61E-05	2,22E-04	5,61E-05	6,64E-05	1,81E-04
28	2,84E-04	2,52E-04	3,24E-04	1,49E-04	1,33E-04	2,27E-04	6,83E-05	6,35E-05	1,75E-04
30	3,25E-04	2,87E-04	3,35E-04	2,19E-04	1,98E-04	2,41E-04	9,96E-05	8,01E-05	1,72E-04
32	3,28E-04	3,13E-04	3,60E-04	2,51E-04	2,43E-04	2,63E-04	1,44E-04	1,30E-04	1,76E-04
34	3,09E-04	3,12E-04	3,87E-04	2,49E-04	2,50E-04	2,73E-04	1,80E-04	1,78E-04	1,96E-04
36	2,88E-04	2,83E-04	3,88E-04	2,35E-04	2,39E-04	2,65E-04	1,83E-04	1,87E-04	2,05E-04
38	2,73E-04	2,82E-04	3,68E-04	2,32E-04	2,38E-04	2,64E-04	1,78E-04	1,83E-04	2,05E-04
40	2,79E-04	2,79E-04	3,62E-04	2,27E-04	2,33E-04	2,67E-04	1,76E-04	1,83E-04	2,02E-04
42	2,75E-04	2,92E-04	3,52E-04	2,22E-04	2,31E-04	2,72E-04	1,74E-04	1,78E-04	2,05E-04
f [Hz]	B/160/h _{max} [m]			B/160/h _{sr} [m]			B/160/h _{min} [m]		
	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h=A _b
10	8,11E-05	8,23E-05	1,33E-04	5,07E-05	5,32E-05	8,53E-05	3,25E-05	3,08E-05	5,15E-05
12	2,45E-04	2,46E-04	3,31E-04	9,91E-05	9,94E-05	1,60E-04	4,54E-05	4,69E-05	7,56E-05
14	6,87E-04	6,65E-04	7,33E-04	4,48E-04	4,35E-04	5,07E-04	1,46E-04	1,47E-04	2,09E-04
16	5,42E-04	5,58E-04	7,25E-04	4,96E-04	5,00E-04	6,22E-04	3,53E-04	3,53E-04	4,47E-04
18	3,54E-04	3,86E-04	5,97E-04	3,42E-04	3,65E-04	5,39E-04	3,11E-04	3,32E-04	4,68E-04
20	2,41E-04	2,81E-04	4,91E-04	2,29E-04	2,61E-04	4,37E-04	2,02E-04	2,32E-04	3,76E-04
22	1,88E-04	2,22E-04	4,27E-04	1,73E-04	1,99E-04	3,70E-04	1,45E-04	1,72E-04	3,10E-04
24	1,57E-04	1,93E-04	3,85E-04	1,33E-04	1,66E-04	3,23E-04	1,15E-04	1,40E-04	2,68E-04
26	1,57E-04	1,72E-04	3,64E-04	1,27E-04	1,48E-04	3,01E-04	9,85E-05	1,18E-04	2,40E-04
28	1,75E-04	1,60E-04	3,50E-04	1,33E-04	1,34E-04	2,86E-04	9,75E-05	1,08E-04	2,24E-04
30	2,04E-04	1,69E-04	3,43E-04	1,57E-04	1,26E-04	2,76E-04	1,05E-04	9,83E-05	2,18E-04
32	2,18E-04	1,96E-04	3,47E-04	1,65E-04	1,35E-04	2,79E-04	1,09E-04	8,95E-05	2,07E-04
34	2,36E-04	2,28E-04	3,50E-04	1,73E-04	1,56E-04	2,80E-04	1,20E-04	1,03E-04	2,07E-04
36	2,54E-04	2,48E-04	3,53E-04	1,87E-04	1,74E-04	2,82E-04	1,23E-04	1,11E-04	2,07E-04
38	2,73E-04	2,82E-04	3,68E-04	2,00E-04	1,91E-04	2,83E-04	1,32E-04	1,25E-04	2,08E-04
40	2,77E-04	2,81E-04	3,64E-04	2,07E-04	2,07E-04	2,87E-04	1,38E-04	1,36E-04	2,09E-04
42	2,94E-04	2,87E-04	3,65E-04	2,24E-04	2,23E-04	2,98E-04	1,45E-04	1,44E-04	2,10E-04
f [Hz]	C/160/h _{max} [m]			C/160/h _{sr} [m]			C/160/h _{min} [m]		
	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h	A1v	A2v	A3h=A _b
10	2,45E-05	2,28E-05	3,72E-05	2,36E-05	2,11E-05	3,55E-05	2,32E-05	1,94E-05	3,08E-05
12	2,73E-05	2,67E-05	4,72E-05	2,40E-05	2,23E-05	3,93E-05	1,93E-05	1,70E-05	3,02E-05
14	3,60E-05	3,73E-05	6,70E-05	2,93E-05	2,86E-05	5,32E-05	2,24E-05	2,00E-05	3,70E-05
16	6,30E-05	6,28E-05	1,07E-04	4,22E-05	4,30E-05	7,82E-05	2,64E-05	2,52E-05	4,77E-05
18	1,48E-04	1,61E-04	2,20E-04	8,48E-05	9,04E-05	1,42E-04	4,31E-05	4,20E-05	7,75E-05
20	2,63E-04	2,99E-04	3,77E-04	1,77E-04	2,01E-04	2,79E-04	8,43E-05	8,37E-05	1,42E-04
22	3,02E-04	3,42E-04	4,07E-04	2,19E-04	2,45E-04	3,10E-04	1,40E-04	1,50E-04	2,18E-04
24	2,99E-04	3,44E-04	4,51E-04	2,28E-04	2,53E-04	3,50E-04	1,63E-04	1,78E-04	2,68E-04
26	2,89E-04	3,41E-04	4,66E-04	2,38E-04	2,62E-04	3,70E-04	1,76E-04	1,92E-04	2,81E-04
28	3,10E-04	3,48E-04	4,72E-04	2,54E-04	2,66E-04	3,74E-04	1,90E-04	1,99E-04	2,87E-04
30	3,17E-04	3,37E-04	4,65E-04	2,61E-04	2,58E-04	3,69E-04	1,99E-04	1,96E-04	2,86E-04
32	3,10E-04	3,21E-04	4,44E-04	2,57E-04	2,50E-04	3,59E-04	2,00E-04	1,91E-04	2,81E-04
34	3,04E-04	3,08E-04	4,25E-04	2,50E-04	2,41E-04	3,42E-04	1,98E-04	1,82E-04	2,69E-04
36	3,08E-04	3,06E-04	4,16E-04	2,46E-04	2,43E-04	3,32E-04	1,97E-04	1,88E-04	2,65E-04
38	2,73E-04	2,82E-04	3,68E-04	2,49E-04	2,44E-04	3,26E-04	2,00E-04	1,91E-04	2,61E-04
40	3,09E-04	3,07E-04	3,99E-04	2,51E-04	2,47E-04	3,23E-04	2,02E-04	1,96E-04	2,58E-04
42	3,13E-04	3,12E-04	3,97E-04	2,54E-04	2,52E-04	3,22E-04	2,05E-04	1,98E-04	2,57E-04

Tablica Z2.9 Składowe przemieszczeń od przesuwu A_h i od obrotu A_ϕ w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych
 Blok o wymiarach: $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7$ m

f [Hz]	Składowa od przesuwu A_h [m]			Składowa od obrotu A_ϕ [rad]		
	A/80/hmax	A/80/hśr	A/80/hmin	A/80/hmax	A/80/hśr	A/80/hmin
10	9,62E-04	8,92E-04	9,05E-04	2,14E-03	1,96E-03	2,04E-03
12	7,18E-04	6,25E-04	5,93E-04	1,58E-03	1,31E-03	1,25E-03
14	6,28E-04	5,30E-04	4,76E-04	1,36E-03	1,10E-03	9,68E-04
16	5,80E-04	4,78E-04	4,11E-04	1,03E-03	8,30E-04	7,10E-04
18	5,66E-04	4,46E-04	3,69E-04	8,07E-04	6,78E-04	5,61E-04
20	5,47E-04	4,39E-04	3,47E-04	6,80E-04	5,64E-04	4,65E-04
22	5,22E-04	4,24E-04	3,37E-04	5,69E-04	4,82E-04	4,00E-04
24	4,95E-04	4,08E-04	3,23E-04	5,10E-04	4,29E-04	3,56E-04
26	5,36E-04	3,93E-04	3,13E-04	7,80E-04	4,10E-04	3,28E-04
28	5,08E-04	3,90E-04	3,02E-04	1,06E-03	5,72E-04	3,24E-04
30	4,60E-04	4,39E-04	3,00E-04	1,15E-03	7,47E-04	3,92E-04
32	4,77E-04	3,72E-04	3,24E-04	1,16E-03	8,46E-04	5,02E-04
34	4,87E-04	3,67E-04	2,99E-04	1,15E-03	8,79E-04	5,83E-04
36	4,91E-04	3,75E-04	2,90E-04	1,13E-03	8,72E-04	6,21E-04
38	4,97E-04	3,77E-04	2,89E-04	1,12E-03	8,60E-04	6,39E-04
40	-	3,79E-04	2,89E-04	-	8,48E-04	6,36E-04
42	-	3,82E-04	2,89E-04	-	8,42E-04	6,36E-04
f [Hz]	Składowa od przesuwu A_h [m]			Składowa od obrotu A_ϕ [rad]		
	B/80/hmax	B/80/hśr	B/80/hmin	B/80/hmax	B/80/hśr	B/80/hmin
10	3,69E-04	1,85E-04	1,79E-04	6,53E-04	2,92E-04	2,90E-04
12	1,17E-03	6,69E-04	5,96E-04	3,06E-03	1,60E-03	1,41E-03
14	1,03E-03	9,03E-04	7,45E-04	2,64E-03	2,26E-03	1,86E-03
16	9,23E-04	8,03E-04	6,03E-04	1,92E-03	1,71E-03	1,26E-03
18	7,77E-04	6,75E-04	5,48E-04	1,37E-03	1,20E-03	9,90E-04
20	7,04E-04	5,85E-04	4,61E-04	1,06E-03	9,06E-04	7,47E-04
22	6,38E-04	5,29E-04	4,09E-04	8,52E-04	7,21E-04	6,02E-04
24	5,92E-04	4,80E-04	3,77E-04	7,36E-04	6,08E-04	5,14E-04
26	5,61E-04	4,51E-04	3,52E-04	6,98E-04	5,53E-04	4,53E-04
28	5,51E-04	4,36E-04	3,35E-04	7,70E-04	5,62E-04	4,20E-04
30	5,50E-04	4,31E-04	3,24E-04	8,21E-04	6,00E-04	4,12E-04
32	5,04E-04	4,18E-04	3,18E-04	8,84E-04	6,77E-04	4,01E-04
34	5,07E-04	4,07E-04	3,11E-04	9,60E-04	7,71E-04	3,93E-04
36	5,06E-04	4,12E-04	3,09E-04	9,73E-04	7,99E-04	4,14E-04
38	4,98E-04	4,13E-04	3,10E-04	9,77E-04	8,04E-04	4,36E-04
40	4,94E-04	4,11E-04	3,07E-04	9,90E-04	8,03E-04	4,55E-04
42	4,91E-04	4,16E-04	3,03E-04	1,01E-03	8,05E-04	4,80E-04
f [Hz]	Składowa od przesuwu A_h [m]			Składowa od obrotu A_ϕ [rad]		
	C/80/hmax	C/80/hśr	C/80/hmin	C/80/hmax	C/80/hśr	C/80/hmin
10	1,33E-04	7,77E-05	5,11E-05	2,16E-04	1,25E-04	8,61E-05
12	2,71E-04	1,29E-04	6,80E-05	4,98E-04	2,05E-04	9,97E-05
14	6,03E-04	3,34E-04	9,95E-05	1,67E-03	7,30E-04	1,53E-04
16	7,68E-04	6,32E-04	3,10E-04	2,50E-03	1,78E-03	7,40E-04
18	8,40E-04	6,61E-04	4,98E-04	2,45E-03	1,86E-03	1,34E-03
20	7,88E-04	6,30E-04	4,76E-04	1,98E-03	1,56E-03	1,24E-03
22	6,78E-04	5,55E-04	4,58E-04	1,53E-03	1,21E-03	1,02E-03
24	6,79E-04	5,17E-04	4,65E-04	1,36E-03	1,05E-03	8,93E-04
26	6,95E-04	5,49E-04	4,58E-04	1,31E-03	9,46E-04	7,36E-04
28	6,71E-04	5,40E-04	4,29E-04	1,16E-03	8,36E-04	6,64E-04
30	6,37E-04	5,13E-04	4,03E-04	1,07E-03	7,71E-04	6,08E-04
32	5,92E-04	4,92E-04	3,86E-04	9,86E-04	7,41E-04	5,74E-04
34	5,81E-04	4,77E-04	3,75E-04	9,68E-04	7,31E-04	5,57E-04
36	5,62E-04	4,61E-04	3,66E-04	9,95E-04	7,21E-04	5,63E-04
38	5,50E-04	4,49E-04	3,60E-04	1,00E-03	7,45E-04	5,77E-04
40	5,30E-04	4,41E-04	3,52E-04	1,01E-03	7,72E-04	5,96E-04
42	5,09E-04	4,26E-04	3,44E-04	9,93E-04	7,88E-04	6,24E-04

Tablica Z2.10 Bezwymiarowe składowe przemieszczeń od przesuwu \tilde{A}_h i od obrotu \tilde{A}_φ
w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych
Blok o wymiarach: $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7$ m

f [Hz]	Składowa od przesuwu \tilde{A}_h			Składowa od obrotu \tilde{A}_φ		
	A/80/hmax	A/80/hśr	A/80/hmin	A/80/hmax	A/80/hśr	A/80/hmin
10	4,14	4,91	6,64	7,85	9,23	12,76
12	3,09	3,43	4,34	5,80	6,14	7,86
14	2,70	2,91	3,49	5,00	5,18	6,07
16	2,49	2,63	3,01	3,77	3,90	4,45
18	2,44	2,45	2,70	2,97	3,19	3,51
20	2,35	2,41	2,54	2,50	2,65	2,91
22	2,24	2,33	2,47	2,09	2,26	2,50
24	2,13	2,24	2,37	1,87	2,01	2,23
26	2,30	2,16	2,30	2,87	1,93	2,05
28	2,19	2,14	2,21	3,88	2,68	2,03
30	1,98	2,41	2,20	4,21	3,51	2,46
32	2,05	2,05	2,38	4,28	3,97	3,14
34	2,09	2,02	2,19	4,24	4,13	3,65
36	2,11	2,06	2,12	4,16	4,10	3,89
38	2,14	2,07	2,12	4,13	4,04	4,01
40	-	2,08	2,12	-	3,98	3,99
42	-	2,10	2,12	-	3,96	3,99
f [Hz]	Składowa od przesuwu \tilde{A}_h			Składowa od obrotu \tilde{A}_φ		
	B/80/hmax	B/80/hśr	B/80/hmin	B/80/hmax	B/80/hśr	B/80/hmin
10	1,59	1,02	1,31	2,40	1,37	1,82
12	5,04	3,68	4,37	11,24	7,51	8,81
14	4,44	4,96	5,46	9,71	10,62	11,66
16	3,97	4,42	4,42	7,05	8,02	7,89
18	3,34	3,71	4,02	5,04	5,64	6,20
20	3,03	3,22	3,38	3,90	4,25	4,68
22	2,74	2,91	3,00	3,13	3,39	3,77
24	2,55	2,64	2,76	2,71	2,86	3,22
26	2,41	2,48	2,58	2,56	2,60	2,84
28	2,37	2,39	2,45	2,83	2,64	2,63
30	2,36	2,37	2,38	3,02	2,82	2,58
32	2,17	2,30	2,33	3,25	3,18	2,51
34	2,18	2,24	2,28	3,53	3,62	2,46
36	2,17	2,26	2,26	3,58	3,75	2,59
38	2,14	2,27	2,27	3,59	3,78	2,73
40	2,13	2,26	2,25	3,64	3,77	2,85
42	2,11	2,29	2,23	3,70	3,78	3,00
f [Hz]	Składowa od przesuwu \tilde{A}_h			Składowa od obrotu \tilde{A}_φ		
	C/80/hmax	C/80/hśr	C/80/hmin	C/80/hmax	C/80/hśr	C/80/hmin
10	0,57	0,43	0,37	0,79	0,59	0,54
12	1,17	0,71	0,50	1,83	0,96	0,62
14	2,60	1,84	0,73	6,15	3,43	0,96
16	3,30	3,47	2,27	9,19	8,38	4,64
18	3,61	3,63	3,65	9,01	8,75	8,37
20	3,39	3,46	3,49	7,28	7,31	7,74
22	2,92	3,05	3,36	5,61	5,67	6,40
24	2,92	2,84	3,41	5,00	4,92	5,59
26	2,99	3,02	3,36	4,81	4,44	4,61
28	2,88	2,97	3,15	4,25	3,93	4,16
30	2,74	2,82	2,95	3,93	3,62	3,81
32	2,55	2,71	2,83	3,63	3,48	3,60
34	2,50	2,62	2,75	3,56	3,43	3,49
36	2,42	2,53	2,68	3,66	3,39	3,52
38	2,36	2,47	2,64	3,69	3,50	3,61
40	2,28	2,42	2,58	3,71	3,63	3,73
42	2,19	2,34	2,52	3,65	3,70	3,91

Tablica Z2.11 Składowe przemieszczeń od przesuwu A_h i od obrotu A_ϕ w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych
 Blok o wymiarach: $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$

f [Hz]	Składowa od przesuwu A_h [m]			Składowa od obrotu A_ϕ [rad]		
	A/120/hmax	A/120/hśr	A/120/hmin	A/120/hmax	A/120/hśr	A/120/hmin
10	8,16E-04	6,59E-04	5,35E-04	1,59E-03	1,23E-03	9,87E-04
12	5,86E-04	4,64E-04	3,65E-04	1,14E-03	8,56E-04	6,37E-04
14	5,06E-04	4,07E-04	3,05E-04	9,46E-04	7,42E-04	5,58E-04
16	4,67E-04	3,74E-04	2,86E-04	6,59E-04	5,42E-04	4,27E-04
18	4,30E-04	3,49E-04	2,68E-04	5,05E-04	4,31E-04	3,51E-04
20	4,00E-04	3,32E-04	2,56E-04	4,00E-04	3,57E-04	2,90E-04
22	3,71E-04	3,11E-04	2,42E-04	3,53E-04	3,11E-04	2,49E-04
24	3,53E-04	2,94E-04	2,27E-04	6,29E-04	3,69E-04	2,35E-04
26	3,90E-04	3,15E-04	2,21E-04	1,00E-03	7,15E-04	3,63E-04
28	4,06E-04	3,32E-04	2,39E-04	1,06E-03	8,15E-04	5,59E-04
30	4,15E-04	3,31E-04	2,58E-04	1,02E-03	8,04E-04	5,98E-04
32	4,17E-04	3,27E-04	2,32E-04	9,97E-04	8,05E-04	6,07E-04
34	4,28E-04	3,35E-04	2,43E-04	9,54E-04	7,80E-04	6,12E-04
36	4,16E-04	3,30E-04	2,45E-04	9,12E-04	7,34E-04	5,92E-04
38	-	3,21E-04	2,48E-04	-	7,26E-04	5,77E-04
40	-	3,11E-04	2,48E-04	-	7,19E-04	5,60E-04
42	-	3,13E-04	2,41E-04	-	7,15E-04	5,47E-04
f [Hz]	Składowa od przesuwu A_h [m]			Składowa od obrotu A_ϕ [rad]		
	B/120/hmax	B/120/hśr	B/120/hmin	B/120/hmax	B/120/hśr	B/120/hmin
10	1,66E-04	9,58E-05	7,56E-05	2,57E-04	1,56E-04	1,21E-04
12	4,76E-04	2,11E-04	1,16E-04	1,09E-03	3,92E-04	1,86E-04
14	8,74E-04	7,03E-04	3,96E-04	2,33E-03	1,82E-03	9,06E-04
16	8,28E-04	6,98E-04	5,63E-04	1,87E-03	1,59E-03	1,39E-03
18	7,11E-04	6,09E-04	5,21E-04	1,32E-03	1,13E-03	1,06E-03
20	6,09E-04	5,12E-04	4,35E-04	9,81E-04	8,39E-04	7,64E-04
22	5,39E-04	4,49E-04	3,73E-04	7,81E-04	6,65E-04	5,82E-04
24	3,26E-04	4,02E-04	3,28E-04	4,36E-04	5,52E-04	4,75E-04
26	3,00E-04	3,66E-04	2,99E-04	3,82E-04	4,76E-04	3,95E-04
28	2,91E-04	3,55E-04	2,81E-04	3,79E-04	4,64E-04	3,57E-04
30	2,78E-04	3,39E-04	2,66E-04	3,91E-04	4,73E-04	3,50E-04
32	2,87E-04	3,45E-04	2,61E-04	4,27E-04	4,97E-04	3,54E-04
34	2,88E-04	3,75E-04	2,63E-04	4,59E-04	5,96E-04	3,59E-04
36	2,89E-04	3,75E-04	2,64E-04	4,94E-04	6,32E-04	3,74E-04
38	1,44E-04	3,74E-04	2,67E-04	2,59E-04	6,66E-04	3,99E-04
40	1,44E-04	3,47E-04	2,62E-04	2,70E-04	6,24E-04	4,19E-04
42	1,47E-04	3,54E-04	2,63E-04	2,84E-04	6,66E-04	4,44E-04
f [Hz]	Składowa od przesuwu A_h [m]			Składowa od obrotu A_ϕ [rad]		
	C/120/hmax	C/120/hśr	C/120/hmin	C/120/hmax	C/120/hśr	C/120/hmin
10	4,85E-05	4,05E-05	3,76E-05	8,33E-05	7,60E-05	7,49E-05
12	6,77E-05	4,81E-05	3,93E-05	1,05E-04	7,94E-05	6,88E-05
14	1,08E-04	6,76E-05	4,76E-05	1,67E-04	1,04E-04	7,38E-05
16	2,65E-04	1,12E-04	6,79E-05	6,00E-04	1,78E-04	1,05E-04
18	5,01E-04	2,55E-04	1,16E-04	1,15E-03	5,15E-04	1,95E-04
20	7,26E-04	4,11E-04	2,42E-04	1,28E-03	8,50E-04	4,61E-04
22	7,33E-04	4,33E-04	3,21E-04	1,19E-03	9,41E-04	6,65E-04
24	7,22E-04	4,55E-04	3,70E-04	1,07E-03	9,14E-04	7,10E-04
26	7,37E-04	4,77E-04	3,83E-04	1,02E-03	8,58E-04	6,75E-04
28	7,03E-04	4,56E-04	3,76E-04	9,80E-04	8,15E-04	6,64E-04
30	6,30E-04	4,33E-04	3,57E-04	9,60E-04	7,69E-04	6,27E-04
32	6,08E-04	4,19E-04	3,38E-04	9,57E-04	7,56E-04	5,94E-04
34	5,68E-04	4,05E-04	3,26E-04	9,50E-04	7,45E-04	5,78E-04
36	5,60E-04	3,92E-04	3,13E-04	9,55E-04	7,42E-04	5,71E-04
38	5,49E-04	3,85E-04	3,07E-04	9,68E-04	7,53E-04	5,79E-04
40	5,22E-04	3,78E-04	3,02E-04	9,77E-04	7,56E-04	5,80E-04
42	5,21E-04	3,75E-04	2,99E-04	9,98E-04	7,74E-04	5,97E-04

Tablica Z2.12 Bezwymiarowe składowe przemieszczeń od przesuwu \tilde{A}_h i od obrotu \tilde{A}_φ
w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych
Blok o wymiarach: $L \times B \times H = 1,2 \times 0,8 \times 0,7$ m

f [Hz]	Składowa od przesuwu \tilde{A}_h			Składowa od obrotu \tilde{A}_φ		
	A/120/hmax	A/120/hśr	A/120/hmin	A/120/hmax	A/120/hśr	A/120/hmin
10	5,02	5,18	5,60	8,52	8,43	8,99
12	3,60	3,64	3,82	6,10	5,85	5,80
14	3,11	3,20	3,20	5,05	5,07	5,08
16	2,87	2,94	3,00	3,52	3,70	3,88
18	2,64	2,74	2,81	2,70	2,94	3,20
20	2,46	2,61	2,68	2,14	2,44	2,64
22	2,28	2,44	2,54	1,88	2,13	2,27
24	2,17	2,31	2,37	3,36	2,52	2,14
26	2,39	2,48	2,32	5,35	4,88	3,30
28	2,50	2,61	2,51	5,64	5,56	5,09
30	2,55	2,60	2,70	5,47	5,49	5,45
32	2,56	2,56	2,43	5,33	5,50	5,53
34	2,63	2,63	2,55	5,10	5,32	5,58
36	2,55	2,59	2,57	4,87	5,01	5,39
38	-	2,52	2,60	-	4,95	5,26
40	-	2,44	2,60	-	4,91	5,10
42	-	2,46	2,53	-	4,88	4,98

f [Hz]	Składowa od przesuwu \tilde{A}_h			Składowa od obrotu \tilde{A}_φ		
	B/120/hmax	B/120/hśr	B/120/hmin	B/120/hmax	B/120/hśr	B/120/hmin
10	1,02	0,75	0,79	1,37	1,07	1,10
12	2,93	1,66	1,22	5,84	2,68	1,69
14	5,37	5,52	4,15	12,46	12,41	8,25
16	5,09	5,48	5,90	9,98	10,86	12,69
18	4,37	4,78	5,46	7,07	7,74	9,61
20	3,75	4,02	4,56	5,24	5,72	6,96
22	3,31	3,53	3,91	4,17	4,54	5,30
24	2,00	3,15	3,43	2,33	3,77	4,33
26	1,85	2,87	3,13	2,04	3,25	3,60
28	1,79	2,79	2,95	2,03	3,17	3,25
30	1,71	2,66	2,78	2,09	3,23	3,19
32	1,76	2,71	2,74	2,28	3,39	3,23
34	1,77	2,95	2,76	2,45	4,07	3,27
36	1,78	2,95	2,77	2,64	4,31	3,40
38	0,89	2,94	2,79	1,38	4,55	3,63
40	0,89	2,72	2,75	1,44	4,26	3,82
42	0,90	2,78	2,75	1,52	4,54	4,04

f [Hz]	Składowa od przesuwu \tilde{A}_h			Składowa od obrotu \tilde{A}_φ		
	C/120/hmax	C/120/hśr	C/120/hmin	C/120/hmax	C/120/hśr	C/120/hmin
10	0,30	0,32	0,39	0,45	0,52	0,68
12	0,42	0,38	0,41	0,56	0,54	0,63
14	0,66	0,53	0,50	0,89	0,71	0,67
16	1,63	0,88	0,71	3,21	1,21	0,96
18	3,08	2,01	1,22	6,16	3,52	1,78
20	4,46	3,22	2,54	6,83	5,80	4,20
22	4,50	3,40	3,36	6,35	6,43	6,05
24	4,44	3,57	3,87	5,74	6,24	6,46
26	4,53	3,74	4,01	5,44	5,86	6,14
28	4,32	3,58	3,93	5,23	5,57	6,05
30	3,87	3,40	3,74	5,13	5,25	5,71
32	3,74	3,29	3,54	5,11	5,16	5,41
34	3,49	3,18	3,41	5,08	5,09	5,27
36	3,44	3,08	3,28	5,10	5,06	5,20
38	3,37	3,02	3,22	5,17	5,14	5,28
40	3,21	2,97	3,16	5,22	5,16	5,28
42	3,20	2,94	3,13	5,33	5,29	5,43

