

OBLICZENIA CZĘSTOŚCI DRGAŃ STROPU

Założenia do obliczeń:

plyta podparta przegubowo na obwodzie,	
materiał beton	C25/30,
grubość	$h=25\text{cm}$,
moduł Younga	$E=31000,0\text{ MPa}$,
liczba Poissona	$\nu = 0,2$,
ciężar właściwy	$\gamma = 24,53\text{kN/m}^3$
masa właściwy	$\rho = 2500,5\text{kg/m}^3$

Procedura projektowania



Schemat ogólnej procedury projektowania przedstawiono na rysunku 2. Na projektowanie składają się 3 kroki, z których najbardziej złożonym jest określenie dynamicznej charakterystyki stropu. Dlatego też w załączniku A podano szczegółową pomoc w oparciu o metody uproszczone; ogólne objaśnienia podano w rozdziale 3.

Po określeniu masy modalnej i częstotliwości, można przy pomocy zawartych niżej wykresów określić zarówno wartość OS-RMS₉₀ jak i klasę akceptacji. Należy wybrać wykres odpowiedni dla charakterystyki tłumienia stropu (patrz rozdział 3), w zależności od warunków wykorzystania (uwzględniając wykończenie i meble).

Wykresy zostały opracowane przez TNO Bouw, Holandia, w ramach [1].

Rysunek 2 Procedura projektowania



Częstość z wzoru ścisłego

$$\omega_{m,n} = \pi^2 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\rho h}},$$

gdzie D oznacza walcową sztywność płyty (56.2). Ostatecznie mamy

$$\omega_{m,n} = \frac{\pi^2 h}{2} \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}} \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}, \quad m, n = 1, 2, 3, \dots$$

sztywność płyty

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} = \frac{31000 \cdot 250^3}{12(1-0,2^2)} = 4,204644 \cdot 10^{10} \text{ Nmm} = 42046,441 \cdot 10^3 \text{ Nm}$$

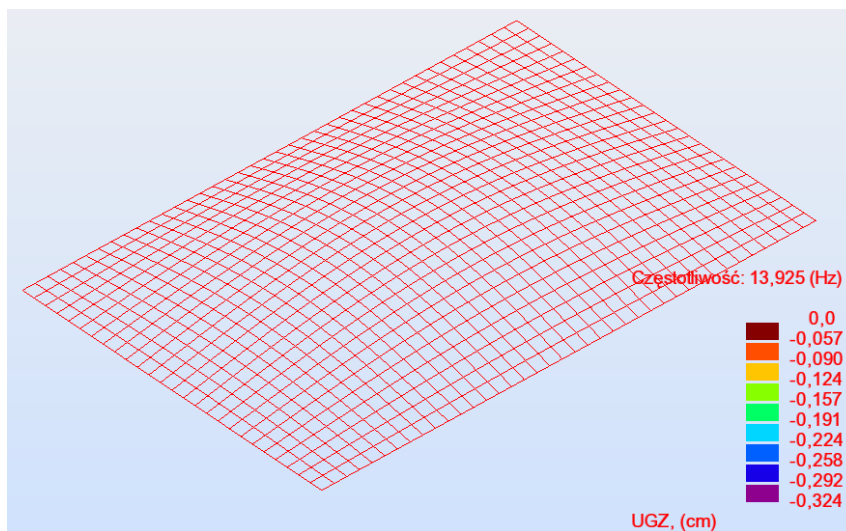
Pierwsza (najniższa) częstość drgań

$$\begin{aligned} \omega_{1,1} &= \pi^2 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{\rho h}} = \pi^2 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\nu^2)}} = \\ &= \pi^2 \left(\frac{1^2}{9,7^2} + \frac{1^2}{6,5^2} \right) \sqrt{\frac{42046,441 \cdot 10^3}{2500,5 \cdot 0,25}} = 87,7878 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

$$f_{1,1} = \frac{\omega_{1,1}}{2\pi} = \frac{87,7878}{2\pi} = 13,9719 \text{ Hz}$$

Wyniki z programu AUTODESK ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS

Wyniki dynamiki - Przypadek: 1 (CW) Postacie aktywne: 1..10; CQC							masa modalna	
Przypadek/Forma	Częstotliwość (Hz)	Okres (sek)	Relat. masy UZ (%)	Bież. masy UZ (%)	Całk. masy UZ (kg)	Pulsacja (1/sec)	mZ (kg)	
1/ 1	13,925	0,072	69,882	69,882	36939,21	87,494	9872,94	
1/ 2	26,790	0,037	69,882	0,000	36939,21	168,325	9872,94	
1/ 3	42,515	0,024	69,882	0,000	36939,21	267,133	10018,47	
1/ 4	48,091	0,021	77,580	7,698	36939,21	302,166	10002,20	



A.1 Częstość drgań własnych i masa modalna dla płyt izotropowych

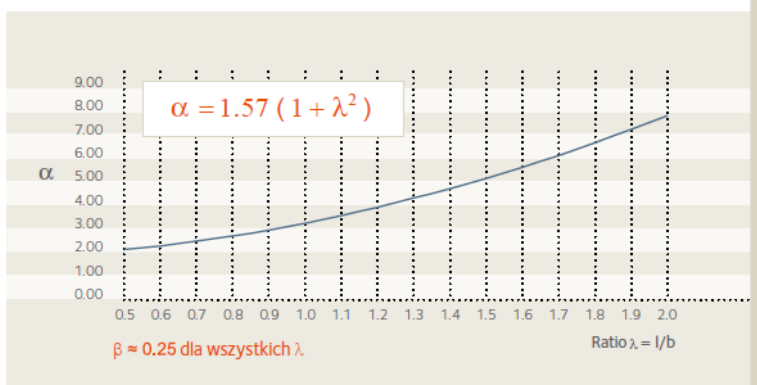
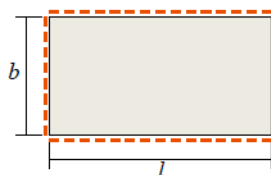
Niniejsza tablica podaje wzory do określenia pierwszej częstości drgań własnych (na podstawie [2]) i masy modalnej płyt dla różnych warunków podparcia. Dla potrzeb tych obliczeń zakłada się, iż płyta w miejscach podparcia nie odkształcała się.

Warunki Podparcia:



Częstości; Masa Modalna

$$f = \frac{\alpha}{l^2} \sqrt{\frac{E t^3}{12m(1-\nu^2)}} ; M_{\text{mod}} = \beta M$$



$$\alpha = 1,57(1 + \lambda^2) = 1,57(1 + 1,4923^2) = 5,066 ; \quad \text{dla } \lambda = \frac{l}{b} = \frac{9,7}{6,5} = 1,4923$$

tylko masa stropu

$$f_{1,1} = \frac{\alpha}{l^2} \sqrt{\frac{Eh^3}{12m_{\text{płyty}}(1-\nu^2)}} = \frac{5,066}{9,7^2} \sqrt{\frac{31000 \cdot 10^6 \cdot 0,25^3}{12 \cdot 625,123(1-0,2^2)}} = 13,964 \text{ Hz}$$

3. Określanie charakterystyki stropu

Tłumienie ma duży wpływ na drgania stropu. Niezależnie od sposobu, w jaki określa się częstość własną i masę modalną, wartości tłumienia można określić korzystając z tablicy 1, w której zestawiono wartości w zależności od rodzaju materiałów, mebli i sposobu wykończenia wnętrza pomieszczeń. Tłumienie układu D otrzymuje się przez zsumowanie odpowiednich wartości od D_1 do D_3 .

Typ	Tłumienie (% tłumienia krytycznego)
Tłumienie Konstrukcji D_1	
Drewno	6%
Beton	2%
Stal	1%
Żelbet	1%
Tłumienie przez meble D_2	
Tradycyjne biuro dla 1-3 osób ze ściankami działowymi	2%
Biuro bez papieru	0%
Biuro o otwartej przestrzeni	1%
Biblioteka	1%
Domy	1%
Szkoły	0%
Sale gimnastyczne	0%
Tłumienie spowodowane wykończeniem wnętrza D_3	
Sufit powieszony do stropu	1%
Podłoga pływająca	0%
Jastrzych pływający	1%
Łączne tłumienie $D = D_1 + D_2 + D_3 = 2+1+1=4\%$	