Tablica Z2.13 Składowe przemieszczeń od przesuwu A_h i od obrotu A_ϕ w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych
 Blok o wymiarach: $L \times B \times H = 1,6 \times 0,8 \times 0,7 \text{ m}$

f [Hz]	Składowa od przesuwu A_h [m]			Składowa od obrotu A_ϕ [rad]		
	A/160/hmax	A/160/hśr	A/160/hmin	A/160/hmax	A/160/hśr	A/160/hmin
10	9,02E-04	8,69E-04	3,99E-04	1,87E-03	1,88E-03	7,64E-04
12	5,72E-04	5,20E-04	5,42E-04	1,07E-03	9,91E-04	1,09E-03
14	4,64E-04	4,12E-04	3,87E-04	7,45E-04	6,95E-04	6,77E-04
16	4,06E-04	3,47E-04	3,09E-04	5,60E-04	4,71E-04	4,37E-04
18	3,64E-04	3,03E-04	2,60E-04	4,53E-04	3,57E-04	3,14E-04
20	3,31E-04	2,73E-04	2,29E-04	3,56E-04	2,86E-04	2,44E-04
22	3,10E-04	2,53E-04	2,08E-04	3,06E-04	2,42E-04	2,05E-04
24	2,91E-04	2,36E-04	1,92E-04	3,21E-04	2,21E-04	1,81E-04
26	2,94E-04	2,22E-04	1,81E-04	4,58E-04	2,60E-04	1,63E-04
28	3,24E-04	2,27E-04	1,75E-04	7,14E-04	3,75E-04	1,76E-04
30	3,35E-04	2,41E-04	1,72E-04	8,17E-04	5,56E-04	2,40E-04
32	3,60E-04	2,63E-04	1,76E-04	8,55E-04	6,58E-04	3,65E-04
34	3,87E-04	2,73E-04	1,96E-04	8,28E-04	6,65E-04	4,77E-04
36	3,88E-04	2,65E-04	2,05E-04	7,62E-04	6,32E-04	4,93E-04
38	3,68E-04	2,64E-04	2,05E-04	7,39E-04	6,26E-04	4,82E-04
40	3,62E-04	2,67E-04	2,02E-04	7,44E-04	6,13E-04	4,79E-04
42	3,52E-04	2,72E-04	2,05E-04	7,56E-04	6,03E-04	4,69E-04
f [Hz]	Składowa od przesuwu A_h [m]			Składowa od obrotu A_ϕ [rad]		
	B/160/hmax	B/160/hśr	B/160/hmin	B/160/hmax	B/160/hśr	B/160/hmin
10	1,33E-04	8,53E-05	5,15E-05	2,18E-04	1,38E-04	8,44E-05
12	3,31E-04	1,60E-04	7,56E-05	6,55E-04	2,65E-04	1,23E-04
14	7,33E-04	5,07E-04	2,09E-04	1,80E-03	1,18E-03	3,90E-04
16	7,25E-04	6,22E-04	4,47E-04	1,47E-03	1,33E-03	9,41E-04
18	5,97E-04	5,39E-04	4,68E-04	9,87E-04	9,42E-04	8,57E-04
20	4,91E-04	4,37E-04	3,76E-04	6,96E-04	6,53E-04	5,79E-04
22	4,27E-04	3,70E-04	3,10E-04	5,47E-04	4,96E-04	4,22E-04
24	3,85E-04	3,23E-04	2,68E-04	4,67E-04	3,98E-04	3,39E-04
26	3,64E-04	3,01E-04	2,40E-04	4,38E-04	3,66E-04	2,89E-04
28	3,50E-04	2,86E-04	2,24E-04	4,46E-04	3,56E-04	2,74E-04
30	3,43E-04	2,76E-04	2,18E-04	4,97E-04	3,77E-04	2,71E-04
32	3,47E-04	2,79E-04	2,07E-04	5,51E-04	4,00E-04	2,64E-04
34	3,50E-04	2,80E-04	2,07E-04	6,18E-04	4,39E-04	2,97E-04
36	3,53E-04	2,82E-04	2,07E-04	6,69E-04	4,81E-04	3,12E-04
38	3,68E-04	2,83E-04	2,08E-04	7,39E-04	5,21E-04	3,42E-04
40	3,64E-04	2,87E-04	2,09E-04	7,44E-04	5,52E-04	3,64E-04
42	3,65E-04	2,98E-04	2,10E-04	7,74E-04	5,96E-04	3,86E-04
f [Hz]	Składowa od przesuwu A_h [m]			Składowa od obrotu A_ϕ [rad]		
	C/160/hmax	C/160/hśr	C/160/hmin	C/160/hmax	C/160/hśr	C/160/hmin
10	3,72E-05	3,55E-05	3,08E-05	6,30E-05	5,97E-05	5,69E-05
12	4,72E-05	3,93E-05	3,02E-05	7,19E-05	6,18E-05	4,85E-05
14	6,70E-05	5,32E-05	3,70E-05	9,76E-05	7,73E-05	5,66E-05
16	1,07E-04	7,82E-05	4,77E-05	1,68E-04	1,14E-04	6,88E-05
18	2,20E-04	1,42E-04	7,75E-05	4,12E-04	2,34E-04	1,13E-04
20	3,77E-04	2,79E-04	1,42E-04	7,49E-04	5,05E-04	2,24E-04
22	4,07E-04	3,10E-04	2,18E-04	8,59E-04	6,18E-04	3,87E-04
24	4,51E-04	3,50E-04	2,68E-04	8,57E-04	6,41E-04	4,55E-04
26	4,66E-04	3,70E-04	2,81E-04	8,41E-04	6,66E-04	4,91E-04
28	4,72E-04	3,74E-04	2,87E-04	8,77E-04	6,93E-04	5,19E-04
30	4,65E-04	3,69E-04	2,86E-04	8,72E-04	6,91E-04	5,27E-04
32	4,44E-04	3,59E-04	2,81E-04	8,41E-04	6,77E-04	5,22E-04
34	4,25E-04	3,42E-04	2,69E-04	8,15E-04	6,55E-04	5,07E-04
36	4,16E-04	3,32E-04	2,65E-04	8,19E-04	6,52E-04	5,14E-04
38	3,68E-04	3,26E-04	2,61E-04	7,39E-04	6,57E-04	5,22E-04
40	3,99E-04	3,23E-04	2,58E-04	8,22E-04	6,64E-04	5,30E-04
42	3,97E-04	3,22E-04	2,57E-04	8,33E-04	6,75E-04	5,38E-04

Tablica Z2.14 Bezwymiarowe składowe przemieszczeń od przesuwu \tilde{A}_h i od obrotu \tilde{A}_φ
w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych
Blok o wymiarach: L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m

f [Hz]	Składowa od przesuwu \tilde{A}_h			Składowa od obrotu \tilde{A}_φ		
	A/160/hmax	A/160/hśr	A/160/hmin	A/160/hmax	A/160/hśr	A/160/hmin
10	7,20	8,87	5,43	13,12	16,89	9,14
12	4,57	5,31	7,38	7,50	8,89	13,08
14	3,71	4,21	5,27	5,23	6,23	8,10
16	3,25	3,54	4,21	3,93	4,23	5,23
18	2,90	3,09	3,54	3,18	3,20	3,76
20	2,65	2,79	3,11	2,50	2,56	2,92
22	2,48	2,58	2,83	2,15	2,17	2,46
24	2,33	2,41	2,62	2,25	1,98	2,16
26	2,35	2,27	2,46	3,22	2,33	1,95
28	2,59	2,31	2,38	5,01	3,37	2,10
30	2,68	2,46	2,34	5,73	4,98	2,87
32	2,88	2,68	2,40	6,00	5,90	4,37
34	3,10	2,78	2,67	5,81	5,97	5,70
36	3,10	2,70	2,80	5,34	5,67	5,90
38	2,94	2,69	2,79	5,19	5,62	5,76
40	2,89	2,73	2,76	5,22	5,50	5,73
42	2,81	2,78	2,79	5,30	5,41	5,61

f [Hz]	Składowa od przesuwu \tilde{A}_h			Składowa od obrotu \tilde{A}_φ		
	B/160/hmax	B/160/hśr	B/160/hmin	B/160/hmax	B/160/hśr	B/160/hmin
10	1,07	0,87	0,70	1,53	1,24	1,01
12	2,64	1,64	1,03	4,59	2,37	1,47
14	5,85	5,17	2,84	12,65	10,55	4,67
16	5,79	6,35	6,09	10,29	11,90	11,25
18	4,77	5,51	6,37	6,93	8,45	10,25
20	3,92	4,47	5,12	4,89	5,85	6,92
22	3,41	3,78	4,22	3,84	4,44	5,05
24	3,08	3,30	3,66	3,28	3,57	4,06
26	2,91	3,08	3,26	3,08	3,28	3,45
28	2,79	2,92	3,05	3,13	3,19	3,28
30	2,74	2,81	2,96	3,49	3,38	3,24
32	2,77	2,85	2,82	3,87	3,59	3,16
34	2,79	2,86	2,82	4,34	3,94	3,55
36	2,82	2,88	2,82	4,70	4,31	3,73
38	2,94	2,89	2,84	5,19	4,67	4,09
40	2,91	2,93	2,85	5,22	4,95	4,36
42	2,92	3,04	2,85	5,43	5,35	4,62

f [Hz]	Składowa od przesuwu \tilde{A}_h			Składowa od obrotu \tilde{A}_φ		
	C/160/hmax	C/160/hśr	C/160/hmin	C/160/hmax	C/160/hśr	C/160/hmin
10	0,30	0,36	0,42	0,44	0,54	0,68
12	0,38	0,40	0,41	0,50	0,55	0,58
14	0,54	0,54	0,50	0,69	0,69	0,68
16	0,86	0,80	0,65	1,18	1,02	0,82
18	1,76	1,45	1,06	2,89	2,10	1,36
20	3,01	2,85	1,93	5,26	4,53	2,68
22	3,25	3,17	2,97	6,03	5,54	4,63
24	3,60	3,57	3,65	6,02	5,75	5,44
26	3,73	3,78	3,83	5,90	5,97	5,87
28	3,77	3,82	3,91	6,15	6,21	6,21
30	3,72	3,77	3,89	6,12	6,20	6,30
32	3,55	3,67	3,82	5,90	6,07	6,24
34	3,40	3,49	3,67	5,72	5,88	6,07
36	3,32	3,39	3,60	5,75	5,85	6,14
38	2,94	3,33	3,56	5,19	5,89	6,24
40	3,19	3,30	3,52	5,77	5,95	6,34
42	3,17	3,29	3,50	5,85	6,05	6,43

Tablica Z2.15 Kąty przesunięcia fazowego α_k pomiędzy składową translacyjną A_k a siłą wzbudzającą w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych

f [Hz]	Kąt przesunięcia fazowego α_k [rad]; Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 m								
	A/80/hmax	A/80/hśr	A/80/hmin	B/80/hmax	B/80/hśr	B/80/hmin	C/80/hmax	C/80/hśr	C/80/hmin
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2,75	2,70	2,69	2,42	2,47	2,52	1,75	1,66	-
22	2,86	2,83	2,73	2,66	2,67	2,67	2,04	1,92	1,64
24	2,95	2,92	2,92	2,75	2,78	2,79	2,06	2,01	1,88
26	2,78	2,95	2,93	2,88	2,82	2,88	2,25	2,17	2,21
28	3,42	2,85	3,01	2,94	2,92	2,94	2,52	2,45	2,45
30	2,91	3,19	2,94	3,09	2,99	2,99	2,65	2,62	2,64
32	2,93	3,40	3,06	3,19	3,18	3,06	2,82	2,75	2,72
34	2,98	3,05	3,27	2,94	2,98	3,10	2,87	2,84	2,84
36	3,08	3,13	3,24	3,13	2,90	3,06	2,96	2,96	2,92
38	3,12	3,20	3,22	3,17	3,30	3,13	3,03	3,01	2,99
40	-	3,29	3,25	3,24	3,43	3,20	3,11	3,11	3,09
42	-	3,33	3,31	3,26	3,38	3,10	3,27	3,26	3,18
f [Hz]	Kąt przesunięcia fazowego α_k [rad]; Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 m								
	A/120/hmax	A/120/hśr	A/120/hmin	B/120/hmax	B/120/hśr	B/120/hmin	C/120/hmax	C/120/hśr	C/120/hmin
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2,76	2,74	2,70	2,43	2,38	-	1,26	1,59	0,69
22	2,87	2,81	2,85	2,64	2,58	-	1,50	1,78	1,18
24	2,76	2,78	2,77	2,72	2,68	-	1,87	2,07	1,15
26	2,83	2,82	2,78	2,75	2,69	-	2,11	2,63	1,57
28	3,00	2,98	2,88	2,83	2,79	-	2,29	3,07	1,90
30	3,08	3,10	3,06	2,73	2,80	-	2,43	3,35	2,17
32	3,19	2,98	3,26	2,78	2,77	2,76	2,40	3,52	2,32
34	3,13	3,23	2,92	2,92	2,88	2,84	2,66	3,73	2,46
36	3,31	3,40	2,99	2,95	2,91	2,90	2,42	3,84	2,57
38	-	3,51	3,27	3,00	3,04	2,99	2,87	4,06	2,69
40	-	3,64	3,20	3,07	3,06	3,09	3,02	4,30	2,84
42	-	-	3,68	3,12	3,10	3,12	3,05	4,54	2,97
f [Hz]	Kąt przesunięcia fazowego α_k [rad]; Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m								
	A/160/hmax	A/160/hśr	A/160/hmin	B/160/hmax	B/160/hśr	B/160/hmin	C/160/hmax	C/160/hśr	C/160/hmin
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2,70	2,69	2,72	2,44	2,33	2,19	0,83	0,90	-
22	2,77	2,72	2,71	2,61	2,53	2,46	1,11	1,06	0,97
24	2,65	2,81	2,81	2,63	2,58	2,61	1,38	1,31	1,20
26	2,74	2,80	2,86	2,75	2,70	2,71	1,77	1,70	1,63
28	2,79	2,74	2,86	2,83	2,74	2,69	2,03	1,96	1,87
30	2,89	2,76	2,81	2,74	2,68	2,80	2,27	2,19	2,13
32	2,80	2,85	2,86	2,82	2,75	2,86	2,44	2,36	2,32
34	3,04	2,99	2,86	2,90	2,84	2,79	2,62	2,54	2,51
36	3,12	3,11	3,00	2,96	2,92	2,88	2,79	2,69	2,66
38	-	2,99	3,12	2,99	2,99	2,96	2,92	2,81	2,79
40	-	3,06	2,99	2,99	2,99	3,02	3,01	2,90	2,90
42	-	3,15	3,17	3,22	3,04	3,11	3,10	2,99	2,97

Tablica Z2.16 Kąty przesunięcia fazowego α_ϕ pomiędzy składową rotacyjną A_ϕ a siłą wzbudzącą w ruchu złożonym przesuwno-obrotowym bloków fundamentowych

f [Hz]	Kąt przesunięcia fazowego α_ϕ [rad]; Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 m								
	A/80/hmax	A/80/hśr	A/80/hmin	B/80/hmax	B/80/hśr	B/80/hmin	C/80/hmax	C/80/hśr	C/80/hmin
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2,55	2,55	2,47	2,17	2,25	2,21	1,66	1,53	-
22	2,67	2,66	2,58	2,40	2,42	2,39	2,00	1,84	1,61
24	2,51	2,73	2,72	2,47	2,52	2,52	2,05	1,98	1,84
26	2,44	2,57	2,70	2,43	2,59	2,61	2,14	2,13	2,10
28	1,89	2,32	2,61	2,45	2,61	2,57	2,42	2,36	2,33
30	2,25	1,73	2,40	2,48	2,54	2,65	2,51	2,45	2,50
32	2,47	2,16	2,62	2,40	2,45	2,70	2,64	2,55	2,60
34	2,65	2,50	2,63	2,57	2,52	2,62	2,43	2,63	2,68
36	2,80	2,65	2,49	2,72	2,50	2,64	2,49	2,70	2,61
38	2,90	2,82	2,70	2,79	2,80	2,74	2,56	2,65	2,53
40	-	2,97	2,81	2,90	2,88	2,80	2,66	2,74	2,58
42	-	3,05	2,93	2,91	2,99	2,68	2,75	2,81	2,58
f [Hz]	Kąt przesunięcia fazowego α_ϕ [rad]; Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 m								
	A/120/hmax	A/120/hśr	A/120/hmin	B/120/hmax	B/120/hśr	B/120/hmin	C/120/hmax	C/120/hśr	C/120/hmin
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2,56	2,61	2,61	2,16	2,07	-	0,98	0,86	0,21
22	2,50	2,57	2,68	2,31	2,22	-	1,38	1,48	0,63
24	1,70	2,25	2,53	2,44	2,32	-	1,65	1,99	1,07
26	2,06	1,85	2,01	2,39	2,35	-	1,93	2,53	1,46
28	2,44	2,24	2,02	2,42	2,41	-	2,09	2,91	1,76
30	2,69	2,57	2,37	2,34	2,37	-	2,22	3,15	2,00
32	2,92	2,75	2,41	2,44	2,44	2,46	2,27	3,27	2,13
34	3,01	2,89	2,67	2,50	2,50	2,52	2,34	3,39	2,22
36	3,09	2,97	2,89	2,55	2,56	2,58	2,42	3,44	2,25
38	-	3,16	2,89	2,66	2,66	2,65	2,56	3,64	2,36
40	-	3,32	3,09	2,77	2,72	2,77	2,70	3,87	2,50
42	-	-	2,94	2,89	2,86	2,80	2,82	4,08	2,64
f [Hz]	Kąt przesunięcia fazowego α_ϕ [rad]; Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m								
	A/160/hmax	A/160/hśr	A/160/hmin	B/160/hmax	B/160/hśr	B/160/hmin	C/160/hmax	C/160/hśr	C/160/hmin
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2,45	2,49	2,51	2,20	2,07	1,90	0,52	0,44	-
22	2,52	2,53	2,51	2,29	2,24	2,20	0,95	0,82	0,52
24	2,36	2,53	2,56	2,27	2,20	2,30	1,29	1,20	1,03
26	1,68	2,32	2,64	2,37	2,33	2,40	1,65	1,55	1,42
28	1,93	1,74	2,49	2,31	2,31	2,33	1,89	1,79	1,66
30	2,24	1,90	2,02	2,28	2,28	2,39	2,10	1,99	1,89
32	2,49	2,21	1,80	2,30	2,35	2,31	2,25	2,14	2,06
34	2,91	2,49	2,11	2,38	2,38	2,71	2,39	2,27	2,19
36	3,02	2,61	2,46	2,51	2,47	2,42	2,56	2,43	2,34
38	-	2,71	2,57	2,61	2,51	2,44	2,66	2,57	2,47
40	-	2,87	2,73	2,69	2,61	2,90	2,76	2,67	2,62
42	-	3,08	2,90	3,00	2,79	2,63	2,91	2,78	2,72

Z2.3. Propagacja drgań w gruncie

Tablica Z2.17 Prędkości fazowe \hat{C} oraz długości \hat{L} fali powierzchniowej, generowanej w gruncie podczas drgań pionowych fundamentów o zróżnicowanej długości, przy maksymalnym poziomie obciążenia

f [Hz]	Δt (A/80/vmax) [s]	\hat{C} [m/s]	\hat{L} [m]
10	-	-	-
12	-	-	-
14	-	-	-
16	-	-	-
18	-	-	-
20	-	-	-
22	0,01188	134,68	6,12
24	0,01269	126,08	5,25
26	0,01282	124,80	4,80
28	0,01268	126,18	4,51
30	0,01242	128,82	4,29
32	0,01248	128,21	4,01
34	0,01255	127,49	3,75
36	0,01269	126,08	3,50
38	0,01295	123,55	3,25
40	0,01302	122,89	3,07
42	0,01341	119,31	2,84
f [Hz]	Δt (A/120/vmax) [s]	\hat{C} [m/s]	\hat{L} [m]
10	-	-	-
12	-	-	-
14	-	-	-
16	-	-	-
18	-	-	-
20	-	-	-
22	0,01068	149,81	6,81
24	0,01208	132,45	5,52
26	0,01228	130,29	5,01
28	0,01228	130,29	4,65
30	0,01195	133,89	4,46
32	0,01188	134,68	4,21
34	0,01208	132,45	3,90
36	0,01215	131,69	3,66
38	0,01229	130,19	3,43
40	0,01269	126,08	3,15
42	0,01261	126,88	3,02
f [Hz]	Δt (A/160/vmax) [s]	\hat{C} [m/s]	\hat{L} [m]
10	-	-	-
12	-	-	-
14	-	-	-
16	-	-	-
18	-	-	-
20	-	-	-
22	0,01061	150,80	6,85
24	0,01142	140,11	5,84
26	0,01081	148,01	5,69
28	0,00961	166,49	5,95
30	0,01034	154,74	5,16
32	0,01148	139,37	4,36
34	0,01175	136,17	4,01
36	0,01168	136,99	3,81
38	0,01268	126,18	3,32
40	0,01282	124,80	3,12
42	0,01282	124,80	2,97

ZAŁĄCZNIK 3

Współczynniki podłoża gruntowego

Z3.1. Drgania pionowe

Tablica Z3.1 Dwuparametrowy model podłoża gruntowego - wartości K_{vv}^0 , C_{vv}^0 , estymacja parametrów z rozwiązania zagadnienia odwrotnego, blok $L \times B \times H = 0,8 \times 0,8 \times 0,7$ m

f [Hz]	K_{vv}^0 [N/m]								
	A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	3,49E+07	-	-	-	4,98E+07	-	-	-	-
24	2,91E+07	3,17E+07	3,63E+07	-	4,10E+07	5,46E+07	4,78E+07	5,89E+07	7,54E+07
26	2,93E+07	3,11E+07	3,36E+07	3,99E+07	3,64E+07	4,07E+07	4,57E+07	5,23E+07	6,60E+07
28	3,01E+07	3,15E+07	3,37E+07	3,77E+07	4,15E+07	4,02E+07	4,58E+07	5,11E+07	5,80E+07
30	3,09E+07	3,27E+07	3,50E+07	3,75E+07	4,07E+07	4,35E+07	4,67E+07	5,12E+07	5,63E+07
32	3,00E+07	3,20E+07	3,45E+07	3,72E+07	4,02E+07	4,17E+07	4,71E+07	5,19E+07	5,58E+07
34	2,94E+07	3,06E+07	3,27E+07	3,75E+07	3,97E+07	4,13E+07	4,68E+07	5,15E+07	5,63E+07
36	2,87E+07	2,92E+07	3,06E+07	3,75E+07	3,99E+07	3,95E+07	4,48E+07	5,04E+07	5,52E+07
38	2,85E+07	2,94E+07	2,96E+07	3,64E+07	3,98E+07	3,88E+07	4,32E+07	4,89E+07	5,21E+07
40	2,81E+07	3,00E+07	2,96E+07	3,56E+07	3,91E+07	3,77E+07	4,15E+07	4,68E+07	5,00E+07
42	2,67E+07	2,98E+07	2,94E+07	3,41E+07	3,85E+07	3,66E+07	4,00E+07	4,49E+07	4,73E+07
f [Hz]	C_{vv}^0 [Ns/m]								
	A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	5,51E+04	-	-	-	-	-	-	-	-
24	6,71E+04	6,91E+04	7,27E+04	-	9,03E+04	5,08E+04	6,33E+04	5,49E+04	4,46E+04
26	8,03E+04	8,22E+04	8,41E+04	1,15E+05	1,36E+05	1,10E+05	8,68E+04	8,51E+04	9,60E+04
28	9,49E+04	9,80E+04	1,03E+05	9,93E+04	1,08E+05	1,36E+05	1,09E+05	1,07E+05	1,14E+05
30	1,05E+05	1,10E+05	1,18E+05	1,09E+05	1,07E+05	1,28E+05	1,23E+05	1,22E+05	1,27E+05
32	1,03E+05	1,08E+05	1,18E+05	1,19E+05	1,16E+05	1,36E+05	1,36E+05	1,37E+05	1,43E+05
34	1,06E+05	1,08E+05	1,16E+05	1,24E+05	1,19E+05	1,41E+05	1,39E+05	1,44E+05	1,54E+05
36	1,08E+05	1,06E+05	1,16E+05	1,24E+05	1,20E+05	1,40E+05	1,35E+05	1,44E+05	1,53E+05
38	1,05E+05	1,04E+05	1,16E+05	1,16E+05	1,13E+05	1,36E+05	1,34E+05	1,43E+05	1,44E+05
40	9,29E+04	9,92E+04	1,10E+05	1,08E+05	1,05E+05	1,28E+05	1,26E+05	1,37E+05	1,37E+05
42	7,83E+04	8,63E+04	1,00E+05	9,18E+04	9,15E+04	1,15E+05	1,14E+05	1,27E+05	1,27E+05

Tablica Z3.2 Dwuparametrowy model podłoża gruntowego - wartości K_{vv}^0 , C_{vv}^0 ,
estymacja parametrów z rozwiązania zagadnienia odwrotnego,
blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 m

f [Hz]	K_{vv}^0 [N/m]								
	A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	5,34E+07	-	5,97E+07	-	-	-	-	-	-
22	5,11E+07	-	4,98E+07	-	8,23E+07	1,00E+08	-	-	-
24	4,25E+07	4,63E+07	5,09E+07	7,42E+07	7,59E+07	9,16E+07	1,02E+08	1,10E+08	1,24E+08
26	4,22E+07	4,43E+07	4,76E+07	5,86E+07	7,02E+07	8,28E+07	1,01E+08	1,00E+08	1,12E+08
28	4,18E+07	4,41E+07	4,72E+07	6,04E+07	6,21E+07	7,69E+07	8,82E+07	9,33E+07	1,03E+08
30	4,24E+07	4,42E+07	4,74E+07	5,58E+07	5,59E+07	7,50E+07	8,46E+07	8,74E+07	1,00E+08
32	4,18E+07	4,56E+07	4,78E+07	6,20E+07	4,59E+07	6,72E+07	8,01E+07	8,27E+07	8,96E+07
34	3,94E+07	4,46E+07	4,81E+07	5,98E+07	5,82E+07	6,30E+07	8,17E+07	8,12E+07	8,64E+07
36	3,81E+07	4,13E+07	4,77E+07	5,78E+07	6,12E+07	6,01E+07	7,72E+07	7,80E+07	8,34E+07
38	4,22E+07	3,95E+07	4,63E+07	5,56E+07	5,92E+07	6,25E+07	7,19E+07	7,09E+07	7,74E+07
40	4,61E+07	3,89E+07	4,58E+07	5,35E+07	5,52E+07	6,43E+07	6,64E+07	6,54E+07	7,30E+07
42	4,50E+07	3,66E+07	4,27E+07	5,09E+07	5,36E+07	5,91E+07	6,00E+07	6,04E+07	6,52E+07
f [Hz]	C_{vv}^0 [Ns/m]								
A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	7,59E+04	-	4,83E+04	-	-	-	-	-	-
22	9,49E+04	-	1,11E+05	-	-	-	-	-	-
24	9,56E+04	9,30E+04	1,10E+05	7,18E+04	7,16E+04	7,96E+04	7,20E+04	9,94E+04	1,41E+05
26	1,05E+05	1,14E+05	1,11E+05	1,71E+05	1,15E+05	1,24E+05	1,77E+05	1,71E+05	2,11E+05
28	1,35E+05	1,34E+05	1,34E+05	2,01E+05	1,67E+05	1,61E+05	2,02E+05	2,22E+05	2,61E+05
30	1,51E+05	1,52E+05	1,55E+05	2,07E+05	2,05E+05	1,91E+05	2,31E+05	2,50E+05	2,80E+05
32	1,50E+05	1,55E+05	1,58E+05	1,80E+05	1,85E+05	2,20E+05	2,57E+05	2,72E+05	2,99E+05
34	1,47E+05	1,54E+05	1,59E+05	1,80E+05	2,15E+05	2,29E+05	2,77E+05	2,87E+05	3,16E+05
36	1,45E+05	1,38E+05	1,56E+05	1,74E+05	2,08E+05	2,23E+05	2,74E+05	2,86E+05	3,18E+05
38	1,70E+05	1,30E+05	1,49E+05	1,67E+05	1,88E+05	2,27E+05	2,67E+05	2,73E+05	3,09E+05
40	1,85E+05	1,15E+05	1,32E+05	1,60E+05	1,67E+05	2,14E+05	2,58E+05	2,57E+05	2,94E+05
42	1,69E+05	1,06E+05	9,26E+04	1,47E+05	1,55E+05	1,95E+05	2,35E+05	2,36E+05	2,72E+05

Tablica Z3.3 Dwuparametrowy model podłoża gruntowego - wartości K_{vv}^0 , C_{vv}^0 ,
estymacja parametrów z rozwiązania zagadnienia odwrotnego,
blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m

f [Hz]	K_{vv}^0 [N/m]								
	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	6,89E+07	7,41E+07	-	-	-	-	-	-	-
20	4,47E+07	6,60E+07	7,68E+07	8,35E+07	-	-	-	-	-
22	6,29E+07	7,19E+07	6,54E+07	7,45E+07	8,62E+07	9,46E+07	1,48E+08	1,61E+08	-
24	5,29E+07	5,55E+07	5,81E+07	6,76E+07	7,31E+07	8,24E+07	1,32E+08	1,47E+08	1,72E+08
26	4,94E+07	5,18E+07	5,43E+07	7,02E+07	6,51E+07	7,23E+07	1,23E+08	1,35E+08	1,54E+08
28	4,45E+07	4,88E+07	5,06E+07	6,68E+07	5,39E+07	6,23E+07	1,15E+08	1,25E+08	1,37E+08
30	4,42E+07	4,72E+07	4,84E+07	6,03E+07	7,09E+07	8,03E+07	1,11E+08	1,20E+08	1,30E+08
32	4,53E+07	4,49E+07	4,35E+07	6,59E+07	8,80E+07	9,32E+07	1,06E+08	1,14E+08	1,18E+08
34	4,62E+07	4,09E+07	4,38E+07	7,38E+07	8,82E+07	9,32E+07	1,04E+08	1,18E+08	1,15E+08
36	4,66E+07	4,42E+07	4,09E+07	6,90E+07	8,34E+07	9,19E+07	9,47E+07	1,08E+08	1,08E+08
38	4,59E+07	4,42E+07	3,96E+07	5,92E+07	7,94E+07	8,59E+07	8,66E+07	1,01E+08	1,01E+08
40	-	4,10E+07	3,86E+07	5,25E+07	7,53E+07	7,51E+07	8,07E+07	9,05E+07	9,44E+07
42	-	3,47E+07	3,51E+07	-	6,85E+07	6,54E+07	7,63E+07	8,69E+07	8,38E+07
f [Hz]	C_{vv}^0 [Ns/m]								
	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,80E+05	9,56E+04	8,00E+04	1,04E+05	-	-	-	-	-
22	1,27E+05	-	1,48E+05	1,49E+05	1,69E+05	1,52E+05	1,16E+05	1,20E+05	-
24	1,31E+05	1,33E+05	1,44E+05	1,64E+05	2,06E+05	1,95E+05	2,17E+05	2,40E+05	1,71E+05
26	1,50E+05	1,56E+05	1,60E+05	1,72E+05	2,19E+05	2,18E+05	2,58E+05	2,98E+05	3,27E+05
28	1,54E+05	1,74E+05	1,78E+05	1,98E+05	2,11E+05	2,24E+05	3,22E+05	3,48E+05	3,96E+05
30	1,64E+05	1,78E+05	1,86E+05	2,11E+05	2,52E+05	2,49E+05	3,45E+05	3,83E+05	4,38E+05
32	1,74E+05	1,71E+05	1,51E+05	2,40E+05	2,73E+05	2,69E+05	3,66E+05	4,03E+05	4,49E+05
34	1,58E+05	1,48E+05	1,56E+05	2,65E+05	2,98E+05	2,93E+05	3,68E+05	4,00E+05	4,55E+05
36	1,26E+05	1,89E+05	1,37E+05	2,65E+05	3,19E+05	3,24E+05	3,65E+05	3,94E+05	4,34E+05
38	8,17E+04	1,89E+05	1,30E+05	2,62E+05	3,44E+05	3,48E+05	3,65E+05	3,90E+05	4,19E+05
40	-	1,76E+05	1,41E+05	2,35E+05	3,76E+05	3,64E+05	3,58E+05	3,83E+05	4,09E+05
42	-	8,95E+04	1,30E+05	-	3,99E+05	3,83E+05	3,35E+05	3,78E+05	3,96E+05

Tablica Z3.4 Dwuparametrowy model podłoża gruntowego - wartości K_{vv}^0 , C_{vv}^0 , z estymacji metodą najmniejszych kwadratów

Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]				
Zagłębienie h_p [m]	Współczynniki podłoża	Poziom obciążenia m_{0e} [kgm]		
		0,28470	0,22280	0,16702
0,00	K_{vv}^0 [MN/m]	29,61	31,27	32,94
	C_{vv}^0 [MN/m]	0,084	0,091	0,101
0,35	K_{vv}^0 [MN/m]	38,89	41,46	43,19
	C_{vv}^0 [MN/m]	0,116	0,115	0,138
0,70	K_{vv}^0 [MN/m]	42,32	48,20	56,50
	C_{vv}^0 [MN/m]	0,124	0,136	0,150
Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]				
Zagłębienie h_p [m]	Współczynniki podłoża	Poziom obciążenia m_{0e} [kgm]		
		0,28470	0,22280	0,16702
0,00	K_{vv}^0 [MN/m]	41,98	43,51	46,09
	C_{vv}^0 [MN/m]	0,119	0,124	0,131
0,35	K_{vv}^0 [MN/m]	64,43	61,31	69,56
	C_{vv}^0 [MN/m]	0,193	0,200	0,226
0,70	K_{vv}^0 [MN/m]	81,55	85,99	96,62
	C_{vv}^0 [MN/m]	0,275	0,288	0,318
Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]				
Zagłębienie h_p [m]	Współczynniki podłoża	Poziom obciążenia m_{0e} [kgm]		
		0,28470	0,22280	0,16702
0,00	K_{vv}^0 [MN/m]	51,45	52,83	55,50
	C_{vv}^0 [MN/m]	0,159	0,172	0,184
0,35	K_{vv}^0 [MN/m]	61,93	67,21	69,98
	C_{vv}^0 [MN/m]	0,205	0,251	0,255
0,70	K_{vv}^0 [MN/m]	106,91	119,39	133,10
	C_{vv}^0 [MN/m]	0,384	0,411	0,446

Tablica Z3.5 Trójparametrowy model podłoża gruntowego - wartości $K_{VV, sf}^0$, C_{VV}^0 , m_1 z estymacji metodą najmniejszych kwadratów

Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]									
Zagłębienie h_p [m]	K_{VV}^0 [MN/m]			C_{VV}^0 [MNs/m]			m_1 [kg]		
	Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]			Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]			Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]		
	0,2847	0,2228	0,16702	0,2847	0,2228	0,16702	0,2847	0,2228	0,16702
0,00	37,85	38,28	43,04	0,075	0,083	0,091	318	258	354
0,35	47,04	46,51	54,04	0,108	0,111	0,128	243	143	316
0,70	48,64	56,80	67,66	0,119	0,129	0,142	187	236	289
Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]									
Zagłębienie h_p [m]	K_{VV}^0 [MN/m]			C_{VV}^0 [MNs/m]			m_1		
	Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]			Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]			Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]		
	0,2847	0,2228	0,16702	0,2847	0,2228	0,16702	0,2847	0,2228	0,16702
0,00	55,94	54,78	54,90	0,104	0,112	0,121	528	418	306
0,35	72,86	68,94	86,64	0,187	0,192	0,211	227	234	486
0,70	105,86	107,83	120,75	0,257	0,274	0,307	670	605	675
Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]									
Zagłębienie h_p [m]	K_{VV}^0 [MN/m]			C_{VV}^0 [MNs/m]			m_1		
	Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]			Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]			Poziom obciążenia $m_{0,e}$ [kgm]		
	0,2847	0,2228	0,16702	0,2847	0,2228	0,16702	0,2847	0,2228	0,16702
0,00	59,95	71,93	75,83	0,150	0,150	0,161	332	728	755
0,35	78,75	94,11	98,61	0,188	0,224	0,227	562	835	848
0,70	140,10	149,52	165,56	0,360	0,394	0,434	917	828	908

Tablica Z3.6 Półprzeźrenia inercyjna z tłumieniem materiałowym typu histerezy -
 pionowe funkcje dynamiczne półprzeźrenia pod blokiem $K_{vv}^{(1)}$, $C_{vv}^{(1)}$
 i zasypanki $K_{vv}^{(2)}$, $C_{vv}^{(2)}$

f [Hz]	$K_{vv}^{(1)}$ [N/m]		$C_{vv}^{(1)}$ [Ns/m]		$K_{vv}^{(2)}$ [N/m]		$C_{vv}^{(2)}$ [Ns/m]		$K_{vv}^{(2)}$ [N/m]		$C_{vv}^{(2)}$ [Ns/m]	
	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0$	$\delta=0,10$	$\delta=0$	$\delta=0,10$	$\delta=0$	$\delta=0,10$	$\delta=0$	$\delta=0,10$
	E=0,0m				E=0,35m				E=0,70m			
	Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	6,15E+07	6,11E+07	1,95E+05	2,75E+05	8,25E+06	7,68E+06	1,47E+05	1,59E+05	1,65E+07	1,54E+07	2,93E+05	3,18E+05
12	6,13E+07	6,08E+07	1,95E+05	2,65E+05	8,46E+06	7,83E+06	1,43E+05	1,54E+05	1,69E+07	1,57E+07	2,86E+05	3,08E+05
14	6,11E+07	6,06E+07	1,94E+05	2,56E+05	8,67E+06	7,97E+06	1,39E+05	1,50E+05	1,73E+07	1,59E+07	2,79E+05	2,99E+05
16	6,08E+07	6,02E+07	1,94E+05	2,49E+05	8,86E+06	8,09E+06	1,36E+05	1,46E+05	1,77E+07	1,62E+07	2,72E+05	2,91E+05
18	6,05E+07	5,99E+07	1,94E+05	2,42E+05	9,03E+06	8,19E+06	1,33E+05	1,42E+05	1,81E+07	1,64E+07	2,66E+05	2,83E+05
20	6,01E+07	5,95E+07	1,93E+05	2,36E+05	9,19E+06	8,29E+06	1,30E+05	1,38E+05	1,84E+07	1,66E+07	2,61E+05	2,76E+05
22	5,97E+07	5,91E+07	1,93E+05	2,31E+05	9,34E+06	8,37E+06	1,28E+05	1,35E+05	1,87E+07	1,67E+07	2,56E+05	2,70E+05
24	5,93E+07	5,86E+07	1,93E+05	2,26E+05	9,48E+06	8,44E+06	1,26E+05	1,32E+05	1,90E+07	1,69E+07	2,51E+05	2,65E+05
26	5,88E+07	5,81E+07	1,93E+05	2,23E+05	9,61E+06	8,50E+06	1,24E+05	1,30E+05	1,92E+07	1,70E+07	2,47E+05	2,59E+05
28	5,83E+07	5,76E+07	1,93E+05	2,20E+05	9,72E+06	8,54E+06	1,22E+05	1,27E+05	1,94E+07	1,71E+07	2,44E+05	2,55E+05
30	5,78E+07	5,71E+07	1,93E+05	2,17E+05	9,83E+06	8,58E+06	1,20E+05	1,25E+05	1,97E+07	1,72E+07	2,41E+05	2,51E+05
32	5,72E+07	5,65E+07	1,93E+05	2,15E+05	9,92E+06	8,61E+06	1,19E+05	1,24E+05	1,98E+07	1,72E+07	2,38E+05	2,47E+05
34	5,66E+07	5,59E+07	1,93E+05	2,14E+05	1,00E+07	8,63E+06	1,18E+05	1,22E+05	2,00E+07	1,73E+07	2,36E+05	2,44E+05
36	5,60E+07	5,53E+07	1,93E+05	2,13E+05	1,01E+07	8,64E+06	1,17E+05	1,21E+05	2,02E+07	1,73E+07	2,34E+05	2,42E+05
38	5,54E+07	5,46E+07	1,93E+05	2,13E+05	1,02E+07	8,64E+06	1,16E+05	1,20E+05	2,03E+07	1,73E+07	2,32E+05	2,40E+05
40	5,47E+07	5,40E+07	1,94E+05	2,12E+05	1,02E+07	8,63E+06	1,15E+05	1,19E+05	2,04E+07	1,73E+07	2,31E+05	2,38E+05
42	5,41E+07	5,33E+07	1,94E+05	2,12E+05	1,03E+07	8,62E+06	1,15E+05	1,18E+05	2,05E+07	1,72E+07	2,30E+05	2,36E+05
	Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	7,26E+07	7,20E+07	3,01E+05	3,94E+05	8,16E+06	7,53E+06	1,70E+05	1,83E+05	1,63E+07	1,51E+07	3,40E+05	3,67E+05
12	7,21E+07	7,15E+07	3,00E+05	3,82E+05	8,39E+06	7,69E+06	1,65E+05	1,77E+05	1,68E+07	1,54E+07	3,30E+05	3,54E+05
14	7,16E+07	7,09E+07	2,99E+05	3,71E+05	8,61E+06	7,82E+06	1,60E+05	1,71E+05	1,72E+07	1,56E+07	3,21E+05	3,42E+05
16	7,10E+07	7,03E+07	2,98E+05	3,62E+05	8,81E+06	7,94E+06	1,56E+05	1,66E+05	1,76E+07	1,59E+07	3,12E+05	3,31E+05
18	7,05E+07	6,97E+07	2,98E+05	3,54E+05	8,98E+06	8,03E+06	1,53E+05	1,61E+05	1,80E+07	1,61E+07	3,05E+05	3,22E+05
20	6,99E+07	6,91E+07	2,97E+05	3,47E+05	9,14E+06	8,11E+06	1,49E+05	1,57E+05	1,83E+07	1,62E+07	2,99E+05	3,14E+05
22	6,93E+07	6,85E+07	2,97E+05	3,41E+05	9,29E+06	8,17E+06	1,47E+05	1,53E+05	1,86E+07	1,63E+07	2,93E+05	3,07E+05
24	6,87E+07	6,78E+07	2,97E+05	3,37E+05	9,41E+06	8,22E+06	1,44E+05	1,50E+05	1,88E+07	1,64E+07	2,89E+05	3,01E+05
26	6,81E+07	6,72E+07	2,97E+05	3,33E+05	9,52E+06	8,25E+06	1,42E+05	1,48E+05	1,90E+07	1,65E+07	2,85E+05	2,96E+05
28	6,75E+07	6,65E+07	2,97E+05	3,30E+05	9,62E+06	8,27E+06	1,41E+05	1,46E+05	1,92E+07	1,65E+07	2,81E+05	2,91E+05
30	6,68E+07	6,58E+07	2,97E+05	3,27E+05	9,71E+06	8,27E+06	1,39E+05	1,44E+05	1,94E+07	1,65E+07	2,79E+05	2,88E+05
32	6,62E+07	6,51E+07	2,98E+05	3,26E+05	9,78E+06	8,26E+06	1,38E+05	1,43E+05	1,96E+07	1,65E+07	2,77E+05	2,85E+05
34	6,56E+07	6,43E+07	2,98E+05	3,25E+05	9,84E+06	8,25E+06	1,38E+05	1,41E+05	1,97E+07	1,65E+07	2,75E+05	2,83E+05
36	6,49E+07	6,36E+07	2,99E+05	3,24E+05	9,89E+06	8,22E+06	1,37E+05	1,41E+05	1,98E+07	1,64E+07	2,74E+05	2,81E+05
38	6,43E+07	6,29E+07	2,99E+05	3,24E+05	9,94E+06	8,18E+06	1,37E+05	1,40E+05	1,99E+07	1,64E+07	2,73E+05	2,80E+05
40	6,36E+07	6,21E+07	3,00E+05	3,25E+05	9,97E+06	8,14E+06	1,37E+05	1,40E+05	1,99E+07	1,63E+07	2,73E+05	2,80E+05
42	6,30E+07	6,13E+07	3,01E+05	3,26E+05	1,00E+07	8,08E+06	1,37E+05	1,40E+05	2,00E+07	1,62E+07	2,73E+05	2,80E+05
	Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	6,68E+07	6,62E+07	3,61E+05	4,50E+05	6,63E+06	6,05E+06	1,65E+05	1,77E+05	1,33E+07	1,21E+07	3,31E+05	3,54E+05
12	6,61E+07	6,54E+07	3,60E+05	4,37E+05	6,84E+06	6,17E+06	1,60E+05	1,70E+05	1,37E+07	1,23E+07	3,19E+05	3,39E+05
14	6,53E+07	6,47E+07	3,59E+05	4,26E+05	7,02E+06	6,27E+06	1,55E+05	1,63E+05	1,40E+07	1,25E+07	3,10E+05	3,27E+05
16	6,46E+07	6,39E+07	3,58E+05	4,17E+05	7,17E+06	6,34E+06	1,51E+05	1,58E+05	1,43E+07	1,27E+07	3,02E+05	3,16E+05
18	6,39E+07	6,32E+07	3,58E+05	4,09E+05	7,31E+06	6,39E+06	1,48E+05	1,54E+05	1,46E+07	1,28E+07	2,95E+05	3,08E+05
20	6,33E+07	6,25E+07	3,58E+05	4,03E+05	7,42E+06	6,43E+06	1,45E+05	1,50E+05	1,48E+07	1,29E+07	2,90E+05	3,01E+05
22	6,26E+07	6,17E+07	3,58E+05	3,98E+05	7,52E+06	6,44E+06	1,43E+05	1,48E+05	1,50E+07	1,29E+07	2,86E+05	2,95E+05
24	6,20E+07	6,10E+07	3,58E+05	3,94E+05	7,60E+06	6,44E+06	1,41E+05	1,46E+05	1,52E+07	1,29E+07	2,83E+05	2,91E+05
26	6,13E+07	6,02E+07	3,58E+05	3,91E+05	7,67E+06	6,42E+06	1,40E+05	1,44E+05	1,53E+07	1,28E+07	2,80E+05	2,88E+05
28	6,07E+07	5,95E+07	3,59E+05	3,90E+05	7,72E+06	6,39E+06	1,40E+05	1,43E+05	1,54E+07	1,28E+07	2,79E+05	2,86E+05
30	6,01E+07	5,87E+07	3,60E+05	3,89E+05	7,76E+06	6,35E+06	1,39E+05	1,43E+05	1,55E+07	1,27E+07	2,78E+05	2,85E+05
32	5,95E+07	5,79E+07	3,61E+05	3,89E+05	7,79E+06	6,30E+06	1,39E+05	1,43E+05	1,56E+07	1,26E+07	2,78E+05	2,85E+05
34	5,89E+07	5,72E+07	3,62E+05	3,89E+05	7,81E+06	6,24E+06	1,39E+05	1,43E+05	1,56E+07	1,25E+07	2,79E+05	2,85E+05
36	5,83E+07	5,64E+07	3,63E+05	3,90E+05	7,82E+06	6,17E+06	1,40E+05	1,43E+05	1,56E+07	1,23E+07	2,79E+05	2,86E+05
38	5,77E+07	5,56E+07	3,64E+05	3,92E+05	7,84E+06	6,10E+06	1,40E+05	1,43E+05	1,57E+07	1,22E+07	2,80E+05	2,87E+05
40	5,71E+07	5,48E+07	3,66E+05	3,93E+05	7,84E+06	6,03E+06	1,40E+05	1,44E+05	1,57E+07	1,21E+07	2,81E+05	2,88E+05
42	5,65E+07	5,40E+07	3,67E+05	3,95E+05	7,85E+06	5,95E+06	1,41E+05	1,44E+05	1,57E+07	1,19E+07	2,82E+05	2,88E+05