4. Klasyfikacja drgań

Odczuwanie drgań przez ludzi i indywidualne odczucie dyskomfortu zależy od kilku aspektów. Najważniejszymi są:

- Kierunek rozchodzenia się drgań, przy czym w tym poradniku rozpatruje się jedynie drgania pionowe;
- Pozycje przyjęte przez użytkownika, takie jak pozycja leżąca, stojąca lub siedząca.
- Aktywność ludzi w danej chwili mająca wpływ na sposób odczuwania drgań. Osoby pracujące na produkcji w fabryce odczuwają drgania inaczej niż silnie skoncentrowani pracownicy biurowi lub np. chirurdzy.
- Dodatkowo wiek i zdrowie osób może mieć znaczny wpływ na odczuwanie drgań.

Ponieważ odczuwanie drgań jest zagadnieniem bardzo indywidualnym, można je analizować tylko pod kątem poczucia dyskomfortu większości użytkowników.

Należy pamiętać, że drgania rozpatrywane w niniejszym poradniku mają znaczenie jedynie pod kątem komfortu użytkowników. Nie są jednak odpowiednie dla sprawdzania nośności konstrukcji.

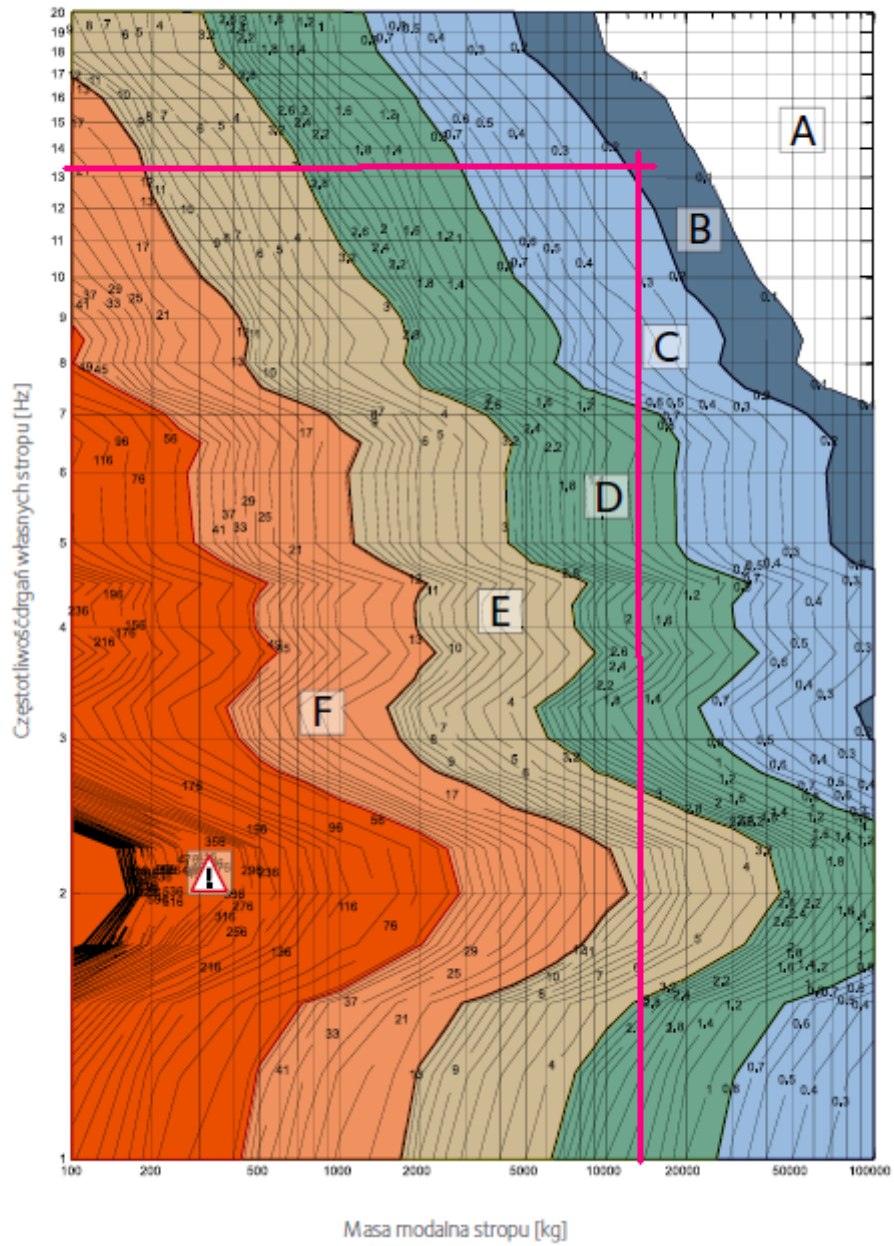
Kierując się ogólnymi procedurami oceny drgań wywołanych przez człowieka, zaleca się stosowanie tzw. wartości RMS (patrz str.9) jednego kroku (OS-RMS) jako miary w ocenie uciążliwości drgań stropów. Wartości OSRMS odnoszą się do drgań harmonicznym spowodowanych przez postawienie na stropie kroku o określonych parametrach.