Tablica Z3.7 Półprześczeń inercyjna z tłumieniem materiałowym typu histerezowego -
pionowe funkcje dynamiczne podłoża K_{VV}^0 , C_{VV}^0

f [Hz]	K_{VV}^0 [N/m]		C_{VV}^0 [Ns/m]		K_{VV}^0 [N/m]		C_{VV}^0 [Ns/m]		K_{VV}^0 [N/m]		C_{VV}^0 [Ns/m]	
	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$
	E=0,0m				E=0,35m				E=0,70m			
	Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	6,15E+07	6,11E+07	1,95E+05	2,75E+05	6,97E+07	6,87E+07	3,42E+05	4,34E+05	7,80E+07	7,64E+07	4,89E+05	5,93E+05
12	6,13E+07	6,08E+07	1,95E+05	2,65E+05	6,98E+07	6,87E+07	3,38E+05	4,19E+05	7,82E+07	7,65E+07	4,81E+05	5,73E+05
14	6,11E+07	6,06E+07	1,94E+05	2,56E+05	6,98E+07	6,85E+07	3,34E+05	4,06E+05	7,84E+07	7,65E+07	4,73E+05	5,56E+05
16	6,08E+07	6,02E+07	1,94E+05	2,49E+05	6,97E+07	6,83E+07	3,30E+05	3,94E+05	7,85E+07	7,64E+07	4,66E+05	5,40E+05
18	6,05E+07	5,99E+07	1,94E+05	2,42E+05	6,95E+07	6,81E+07	3,27E+05	3,83E+05	7,86E+07	7,63E+07	4,60E+05	5,25E+05
20	6,01E+07	5,95E+07	1,93E+05	2,36E+05	6,93E+07	6,78E+07	3,24E+05	3,74E+05	7,85E+07	7,61E+07	4,54E+05	5,12E+05
22	5,97E+07	5,91E+07	1,93E+05	2,31E+05	6,91E+07	6,74E+07	3,21E+05	3,66E+05	7,84E+07	7,58E+07	4,49E+05	5,01E+05
24	5,93E+07	5,86E+07	1,93E+05	2,26E+05	6,88E+07	6,71E+07	3,19E+05	3,59E+05	7,82E+07	7,55E+07	4,44E+05	4,91E+05
26	5,88E+07	5,81E+07	1,93E+05	2,23E+05	6,84E+07	6,66E+07	3,16E+05	3,52E+05	7,80E+07	7,51E+07	4,40E+05	4,82E+05
28	5,83E+07	5,76E+07	1,93E+05	2,20E+05	6,80E+07	6,61E+07	3,15E+05	3,47E+05	7,77E+07	7,47E+07	4,37E+05	4,75E+05
30	5,78E+07	5,71E+07	1,93E+05	2,17E+05	6,76E+07	6,56E+07	3,13E+05	3,43E+05	7,74E+07	7,42E+07	4,34E+05	4,68E+05
32	5,72E+07	5,65E+07	1,93E+05	2,15E+05	6,71E+07	6,51E+07	3,12E+05	3,39E+05	7,70E+07	7,37E+07	4,31E+05	4,63E+05
34	5,66E+07	5,59E+07	1,93E+05	2,14E+05	6,66E+07	6,45E+07	3,11E+05	3,36E+05	7,66E+07	7,31E+07	4,29E+05	4,58E+05
36	5,60E+07	5,53E+07	1,93E+05	2,13E+05	6,61E+07	6,39E+07	3,10E+05	3,34E+05	7,62E+07	7,25E+07	4,27E+05	4,55E+05
38	5,54E+07	5,46E+07	1,93E+05	2,13E+05	6,55E+07	6,33E+07	3,09E+05	3,32E+05	7,57E+07	7,19E+07	4,26E+05	4,52E+05
40	5,47E+07	5,40E+07	1,94E+05	2,12E+05	6,50E+07	6,26E+07	3,09E+05	3,31E+05	7,52E+07	7,12E+07	4,24E+05	4,50E+05
42	5,41E+07	5,33E+07	1,94E+05	2,12E+05	6,44E+07	6,19E+07	3,09E+05	3,31E+05	7,46E+07	7,06E+07	4,24E+05	4,49E+05
	Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	7,26E+07	7,20E+07	3,01E+05	3,94E+05	8,08E+07	7,95E+07	4,71E+05	5,77E+05	8,89E+07	8,71E+07	6,41E+05	7,61E+05
12	7,21E+07	7,15E+07	3,00E+05	3,82E+05	8,05E+07	7,91E+07	4,65E+05	5,59E+05	8,89E+07	8,68E+07	6,29E+05	7,36E+05
14	7,16E+07	7,09E+07	2,99E+05	3,71E+05	8,02E+07	7,87E+07	4,59E+05	5,42E+05	8,88E+07	8,65E+07	6,19E+05	7,13E+05
16	7,10E+07	7,03E+07	2,98E+05	3,62E+05	7,98E+07	7,83E+07	4,54E+05	5,28E+05	8,86E+07	8,62E+07	6,11E+05	6,94E+05
18	7,05E+07	6,97E+07	2,98E+05	3,54E+05	7,94E+07	7,78E+07	4,50E+05	5,15E+05	8,84E+07	8,58E+07	6,03E+05	6,76E+05
20	6,99E+07	6,91E+07	2,97E+05	3,47E+05	7,90E+07	7,72E+07	4,47E+05	5,04E+05	8,82E+07	8,53E+07	5,96E+05	6,61E+05
22	6,93E+07	6,85E+07	2,97E+05	3,41E+05	7,86E+07	7,66E+07	4,44E+05	4,95E+05	8,79E+07	8,48E+07	5,90E+05	6,48E+05
24	6,87E+07	6,78E+07	2,97E+05	3,37E+05	7,81E+07	7,60E+07	4,41E+05	4,87E+05	8,75E+07	8,43E+07	5,86E+05	6,37E+05
26	6,81E+07	6,72E+07	2,97E+05	3,33E+05	7,76E+07	7,54E+07	4,39E+05	4,80E+05	8,71E+07	8,37E+07	5,82E+05	6,28E+05
28	6,75E+07	6,65E+07	2,97E+05	3,30E+05	7,71E+07	7,47E+07	4,38E+05	4,75E+05	8,67E+07	8,30E+07	5,79E+05	6,21E+05
30	6,68E+07	6,58E+07	2,97E+05	3,27E+05	7,65E+07	7,41E+07	4,37E+05	4,71E+05	8,62E+07	8,23E+07	5,76E+05	6,15E+05
32	6,62E+07	6,51E+07	2,98E+05	3,26E+05	7,60E+07	7,33E+07	4,36E+05	4,68E+05	8,58E+07	8,16E+07	5,75E+05	6,11E+05
34	6,56E+07	6,43E+07	2,98E+05	3,25E+05	7,54E+07	7,26E+07	4,36E+05	4,66E+05	8,52E+07	8,08E+07	5,73E+05	6,08E+05
36	6,49E+07	6,36E+07	2,99E+05	3,24E+05	7,48E+07	7,18E+07	4,36E+05	4,65E+05	8,47E+07	8,00E+07	5,73E+05	6,06E+05
38	6,43E+07	6,29E+07	2,99E+05	3,24E+05	7,42E+07	7,10E+07	4,36E+05	4,65E+05	8,41E+07	7,92E+07	5,73E+05	6,05E+05
40	6,36E+07	6,21E+07	3,00E+05	3,25E+05	7,36E+07	7,02E+07	4,37E+05	4,65E+05	8,36E+07	7,84E+07	5,73E+05	6,05E+05
42	6,30E+07	6,13E+07	3,01E+05	3,26E+05	7,30E+07	6,94E+07	4,37E+05	4,65E+05	8,30E+07	7,75E+07	5,74E+05	6,05E+05
	Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	6,68E+07	6,62E+07	3,61E+05	4,50E+05	7,34E+07	7,22E+07	5,26E+05	6,27E+05	8,01E+07	7,83E+07	6,92E+05	8,04E+05
12	6,61E+07	6,54E+07	3,60E+05	4,37E+05	7,29E+07	7,16E+07	5,20E+05	6,07E+05	7,97E+07	7,78E+07	6,79E+05	7,77E+05
14	6,53E+07	6,47E+07	3,59E+05	4,26E+05	7,24E+07	7,09E+07	5,14E+05	5,90E+05	7,94E+07	7,72E+07	6,69E+05	7,53E+05
16	6,46E+07	6,39E+07	3,58E+05	4,17E+05	7,18E+07	7,03E+07	5,09E+05	5,75E+05	7,90E+07	7,66E+07	6,60E+05	7,33E+05
18	6,39E+07	6,32E+07	3,58E+05	4,09E+05	7,13E+07	6,96E+07	5,05E+05	5,63E+05	7,86E+07	7,60E+07	6,53E+05	7,17E+05
20	6,33E+07	6,25E+07	3,58E+05	4,03E+05	7,07E+07	6,89E+07	5,03E+05	5,53E+05	7,81E+07	7,53E+07	6,47E+05	7,03E+05
22	6,26E+07	6,17E+07	3,58E+05	3,98E+05	7,01E+07	6,82E+07	5,01E+05	5,45E+05	7,76E+07	7,46E+07	6,43E+05	6,93E+05
24	6,20E+07	6,10E+07	3,58E+05	3,94E+05	6,96E+07	6,74E+07	4,99E+05	5,40E+05	7,72E+07	7,38E+07	6,41E+05	6,85E+05
26	6,13E+07	6,02E+07	3,58E+05	3,91E+05	6,90E+07	6,66E+07	4,99E+05	5,35E+05	7,66E+07	7,31E+07	6,39E+05	6,80E+05
28	6,07E+07	5,95E+07	3,59E+05	3,90E+05	6,84E+07	6,59E+07	4,99E+05	5,33E+05	7,61E+07	7,23E+07	6,38E+05	6,76E+05
30	6,01E+07	5,87E+07	3,60E+05	3,89E+05	6,78E+07	6,51E+07	4,99E+05	5,31E+05	7,56E+07	7,14E+07	6,38E+05	6,74E+05
32	5,95E+07	5,79E+07	3,61E+05	3,89E+05	6,72E+07	6,42E+07	5,00E+05	5,31E+05	7,50E+07	7,05E+07	6,39E+05	6,74E+05
34	5,89E+07	5,72E+07	3,62E+05	3,89E+05	6,67E+07	6,34E+07	5,01E+05	5,32E+05	7,45E+07	6,96E+07	6,40E+05	6,74E+05
36	5,83E+07	5,64E+07	3,63E+05	3,90E+05	6,61E+07	6,26E+07	5,03E+05	5,33E+05	7,39E+07	6,87E+07	6,42E+05	6,76E+05
38	5,77E+07	5,56E+07	3,64E+05	3,92E+05	6,55E+07	6,17E+07	5,04E+05	5,35E+05	7,34E+07	6,78E+07	6,44E+05	6,78E+05
40	5,71E+07	5,48E+07	3,66E+05	3,93E+05	6,49E+07	6,08E+07	5,06E+05	5,37E+05	7,28E+07	6,68E+07	6,46E+05	6,81E+05
42	5,65E+07	5,40E+07	3,67E+05	3,95E+05	6,44E+07	5,99E+07	5,08E+05	5,40E+05	7,22E+07	6,59E+07	6,49E+05	6,84E+05

Tablica Z3.8 Model Winklera-Sawinowa-Voigta (ujęcie normowe) - wartości K_{vv}^o , C_{vv}^o

Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]	
C_z [MPa/m]	105,27
K_{vv}^o [MN/m]	67,37
C_{vv}^o [MN/m]	0,404
Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]	
C_z [MPa/m]	88,23
K_{vv}^o [MN/m]	84,70
C_{vv}^o [MN/m]	0,508
Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]	
C_z [MPa/m]	78,83
K_{vv}^o [MN/m]	100,90
C_{vv}^o [MN/m]	0,605

Z3.2. Drgania złożone przesuwno-obrotowe

Tablica Z3.9 Sześcioparametrowy model podłoża gruntowego - wartości $K_{H_1H_1}^0$, $K_{\Phi_2\Phi_2}^0$, $K_{H_1\Phi_2}^0$, $C_{H_1H_1}^0$, $C_{\Phi_2\Phi_2}^0$, $C_{H_1\Phi_2}^0$ z estymacji metodą najmniejszych kwadratów

Współczynniki podłoża	Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]								
	A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
$K_{H_1H_1}^0 = m(\lambda_n^0)^2$, [N/m]	1,58E+07	1,77E+07	2,05E+07	2,97E+07	2,35E+07	3,64E+07	2,09E+07	2,09E+07	1,68E+07
$C_{H_1H_1}^0 = 2D_n^0(K_{H_1H_1}^0 m)^{1/2}$, [Ns/m]	1,28E+04	1,62E+04	2,38E+04	1,50E+05	5,80E+04	7,64E+04	1,68E+06	9,60E+05	4,37E+05
$K_{\Phi_2\Phi_2}^0 = m(\lambda_\varphi^0)^2$, [Nm]	1,04E+06	1,09E+06	1,36E+06	2,58E+06	2,60E+06	2,49E+06	5,12E+06	5,43E+06	6,07E+06
$C_{\Phi_2\Phi_2}^0 = 2D_\varphi^0(K_{\Phi_2\Phi_2}^0 J_{22}^0)^{1/2}$, [Nsm]	1,89E+03	1,10E+03	2,67E+03	8,46E+02	7,52E+03	6,41E+03	3,07E+03	-1,18E+04	-1,47E+04
$K_{H_1\Phi_2}^0 = i_m^0(f_k / i_m^0)K_{H_1H_1}^0$, [N/m]	3,01E+06	3,10E+06	3,36E+06	2,88E+05	4,33E+06	4,45E+06	2,06E+07	2,19E+07	1,92E+07
$C_{H_1\Phi_2}^0 = i_m^0(f_c / i_m^0)C_{H_1H_1}^0$, [Ns/m]	-6,18E+03	-8,36E+03	-7,40E+03	1,20E+04	1,50E+03	1,77E+03	1,09E+05	6,66E+04	4,65E+04
Współczynniki podłoża	Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]								
	A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
$K_{H_1H_1}^0 = m(\lambda_n^0)^2$, [N/m]	1,91E+07	2,05E+07	2,24E+07	6,72E+07	1,22E+07	1,20E+07	1,79E+07	2,19E+07	2,58E+07
$C_{H_1H_1}^0 = 2D_n^0(K_{H_1H_1}^0 m)^{1/2}$, [Ns/m]	8,78E+03	1,25E+04	2,37E+04	-1,03E+05	-1,87E+05	-3,25E+05	2,23E+04	3,21E+04	4,51E+04
$K_{\Phi_2\Phi_2}^0 = m(\lambda_\varphi^0)^2$, [Nm]	1,08E+06	1,11E+06	1,14E+06	3,60E+06	1,23E+07	9,42E+06	7,09E+06	8,50E+06	8,73E+06
$C_{\Phi_2\Phi_2}^0 = 2D_\varphi^0(K_{\Phi_2\Phi_2}^0 J_{22}^0)^{1/2}$, [Nsm]	-5,68E+02	6,18E+02	1,21E+03	-4,46E+03	3,40E+04	1,83E+04	2,49E+04	2,86E+04	2,94E+04
$K_{H_1\Phi_2}^0 = i_m^0(f_k / i_m^0)K_{H_1H_1}^0$, [N/m]	3,46E+06	3,67E+06	3,49E+06	1,55E+06	-3,36E+06	-3,92E+06	1,13E+07	1,37E+07	1,56E+07
$C_{H_1\Phi_2}^0 = i_m^0(f_c / i_m^0)C_{H_1H_1}^0$, [Ns/m]	-1,30E+04	-1,09E+04	-8,20E+03	8,01E+04	7,61E+04	7,19E+04	2,55E+03	6,50E+03	1,55E+04
Współczynniki podłoża	Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]								
	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
$K_{H_1H_1}^0 = m(\lambda_n^0)^2$, [N/m]	2,31E+07	2,72E+07	3,24E+07	4,20E+07	5,98E+07	5,73E+07	2,96E+07	3,23E+07	3,78E+07
$C_{H_1H_1}^0 = 2D_n^0(K_{H_1H_1}^0 m)^{1/2}$, [Ns/m]	9,12E+04	9,01E+04	9,07E+04	-1,55E+05	-2,95E+05	-2,85E+05	3,11E+04	3,52E+04	4,75E+04
$K_{\Phi_2\Phi_2}^0 = m(\lambda_\varphi^0)^2$, [Nm]	1,14E+06	1,35E+06	2,27E+06	5,58E+06	9,96E+06	1,59E+07	1,30E+07	1,41E+07	1,62E+07
$C_{\Phi_2\Phi_2}^0 = 2D_\varphi^0(K_{\Phi_2\Phi_2}^0 J_{22}^0)^{1/2}$, [Nsm]	-1,35E+04	-1,14E+04	-2,11E+04	1,30E+04	5,48E+04	9,07E+04	3,79E+04	3,94E+04	4,25E+04
$K_{H_1\Phi_2}^0 = i_m^0(f_k / i_m^0)K_{H_1H_1}^0$, [N/m]	1,11E+06	1,44E+06	9,66E+05	1,78E+06	-1,04E+07	-1,48E+07	1,81E+07	1,89E+07	2,18E+07
$C_{H_1\Phi_2}^0 = i_m^0(f_c / i_m^0)C_{H_1H_1}^0$, [Ns/m]	4,00E+04	4,19E+04	3,50E+04	2,05E+04	4,95E+03	1,89E+04	-1,45E+03	2,35E+03	8,14E+03

Tablica Z3.10 Sześcioparametrowy model podłoża - wartości K_{H,H_1}^O , C_{H,H_1}^O , K_{Φ_2,Φ_2}^O , C_{Φ_2,Φ_2}^O
(zredukowane zagadnienie odwrotne), blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 m ($f_k \neq 0$, $f_c \neq 0$)

f [Hz]	K_{H,H_1}^O [N/m]								
	A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,46E+07	1,54E+07	1,57E+07	2,27E+07	1,85E+07	1,79E+07	-1,15E+07	-2,14E+07	-
22	1,77E+07	1,84E+07	2,00E+07	2,65E+07	2,20E+07	2,40E+07	4,37E+06	-1,26E+06	-1,39E+07
24	1,61E+07	2,12E+07	2,25E+07	2,80E+07	2,46E+07	2,68E+07	6,21E+06	3,60E+06	-1,97E+06
26	1,71E+07	2,05E+07	2,53E+07	2,89E+07	2,82E+07	2,98E+07	-1,27E+06	2,18E+07	-3,63E+06
28	9,99E+06	1,12E+06	2,67E+07	3,44E+07	3,21E+07	3,23E+07	1,96E+07	1,65E+07	1,52E+07
30	-1,27E+08	1,89E+07	2,51E+07	3,82E+07	3,60E+07	3,72E+07	2,49E+07	2,20E+07	2,24E+07
32	3,00E+07	-3,99E+06	4,06E+07	4,11E+07	3,84E+07	4,16E+07	3,19E+07	2,83E+07	2,84E+07
34	5,17E+07	3,49E+07	4,60E+07	5,96E+07	5,09E+07	4,49E+07	3,06E+07	3,48E+07	3,50E+07
36	5,91E+07	5,43E+07	4,56E+07	6,22E+07	5,88E+07	5,23E+07	3,72E+07	4,19E+07	3,80E+07
38	6,55E+07	6,37E+07	6,28E+07	6,81E+07	6,34E+07	5,96E+07	4,42E+07	4,57E+07	4,10E+07
40	-	7,03E+07	7,09E+07	7,32E+07	6,93E+07	6,65E+07	5,33E+07	5,50E+07	4,84E+07
42	-	7,68E+07	7,79E+07	8,07E+07	7,66E+07	7,55E+07	6,34E+07	6,48E+07	5,50E+07
f [Hz]	C_{H,H_1}^O [Ns/m]								
	A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,14E+05	1,38E+05	1,16E+05	2,60E+05	1,44E+05	1,65E+05	-1,32E+04	-9,89E+02	-
22	7,99E+04	8,67E+04	9,08E+04	1,00E+05	7,82E+04	9,17E+04	-1,10E+05	-4,58E+04	-2,77E+04
24	9,08E+04	7,61E+04	6,69E+04	8,99E+04	7,12E+04	7,46E+04	-2,09E+05	-1,27E+05	-5,87E+04
26	2,11E+05	9,74E+04	7,43E+04	9,92E+04	7,16E+04	7,00E+04	1,07E+06	-3,11E+06	1,14E+06
28	3,64E+04	2,48E+05	8,43E+04	1,08E+05	7,53E+04	8,05E+04	7,65E+04	9,71E+04	8,08E+04
30	8,61E+05	1,94E+04	1,33E+05	1,11E+05	8,63E+04	7,93E+04	6,15E+04	6,30E+04	5,42E+04
32	2,81E+05	1,49E+05	1,02E+05	1,41E+05	1,02E+05	8,01E+04	5,24E+04	5,33E+04	5,34E+04
34	1,29E+05	2,40E+05	1,10E+05	1,20E+05	1,11E+05	9,26E+04	3,77E+04	5,00E+04	4,77E+04
36	8,88E+04	1,38E+05	1,60E+05	9,88E+04	1,23E+05	9,90E+04	3,50E+04	4,48E+04	3,41E+04
38	7,60E+04	9,52E+04	1,12E+05	9,44E+04	8,13E+04	9,35E+04	3,67E+04	3,89E+04	2,07E+04
40	-	7,50E+04	9,56E+04	8,53E+04	8,01E+04	9,29E+04	3,86E+04	3,70E+04	1,53E+04
42	-	6,98E+04	8,20E+04	8,93E+04	7,29E+04	1,14E+05	3,46E+04	3,02E+04	6,54E+03
f [Hz]	K_{Φ_2,Φ_2}^O [Nm]								
	A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	9,33E+06	8,92E+06	7,98E+06	3,67E+06	4,59E+06	4,84E+06	-7,52E+06	-1,82E+07	-
22	1,33E+07	1,32E+07	9,44E+06	8,32E+06	7,10E+06	7,73E+06	3,89E+06	5,22E+05	-1,20E+07
24	1,87E+07	1,94E+07	1,81E+07	1,17E+07	9,94E+06	1,17E+07	4,87E+06	3,78E+06	6,16E+04
26	2,01E+07	2,41E+07	2,12E+07	1,37E+07	1,29E+07	1,68E+07	5,48E+06	8,07E+06	3,65E+06
28	6,86E+06	2,67E+07	2,70E+07	1,74E+07	1,76E+07	1,91E+07	5,44E+06	6,03E+06	6,39E+06
30	4,83E+07	4,81E+06	2,30E+07	2,16E+07	1,99E+07	2,67E+07	2,98E+06	4,14E+06	1,74E+06
32	3,45E+07	2,22E+07	3,64E+07	2,04E+07	2,11E+07	3,59E+07	-5,16E+06	-6,20E+05	-5,76E+06
34	3,99E+07	4,31E+07	4,43E+07	3,34E+07	2,47E+07	3,50E+07	8,41E+06	-7,96E+06	-1,75E+07
36	6,19E+07	5,35E+07	4,01E+07	5,67E+07	2,57E+07	4,00E+07	8,03E+06	-1,75E+07	-7,67E+06
38	9,66E+07	8,43E+07	5,96E+07	7,76E+07	5,97E+07	5,81E+07	5,54E+06	-7,89E+06	1,88E+06
40	-	1,68E+08	8,53E+07	1,26E+08	7,57E+07	7,66E+07	-1,65E+06	-2,02E+07	8,75E+05
42	-	2,57E+08	1,41E+08	1,39E+08	1,18E+08	5,96E+07	-3,11E+06	-1,87E+07	5,10E+06
f [Hz]	C_{Φ_2,Φ_2}^O [Nsm]								
	A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,03E+05	1,14E+05	6,29E+04	1,56E+04	2,05E+04	1,41E+04	8,47E+03	2,86E+03	-
22	1,35E+05	1,34E+05	8,57E+04	2,05E+04	3,11E+04	2,37E+04	1,92E+04	1,62E+04	1,31E+04
24	9,57E+04	1,71E+05	1,19E+05	2,60E+04	4,37E+04	3,40E+04	2,32E+04	2,28E+04	1,66E+04
26	1,08E+05	1,21E+05	1,29E+05	1,55E+04	5,95E+04	4,68E+04	2,81E+04	1,56E+04	3,31E+04
28	-7,55E+03	7,06E+04	9,40E+04	9,36E+03	5,92E+04	4,05E+04	4,68E+04	4,33E+04	4,01E+04
30	1,72E+04	-4,43E+03	6,05E+04	-9,90E+03	4,42E+04	5,01E+04	6,63E+04	6,34E+04	6,41E+04
32	1,16E+05	-1,89E+04	7,38E+04	-1,15E+04	1,88E+04	4,86E+04	1,10E+05	9,20E+04	8,79E+04
34	1,35E+05	1,09E+05	4,21E+04	2,30E+04	4,37E+04	3,19E+04	9,54E+04	1,29E+05	1,33E+05
36	1,74E+05	1,24E+05	4,11E+04	-1,11E+04	4,94E+04	4,48E+04	1,20E+05	1,95E+05	1,58E+05
38	2,24E+05	1,46E+05	7,08E+04	-3,26E+04	-1,32E+03	3,34E+04	1,52E+05	1,98E+05	1,60E+05
40	-	7,76E+04	7,76E+04	-1,27E+05	-7,46E+04	4,35E+03	2,15E+05	2,91E+05	2,02E+05
42	-	-2,52E+05	1,45E+04	-1,56E+05	-1,99E+05	4,40E+04	3,34E+05	4,36E+05	2,26E+05

Tablica Z3.11 Szescioparametrowy model podłozą - wartości K_{H_1, H_1}^0 , C_{H_1, H_1}^0 , K_{Φ_2, Φ_2}^0 , C_{Φ_2, Φ_2}^0
(zredukowane zagadnienie odwrotne), blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 m ($f_k \neq 0$, $f_c \neq 0$)

f [Hz]		K_{H_1, H_1}^0 [N/m]								
		A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	4,68E+07	1,92E+07	2,44E+07	6,72E+08	1,78E+08	-	4,06E+07	3,60E+07	3,16E+07	-
22	-5,42E+07	1,85E+07	2,70E+07	1,73E+08	-8,27E+07	-	8,08E+07	8,82E+07	4,04E+07	-
24	1,69E+07	-1,26E+08	2,83E+07	-7,61E+07	1,48E+07	-	-2,99E+08	6,72E+06	5,62E+07	-
26	-2,80E+08	6,90E+06	6,70E+04	-5,88E+07	2,25E+07	-	5,09E+06	3,52E+07	1,07E+08	-
28	9,51E+07	6,67E+08	-8,97E+06	-1,69E+07	3,51E+07	-	2,22E+07	4,77E+07	-7,17E+07	-
30	2,30E+07	3,43E+07	3,52E+07	-3,35E+08	3,42E+07	-	3,34E+07	5,84E+07	1,66E+07	-
32	6,49E+07	6,78E+07	4,55E+07	-6,91E+07	4,93E+07	1,00E+08	4,02E+07	6,86E+07	3,37E+07	-
34	7,48E+07	7,41E+07	8,18E+07	1,13E+07	6,38E+07	1,02E+08	5,15E+07	8,00E+07	4,58E+07	-
36	8,10E+07	8,05E+07	8,89E+07	3,75E+07	7,76E+07	1,09E+08	5,95E+07	9,09E+07	5,44E+07	-
38	-	8,91E+07	9,45E+07	3,16E+07	8,97E+07	1,15E+08	7,55E+07	1,07E+08	6,85E+07	-
40	-	9,68E+07	1,04E+08	6,10E+07	9,96E+07	1,18E+08	9,00E+07	1,26E+08	8,38E+07	-
42	-	-	1,09E+08	8,41E+07	1,13E+08	1,29E+08	1,04E+08	1,51E+08	9,92E+07	-
f [Hz]		C_{H_1, H_1}^0 [Ns/m]								
		A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-4,92E+05	2,42E+05	1,10E+05	-1,38E+06	-5,98E+05	-	-4,59E+04	-5,97E+04	-4,47E+04	-
22	8,78E+05	2,13E+05	9,16E+04	-9,18E+05	1,16E+06	-	-9,17E+04	-1,84E+05	-4,57E+04	-
24	3,29E+03	9,50E+05	1,45E+05	1,38E+06	3,05E+05	-	1,31E+06	2,20E+05	-4,36E+04	-
26	3,88E+05	3,36E+04	1,29E+05	8,66E+05	2,85E+05	-	3,85E+04	4,48E+04	-1,24E+05	-
28	-1,91E+05	-2,13E+06	1,59E+05	5,20E+05	1,98E+05	-	4,92E+04	3,45E+04	1,31E+05	-
30	4,88E+05	3,21E+05	2,69E+05	2,24E+06	2,45E+05	-	5,32E+04	3,45E+04	1,05E+05	-
32	9,39E+04	1,44E+05	2,52E+05	1,12E+06	2,50E+05	3,35E+05	7,18E+04	3,59E+04	8,11E+04	-
34	7,55E+04	9,03E+04	1,31E+05	5,14E+05	1,94E+05	2,75E+05	4,50E+04	3,66E+04	6,83E+04	-
36	6,62E+04	8,30E+04	7,99E+04	4,60E+05	1,74E+05	2,48E+05	9,18E+04	3,80E+04	5,96E+04	-
38	-	6,53E+04	9,27E+04	5,51E+05	1,36E+05	2,15E+05	4,69E+04	4,03E+04	5,79E+04	-
40	-	5,71E+04	6,91E+04	4,14E+05	1,35E+05	1,74E+05	4,83E+04	4,39E+04	5,67E+04	-
42	-	-	1,09E+05	3,19E+05	1,05E+05	1,70E+05	5,34E+04	4,52E+04	5,53E+04	-
f [Hz]		K_{Φ_2, Φ_2}^0 [Nm]								
		A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-3,94E+07	1,60E+07	8,81E+06	-2,10E+07	1,88E+06	-	2,56E+07	2,12E+07	2,26E+07	-
22	1,77E+08	2,59E+07	1,52E+07	-2,44E+07	2,95E+07	-	4,19E+07	4,03E+07	2,52E+07	-
24	1,87E+06	8,97E+07	1,49E+07	7,92E+07	1,76E+07	-	-1,24E+08	4,21E+06	3,04E+07	-
26	3,25E+07	5,68E+06	1,00E+07	6,92E+07	1,94E+07	-	3,60E+06	4,68E+06	4,70E+07	-
28	-8,77E+06	-1,44E+08	1,19E+07	6,24E+07	2,32E+07	-	8,43E+06	-2,61E+07	-2,30E+07	-
30	1,54E+08	6,91E+07	3,15E+07	1,67E+08	2,75E+07	-	1,04E+07	1,41E+08	7,72E+06	-
32	1,48E+08	5,98E+07	3,79E+07	1,09E+08	3,02E+07	5,67E+07	1,15E+07	1,18E+08	1,18E+07	-
34	2,28E+08	1,24E+08	4,68E+07	9,43E+07	3,81E+07	7,51E+07	1,25E+07	9,92E+07	1,40E+07	-
36	4,41E+08	1,83E+08	9,32E+07	1,04E+08	4,48E+07	9,66E+07	1,23E+07	1,03E+08	1,59E+07	-
38	-	1,10E+08	1,27E+08	1,45E+08	6,18E+07	1,31E+08	7,26E+06	9,60E+07	1,67E+07	-
40	-	-1,80E+07	5,93E+08	1,93E+08	7,69E+07	1,99E+08	-4,44E+06	9,55E+07	1,41E+07	-
42	-	-	1,27E+08	3,01E+08	1,20E+08	2,41E+08	-3,02E+07	1,00E+08	7,25E+06	-
f [Hz]		C_{Φ_2, Φ_2}^0 [Nsm]								
		A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-7,15E+05	3,30E+05	1,15E+05	-6,32E+03	8,68E+04	-	1,64E+04	3,63E+04	1,02E+05	-
22	1,33E+06	3,02E+05	1,50E+05	-2,21E+05	5,34E+04	-	3,67E+03	9,27E+03	3,72E+04	-
24	1,54E+04	1,94E+05	1,35E+05	7,57E+05	7,00E+04	-	1,93E+05	4,73E+04	1,11E+04	-
26	-1,82E+05	-6,14E+03	8,19E+03	4,64E+05	9,15E+04	-	2,79E+04	4,53E+04	-7,08E+02	-
28	-8,93E+04	9,20E+04	-1,10E+04	3,39E+05	9,75E+04	-	3,43E+04	2,09E+05	3,56E+04	-
30	1,01E+06	2,51E+05	3,83E+04	8,16E+05	9,48E+04	-	4,39E+04	5,71E+05	4,19E+04	-
32	5,33E+05	3,00E+05	3,55E+04	6,54E+05	1,27E+05	7,52E+03	4,77E+04	1,07E+05	4,53E+04	-
34	9,16E+05	2,33E+05	1,29E+05	3,91E+05	1,11E+05	-1,53E+04	6,61E+04	4,64E+04	5,18E+04	-
36	-7,63E+05	-5,60E+04	2,51E+05	4,20E+05	1,28E+05	-3,93E+04	5,36E+04	4,47E+04	5,95E+04	-
38	-	-9,05E+05	4,97E+04	9,44E+05	1,31E+05	-8,85E+04	1,10E+05	1,24E+04	7,25E+04	-
40	-	-5,83E+05	-5,03E+05	1,08E+06	1,67E+05	-2,06E+05	1,74E+05	2,04E+03	9,64E+04	-
42	-	-	-2,29E+05	1,43E+06	2,34E+05	-2,62E+05	2,39E+05	4,32E+02	1,34E+05	-

Tablica Z3.12 Sześcioparametrowy model podłoża - wartości K_{H_1, H_1}^0 , C_{H_1, H_1}^0 , K_{Φ_2, Φ_2}^0 , C_{Φ_2, Φ_2}^0
(zredukowane zagadnienie odwrotne), blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m ($f_k \neq 0$, $f_c \neq 0$)

f [Hz]	K_{H_1, H_1}^0 [N/m]								
	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-5,74E+06	1,16E+07	3,09E+07	1,34E+06	-1,04E+07	-1,90E+06	4,33E-07	4,28E+07	-
22	2,11E+07	2,32E+07	3,53E+07	3,63E+07	6,49E-07	4,50E+07	5,87E+07	5,50E+07	5,21E+07
24	3,15E+08	2,79E+07	3,96E+07	3,71E+07	5,01E+07	7,93E+07	8,87E+07	7,76E+07	7,04E+07
26	2,90E+07	-2,03E+07	4,59E+07	4,95E+07	6,97E+07	8,24E+07	2,09E+09	1,76E+08	1,15E+08
28	-3,23E+06	2,73E+07	4,76E+07	5,03E+07	7,23E+07	8,63E+07	-1,14E+06	-6,51E+07	6,39E+08
30	8,01E+08	1,81E-06	1,82E+07	5,40E+07	8,55E+07	9,10E+07	4,93E+07	3,52E+07	6,63E+06
32	-2,58E+08	1,59E+09	3,16E+07	6,60E+07	1,07E+08	8,20E+07	4,44E+07	2,90E+07	2,81E+07
34	1,01E+08	1,92E+07	-2,68E+07	8,92E+07	1,17E+08	1,30E+08	6,82E-07	6,16E+07	5,77E+07
36	1,10E+08	9,37E+07	1,04E+08	1,15E+08	1,37E+08	1,32E+08	8,87E+07	8,37E+07	8,02E+07
38	-	1,24E+08	1,23E+08	1,35E+08	1,53E+08	1,46E+08	1,03E+08	1,02E+08	9,88E+07
40	-	1,40E+08	1,47E+08	1,50E+08	1,73E+08	1,51E+08	1,21E+08	1,19E+08	1,18E+08
42	-	1,50E+08	1,54E+08	1,52E+08	1,77E+08	1,79E+08	1,40E+08	1,36E+08	1,36E+08
f [Hz]	C_{H_1, H_1}^0 [Ns/m]								
	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	7,40E+05	5,30E+05	1,41E+05	6,15E+05	2,77E+05	5,16E+04	-3,85E+04	-4,76E+04	-
22	3,19E+05	3,80E+05	1,60E+05	2,74E+05	5,16E+05	8,10E+05	-3,77E+04	-4,31E+04	-5,41E+04
24	-3,06E+06	2,62E+05	1,42E+05	2,85E+05	4,32E+05	4,88E+05	-4,85E+04	-5,06E+04	-5,30E+04
26	6,25E+03	5,16E+05	1,38E+05	2,21E+05	3,10E+05	3,25E+05	-1,06E+06	-1,34E+05	-1,11E+05
28	8,23E+04	1,77E+04	1,83E+05	2,33E+05	3,34E+05	4,28E+05	-5,57E+04	3,44E+04	-8,27E+05
30	-2,50E+06	6,66E+04	1,64E+05	3,36E+05	4,54E+05	3,51E+05	-3,13E+05	-1,80E+05	-3,88E+04
32	4,69E+06	-4,07E+06	5,42E+04	3,36E+05	4,03E+05	3,79E+05	3,89E+05	4,79E+05	2,62E+05
34	9,69E+04	8,14E+05	4,20E+05	3,17E+05	3,96E+05	1,60E+05	1,52E+05	1,55E+05	1,16E+05
36	8,46E+04	3,16E+05	3,20E+05	2,56E+05	3,43E+05	4,27E+05	1,01E+05	1,10E+05	9,18E+04
38	-	2,33E+05	2,35E+05	2,04E+05	3,26E+05	4,34E+05	9,77E+04	9,43E+04	7,95E+04
40	-	1,40E+05	1,59E+05	1,75E+05	2,64E+05	1,35E+05	8,04E+04	8,68E+04	7,52E+04
42	-	9,22E+04	1,21E+05	1,06E+05	1,64E+05	3,06E+05	7,61E+04	8,02E+04	7,33E+04
f [Hz]	K_{Φ_2, Φ_2}^0 [Nm]								
	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	4,03E+07	2,82E+07	1,22E+07	8,91E+06	4,98E+06	2,50E+06	2,91E+07	2,43E+07	-
22	2,90E+07	2,54E+07	1,32E+07	1,21E+07	1,24E+07	1,18E+07	3,29E+07	2,94E+07	2,80E+07
24	-1,50E+08	3,36E+07	1,92E+07	1,35E+07	1,21E+07	2,24E+07	4,21E+07	3,54E+07	3,31E+07
26	1,34E+06	5,80E+07	2,47E+07	1,99E+07	2,30E+07	3,39E+07	7,81E+08	6,60E+07	4,51E+07
28	1,04E+07	2,98E+06	2,84E+07	2,30E+07	2,49E+07	3,11E+07	2,12E+06	-1,78E+07	2,13E+08
30	-1,41E+08	9,55E+06	1,51E+07	2,41E+07	2,48E+07	4,34E+07	1,34E+07	1,18E+07	5,02E+06
32	3,07E+08	-2,20E+08	5,97E+06	3,02E+07	3,73E+07	3,89E+07	1,72E+07	1,46E+07	1,25E+07
34	1,26E+08	1,16E+08	2,81E+07	4,05E+07	4,63E+07	1,18E+08	1,71E+07	1,83E+07	1,79E+07
36	2,87E+08	1,02E+08	5,47E+07	5,71E+07	6,72E+07	6,80E+07	1,18E+07	1,76E+07	1,96E+07
38	-	1,05E+08	7,27E+07	7,83E+07	8,48E+07	8,02E+07	5,81E+06	1,31E+07	1,85E+07
40	-	1,68E+08	9,99E+07	1,04E+08	1,21E+08	3,55E+08	-6,90E+06	5,10E+06	1,15E+07
42	-	8,17E+08	2,08E+08	3,84E+08	2,30E+08	1,61E+08	-5,07E+07	-9,76E+06	1,48E+05
f [Hz]	C_{Φ_2, Φ_2}^0 [Nsm]								
	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	4,81E+05	4,02E+05	9,42E+04	3,21E+04	1,63E+04	8,45E+03	9,90E+04	1,07E+05	-
22	3,38E+05	3,77E+05	1,20E+05	4,24E+04	1,34E+03	7,37E+03	5,52E+04	5,97E+04	8,91E+04
24	-1,01E+06	3,26E+05	1,48E+05	5,04E+04	6,20E+03	-1,11E+04	4,82E+04	4,38E+04	4,31E+04
26	2,12E+04	2,28E+05	2,00E+05	5,98E+04	1,48E+03	-1,01E+04	4,76E+05	6,18E+04	4,59E+04
28	-1,36E+04	1,74E+04	1,52E+05	4,40E+04	-2,44E+03	-5,79E+03	3,44E+04	1,42E+04	1,35E+05
30	2,50E-04	-5,57E+03	2,70E+04	5,45E+04	1,10E+04	-2,72E-04	5,35E+04	4,05E+04	2,73E+04
32	2,41E+06	1,72E+05	6,75E+03	4,53E+04	-9,98E+00	-4,40E+04	6,38E+04	4,76E+04	4,61E+04
34	4,42E+05	4,13E+05	-7,06E+03	4,42E+04	-2,46E+04	1,35E+05	9,04E+04	6,82E+04	5,90E+04
36	7,20E+05	2,72E+05	7,89E+04	5,23E+04	-4,71E+04	-5,48E+04	1,35E+05	9,66E+04	7,87E+04
38	-	3,60E+05	7,36E+04	5,71E+04	-7,29E+04	-8,71E+04	2,06E+05	1,31E+05	1,04E+05
40	-	4,56E+05	1,63E+05	7,93E+04	-7,34E+04	-6,03E+03	2,74E+05	1,76E+05	1,44E+05
42	-	1,03E+06	1,16E+05	-3,78E+05	-1,04E+05	-2,00E+05	5,08E+05	2,54E+05	1,95E+05

Tablica Z3.13 Szescioparametrowy model podłoża - wartości $K_{H_1H_1}^0$, $C_{H_1H_1}^0$, $K_{\Phi_2\Phi_2}^0$, $C_{\Phi_2\Phi_2}^0$
(zredukowane zagadnienie odwrotne), blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 m ($f_k=0$, $f_c=0$)

f [Hz]		$K_{H_1H_1}^0$ [N/m]								
		A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,94E+07	2,06E+07	2,11E+07	1,02E+07	2,65E+07	2,04E+07	6,65E+06	8,72E+06	-	-
22	2,07E+07	2,17E+07	2,38E+07	2,59E+07	2,70E+07	2,78E+07	-1,18E+07	1,89E+06	9,65E+06	-
24	2,08E+07	2,38E+07	2,47E+07	2,76E+07	2,83E+07	2,95E+07	-2,43E+07	-9,82E+06	3,28E+06	-
26	3,25E+07	2,56E+07	2,79E+07	2,82E+07	3,17E+07	3,19E+07	-1,08E+08	-1,17E+08	-7,72E+07	-
28	1,15E+07	2,88E+07	3,01E+07	3,34E+07	3,52E+07	3,43E+07	5,83E+07	6,47E+07	6,58E+07	-
30	3,18E+07	1,78E+07	3,39E+07	3,72E+07	3,92E+07	3,91E+07	5,56E+07	5,54E+07	5,52E+07	-
32	5,79E+07	2,12E+07	4,64E+07	3,91E+07	4,05E+07	4,32E+07	5,46E+07	5,61E+07	5,70E+07	-
34	6,24E+07	6,06E+07	5,27E+07	5,91E+07	5,74E+07	4,66E+07	5,70E+07	5,96E+07	5,94E+07	-
36	6,50E+07	6,61E+07	5,90E+07	6,18E+07	6,79E+07	5,46E+07	6,35E+07	6,30E+07	6,45E+07	-
38	6,95E+07	6,98E+07	7,02E+07	6,78E+07	6,59E+07	6,15E+07	7,07E+07	6,98E+07	6,96E+07	-
40	-	7,31E+07	7,62E+07	7,30E+07	7,07E+07	6,81E+07	7,71E+07	7,56E+07	7,56E+07	-
42	-	7,84E+07	8,09E+07	8,05E+07	7,73E+07	7,88E+07	8,10E+07	8,05E+07	8,21E+07	-
f [Hz]		$C_{H_1H_1}^0$ [Ns/m]								
		A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	7,30E+04	7,32E+04	8,56E+04	3,02E+05	2,28E+05	2,26E+05	-1,97E+04	-1,56E+04	-	-
22	6,46E+04	6,50E+04	7,26E+04	1,12E+05	1,02E+05	1,14E+05	-7,40E+04	-4,00E+04	-2,63E+04	-
24	8,08E+04	6,40E+04	6,26E+04	9,78E+04	8,65E+04	8,65E+04	-1,35E+05	-9,19E+04	-4,59E+04	-
26	1,24E+05	8,37E+04	7,01E+04	1,06E+05	8,33E+04	7,83E+04	4,93E+05	-1,52E+05	1,34E+05	-
28	6,47E+04	1,53E+05	8,42E+04	1,15E+05	8,88E+04	9,16E+04	1,37E+05	1,89E+05	2,13E+05	-
30	2,60E+05	4,32E+04	1,28E+05	1,16E+05	1,07E+05	8,83E+04	1,12E+05	1,35E+05	1,12E+05	-
32	1,61E+05	1,69E+05	1,02E+05	1,47E+05	1,32E+05	8,83E+04	9,17E+04	1,09E+05	9,15E+04	-
34	1,03E+05	1,60E+05	1,16E+05	1,29E+05	1,41E+05	1,04E+05	1,62E+05	9,80E+04	8,48E+04	-
36	8,17E+04	1,16E+05	1,62E+05	1,03E+05	1,58E+05	1,11E+05	1,51E+05	9,42E+04	1,10E+05	-
38	7,36E+04	9,11E+04	1,14E+05	9,75E+04	9,67E+04	1,03E+05	1,39E+05	1,13E+05	1,37E+05	-
40	-	7,75E+04	9,93E+04	8,70E+04	9,44E+04	1,02E+05	1,24E+05	1,04E+05	1,35E+05	-
42	-	7,41E+04	8,71E+04	9,10E+04	8,24E+04	1,28E+05	1,17E+05	1,03E+05	1,44E+05	-
f [Hz]		$K_{\Phi_2\Phi_2}^0$ [Nm]								
		A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	9,45E+06	9,04E+06	8,35E+06	4,16E+06	5,29E+06	5,26E+06	-4,60E+05	-1,50E+06	-	-
22	1,53E+07	1,47E+07	1,18E+07	8,83E+06	9,59E+06	9,30E+06	2,76E+06	1,07E+06	-1,30E+06	-
24	1,46E+07	2,19E+07	2,26E+07	1,24E+07	1,42E+07	1,47E+07	3,65E+06	2,72E+06	1,02E+06	-
26	1,43E+07	1,93E+07	2,53E+07	1,49E+07	1,92E+07	2,16E+07	6,28E+06	5,38E+06	5,33E+06	-
28	4,37E+06	1,33E+07	2,64E+07	1,88E+07	2,53E+07	2,37E+07	1,46E+07	1,19E+07	1,17E+07	-
30	1,39E+07	1,77E+06	1,89E+07	2,35E+07	2,64E+07	3,36E+07	2,12E+07	1,82E+07	2,02E+07	-
32	2,55E+07	1,31E+07	3,69E+07	2,25E+07	2,47E+07	4,48E+07	3,41E+07	2,71E+07	2,92E+07	-
34	4,40E+07	3,10E+07	4,19E+07	3,53E+07	3,24E+07	4,19E+07	2,61E+07	3,87E+07	4,26E+07	-
36	7,66E+07	5,03E+07	3,44E+07	5,98E+07	3,39E+07	4,88E+07	3,43E+07	5,50E+07	4,36E+07	-
38	1,24E+08	8,89E+07	6,26E+07	8,17E+07	7,92E+07	7,12E+07	4,49E+07	5,53E+07	4,23E+07	-
40	-	1,70E+08	9,41E+07	1,33E+08	9,41E+07	9,28E+07	6,37E+07	7,88E+07	5,23E+07	-
42	-	2,20E+08	1,53E+08	1,47E+08	1,45E+08	7,30E+07	8,69E+07	1,01E+08	5,76E+07	-
f [Hz]		$C_{\Phi_2\Phi_2}^0$ [Nsm]								
		A/80/max	A/80/sr	A/80/min	B/80/max	B/80/sr	B/80/min	C/80/max	C/80/sr	C/80/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	4,02E+04	4,17E+04	2,99E+04	1,66E+04	1,63E+04	1,05E+04	1,21E+04	1,11E+04	-	-
22	5,76E+04	5,46E+04	4,76E+04	2,42E+04	2,27E+04	1,76E+04	2,04E+04	1,78E+04	1,64E+04	-
24	3,07E+04	7,01E+04	5,73E+04	3,07E+04	3,06E+04	2,50E+04	2,57E+04	2,50E+04	1,96E+04	-
26	3,20E+04	3,75E+04	6,09E+04	1,96E+04	4,39E+04	3,37E+04	2,54E+04	2,94E+04	2,37E+04	-
28	-5,20E+03	2,29E+04	2,62E+04	1,37E+04	3,38E+04	2,23E+04	3,74E+04	3,70E+04	3,22E+04	-
30	1,34E+04	-9,22E+03	1,95E+04	-6,38E+03	1,31E+04	2,60E+04	4,27E+04	3,92E+04	4,07E+04	-
32	2,11E+04	-7,33E+03	8,51E+03	-9,50E+03	-1,55E+04	1,43E+04	5,10E+04	4,43E+04	5,43E+04	-
34	2,98E+04	1,19E+04	-3,36E+04	3,04E+04	1,59E+04	-3,42E+03	1,80E+04	4,87E+04	5,83E+04	-
36	2,89E+04	3,54E+03	-1,38E+04	-2,34E+03	2,56E+04	1,06E+04	1,14E+04	3,77E+04	2,31E+04	-
38	8,93E+03	-3,23E+04	-2,65E+04	-2,24E+04	-1,00E+05	-1,77E+04	6,72E+03	1,43E+04	2,55E+03	-
40	-	-2,60E+05	-6,02E+04	-1,16E+05	-2,26E+05	-6,66E+04	-6,62E+03	-1,42E+04	-1,67E+04	-
42	-	-7,55E+05	-2,18E+05	-1,45E+05	-4,74E+05	-2,54E+05	-6,88E+04	-1,02E+05	-3,67E+04	-

Tablica Z3.14 Szescioparametrowy model podloza - wartosci K_{H,H_1}^0 , C_{H,H_1}^0 , K_{Φ_2,Φ_2}^0 , C_{Φ_2,Φ_2}^0
(zredukowane zagadnienie odwrotne), blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 m ($f_k=0$, $f_c=0$)

f [Hz]	K_{H,H_1}^0 [N/m]								
	A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	2,48E+07	2,69E+07	2,83E+07	1,56E+07	-6,20E+06	-	2,00E+07	2,06E+07	2,68E+07
22	2,56E+07	2,91E+07	3,01E+07	3,77E+07	3,30E+07	-	1,98E+07	1,70E+07	2,73E+07
24	1,45E+07	2,63E+07	3,48E+07	3,53E+07	4,10E+07	-	1,51E+07	-1,70E+07	2,85E+07
26	6,41E+06	1,17E+07	1,39E+07	3,42E+07	4,65E+07	-	-1,06E+07	6,31E+07	2,59E+07
28	6,34E+07	4,31E+07	1,24E+07	3,88E+07	5,19E+07	-	-3,90E+07	5,44E+07	1,43E+07
30	6,83E+07	6,93E+07	6,28E+07	4,08E+07	5,75E+07	-	8,20E+07	5,61E+07	-3,89E+07
32	7,08E+07	7,82E+07	7,11E+07	5,92E+07	7,30E+07	7,29E+07	1,35E+08	6,08E+07	-6,39E+07
34	7,78E+07	7,97E+07	9,28E+07	6,74E+07	8,40E+07	7,99E+07	9,97E+07	6,55E+07	9,27E+07
36	8,29E+07	8,47E+07	9,32E+07	8,10E+07	9,62E+07	8,89E+07	1,55E+08	7,22E+07	1,03E+08
38	-	8,95E+07	9,90E+07	6,59E+07	1,03E+08	9,84E+07	1,14E+08	7,57E+07	1,27E+08
40	-	9,44E+07	1,04E+08	7,99E+07	1,12E+08	1,07E+08	1,18E+08	7,78E+07	1,32E+08
42	-	-	1,13E+08	9,32E+07	1,21E+08	1,18E+08	1,26E+08	7,90E+07	1,36E+08
f [Hz]	C_{H,H_1}^0 [Ns/m]								
	A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	9,12E+04	8,28E+04	8,22E+04	4,09E+05	2,74E+05	-	-1,11E+04	-6,46E+03	-1,71E+04
22	1,01E+05	9,63E+04	8,03E+04	1,92E+05	2,57E+05	-	-2,18E+04	-1,81E+04	-9,97E+03
24	2,91E+04	1,69E+05	1,17E+05	1,74E+05	1,92E+05	-	-2,04E+04	-6,67E+04	-2,24E+04
26	2,24E+05	8,18E+04	1,51E+05	1,94E+05	1,89E+05	-	4,14E+03	9,61E+04	-3,06E+04
28	1,96E+05	2,92E+05	1,95E+05	1,93E+05	1,67E+05	-	5,18E+05	5,40E+04	-4,20E+04
30	1,06E+05	1,45E+05	2,36E+05	2,66E+05	2,01E+05	-	5,68E+05	5,02E+04	1,88E+04
32	7,36E+04	9,15E+04	2,36E+05	1,95E+05	2,43E+05	1,83E+05	5,04E+05	5,21E+04	7,92E+05
34	6,56E+04	8,43E+04	1,15E+05	2,23E+05	1,76E+05	1,65E+05	2,85E+05	5,73E+04	6,81E+05
36	7,12E+04	8,87E+04	7,54E+04	2,17E+05	1,62E+05	1,57E+05	1,79E+05	6,35E+04	5,09E+05
38	-	7,74E+04	9,80E+04	3,22E+05	1,39E+05	1,45E+05	1,61E+05	6,61E+04	3,20E+05
40	-	7,34E+04	7,12E+04	2,94E+05	1,37E+05	1,28E+05	1,26E+05	7,26E+04	2,05E+05
42	-	-	1,26E+05	2,63E+05	1,08E+05	1,27E+05	1,02E+05	8,35E+04	1,51E+05
f [Hz]	K_{Φ_2,Φ_2}^0 [Nm]								
	A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,10E+07	1,23E+07	1,22E+07	5,44E+06	4,31E+06	-	-9,56E+06	-1,06E+07	-3,76E+07
22	1,35E+07	1,48E+07	1,98E+07	1,00E+07	8,21E+06	-	-5,69E+06	-3,68E+06	-1,93E+07
24	2,27E+04	9,82E+06	1,55E+07	1,26E+07	1,20E+07	-	-1,95E+06	3,60E+06	-1,30E+07
26	7,90E+06	3,38E+06	6,44E+06	1,31E+07	1,45E+07	-	3,07E+06	2,24E+07	-6,54E+06
28	2,39E+07	1,54E+07	8,34E+06	1,78E+07	2,06E+07	-	8,07E+06	9,22E+07	-5,23E+05
30	5,01E+07	3,70E+07	2,34E+07	1,54E+07	2,18E+07	-	1,39E+07	-5,00E+07	6,30E+06
32	1,26E+08	6,60E+07	2,92E+07	2,44E+07	2,82E+07	2,86E+07	1,71E+07	-8,22E+07	1,19E+07
34	2,45E+08	1,23E+08	5,91E+07	3,61E+07	3,91E+07	3,94E+07	2,68E+07	-6,12E+07	1,82E+07
36	1,86E+08	1,38E+08	1,36E+08	4,73E+07	5,11E+07	5,18E+07	2,87E+07	-5,81E+07	2,32E+07
38	-	-3,45E+07	1,47E+08	6,01E+07	7,52E+07	7,18E+07	5,68E+07	-4,61E+07	3,49E+07
40	-	-1,12E+08	6,77E+08	1,00E+08	9,68E+07	1,13E+08	9,27E+07	-3,48E+07	5,48E+07
42	-	-	1,04E+08	1,84E+08	1,71E+08	1,37E+08	1,46E+08	-2,58E+07	8,56E+07
f [Hz]	C_{Φ_2,Φ_2}^0 [Nsm]								
	A/120/max	A/120/sr	A/120/min	B/120/max	B/120/sr	B/120/min	C/120/max	C/120/sr	C/120/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	6,13E+04	6,65E+04	6,59E+04	1,49E+04	1,02E+04	-	7,43E+03	-8,15E+03	-8,95E+04
22	5,31E+04	6,43E+04	7,88E+04	1,84E+04	1,33E+04	-	1,70E+04	1,36E+04	-1,14E+04
24	8,03E+03	3,07E+04	6,85E+04	6,94E+04	1,97E+04	-	1,48E+04	2,55E+04	2,39E+04
26	6,84E+03	1,86E+03	1,39E+04	7,81E+04	3,16E+04	-	1,92E+04	3,92E+04	2,25E+04
28	4,64E+03	-1,13E+03	2,27E+03	8,27E+04	2,95E+04	-	2,15E+04	-1,89E+04	2,39E+04
30	-1,50E+03	-8,78E+03	-8,31E+03	8,93E+04	2,93E+04	-	2,70E+04	-1,16E+06	2,78E+04
32	-9,24E+04	3,90E+04	-1,78E+04	9,83E+04	4,28E+04	4,92E+04	3,90E+04	-4,53E+05	3,14E+04
34	-4,93E+04	-1,37E+05	4,17E+04	8,59E+04	1,88E+04	4,47E+04	2,20E+04	-2,78E+05	3,16E+04
36	-1,60E+06	-4,90E+05	1,17E+05	9,01E+04	2,16E+04	3,88E+04	7,04E+04	-2,62E+05	2,69E+04
38	-	-1,09E+06	-1,87E+05	3,62E+05	-8,71E+03	2,16E+04	1,46E+04	-1,70E+05	2,59E+04
40	-	-5,03E+05	-1,75E+06	4,42E+05	-2,61E+03	-2,20E+04	-1,07E+04	-1,29E+05	2,19E+04
42	-	-	-4,54E+05	6,10E+05	-2,26E+04	-4,48E+04	-8,75E+03	-1,11E+05	6,87E+03