Ze względu na fakt, iż efekt dynamiczny wynikający z chodzenia ludzi po stropie zależy od kilku warunków granicznych, takich jak ciężar, prędkość ruchu, rodzaj butów, posadzki itp., zaleca się stosowanie przy ocenie wartości 90% OS-RMS ($OS-RMS_{90}$). Zastosowany indeks 90 oznacza, że 90% kroków stawiany na posadzce mieści się w zakresie tej wartości.

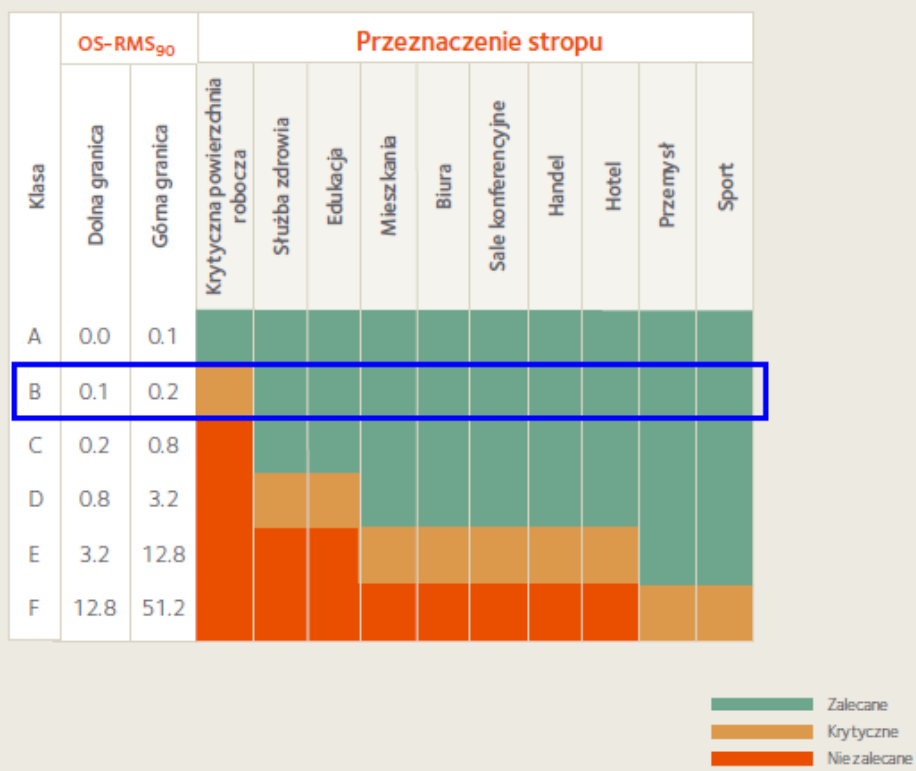
Zawarte niżej tablice dzielą drgania na szereg klas i dają wskazówki co do oceny klasy pod kątem przeznaczenia danego stropu.