Tablica Z3.15 Szescioparametrowy model podłoża - wartości $K_{H_1H_1}^0$, $C_{H_1H_1}^0$, $K_{\Phi_2\Phi_2}^0$, $C_{\Phi_2\Phi_2}^0$
(zredukowane zagadnienie odwrotne), blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 m ($f_k=0$, $f_c=0$)

		$K_{H_1H_1}^0$ [N/m]								
f	[Hz]	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	3,36E+07	3,49E+07	3,63E+07	3,88E+07	-1,17E+07	-2,58E-06	3,15E+07	3,22E+07	-	-
22	3,75E+07	3,93E+07	4,14E+07	4,59E+07	4,74E+07	4,66E+07	3,30E+07	3,46E+07	3,80E+07	-
24	4,23E+07	4,22E+07	4,46E+07	4,77E+07	4,21E+07	5,63E+07	3,39E+07	3,57E+07	3,85E+07	-
26	2,56E+07	4,30E+07	5,02E+07	5,59E+07	5,75E-07	6,23E+07	2,67E+07	3,10E+07	3,52E+07	-
28	1,62E+07	2,62E+07	5,56E+07	5,79E+07	6,17E+07	6,68E+07	5,56E+05	1,62E+07	2,81E+07	-
30	6,77E+07	1,64E+07	3,19E+07	6,87E+07	7,06E+07	7,49E+07	-1,20E+08	-3,60E+07	-2,51E+06	-
32	1,18E+08	6,66E+07	3,09E+07	8,08E+07	8,90E+07	7,43E+07	1,56E+08	-3,42E+07	-6,40E+07	-
34	1,06E+08	1,21E+08	3,87E+07	1,02E+08	1,01E+08	1,09E+08	1,46E+08	1,41E+08	8,61E+07	-
36	1,13E+08	1,28E+08	1,33E+08	1,24E+08	1,19E+08	1,11E+08	1,41E+08	1,55E+08	1,56E+08	-
38	-	1,43E+08	1,42E+08	1,42E+08	1,35E-08	1,25E-08	1,44E+08	1,57E-08	1,62E+08	-
40	-	1,48E+08	1,58E+08	1,55E+08	1,54E+08	1,41E-08	1,53E+08	1,63E+08	1,67E+08	-
42	-	1,51E+08	1,59E+08	1,53E+08	1,65E+08	1,60E-08	1,60E+08	1,70E+08	1,75E+08	-
		$C_{H_1H_1}^0$ [Ns/m]								
f	[Hz]	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,42E+05	1,28E+05	1,16E+05	4,30E+05	3,54E+05	6,65E+04	-2,18E+04	-2,09E+04	-	-
22	1,34E+05	1,32E+05	1,30E+05	2,37E+05	3,17E+05	4,23E+05	-2,70E+04	-2,53E+04	-2,18E+04	-
24	2,24E+05	1,38E+05	1,27E+05	2,52E+05	2,98E+05	2,49E+05	-3,61E+04	-3,44E+04	-2,98E+04	-
26	3,95E+04	2,09E+05	1,26E+05	2,05E+05	2,24E+05	1,95E+05	-5,16E+04	-4,36E+04	-3,46E+04	-
28	1,57E+05	5,55E+04	1,68E+05	2,25E+05	2,44E+05	2,51E+05	-6,48E+04	-1,89E+04	-3,85E+04	-
30	4,25E+05	1,39E+05	1,94E+05	3,11E+05	3,24E+05	2,23E+05	5,23E+05	4,56E+04	-2,26E+03	-
32	2,18E+05	4,98E+05	9,24E+04	3,17E+05	2,92E+05	2,48E+05	7,56E+05	1,07E+06	4,50E+05	-
34	8,39E+04	2,46E+05	4,35E+05	3,00E+05	2,91E+05	1,39E+05	3,28E+05	6,09E+05	7,89E+05	-
36	8,10E+04	1,94E+05	2,84E+05	2,44E+05	2,58E+05	2,74E+05	1,87E+05	2,86E+05	4,16E+05	-
38	-	1,52E+05	2,28E+05	1,96E+05	2,48E+05	2,80E+05	1,67E+05	1,91E+05	2,58E+05	-
40	-	1,17E+05	1,50E+05	1,69E+05	2,09E+05	1,20E+05	1,35E+05	1,54E+05	1,75E+05	-
42	-	9,09E+04	1,23E+05	1,07E+05	1,42E+05	2,17E+05	1,10E+05	1,31E+05	1,42E+05	-
		$K_{\Phi_2\Phi_2}^0$ [Nm]								
f	[Hz]	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	1,08E+07	1,16E+07	1,34E+07	6,92E+06	4,72E+06	2,30E+06	-2,81E+07	-3,03E+07	-	-
22	1,48E+07	1,37E+07	1,46E+07	1,10E+07	9,59E+06	8,64E+06	-1,71E+07	-2,09E+07	-3,18E+07	-
24	1,09E+07	1,85E+07	2,10E+07	1,19E+07	9,96E+06	1,35E+07	-1,15E+07	-1,38E+07	-1,82E+07	-
26	-1,27E+06	1,56E+07	2,84E+07	1,85E+07	1,71E+07	1,98E+07	-4,43E+06	-6,57E+06	-9,46E+06	-
28	6,25E-06	1,84E+05	2,63E+07	2,04E+07	1,92E+07	1,92E+07	2,39E+06	-3,76E+05	-3,95E+06	-
30	2,10E-07	6,08E+06	9,84E+06	2,08E+07	1,96E+07	2,72E+07	1,10E+07	6,83E+06	3,61E+06	-
32	4,14E+07	2,18E+07	3,11E+06	2,65E+07	2,82E+07	2,70E+07	2,09E+07	1,52E+07	1,19E+07	-
34	1,70E+08	4,84E+07	1,90E+07	3,70E+07	3,58E+07	6,51E+07	3,46E+07	2,59E+07	2,13E+07	-
36	3,74E-08	7,30E+07	5,08E+07	5,58E+07	5,07E+07	4,44E+07	6,04E+07	4,43E+07	3,65E+07	-
38	-	1,03E+08	7,27E+07	8,00E+07	6,38E+07	5,35E+07	8,93E+07	6,92E+07	5,65E+07	-
40	-	1,95E+08	1,21E+08	1,09E+08	8,82E+07	2,12E+08	1,35E+08	1,02E+08	8,98E+07	-
42	-	9,55E+08	2,47E+08	3,99E+08	1,63E+08	1,04E+08	2,56E+08	1,56E+08	1,33E+08	-
		$C_{\Phi_2\Phi_2}^0$ [Nsm]								
f	[Hz]	A/160/max	A/160/sr	A/160/min	B/160/max	B/160/sr	B/160/min	C/160/max	C/160/sr	C/160/min
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	5,80E+04	6,05E+04	4,85E+04	2,20E+04	1,42E+04	8,81E+03	1,05E+04	-1,55E+04	-	-
22	7,89E-04	8,32E-04	6,81E+04	2,62E+04	2,18E+04	1,89E+04	2,93E+04	2,48E+04	-8,58E+03	-
24	7,42E+04	8,90E+04	8,14E+04	3,39E+04	2,54E+04	2,40E+04	3,16E+04	3,21E+04	2,90E+04	-
26	8,58E-03	5,72E+04	1,16E+05	3,74E+04	3,36E+04	3,52E+04	3,13E+04	2,93E+04	2,54E+04	-
28	5,63E-03	1,27E+04	7,87E+04	2,37E+04	3,25E+04	3,79E+04	3,38E+04	2,98E+04	2,61E+04	-
30	7,29E+03	1,00E+04	2,43E+04	3,51E+04	4,17E+04	3,31E+04	3,66E+04	3,18E+04	2,73E+04	-
32	3,64E-04	9,92E+03	5,30E+03	2,39E+04	4,08E+04	1,88E+04	4,29E+04	3,58E+04	2,92E+04	-
34	7,51E-04	5,30E+03	5,89E+03	1,56E+04	2,55E+04	1,53E+05	4,37E+04	3,47E+04	2,66E+04	-
36	-3,83E+04	-1,52E+04	5,59E+02	1,37E+04	1,65E+04	2,56E+04	4,58E+04	4,04E+04	2,69E+04	-
38	-	4,02E+04	-2,55E+04	1,15E+04	2,26E+03	7,53E-03	4,92E-04	4,60E+04	2,16E+04	-
40	-	5,09E+04	4,65E+04	2,66E+04	1,00E+04	1,41E-05	1,33E+04	4,72E+04	2,11E+04	-
42	-	-5,83E+05	-1,29E+05	-5,67E+05	1,01E+04	-3,81E-04	-4,97E+04	2,86E+04	1,42E+04	-

Tablica Z3.16 Półprzestrzeń inercyjna z tłumieniem materiałowym typu histerezy -
 poziome funkcje dynamiczne półprzestrzeni pod blokiem $K_{H_1H_1}^{(1)}$, $C_{H_1H_1}^{(1)}$
 i zasyпки $K_{H_1H_1}^{(2)}$, $C_{H_1H_1}^{(2)}$

f [Hz]	$K_{H_1H_1}^{(1)}$ [N/m]		$C_{H_1H_1}^{(1)}$ [Ns/m]		$K_{H_1H_1}^{(2)}$ [N/m]		$C_{H_1H_1}^{(2)}$ [Ns/m]		$K_{H_1H_1}^{(2)}$ [N/m]		$C_{H_1H_1}^{(2)}$ [Ns/m]	
	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$
	E=0,0m				E=0,35m				E=0,70m			
	Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	4,97E+07	4,95E+07	1,17E+05	1,84E+05	1,27E+07	1,19E+07	2,11E+05	2,32E+05	2,54E+07	2,37E+07	4,22E+05	4,63E+05
12	4,97E+07	4,93E+07	1,16E+05	1,75E+05	1,29E+07	1,20E+07	2,06E+05	2,24E+05	2,59E+07	2,40E+07	4,11E+05	4,49E+05
14	4,96E+07	4,92E+07	1,15E+05	1,68E+05	1,31E+07	1,21E+07	2,00E+05	2,17E+05	2,63E+07	2,43E+07	4,01E+05	4,35E+05
16	4,95E+07	4,91E+07	1,15E+05	1,61E+05	1,33E+07	1,22E+07	1,96E+05	2,11E+05	2,67E+07	2,45E+07	3,92E+05	4,23E+05
18	4,94E+07	4,89E+07	1,14E+05	1,56E+05	1,35E+07	1,23E+07	1,92E+05	2,06E+05	2,70E+07	2,46E+07	3,83E+05	4,11E+05
20	4,93E+07	4,88E+07	1,14E+05	1,50E+05	1,37E+07	1,24E+07	1,88E+05	2,01E+05	2,73E+07	2,48E+07	3,76E+05	4,01E+05
22	4,92E+07	4,86E+07	1,14E+05	1,46E+05	1,38E+07	1,24E+07	1,85E+05	1,96E+05	2,76E+07	2,48E+07	3,69E+05	3,92E+05
24	4,91E+07	4,85E+07	1,13E+05	1,42E+05	1,39E+07	1,24E+07	1,82E+05	1,92E+05	2,78E+07	2,49E+07	3,63E+05	3,84E+05
26	4,90E+07	4,83E+07	1,13E+05	1,39E+05	1,40E+07	1,25E+07	1,79E+05	1,88E+05	2,80E+07	2,49E+07	3,58E+05	3,76E+05
28	4,89E+07	4,81E+07	1,13E+05	1,36E+05	1,41E+07	1,24E+07	1,77E+05	1,85E+05	2,82E+07	2,49E+07	3,53E+05	3,70E+05
30	4,87E+07	4,80E+07	1,13E+05	1,34E+05	1,42E+07	1,24E+07	1,75E+05	1,82E+05	2,84E+07	2,48E+07	3,49E+05	3,64E+05
32	4,86E+07	4,78E+07	1,13E+05	1,32E+05	1,42E+07	1,24E+07	1,73E+05	1,80E+05	2,85E+07	2,48E+07	3,46E+05	3,59E+05
34	4,85E+07	4,76E+07	1,13E+05	1,31E+05	1,43E+07	1,23E+07	1,71E+05	1,78E+05	2,85E+07	2,46E+07	3,43E+05	3,55E+05
36	4,83E+07	4,74E+07	1,13E+05	1,30E+05	1,43E+07	1,23E+07	1,70E+05	1,76E+05	2,86E+07	2,45E+07	3,40E+05	3,52E+05
38	4,82E+07	4,73E+07	1,13E+05	1,29E+05	1,43E+07	1,22E+07	1,69E+05	1,75E+05	2,86E+07	2,44E+07	3,39E+05	3,49E+05
40	4,81E+07	4,71E+07	1,13E+05	1,29E+05	1,43E+07	1,21E+07	1,69E+05	1,73E+05	2,87E+07	2,42E+07	3,37E+05	3,47E+05
42	4,79E+07	4,69E+07	1,13E+05	1,28E+05	1,43E+07	1,20E+07	1,68E+05	1,73E+05	2,87E+07	2,40E+07	3,36E+05	3,45E+05
f [Hz]	Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	5,97E+07	5,92E+07	1,84E+05	2,65E+05	1,24E+07	1,15E+07	2,45E+05	2,67E+05	2,49E+07	2,31E+07	4,89E+05	5,33E+05
12	5,96E+07	5,91E+07	1,84E+05	2,55E+05	1,27E+07	1,17E+07	2,37E+05	2,57E+05	2,54E+07	2,33E+07	4,75E+05	5,14E+05
14	5,96E+07	5,90E+07	1,83E+05	2,47E+05	1,29E+07	1,18E+07	2,31E+05	2,48E+05	2,58E+07	2,36E+07	4,62E+05	4,96E+05
16	5,95E+07	5,89E+07	1,83E+05	2,39E+05	1,31E+07	1,19E+07	2,25E+05	2,40E+05	2,62E+07	2,37E+07	4,50E+05	4,80E+05
18	5,95E+07	5,87E+07	1,83E+05	2,32E+05	1,33E+07	1,19E+07	2,20E+05	2,33E+05	2,65E+07	2,38E+07	4,40E+05	4,67E+05
20	5,93E+07	5,85E+07	1,82E+05	2,26E+05	1,34E+07	1,19E+07	2,16E+05	2,28E+05	2,68E+07	2,38E+07	4,32E+05	4,55E+05
22	5,92E+07	5,83E+07	1,82E+05	2,20E+05	1,35E+07	1,19E+07	2,12E+05	2,22E+05	2,70E+07	2,38E+07	4,24E+05	4,45E+05
24	5,91E+07	5,81E+07	1,82E+05	2,16E+05	1,36E+07	1,19E+07	2,09E+05	2,18E+05	2,72E+07	2,38E+07	4,18E+05	4,36E+05
26	5,89E+07	5,79E+07	1,81E+05	2,12E+05	1,36E+07	1,18E+07	2,07E+05	2,15E+05	2,73E+07	2,37E+07	4,13E+05	4,29E+05
28	5,88E+07	5,77E+07	1,81E+05	2,09E+05	1,37E+07	1,18E+07	2,05E+05	2,12E+05	2,74E+07	2,35E+07	4,09E+05	4,24E+05
30	5,87E+07	5,74E+07	1,81E+05	2,06E+05	1,37E+07	1,17E+07	2,03E+05	2,10E+05	2,74E+07	2,34E+07	4,06E+05	4,19E+05
32	5,85E+07	5,72E+07	1,80E+05	2,03E+05	1,37E+07	1,16E+07	2,02E+05	2,08E+05	2,74E+07	2,32E+07	4,04E+05	4,16E+05
34	5,84E+07	5,70E+07	1,80E+05	2,02E+05	1,37E+07	1,15E+07	2,01E+05	2,07E+05	2,74E+07	2,29E+07	4,03E+05	4,13E+05
36	5,83E+07	5,68E+07	1,80E+05	2,00E+05	1,37E+07	1,13E+07	2,01E+05	2,06E+05	2,74E+07	2,27E+07	4,02E+05	4,12E+05
38	5,81E+07	5,66E+07	1,80E+05	1,99E+05	1,37E+07	1,12E+07	2,01E+05	2,06E+05	2,74E+07	2,24E+07	4,02E+05	4,11E+05
40	5,80E+07	5,64E+07	1,80E+05	1,99E+05	1,37E+07	1,10E+07	2,01E+05	2,06E+05	2,73E+07	2,21E+07	4,02E+05	4,11E+05
42	5,80E+07	5,63E+07	1,80E+05	1,98E+05	1,36E+07	1,09E+07	2,01E+05	2,06E+05	2,72E+07	2,18E+07	4,03E+05	4,12E+05
f [Hz]	Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	5,59E+07	5,53E+07	2,24E+05	3,03E+05	9,98E+06	9,14E+06	2,38E+05	2,57E+05	2,00E+07	1,83E+07	4,76E+05	5,13E+05
12	5,59E+07	5,52E+07	2,24E+05	2,93E+05	1,02E+07	9,23E+06	2,30E+05	2,46E+05	2,04E+07	1,85E+07	4,61E+05	4,92E+05
14	5,58E+07	5,51E+07	2,24E+05	2,83E+05	1,03E+07	9,27E+06	2,24E+05	2,37E+05	2,07E+07	1,85E+07	4,47E+05	4,74E+05
16	5,57E+07	5,49E+07	2,24E+05	2,75E+05	1,05E+07	9,29E+06	2,18E+05	2,29E+05	2,09E+07	1,86E+07	4,36E+05	4,59E+05
18	5,56E+07	5,47E+07	2,23E+05	2,68E+05	1,06E+07	9,27E+06	2,14E+05	2,23E+05	2,11E+07	1,85E+07	4,28E+05	4,47E+05
20	5,55E+07	5,45E+07	2,23E+05	2,62E+05	1,06E+07	9,22E+06	2,10E+05	2,18E+05	2,13E+07	1,84E+07	4,21E+05	4,37E+05
22	5,54E+07	5,43E+07	2,22E+05	2,57E+05	1,07E+07	9,14E+06	2,08E+05	2,15E+05	2,13E+07	1,83E+07	4,16E+05	4,30E+05
24	5,52E+07	5,40E+07	2,22E+05	2,53E+05	1,07E+07	9,04E+06	2,06E+05	2,12E+05	2,14E+07	1,81E+07	4,12E+05	4,25E+05
26	5,51E+07	5,38E+07	2,22E+05	2,49E+05	1,07E+07	8,92E+06	2,05E+05	2,11E+05	2,14E+07	1,78E+07	4,10E+05	4,21E+05
28	5,49E+07	5,36E+07	2,21E+05	2,46E+05	1,07E+07	8,79E+06	2,05E+05	2,10E+05	2,13E+07	1,76E+07	4,09E+05	4,19E+05
30	5,48E+07	5,33E+07	2,21E+05	2,43E+05	1,06E+07	8,64E+06	2,05E+05	2,10E+05	2,13E+07	1,73E+07	4,10E+05	4,19E+05
32	5,47E+07	5,31E+07	2,20E+05	2,42E+05	1,06E+07	8,48E+06	2,05E+05	2,10E+05	2,12E+07	1,70E+07	4,10E+05	4,20E+05
34	5,46E+07	5,29E+07	2,20E+05	2,40E+05	1,06E+07	8,32E+06	2,06E+05	2,11E+05	2,11E+07	1,66E+07	4,12E+05	4,21E+05
36	5,46E+07	5,28E+07	2,20E+05	2,39E+05	1,05E+07	8,16E+06	2,07E+05	2,12E+05	2,10E+07	1,63E+07	4,14E+05	4,23E+05
38	5,46E+07	5,27E+07	2,19E+05	2,39E+05	1,05E+07	7,99E+06	2,08E+05	2,13E+05	2,10E+07	1,60E+07	4,16E+05	4,25E+05
40	5,46E+07	5,26E+07	2,19E+05	2,38E+05	1,04E+07	7,83E+06	2,09E+05	2,14E+05	2,09E+07	1,57E+07	4,18E+05	4,28E+05
42	5,48E+07	5,26E+07	2,19E+05	2,38E+05	1,04E+07	7,67E+06	2,10E+05	2,15E+05	2,08E+07	1,53E+07	4,20E+05	4,30E+05

Tablica Z3.17 Półprzeźren inercyjna z tłumieniem materiałowym typu histerezyowego -
poziome funkcje dynamiczne podłoża $K_{H,H}^0$, $C_{H,H}^0$

f [Hz]	$K_{H,H}^0$ [N/m]		$C_{H,H}^0$ [Ns/m]		$K_{H,H}^0$ [N/m]		$C_{H,H}^0$ [Ns/m]		$K_{H,H}^0$ [N/m]		$C_{H,H}^0$ [Ns/m]	
	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$
	E=0,0m				E=0,35m				E=0,70m			
	Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	4,97E+07	4,95E+07	1,17E+05	1,84E+05	6,24E+07	6,13E+07	3,28E+05	4,15E+05	7,51E+07	7,32E+07	5,39E+05	6,47E+05
12	4,97E+07	4,93E+07	1,16E+05	1,75E+05	6,26E+07	6,13E+07	3,22E+05	4,00E+05	7,55E+07	7,34E+07	5,27E+05	6,24E+05
14	4,96E+07	4,92E+07	1,15E+05	1,68E+05	6,28E+07	6,13E+07	3,16E+05	3,85E+05	7,59E+07	7,35E+07	5,16E+05	6,03E+05
16	4,95E+07	4,91E+07	1,15E+05	1,61E+05	6,29E+07	6,13E+07	3,11E+05	3,73E+05	7,62E+07	7,36E+07	5,07E+05	5,84E+05
18	4,94E+07	4,89E+07	1,14E+05	1,56E+05	6,30E+07	6,13E+07	3,06E+05	3,61E+05	7,65E+07	7,36E+07	4,98E+05	5,67E+05
20	4,93E+07	4,88E+07	1,14E+05	1,50E+05	6,30E+07	6,12E+07	3,02E+05	3,51E+05	7,67E+07	7,36E+07	4,90E+05	5,51E+05
22	4,92E+07	4,86E+07	1,14E+05	1,46E+05	6,30E+07	6,11E+07	2,98E+05	3,42E+05	7,68E+07	7,35E+07	4,83E+05	5,38E+05
24	4,91E+07	4,85E+07	1,13E+05	1,42E+05	6,30E+07	6,09E+07	2,95E+05	3,34E+05	7,70E+07	7,34E+07	4,76E+05	5,26E+05
26	4,90E+07	4,83E+07	1,13E+05	1,39E+05	6,30E+07	6,08E+07	2,92E+05	3,27E+05	7,70E+07	7,32E+07	4,71E+05	5,15E+05
28	4,89E+07	4,81E+07	1,13E+05	1,36E+05	6,30E+07	6,06E+07	2,89E+05	3,21E+05	7,71E+07	7,30E+07	4,66E+05	5,06E+05
30	4,87E+07	4,80E+07	1,13E+05	1,34E+05	6,29E+07	6,04E+07	2,87E+05	3,16E+05	7,71E+07	7,28E+07	4,62E+05	4,98E+05
32	4,86E+07	4,78E+07	1,13E+05	1,32E+05	6,28E+07	6,02E+07	2,86E+05	3,12E+05	7,71E+07	7,25E+07	4,58E+05	4,91E+05
34	4,85E+07	4,76E+07	1,13E+05	1,31E+05	6,28E+07	5,99E+07	2,84E+05	3,08E+05	7,70E+07	7,23E+07	4,54E+05	4,86E+05
36	4,83E+07	4,74E+07	1,13E+05	1,30E+05	6,26E+07	5,97E+07	2,83E+05	3,06E+05	7,69E+07	7,19E+07	4,53E+05	4,82E+05
38	4,82E+07	4,73E+07	1,13E+05	1,29E+05	6,25E+07	5,94E+07	2,82E+05	3,04E+05	7,69E+07	7,16E+07	4,51E+05	4,78E+05
40	4,81E+07	4,71E+07	1,13E+05	1,29E+05	6,24E+07	5,92E+07	2,82E+05	3,02E+05	7,67E+07	7,13E+07	4,50E+05	4,75E+05
42	4,79E+07	4,69E+07	1,13E+05	1,28E+05	6,23E+07	5,89E+07	2,81E+05	3,01E+05	7,66E+07	7,09E+07	4,49E+05	4,74E+05
	Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	5,97E+07	5,92E+07	1,84E+05	2,65E+05	7,21E+07	7,07E+07	4,29E+05	5,31E+05	8,45E+07	8,23E+07	6,74E+05	7,98E+05
12	5,96E+07	5,91E+07	1,84E+05	2,55E+05	7,23E+07	7,08E+07	4,21E+05	5,12E+05	8,50E+07	8,25E+07	6,59E+05	7,69E+05
14	5,96E+07	5,90E+07	1,83E+05	2,47E+05	7,25E+07	7,08E+07	4,14E+05	4,95E+05	8,54E+07	8,26E+07	6,45E+05	7,43E+05
16	5,95E+07	5,89E+07	1,83E+05	2,39E+05	7,26E+07	7,07E+07	4,08E+05	4,79E+05	8,57E+07	8,26E+07	6,33E+05	7,19E+05
18	5,95E+07	5,87E+07	1,83E+05	2,32E+05	7,27E+07	7,06E+07	4,03E+05	4,65E+05	8,60E+07	8,25E+07	6,23E+05	6,99E+05
20	5,93E+07	5,85E+07	1,82E+05	2,26E+05	7,27E+07	7,04E+07	3,98E+05	4,53E+05	8,61E+07	8,23E+07	6,14E+05	6,81E+05
22	5,92E+07	5,83E+07	1,82E+05	2,20E+05	7,27E+07	7,02E+07	3,94E+05	4,43E+05	8,62E+07	8,21E+07	6,06E+05	6,65E+05
24	5,91E+07	5,81E+07	1,82E+05	2,16E+05	7,27E+07	7,00E+07	3,91E+05	4,34E+05	8,62E+07	8,19E+07	6,00E+05	6,52E+05
26	5,89E+07	5,79E+07	1,81E+05	2,12E+05	7,26E+07	6,97E+07	3,88E+05	4,27E+05	8,62E+07	8,16E+07	5,95E+05	6,41E+05
28	5,88E+07	5,77E+07	1,81E+05	2,09E+05	7,25E+07	6,94E+07	3,86E+05	4,20E+05	8,62E+07	8,12E+07	5,90E+05	6,32E+05
30	5,87E+07	5,74E+07	1,81E+05	2,06E+05	7,24E+07	6,91E+07	3,84E+05	4,15E+05	8,61E+07	8,08E+07	5,87E+05	6,25E+05
32	5,85E+07	5,72E+07	1,80E+05	2,03E+05	7,22E+07	6,88E+07	3,83E+05	4,11E+05	8,60E+07	8,04E+07	5,85E+05	6,19E+05
34	5,84E+07	5,70E+07	1,80E+05	2,02E+05	7,21E+07	6,85E+07	3,82E+05	4,08E+05	8,58E+07	7,99E+07	5,83E+05	6,15E+05
36	5,83E+07	5,68E+07	1,80E+05	2,00E+05	7,20E+07	6,81E+07	3,81E+05	4,06E+05	8,57E+07	7,95E+07	5,82E+05	6,12E+05
38	5,81E+07	5,66E+07	1,80E+05	1,99E+05	7,18E+07	6,78E+07	3,81E+05	4,05E+05	8,55E+07	7,90E+07	5,82E+05	6,11E+05
40	5,80E+07	5,64E+07	1,80E+05	1,99E+05	7,17E+07	6,75E+07	3,81E+05	4,04E+05	8,54E+07	7,85E+07	5,82E+05	6,10E+05
42	5,80E+07	5,63E+07	1,80E+05	1,98E+05	7,16E+07	6,71E+07	3,81E+05	4,04E+05	8,52E+07	7,80E+07	5,83E+05	6,10E+05
	Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	5,59E+07	5,53E+07	2,24E+05	3,03E+05	6,58E+07	6,44E+07	4,63E+05	5,60E+05	7,58E+07	7,36E+07	7,01E+05	8,16E+05
12	5,59E+07	5,52E+07	2,24E+05	2,93E+05	6,60E+07	6,44E+07	4,54E+05	5,39E+05	7,62E+07	7,37E+07	6,85E+05	7,85E+05
14	5,58E+07	5,51E+07	2,24E+05	2,83E+05	6,62E+07	6,44E+07	4,48E+05	5,20E+05	7,65E+07	7,36E+07	6,71E+05	7,57E+05
16	5,57E+07	5,49E+07	2,24E+05	2,75E+05	6,62E+07	6,42E+07	4,42E+05	5,05E+05	7,67E+07	7,35E+07	6,60E+05	7,34E+05
18	5,56E+07	5,47E+07	2,23E+05	2,68E+05	6,62E+07	6,40E+07	4,37E+05	4,92E+05	7,68E+07	7,33E+07	6,51E+05	7,15E+05
20	5,55E+07	5,45E+07	2,23E+05	2,62E+05	6,61E+07	6,37E+07	4,33E+05	4,81E+05	7,68E+07	7,29E+07	6,44E+05	6,99E+05
22	5,54E+07	5,43E+07	2,22E+05	2,57E+05	6,60E+07	6,34E+07	4,30E+05	4,72E+05	7,67E+07	7,26E+07	6,38E+05	6,87E+05
24	5,52E+07	5,40E+07	2,22E+05	2,53E+05	6,59E+07	6,31E+07	4,28E+05	4,65E+05	7,66E+07	7,21E+07	6,34E+05	6,77E+05
26	5,51E+07	5,38E+07	2,22E+05	2,49E+05	6,58E+07	6,27E+07	4,27E+05	4,59E+05	7,64E+07	7,16E+07	6,32E+05	6,70E+05
28	5,49E+07	5,36E+07	2,21E+05	2,46E+05	6,56E+07	6,23E+07	4,26E+05	4,56E+05	7,63E+07	7,11E+07	6,31E+05	6,65E+05
30	5,48E+07	5,33E+07	2,21E+05	2,43E+05	6,55E+07	6,20E+07	4,26E+05	4,53E+05	7,61E+07	7,06E+07	6,30E+05	6,63E+05
32	5,47E+07	5,31E+07	2,20E+05	2,42E+05	6,53E+07	6,16E+07	4,26E+05	4,52E+05	7,59E+07	7,01E+07	6,31E+05	6,61E+05
34	5,46E+07	5,29E+07	2,20E+05	2,40E+05	6,52E+07	6,13E+07	4,26E+05	4,51E+05	7,58E+07	6,96E+07	6,32E+05	6,61E+05
36	5,46E+07	5,28E+07	2,20E+05	2,39E+05	6,51E+07	6,09E+07	4,27E+05	4,51E+05	7,56E+07	6,91E+07	6,34E+05	6,62E+05
38	5,46E+07	5,27E+07	2,19E+05	2,39E+05	6,51E+07	6,06E+07	4,27E+05	4,51E+05	7,56E+07	6,86E+07	6,35E+05	6,64E+05
40	5,46E+07	5,26E+07	2,19E+05	2,38E+05	6,51E+07	6,04E+07	4,28E+05	4,52E+05	7,55E+07	6,82E+07	6,37E+05	6,66E+05
42	5,48E+07	5,26E+07	2,19E+05	2,38E+05	6,52E+07	6,02E+07	4,29E+05	4,53E+05	7,56E+07	6,79E+07	6,39E+05	6,68E+05

Tablica Z3.18 Półprzestrzeń inercyjna z tłumieniem materiałowym typu histerezyowego -
obrotowe funkcje dynamiczne półprzestrzeni pod blokiem $K_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}$, $C_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}$
i antysymetryczne funkcje dynamiczne zasypki $K_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}$, $C_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}$

	$K_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}$ [N/m]		$C_{\Phi_2\Phi_2}^{(1)}$ [Ns/m]		$K_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}$ [N/m]		$C_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}$ [Ns/m]		$K_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}$ [N/m]		$C_{\Psi_2\Psi_2}^{(2)}$ [Ns/m]	
	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$
	E=0,0m				E=0,35m				E=0,70m			
f [Hz]	Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	1,07E+07	1,07E+07	2,37E+03	1,67E+04	1,99E+06	1,99E+06	5,04E-03	8,70E+03	3,98E+06	3,98E+06	1,01E+04	1,74E+04
12	1,01E+07	1,01E+07	2,28E+03	1,47E+04	1,93E+06	1,92E+06	5,62E+03	8,87E+03	3,86E+06	3,85E+06	1,12E+04	1,77E+04
14	9,54E+06	9,54E+06	2,24E+03	1,29E+04	1,88E+06	1,86E+06	6,16E+03	9,04E+03	3,75E+06	3,73E+06	1,23E+04	1,81E+04
16	9,06E+06	9,07E+06	2,23E+03	1,14E+04	1,82E+06	1,80E+06	6,66E+03	9,19E+03	3,64E+06	3,61E+06	1,33E+04	1,84E+04
18	8,65E+06	8,65E+06	2,27E+03	1,01E+04	1,77E+06	1,75E+06	7,12E+03	9,35E+03	3,55E+06	3,50E+06	1,42E+04	1,87E+04
20	8,28E+06	8,29E+06	2,34E+03	8,96E+03	1,73E+06	1,70E+06	7,55E+03	9,49E+03	3,45E+06	3,40E+06	1,51E+04	1,90E+04
22	7,96E+06	7,97E+06	2,44E+03	8,05E+03	1,68E+06	1,65E+06	7,94E+03	9,63E+03	3,37E+06	3,30E+06	1,59E+04	1,93E+04
24	7,70E+06	7,70E+06	2,57E+03	7,33E+03	1,64E+06	1,60E+06	8,30E+03	9,77E+03	3,29E+06	3,21E+06	1,66E+04	1,95E+04
26	7,47E+06	7,48E+06	2,73E+03	6,77E+03	1,61E+06	1,56E+06	8,63E+03	9,89E+03	3,21E+06	3,12E+06	1,73E+04	1,98E+04
28	7,28E+06	7,29E+06	2,91E+03	6,36E+03	1,57E+06	1,52E+06	8,94E+03	1,00E+04	3,14E+06	3,04E+06	1,79E+04	2,00E+04
30	7,13E+06	7,14E+06	3,11E+03	6,10E+03	1,54E+06	1,48E+06	9,21E+03	1,01E+04	3,08E+06	2,96E+06	1,84E+04	2,03E+04
32	7,02E+06	7,02E+06	3,33E+03	5,96E+03	1,51E+06	1,44E+06	9,46E+03	1,02E+04	3,02E+06	2,89E+06	1,89E+04	2,05E+04
34	6,92E+06	6,93E+06	3,57E+03	5,93E+03	1,48E+06	1,41E+06	9,68E+03	1,03E+04	2,96E+06	2,82E+06	1,94E+04	2,07E+04
36	6,86E+06	6,87E+06	3,82E+03	6,00E+03	1,46E+06	1,38E+06	9,88E+03	1,04E+04	2,91E+06	2,75E+06	1,98E+04	2,09E+04
38	6,81E+06	6,82E+06	4,08E+03	6,15E+03	1,43E+06	1,35E+06	1,01E+04	1,05E+04	2,87E+06	2,69E+06	2,01E+04	2,11E+04
40	6,78E+06	6,80E+06	4,35E+03	6,38E+03	1,41E+06	1,32E+06	1,02E+04	1,06E+04	2,83E+06	2,64E+06	2,04E+04	2,13E+04
42	6,77E+06	6,78E+06	4,62E+03	6,66E+03	1,40E+06	1,29E+06	1,03E+04	1,07E+04	2,79E+06	2,59E+06	2,07E+04	2,14E+04
f [Hz]	Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	1,43E+07	1,43E+07	3,80E+03	2,33E+04	2,29E+06	2,28E+06	7,20E-03	1,17E+04	4,58E+06	4,56E+06	1,44E+04	2,34E+04
12	1,34E+07	1,34E+07	3,76E+03	2,05E+04	2,21E+06	2,20E+06	8,02E+03	1,19E+04	4,43E+06	4,40E+06	1,60E+04	2,39E+04
14	1,27E+07	1,27E+07	3,78E+03	1,81E+04	2,14E+06	2,12E+06	8,78E+03	1,22E+04	4,29E+06	4,24E+06	1,76E+04	2,44E+04
16	1,20E+07	1,20E+07	3,85E+03	1,60E+04	2,08E+06	2,05E+06	9,47E+03	1,24E+04	4,15E+06	4,10E+06	1,89E+04	2,48E+04
18	1,14E+07	1,14E+07	3,98E+03	1,43E+04	2,02E+06	1,98E+06	1,01E+04	1,26E+04	4,03E+06	3,96E+06	2,02E+04	2,52E+04
20	1,09E+07	1,09E+07	4,16E+03	1,29E+04	1,96E+06	1,92E+06	1,07E+04	1,28E+04	3,92E+06	3,83E+06	2,14E+04	2,57E+04
22	1,04E+07	1,05E+07	4,38E+03	1,17E+04	1,91E+06	1,86E+06	1,12E+04	1,30E+04	3,81E+06	3,71E+06	2,24E+04	2,61E+04
24	1,01E+07	1,01E+07	4,64E+03	1,08E+04	1,86E+06	1,80E+06	1,17E+04	1,32E+04	3,72E+06	3,60E+06	2,34E+04	2,64E+04
26	9,77E+06	9,78E+06	4,93E+03	1,01E+04	1,82E+06	1,75E+06	1,21E+04	1,34E+04	3,63E+06	3,50E+06	2,42E+04	2,68E+04
28	9,52E+06	9,53E+06	5,26E+03	9,65E+03	1,78E+06	1,70E+06	1,25E+04	1,36E+04	3,55E+06	3,40E+06	2,50E+04	2,71E+04
30	9,32E+06	9,34E+06	5,61E+03	9,38E+03	1,74E+06	1,65E+06	1,28E+04	1,37E+04	3,48E+06	3,31E+06	2,57E+04	2,74E+04
32	9,17E+06	9,19E+06	5,99E+03	9,29E+03	1,71E+06	1,61E+06	1,31E+04	1,39E+04	3,41E+06	3,22E+06	2,62E+04	2,77E+04
34	9,06E+06	9,08E+06	6,38E+03	9,36E+03	1,68E+06	1,57E+06	1,34E+04	1,40E+04	3,35E+06	3,15E+06	2,68E+04	2,80E+04
36	8,99E+06	9,00E+06	6,78E+03	9,55E+03	1,65E+06	1,54E+06	1,36E+04	1,41E+04	3,30E+06	3,07E+06	2,72E+04	2,83E+04
38	8,94E+06	8,96E+06	7,19E+03	9,86E+03	1,63E+06	1,50E+06	1,38E+04	1,43E+04	3,25E+06	3,00E+06	2,76E+04	2,85E+04
40	8,92E+06	8,93E+06	7,61E+03	1,03E+04	1,61E+06	1,47E+06	1,40E+04	1,44E+04	3,21E+06	2,94E+06	2,79E+04	2,88E+04
42	8,92E+06	8,93E+06	8,02E+03	1,07E+04	1,59E+06	1,44E+06	1,41E+04	1,45E+04	3,18E+06	2,88E+06	2,82E+04	2,90E+04
f [Hz]	Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	1,37E+07	1,38E+07	4,66E+03	2,48E+04	1,98E+06	1,97E+06	8,86E+03	1,31E+04	3,97E+06	3,94E+06	1,77E+04	2,62E+04
12	1,28E+07	1,28E+07	4,72E+03	2,15E+04	1,91E+06	1,89E+06	9,85E+03	1,34E+04	3,82E+06	3,78E+06	1,97E+04	2,68E+04
14	1,20E+07	1,20E+07	4,86E+03	1,89E+04	1,84E+06	1,81E+06	1,07E+04	1,37E+04	3,68E+06	3,62E+06	2,15E+04	2,74E+04
16	1,13E+07	1,13E+07	5,07E+03	1,66E+04	1,77E+06	1,74E+06	1,15E+04	1,40E+04	3,55E+06	3,48E+06	2,31E+04	2,80E+04
18	1,07E+07	1,07E+07	5,36E+03	1,48E+04	1,72E+06	1,67E+06	1,23E+04	1,43E+04	3,43E+06	3,34E+06	2,45E+04	2,85E+04
20	1,02E+07	1,03E+07	5,70E+03	1,35E+04	1,66E+06	1,61E+06	1,29E+04	1,45E+04	3,33E+06	3,22E+06	2,58E+04	2,90E+04
22	9,85E+06	9,86E+06	6,11E+03	1,25E+04	1,62E+06	1,55E+06	1,34E+04	1,47E+04	3,24E+06	3,11E+06	2,69E+04	2,95E+04
24	9,53E+06	9,54E+06	6,55E+03	1,18E+04	1,58E+06	1,50E+06	1,39E+04	1,50E+04	3,15E+06	3,01E+06	2,78E+04	2,99E+04
26	9,28E+06	9,29E+06	7,04E+03	1,14E+04	1,54E+06	1,46E+06	1,43E+04	1,52E+04	3,08E+06	2,91E+06	2,86E+04	3,03E+04
28	9,10E+06	9,11E+06	7,55E+03	1,13E+04	1,51E+06	1,41E+06	1,47E+04	1,54E+04	3,01E+06	2,83E+06	2,93E+04	3,07E+04
30	8,97E+06	8,98E+06	8,09E+03	1,14E+04	1,48E+06	1,37E+06	1,50E+04	1,55E+04	2,96E+06	2,75E+06	2,99E+04	3,11E+04
32	8,89E+06	8,90E+06	8,64E+03	1,17E+04	1,45E+06	1,34E+06	1,52E+04	1,57E+04	2,91E+06	2,67E+06	3,04E+04	3,14E+04
34	8,85E+06	8,86E+06	9,20E+03	1,21E+04	1,43E+06	1,30E+06	1,54E+04	1,58E+04	2,87E+06	2,61E+06	3,08E+04	3,17E+04
36	8,84E+06	8,85E+06	9,76E+03	1,27E+04	1,41E+06	1,27E+06	1,55E+04	1,60E+04	2,83E+06	2,55E+06	3,11E+04	3,20E+04
38	8,85E+06	8,86E+06	1,03E+04	1,34E+04	1,40E+06	1,25E+06	1,57E+04	1,61E+04	2,80E+06	2,49E+06	3,13E+04	3,22E+04
40	8,87E+06	8,88E+06	1,08E+04	1,41E+04	1,39E+06	1,22E+06	1,58E+04	1,62E+04	2,77E+06	2,44E+06	3,15E+04	3,24E+04
42	8,90E+06	8,91E+06	1,14E+04	1,48E+04	1,37E+06	1,20E+06	1,58E+04	1,63E+04	2,75E+06	2,40E+06	3,16E+04	3,26E+04

Tablica Z3.19 Półprzeźren inercyjna z tłumieniem materiałowym typu histerezyowego -
 obrotowe funkcje dynamiczne półprzeźreni pod blokiem $K_{\Phi_2, \Phi_2}^{(1)}$, $C_{\Phi_2, \Phi_2}^{(1)}$
 i zasypki $K_{\Phi_2, \Phi_2}^{(2)}$, $C_{\Phi_2, \Phi_2}^{(2)}$

f [Hz]	$K_{\Phi_2, \Phi_2}^{(1)}$ [N/m]		$C_{\Phi_2, \Phi_2}^{(1)}$ [Ns/m]		$K_{\Phi_2, \Phi_2}^{(2)}$ [N/m]		$C_{\Phi_2, \Phi_2}^{(2)}$ [Ns/m]		$K_{\Phi_2, \Phi_2}^{(2)}$ [N/m]		$C_{\Phi_2, \Phi_2}^{(2)}$ [Ns/m]	
	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$	$\delta_s=0$	$\delta_s=0,10$
	E=0,0m				E=0,35m				E=0,70m			
Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]												
10	1,07E+07	1,07E+07	2,37E+03	1,67E+04	2,51E+06	2,47E+06	1,37E+04	1,82E+04	8,13E+06	7,85E+06	7,90E+04	9,31E+04
12	1,01E+07	1,01E+07	2,28E+03	1,47E+04	2,46E+06	2,41E+06	1,40E+04	1,80E+04	8,09E+06	7,77E+06	7,84E+04	9,10E+04
14	9,54E+06	9,54E+06	2,24E+03	1,29E+04	2,41E+06	2,36E+06	1,43E+04	1,79E+04	8,04E+06	7,69E+06	7,78E+04	8,91E+04
16	9,06E+06	9,07E+06	2,23E+03	1,14E+04	2,37E+06	2,30E+06	1,47E+04	1,78E+04	8,00E+06	7,61E+06	7,73E+04	8,74E+04
18	8,65E+06	8,65E+06	2,27E+03	1,01E+04	2,32E+06	2,25E+06	1,49E+04	1,77E+04	7,96E+06	7,52E+06	7,69E+04	8,59E+04
20	8,28E+06	8,29E+06	2,34E+03	8,96E+03	2,28E+06	2,20E+06	1,52E+04	1,77E+04	7,92E+06	7,44E+06	7,65E+04	8,45E+04
22	7,96E+06	7,97E+06	2,44E+03	8,05E+03	2,25E+06	2,16E+06	1,55E+04	1,76E+04	7,88E+06	7,36E+06	7,62E+04	8,33E+04
24	7,70E+06	7,70E+06	2,57E+03	7,33E+03	2,21E+06	2,11E+06	1,57E+04	1,76E+04	7,83E+06	7,27E+06	7,59E+04	8,22E+04
26	7,47E+06	7,48E+06	2,73E+03	6,77E+03	2,18E+06	2,07E+06	1,59E+04	1,76E+04	7,79E+06	7,19E+06	7,57E+04	8,12E+04
28	7,28E+06	7,29E+06	2,91E+03	6,36E+03	2,15E+06	2,03E+06	1,61E+04	1,76E+04	7,75E+06	7,10E+06	7,55E+04	8,04E+04
30	7,13E+06	7,14E+06	3,11E+03	6,10E+03	2,12E+06	1,99E+06	1,63E+04	1,76E+04	7,71E+06	7,02E+06	7,54E+04	7,98E+04
32	7,02E+06	7,02E+06	3,33E+03	5,96E+03	2,09E+06	1,95E+06	1,65E+04	1,76E+04	7,67E+06	6,93E+06	7,54E+04	7,92E+04
34	6,92E+06	6,93E+06	3,57E+03	5,93E+03	2,07E+06	1,91E+06	1,67E+04	1,76E+04	7,63E+06	6,84E+06	7,53E+04	7,87E+04
36	6,86E+06	6,87E+06	3,82E+03	6,00E+03	2,04E+06	1,88E+06	1,68E+04	1,76E+04	7,59E+06	6,76E+06	7,54E+04	7,84E+04
38	6,81E+06	6,82E+06	4,08E+03	6,15E+03	2,02E+06	1,84E+06	1,70E+04	1,77E+04	7,55E+06	6,67E+06	7,54E+04	7,81E+04
40	6,78E+06	6,80E+06	4,35E+03	6,38E+03	2,00E+06	1,81E+06	1,71E+04	1,77E+04	7,51E+06	6,59E+06	7,55E+04	7,79E+04
42	6,77E+06	6,78E+06	4,62E+03	6,66E+03	1,98E+06	1,78E+06	1,72E+04	1,78E+04	7,47E+06	6,50E+06	7,56E+04	7,78E+04
Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]												
10	1,43E+07	1,43E+07	3,80E+03	2,33E+04	2,80E+06	2,75E+06	1,72E+04	2,26E+04	8,64E+06	8,33E+06	9,43E+04	1,10E+05
12	1,34E+07	1,34E+07	3,76E+03	2,05E+04	2,73E+06	2,68E+06	1,77E+04	2,24E+04	8,57E+06	8,21E+06	9,36E+04	1,08E+05
14	1,27E+07	1,27E+07	3,78E+03	1,81E+04	2,67E+06	2,60E+06	1,82E+04	2,23E+04	8,50E+06	8,09E+06	9,30E+04	1,05E+05
16	1,20E+07	1,20E+07	3,85E+03	1,60E+04	2,61E+06	2,53E+06	1,87E+04	2,22E+04	8,43E+06	7,97E+06	9,25E+04	1,03E+05
18	1,14E+07	1,14E+07	3,98E+03	1,43E+04	2,56E+06	2,47E+06	1,91E+04	2,22E+04	8,36E+06	7,85E+06	9,21E+04	1,02E+05
20	1,09E+07	1,09E+07	4,16E+03	1,29E+04	2,51E+06	2,40E+06	1,95E+04	2,21E+04	8,29E+06	7,73E+06	9,19E+04	1,00E+05
22	1,04E+07	1,05E+07	4,38E+03	1,17E+04	2,46E+06	2,34E+06	1,99E+04	2,21E+04	8,22E+06	7,61E+06	9,17E+04	9,87E+04
24	1,01E+07	1,01E+07	4,64E+03	1,08E+04	2,41E+06	2,29E+06	2,02E+04	2,21E+04	8,15E+06	7,49E+06	9,17E+04	9,77E+04
26	9,77E+06	9,78E+06	4,93E+03	1,01E+04	2,37E+06	2,23E+06	2,05E+04	2,22E+04	8,09E+06	7,36E+06	9,17E+04	9,69E+04
28	9,52E+06	9,53E+06	5,26E+03	9,65E+03	2,33E+06	2,18E+06	2,08E+04	2,22E+04	8,02E+06	7,24E+06	9,18E+04	9,63E+04
30	9,32E+06	9,34E+06	5,61E+03	9,38E+03	2,30E+06	2,13E+06	2,11E+04	2,23E+04	7,96E+06	7,12E+06	9,20E+04	9,59E+04
32	9,17E+06	9,19E+06	5,99E+03	9,29E+03	2,27E+06	2,08E+06	2,14E+04	2,24E+04	7,90E+06	7,01E+06	9,22E+04	9,56E+04
34	9,06E+06	9,08E+06	6,38E+03	9,36E+03	2,24E+06	2,04E+06	2,16E+04	2,25E+04	7,84E+06	6,89E+06	9,25E+04	9,56E+04
36	8,99E+06	9,00E+06	6,78E+03	9,55E+03	2,21E+06	2,00E+06	2,18E+04	2,26E+04	7,78E+06	6,77E+06	9,29E+04	9,56E+04
38	8,94E+06	8,96E+06	7,19E+03	9,86E+03	2,19E+06	1,96E+06	2,20E+04	2,27E+04	7,72E+06	6,66E+06	9,32E+04	9,57E+04
40	8,92E+06	8,93E+06	7,61E+03	1,03E+04	2,16E+06	1,92E+06	2,22E+04	2,28E+04	7,67E+06	6,55E+06	9,36E+04	9,60E+04
42	8,92E+06	8,93E+06	8,02E+03	1,07E+04	2,14E+06	1,89E+06	2,23E+04	2,29E+04	7,62E+06	6,44E+06	9,40E+04	9,63E+04
Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]												
10	1,37E+07	1,38E+07	4,66E+03	2,48E+04	2,39E+06	2,34E+06	1,86E+04	2,36E+04	7,23E+06	6,93E+06	9,55E+04	1,10E+05
12	1,28E+07	1,28E+07	4,72E+03	2,15E+04	2,32E+06	2,26E+06	1,93E+04	2,35E+04	7,14E+06	6,79E+06	9,49E+04	1,07E+05
14	1,20E+07	1,20E+07	4,86E+03	1,89E+04	2,26E+06	2,19E+06	1,99E+04	2,34E+04	7,05E+06	6,65E+06	9,45E+04	1,05E+05
16	1,13E+07	1,13E+07	5,07E+03	1,66E+04	2,20E+06	2,12E+06	2,05E+04	2,34E+04	6,97E+06	6,51E+06	9,44E+04	1,03E+05
18	1,07E+07	1,07E+07	5,36E+03	1,48E+04	2,15E+06	2,05E+06	2,10E+04	2,34E+04	6,88E+06	6,37E+06	9,43E+04	1,01E+05
20	1,02E+07	1,03E+07	5,70E+03	1,35E+04	2,10E+06	1,99E+06	2,15E+04	2,34E+04	6,80E+06	6,23E+06	9,45E+04	1,00E+05
22	9,85E+06	9,86E+06	6,11E+03	1,25E+04	2,05E+06	1,93E+06	2,19E+04	2,35E+04	6,72E+06	6,10E+06	9,48E+04	9,97E+04
24	9,53E+06	9,54E+06	6,55E+03	1,18E+04	2,01E+06	1,87E+06	2,23E+04	2,36E+04	6,64E+06	5,96E+06	9,52E+04	9,93E+04
26	9,28E+06	9,29E+06	7,04E+03	1,14E+04	1,98E+06	1,82E+06	2,27E+04	2,38E+04	6,57E+06	5,83E+06	9,56E+04	9,91E+04
28	9,10E+06	9,11E+06	7,55E+03	1,13E+04	1,94E+06	1,77E+06	2,30E+04	2,39E+04	6,50E+06	5,70E+06	9,62E+04	9,92E+04
30	8,97E+06	8,98E+06	8,09E+03	1,14E+04	1,91E+06	1,73E+06	2,33E+04	2,41E+04	6,43E+06	5,57E+06	9,68E+04	9,95E+04
32	8,89E+06	8,90E+06	8,64E+03	1,17E+04	1,89E+06	1,68E+06	2,36E+04	2,43E+04	6,37E+06	5,45E+06	9,74E+04	9,99E+04
34	8,85E+06	8,86E+06	9,20E+03	1,21E+04	1,86E+06	1,64E+06	2,38E+04	2,44E+04	6,32E+06	5,33E+06	9,81E+04	1,00E+05
36	8,84E+06	8,85E+06	9,76E+03	1,27E+04	1,84E+06	1,61E+06	2,40E+04	2,46E+04	6,27E+06	5,21E+06	9,87E+04	1,01E+05
38	8,85E+06	8,86E+06	1,03E+04	1,34E+04	1,83E+06	1,57E+06	2,42E+04	2,48E+04	6,22E+06	5,10E+06	9,93E+04	1,02E+05
40	8,87E+06	8,88E+06	1,08E+04	1,41E+04	1,81E+06	1,54E+06	2,43E+04	2,49E+04	6,18E+06	5,00E+06	9,98E+04	1,02E+05
42	8,90E+06	8,91E+06	1,14E+04	1,48E+04	1,80E+06	1,51E+06	2,44E+04	2,51E+04	6,15E+06	4,90E+06	1,00E+05	1,03E+05