Rysunek 7 OS-RMS₉₀ dla tłumienia 4%

Klasyfikacja oparta na współczynniku tłumienia 4%



Tablica 2 Klasyfikacja reakcji stropu i zalecenia dotyczące zastosowania klas



Informacje uzupełniające: Drgania

Ten dokument przedstawia zasady pozwalające w prosty sposób uwzględnić wpływ drgań na zachowanie się konstrukcji.

5. Przyspieszenie spowodowane ludzką aktywnością

W celu porównania prognozowanych wartości obliczonych Rozdziałach 5.2 i 5.3 z wartościami granicznymi przyspieszeń przedstawionymi w Rozdziale 6, prognozowane wartości przyspieszeń powinny być przeliczone z wartości szczytowych do wartości średnich (rms). Wartości średnie przyspieszeń (rms) zdefiniowano jako:

$$a_{\text{rms}} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt \right)^{1/2}$$

5.3 Odpowiedź impulsowa (stropy o wysokiej częstotliwości drgań własnych)

Stropy, których pierwsza częstotliwość drgań własnych jest większa niż 10 Hz określane są jako "stropy o wysokiej częstotliwości drgań własnych". W tym przypadku odpowiedź jest zdominowana impulsami pochodzącymi od uderzania pięty osoby chodzącej po stropie. Szczytową wartość przyspieszenia w stropach tego typu, wyznacza się według wzoru:

$$a_{\text{peak}} = 2\pi f_0 \frac{I}{M}$$

gdzie:

I wartość siły dynamicznej pochodzącej od osoby w Newtono-sekundach (Ns).

Young [8], zaleca wyznaczenie wartości tej siły według następującego wzoru:

$$I = 0,06P_0 \frac{f_p^{1,43}}{f_m^{1,3}}$$

gdzie:

f_p częstotliwość chodu (kroków) 1,5 do 2,5 Hz

f_m pierwsza częstotliwość drgań własnych

P_0 jest siłą statyczną pochodzącą od przeciętnego człowieka (zazwyczaj przyjmuje się $76 \text{ kg} \times 9,81 = 746\text{N}$).

$$I = 0,06P_0 \frac{f_p^{1,43}}{f_m^{1,3}} = 0,06 \cdot 746 \frac{2^{1,43}}{11,381^{1,3}} = 5,109 \text{Ns}$$