Tablica Z3.20 Półprzestrzeń inercyjna z tłumieniem materiałowym typu histerezygowo -
obrotowe funkcje dynamiczne podłoża K_{ϕ_2, ϕ_2}^0 , C_{ϕ_2, ϕ_2}^0

f [Hz]	K_{ϕ_2, ϕ_2}^0 [N/m]		C_{ϕ_2, ϕ_2}^0 [Ns/m]		K_{ϕ_2, ϕ_2}^0 [N/m]		C_{ϕ_2, ϕ_2}^0 [Ns/m]		K_{ϕ_2, ϕ_2}^0 [N/m]		C_{ϕ_2, ϕ_2}^0 [Ns/m]	
	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$
	E=0,0m				E=0,35m				E=0,70m			
	Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	1,07E+07	1,07E+07	2,37E+03	1,67E+04	1,32E+07	1,32E+07	1,60E+04	3,49E+04	1,88E+07	1,85E+07	8,14E+04	1,10E+05
12	1,01E+07	1,01E+07	2,28E+03	1,47E+04	1,25E+07	1,25E+07	1,63E+04	3,27E+04	1,82E+07	1,79E+07	8,07E+04	1,06E+05
14	9,54E+06	9,54E+06	2,24E+03	1,29E+04	1,20E+07	1,19E+07	1,66E+04	3,08E+04	1,76E+07	1,72E+07	8,00E+04	1,02E+05
16	9,06E+06	9,07E+06	2,23E+03	1,14E+04	1,14E+07	1,14E+07	1,69E+04	2,92E+04	1,71E+07	1,67E+07	7,95E+04	9,88E+04
18	8,65E+06	8,65E+06	2,27E+03	1,01E+04	1,10E+07	1,09E+07	1,72E+04	2,78E+04	1,66E+07	1,62E+07	7,91E+04	9,59E+04
20	8,28E+06	8,29E+06	2,34E+03	8,96E+03	1,06E+07	1,05E+07	1,76E+04	2,66E+04	1,62E+07	1,57E+07	7,88E+04	9,34E+04
22	7,96E+06	7,97E+06	2,44E+03	8,05E+03	1,02E+07	1,01E+07	1,79E+04	2,57E+04	1,58E+07	1,53E+07	7,86E+04	9,13E+04
24	7,70E+06	7,70E+06	2,57E+03	7,33E+03	9,91E+06	9,91E+06	1,83E+04	2,49E+04	1,55E+07	1,50E+07	7,85E+04	8,95E+04
26	7,47E+06	7,48E+06	2,73E+03	6,77E+03	9,65E+06	9,55E+06	1,87E+04	2,43E+04	1,53E+07	1,47E+07	7,84E+04	8,80E+04
28	7,28E+06	7,29E+06	2,91E+03	6,36E+03	9,43E+06	9,32E+06	1,91E+04	2,39E+04	1,50E+07	1,44E+07	7,85E+04	8,68E+04
30	7,13E+06	7,14E+06	3,11E+03	6,10E+03	9,25E+06	9,13E+06	1,94E+04	2,37E+04	1,48E+07	1,42E+07	7,85E+04	8,59E+04
32	7,02E+06	7,02E+06	3,33E+03	5,96E+03	9,11E+06	8,97E+06	1,98E+04	2,35E+04	1,47E+07	1,40E+07	7,87E+04	8,51E+04
34	6,92E+06	6,93E+06	3,57E+03	5,93E+03	8,99E+06	8,85E+06	2,02E+04	2,35E+04	1,46E+07	1,38E+07	7,89E+04	8,47E+04
36	6,86E+06	6,87E+06	3,82E+03	6,00E+03	8,90E+06	8,75E+06	2,06E+04	2,36E+04	1,44E+07	1,36E+07	7,92E+04	8,44E+04
38	6,81E+06	6,82E+06	4,08E+03	6,15E+03	8,83E+06	8,67E+06	2,10E+04	2,38E+04	1,44E+07	1,35E+07	7,95E+04	8,43E+04
40	6,78E+06	6,80E+06	4,35E+03	6,38E+03	8,78E+06	8,61E+06	2,14E+04	2,41E+04	1,43E+07	1,34E+07	7,98E+04	8,43E+04
42	6,77E+06	6,78E+06	4,62E+03	6,66E+03	8,75E+06	8,57E+06	2,18E+04	2,44E+04	1,42E+07	1,33E+07	8,02E+04	8,45E+04
f [Hz]	Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	1,43E+07	1,43E+07	3,80E+03	2,33E+04	1,71E+07	1,71E+07	2,10E+04	4,59E+04	2,29E+07	2,26E+07	9,81E+04	1,34E+05
12	1,34E+07	1,34E+07	3,76E+03	2,05E+04	1,62E+07	1,61E+07	2,15E+04	4,29E+04	2,20E+07	2,16E+07	9,73E+04	1,28E+05
14	1,27E+07	1,27E+07	3,78E+03	1,81E+04	1,53E+07	1,53E+07	2,20E+04	4,04E+04	2,12E+07	2,08E+07	9,68E+04	1,23E+05
16	1,20E+07	1,20E+07	3,85E+03	1,60E+04	1,46E+07	1,45E+07	2,25E+04	3,83E+04	2,04E+07	2,00E+07	9,64E+04	1,19E+05
18	1,14E+07	1,14E+07	3,98E+03	1,43E+04	1,40E+07	1,39E+07	2,31E+04	3,65E+04	1,98E+07	1,93E+07	9,61E+04	1,16E+05
20	1,09E+07	1,09E+07	4,16E+03	1,29E+04	1,34E+07	1,33E+07	2,37E+04	3,50E+04	1,92E+07	1,86E+07	9,61E+04	1,13E+05
22	1,04E+07	1,05E+07	4,38E+03	1,17E+04	1,29E+07	1,28E+07	2,43E+04	3,38E+04	1,87E+07	1,81E+07	9,61E+04	1,10E+05
24	1,01E+07	1,01E+07	4,64E+03	1,08E+04	1,25E+07	1,24E+07	2,49E+04	3,29E+04	1,82E+07	1,76E+07	9,63E+04	1,08E+05
26	9,77E+06	9,78E+06	4,93E+03	1,01E+04	1,21E+07	1,20E+07	2,55E+04	3,23E+04	1,79E+07	1,71E+07	9,67E+04	1,07E+05
28	9,52E+06	9,53E+06	5,26E+03	9,65E+03	1,19E+07	1,17E+07	2,61E+04	3,19E+04	1,75E+07	1,68E+07	9,71E+04	1,06E+05
30	9,32E+06	9,34E+06	5,61E+03	9,38E+03	1,16E+07	1,15E+07	2,67E+04	3,17E+04	1,73E+07	1,65E+07	9,76E+04	1,05E+05
32	9,17E+06	9,19E+06	5,99E+03	9,29E+03	1,14E+07	1,13E+07	2,74E+04	3,17E+04	1,71E+07	1,62E+07	9,82E+04	1,05E+05
34	9,06E+06	9,08E+06	6,38E+03	9,36E+03	1,13E+07	1,11E+07	2,80E+04	3,18E+04	1,69E+07	1,60E+07	9,89E+04	1,05E+05
36	8,99E+06	9,00E+06	6,78E+03	9,55E+03	1,12E+07	1,10E+07	2,86E+04	3,21E+04	1,68E+07	1,58E+07	9,96E+04	1,05E+05
38	8,94E+06	8,96E+06	7,19E+03	9,86E+03	1,11E+07	1,09E+07	2,92E+04	3,25E+04	1,67E+07	1,56E+07	1,00E+05	1,06E+05
40	8,92E+06	8,93E+06	7,61E+03	1,03E+04	1,11E+07	1,09E+07	2,98E+04	3,30E+04	1,66E+07	1,55E+07	1,01E+05	1,06E+05
42	8,92E+06	8,93E+06	8,02E+03	1,07E+04	1,11E+07	1,08E+07	3,03E+04	3,36E+04	1,65E+07	1,54E+07	1,02E+05	1,07E+05
f [Hz]	Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]											
10	1,37E+07	1,38E+07	4,66E+03	2,48E+04	1,61E+07	1,61E+07	2,32E+04	4,83E+04	2,10E+07	2,07E+07	1,00E+05	1,35E+05
12	1,28E+07	1,28E+07	4,72E+03	2,15E+04	1,51E+07	1,51E+07	2,40E+04	4,50E+04	2,00E+07	1,96E+07	9,96E+04	1,29E+05
14	1,20E+07	1,20E+07	4,86E+03	1,89E+04	1,43E+07	1,42E+07	2,47E+04	4,22E+04	1,91E+07	1,87E+07	9,94E+04	1,24E+05
16	1,13E+07	1,13E+07	5,07E+03	1,66E+04	1,35E+07	1,34E+07	2,55E+04	4,00E+04	1,83E+07	1,78E+07	9,94E+04	1,20E+05
18	1,07E+07	1,07E+07	5,36E+03	1,48E+04	1,29E+07	1,28E+07	2,63E+04	3,82E+04	1,76E+07	1,71E+07	9,97E+04	1,16E+05
20	1,02E+07	1,03E+07	5,70E+03	1,35E+04	1,23E+07	1,22E+07	2,72E+04	3,69E+04	1,70E+07	1,65E+07	1,00E+05	1,14E+05
22	9,85E+06	9,86E+06	6,11E+03	1,25E+04	1,19E+07	1,18E+07	2,80E+04	3,60E+04	1,66E+07	1,60E+07	1,01E+05	1,12E+05
24	9,53E+06	9,54E+06	6,55E+03	1,18E+04	1,15E+07	1,14E+07	2,89E+04	3,54E+04	1,62E+07	1,55E+07	1,02E+05	1,11E+05
26	9,28E+06	9,29E+06	7,04E+03	1,14E+04	1,13E+07	1,11E+07	2,97E+04	3,52E+04	1,59E+07	1,51E+07	1,03E+05	1,11E+05
28	9,10E+06	9,11E+06	7,55E+03	1,13E+04	1,10E+07	1,09E+07	3,06E+04	3,52E+04	1,56E+07	1,48E+07	1,04E+05	1,10E+05
30	8,97E+06	8,98E+06	8,09E+03	1,14E+04	1,09E+07	1,07E+07	3,14E+04	3,55E+04	1,54E+07	1,46E+07	1,05E+05	1,11E+05
32	8,89E+06	8,90E+06	8,64E+03	1,17E+04	1,08E+07	1,06E+07	3,22E+04	3,59E+04	1,53E+07	1,43E+07	1,06E+05	1,12E+05
34	8,85E+06	8,86E+06	9,20E+03	1,21E+04	1,07E+07	1,05E+07	3,30E+04	3,66E+04	1,52E+07	1,42E+07	1,07E+05	1,13E+05
36	8,84E+06	8,85E+06	9,76E+03	1,27E+04	1,07E+07	1,05E+07	3,38E+04	3,73E+04	1,51E+07	1,41E+07	1,08E+05	1,14E+05
38	8,85E+06	8,86E+06	1,03E+04	1,34E+04	1,07E+07	1,04E+07	3,45E+04	3,81E+04	1,51E+07	1,40E+07	1,10E+05	1,15E+05
40	8,87E+06	8,88E+06	1,08E+04	1,41E+04	1,07E+07	1,04E+07	3,51E+04	3,90E+04	1,51E+07	1,39E+07	1,11E+05	1,16E+05
42	8,90E+06	8,91E+06	1,14E+04	1,48E+04	1,07E+07	1,04E+07	3,58E+04	3,99E+04	1,50E+07	1,38E+07	1,12E+05	1,18E+05

Tablica Z3.21 Półprzestrzeń inercyjna z tłumieniem materiałowym typu histerezygowego -
sprężone funkcje dynamiczne podłoża $K_{H_1\Phi_2}^0$, $C_{H_1\Phi_2}^0$

f [Hz]	$K_{H_1\Phi_2}^0$ [N/m]		$C_{H_1\Phi_2}^0$ [Ns/m]		$K_{H_1\Phi_2}^0$ [N/m]		$C_{H_1\Phi_2}^0$ [Ns/m]		$K_{H_1\Phi_2}^0$ [N/m]		$C_{H_1\Phi_2}^0$ [Ns/m]	
	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$	$\delta=0,01$	$\delta=0,10$
	E=0,0m				E=0,35m				E=0,70m			
Blok L x B x H = 0,8 x 0,8 x 0,7 [m]												
10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,22E+06	-2,08E+06	-3,69E+04	-4,05E+04	-8,88E+06	-8,30E+06	-1,48E+05	-1,62E+05
12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,26E+06	-2,10E+06	-3,60E+04	-3,92E+04	-9,05E+06	-8,40E+06	-1,44E+05	-1,57E+05
14	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,30E+06	-2,12E+06	-3,51E+04	-3,81E+04	-9,20E+06	-8,49E+06	-1,40E+05	-1,52E+05
16	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,33E+06	-2,14E+06	-3,43E+04	-3,70E+04	-9,34E+06	-8,57E+06	-1,37E+05	-1,48E+05
18	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,37E+06	-2,16E+06	-3,35E+04	-3,60E+04	-9,46E+06	-8,62E+06	-1,34E+05	-1,44E+05
20	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,39E+06	-2,17E+06	-3,29E+04	-3,51E+04	-9,57E+06	-8,67E+06	-1,32E+05	-1,40E+05
22	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,42E+06	-2,17E+06	-3,23E+04	-3,43E+04	-9,66E+06	-8,70E+06	-1,29E+05	-1,37E+05
24	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,44E+06	-2,18E+06	-3,18E+04	-3,36E+04	-9,75E+06	-8,71E+06	-1,27E+05	-1,34E+05
26	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,45E+06	-2,18E+06	-3,13E+04	-3,29E+04	-9,82E+06	-8,72E+06	-1,25E+05	-1,32E+05
28	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,47E+06	-2,18E+06	-3,09E+04	-3,24E+04	-9,88E+06	-8,71E+06	-1,24E+05	-1,29E+05
30	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,48E+06	-2,17E+06	-3,05E+04	-3,19E+04	-9,92E+06	-8,69E+06	-1,22E+05	-1,27E+05
32	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,49E+06	-2,17E+06	-3,02E+04	-3,14E+04	-9,96E+06	-8,66E+06	-1,21E+05	-1,26E+05
34	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,50E+06	-2,16E+06	-3,00E+04	-3,11E+04	-9,99E+06	-8,63E+06	-1,20E+05	-1,24E+05
36	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,50E+06	-2,14E+06	-2,98E+04	-3,08E+04	-1,00E+07	-8,58E+06	-1,19E+05	-1,23E+05
38	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,51E+06	-2,13E+06	-2,96E+04	-3,05E+04	-1,00E+07	-8,53E+06	-1,19E+05	-1,22E+05
40	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,51E+06	-2,12E+06	-2,95E+04	-3,04E+04	-1,00E+07	-8,46E+06	-1,18E+05	-1,21E+05
42	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,51E+06	-2,10E+06	-2,94E+04	-3,02E+04	-1,00E+07	-8,40E+06	-1,18E+05	-1,21E+05
Blok L x B x H = 1,2 x 0,8 x 0,7 [m]												
10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,18E+06	-2,02E+06	-4,28E+04	-4,67E+04	-8,70E+06	-8,07E+06	-1,71E+05	-1,87E+05
12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,22E+06	-2,04E+06	-4,15E+04	-4,49E+04	-8,88E+06	-8,17E+06	-1,66E+05	-1,80E+05
14	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,26E+06	-2,06E+06	-4,04E+04	-4,34E+04	-9,03E+06	-8,25E+06	-1,62E+05	-1,74E+05
16	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,29E+06	-2,07E+06	-3,94E+04	-4,20E+04	-9,17E+06	-8,30E+06	-1,58E+05	-1,68E+05
18	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,32E+06	-2,08E+06	-3,85E+04	-4,09E+04	-9,28E+06	-8,33E+06	-1,54E+05	-1,63E+05
20	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,34E+06	-2,09E+06	-3,78E+04	-3,98E+04	-9,37E+06	-8,35E+06	-1,51E+05	-1,59E+05
22	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,36E+06	-2,09E+06	-3,71E+04	-3,89E+04	-9,45E+06	-8,34E+06	-1,49E+05	-1,56E+05
24	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,38E+06	-2,08E+06	-3,66E+04	-3,82E+04	-9,50E+06	-8,32E+06	-1,46E+05	-1,53E+05
26	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,39E+06	-2,07E+06	-3,62E+04	-3,76E+04	-9,55E+06	-8,29E+06	-1,45E+05	-1,50E+05
28	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,39E+06	-2,06E+06	-3,58E+04	-3,71E+04	-9,58E+06	-8,24E+06	-1,43E+05	-1,48E+05
30	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,40E+06	-2,04E+06	-3,55E+04	-3,67E+04	-9,60E+06	-8,18E+06	-1,42E+05	-1,47E+05
32	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,40E+06	-2,03E+06	-3,54E+04	-3,64E+04	-9,61E+06	-8,10E+06	-1,41E+05	-1,46E+05
34	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,40E+06	-2,01E+06	-3,52E+04	-3,62E+04	-9,61E+06	-8,02E+06	-1,41E+05	-1,45E+05
36	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,40E+06	-1,98E+06	-3,52E+04	-3,60E+04	-9,60E+06	-7,93E+06	-1,41E+05	-1,44E+05
38	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,39E+06	-1,96E+06	-3,52E+04	-3,60E+04	-9,58E+06	-7,83E+06	-1,41E+05	-1,44E+05
40	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,39E+06	-1,93E+06	-3,52E+04	-3,60E+04	-9,56E+06	-7,73E+06	-1,41E+05	-1,44E+05
42	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-2,38E+06	-1,90E+06	-3,53E+04	-3,60E+04	-9,53E+06	-7,62E+06	-1,41E+05	-1,44E+05
Blok L x B x H = 1,6 x 0,8 x 0,7 [m]												
10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,75E+06	-1,60E+06	-4,17E+04	-4,49E+04	-6,98E+06	-6,40E+06	-1,67E+05	-1,80E+05
12	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,78E+06	-1,61E+06	-4,03E+04	-4,30E+04	-7,12E+06	-6,46E+06	-1,61E+05	-1,72E+05
14	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,81E+06	-1,62E+06	-3,91E+04	-4,15E+04	-7,24E+06	-6,49E+06	-1,57E+05	-1,66E+05
16	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,83E+06	-1,62E+06	-3,82E+04	-4,01E+04	-7,33E+06	-6,50E+06	-1,53E+05	-1,61E+05
18	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,85E+06	-1,62E+06	-3,74E+04	-3,91E+04	-7,39E+06	-6,49E+06	-1,50E+05	-1,56E+05
20	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,86E+06	-1,61E+06	-3,68E+04	-3,82E+04	-7,44E+06	-6,45E+06	-1,47E+05	-1,53E+05
22	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,87E+06	-1,60E+06	-3,64E+04	-3,76E+04	-7,47E+06	-6,40E+06	-1,46E+05	-1,50E+05
24	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,87E+06	-1,58E+06	-3,61E+04	-3,71E+04	-7,48E+06	-6,33E+06	-1,44E+05	-1,49E+05
26	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,87E+06	-1,56E+06	-3,59E+04	-3,69E+04	-7,48E+06	-6,25E+06	-1,44E+05	-1,47E+05
28	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,87E+06	-1,54E+06	-3,58E+04	-3,67E+04	-7,47E+06	-6,15E+06	-1,43E+05	-1,47E+05
30	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,86E+06	-1,51E+06	-3,58E+04	-3,67E+04	-7,45E+06	-6,05E+06	-1,43E+05	-1,47E+05
32	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,86E+06	-1,48E+06	-3,59E+04	-3,67E+04	-7,42E+06	-5,94E+06	-1,44E+05	-1,47E+05
34	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,85E+06	-1,46E+06	-3,61E+04	-3,69E+04	-7,40E+06	-5,83E+06	-1,44E+05	-1,47E+05
36	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,84E+06	-1,43E+06	-3,62E+04	-3,70E+04	-7,37E+06	-5,71E+06	-1,45E+05	-1,48E+05
38	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,83E+06	-1,40E+06	-3,64E+04	-3,72E+04	-7,34E+06	-5,59E+06	-1,46E+05	-1,49E+05
40	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,83E+06	-1,37E+06	-3,66E+04	-3,74E+04	-7,31E+06	-5,48E+06	-1,46E+05	-1,50E+05
42	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-1,82E+06	-1,34E+06	-3,68E+04	-3,76E+04	-7,29E+06	-5,37E+06	-1,47E+05	-1,50E+05

Tablica Z3.22 Model Winklera-Sawinowa-Voigta (ujęcie normowe) - wartości $K_{H_1H_1}^0$, $K_{\Phi_2\Phi_2}^0$, $K_{H_1\Phi_2}^0$, $C_{H_1H_1}^0$, $C_{\Phi_2\Phi_2}^0$, $C_{H_1\Phi_2}^0$

Współczynniki podłoża	Fundament L x B x H [m]		
	0,8 x 0,8 x 0,7	1,2 x 0,8 x 0,7	1,6 x 0,8 x 0,7
C_φ [MPa/m]	192,99	173,61	161,80
C_x [MPa/m]	73,69	61,76	55,18
$K_{H_1H_1}^0$ [MN/m]	47,16	59,29	70,63
$K_{\Phi_2\Phi_2}^0$ [MNm]	6,56	8,85	11,00
$K_{H_1\Phi_2}^0$ [MN/m]	0	0	0
Przypadek 1 - pominięcie wpływu tłumienia			
$C_{H_1H_1}^0$ [MNs/m]	0	0	0
$C_{\Phi_2\Phi_2}^0$ [MNsm]	0	0	0
Przypadek 2 - minimalne tłumienie według normy ($\Phi = 0,006$ s)			
$C_{H_1H_1}^0$ [MNs/m]	0,283	0,356	0,424
$C_{\Phi_2\Phi_2}^0$ [MNsm]	0,039	0,053	0,066
Przypadek 3 - pominięcie tłumienia składowej obrotowej ruchu przy minimalnym tłumieniu składowej translacyjnej			
$C_{H_1H_1}^0$ [MNs/m]	0,283	0,356	0,424
$C_{\Phi_2\Phi_2}^0$ [MNsm]	0	0	0
Przypadek 1, 2, 3	$C_{H_1\Phi_2}^0$ [MNs/m]	0	0