dla wszystkich obciążeń - zamienionych na masy

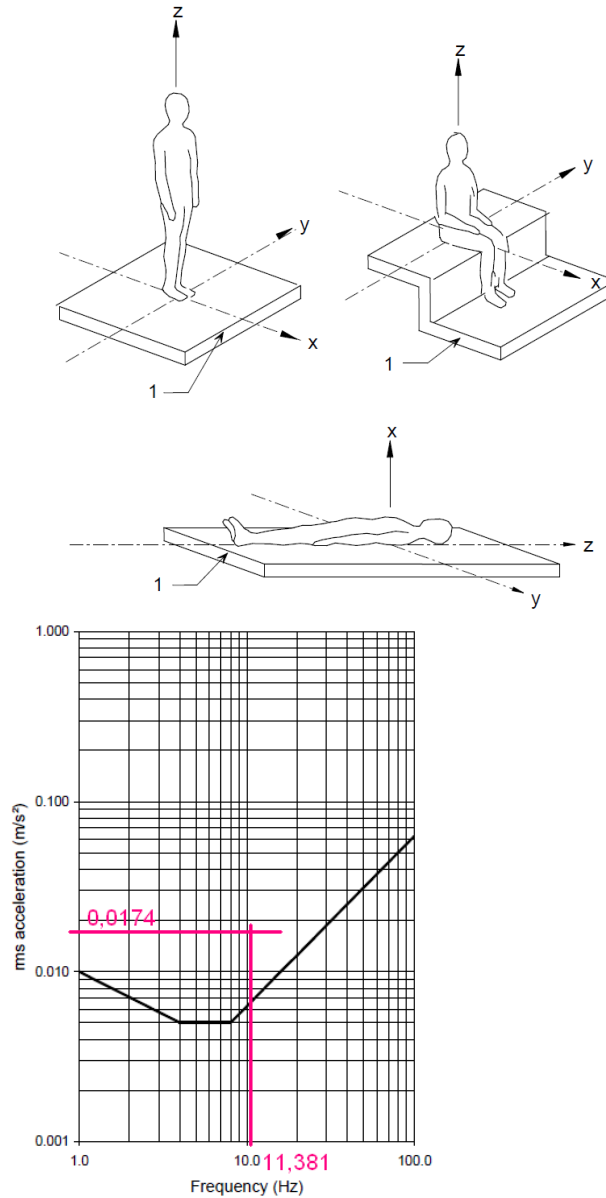
$$f_{1,1} = f_m = 11,381 \text{ Hz}$$

$$a_{peak} = 2\pi f_0 \frac{I}{M_{mod}} = 2\pi \cdot 11,381 \frac{5,109}{14834,55} = 0,0246 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Po obliczeniu przyspieszenia rms można sprawdzić strop przez:

1. porównanie obliczonej średniej wartości przyspieszenia rms z odpowiednią wartością odczytaną z wykresów Rys. 6.3, Rys. 6.4 i Rys. 6.5; lub

$$a_{rms} = 0,707 a_{peak} = 0,707 \cdot 0,0246 = 0,0174 \text{ [m/s}^2\text{]}$$



Rys. 6.3

Drgania budynku, krzywa do wyznaczenia przyspieszenia w kierunku osi z [ISO 10137]

Tab. 6.2 Współczynniki (mnożniki) stosowane w kilku krajach w celu określenia odpowiednich wielkości drgań w budynkach, pod względem odporności ludzi

Obiekt	Czas	Mnożniki do krzywych (Rys. 6.3, Rys. 6.4 i Rys. 6.5) ¹⁾	
		drgania ciągłe	drgania impulsowe występujące kilka razy dziennie
Pomieszczenia szczególne (np. sale operacyjne, laboratoria precyzyjne, itp.)	Dzień	1	1
	Noc	1	1 ³⁾
Rezydencje (np. domy, mieszkania)	Dzień	2 to 4 ⁴⁾	30 to 90 ⁴⁾
	Noc	1.4	1,4 to 20
Biura (wyższy standard)	Dzień	2	60 to 128
	Noc	2	60 to 128
Biura, szkoły, laboratoria	Dzień	4	60 to 128
	Noc	4	60 to 128
sklepy	Dzień	8	90 to 128
	Noc	8	90 to 128

UWAGA! gdy zastosowano obciążenia przez tłum, to np. szkoły, sklepy - więc odpowiednia wartość mnożnika wynosi 4 lub 8

2. filtrowanie lub obliczenie z uwzględnieniem wag, obliczonej wartości przyspieszenia rms i porównanie z wartościami bazowymi przedstawionymi Tab. 6.1.

Odpowiednie wartości współczynników wagowych dla różnych kierunków drgań są następujące:

drgania w kierunku osi z

$$a_{rms} = a_{rms} \times 0.5 \sqrt{f_0} \quad \text{dla } 3 \text{ Hz} < f_0 < 4 \text{ Hz}$$

lub

$$a_{rms} = a_{rms} \quad \text{dla } 4 \text{ Hz} \leq f_0 \leq 8 \text{ Hz}$$

lub

$$a_{rms} = a_{rms} \times \frac{8}{f_0} \quad \text{dla } f_0 > 8 \text{ Hz}$$

drgania w kierunku osi x i y

$$a_{rms} = a_{rms} \times \frac{f_0}{2} \quad \text{dla } f_0 > 3 \text{ Hz}$$

wyznaczamy

$$a_{rms} = a_{rms} \frac{8}{f_0} = 0,0174 \frac{8}{11,381} = 0,0122 [m/s^2]$$

porównuje z wartościami w Tab.6.1

Tab. 6.1 Podstawowe przyspieszenia rms dla różnych kierunków

Kierunek (Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.)	Podstawowa wartość przyspieszenia rms (m/s ²)
oś z (kierunek głowa-stopy)	5 × 10 ⁻³
oś x	3,6 × 10 ⁻³
oś y	

Uwaga:

Wartości przyspieszeń odnoszą się do najniższych wartości na Rys. 6.3, Rys. 6.4 i Rys. 6.5.

POMIAR WARTOŚCI SKUTECZNEJ PRZYSPIESZENIA STROPU

Wymuszenie przez idącą osobę







