

Elementy optroniki #5

dr inż. Dawid Kucharski

Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych
Instytut Technologii Mechanicznej
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Politechnika Poznańska

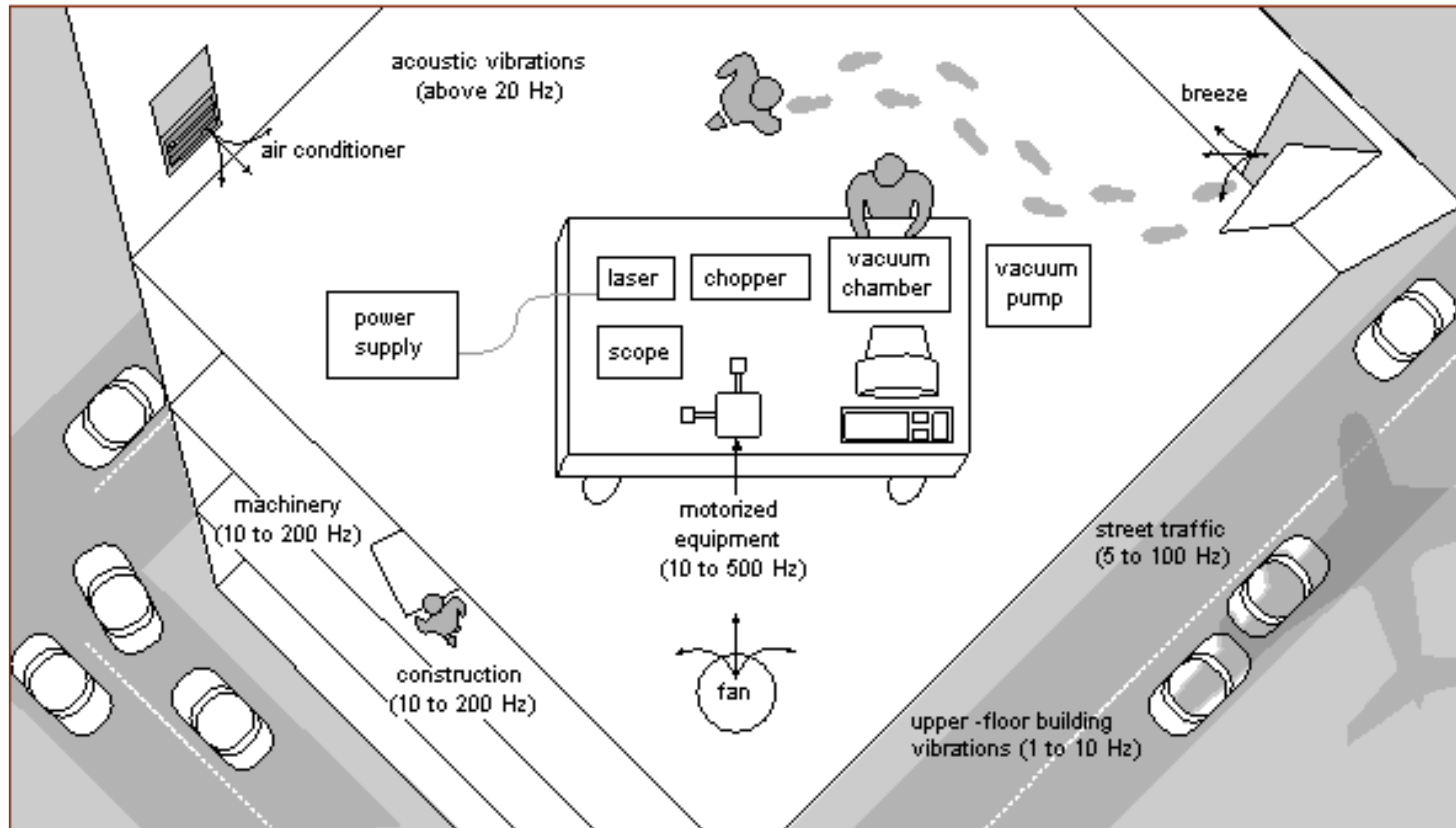
pokój 129 CM (lab. 214, 212, 135 CM)

dawid.kucharski@put.poznan.pl

www.dawid.kucharski.pracownik.put.poznan.pl



Źródła drgań



Źródła drgań

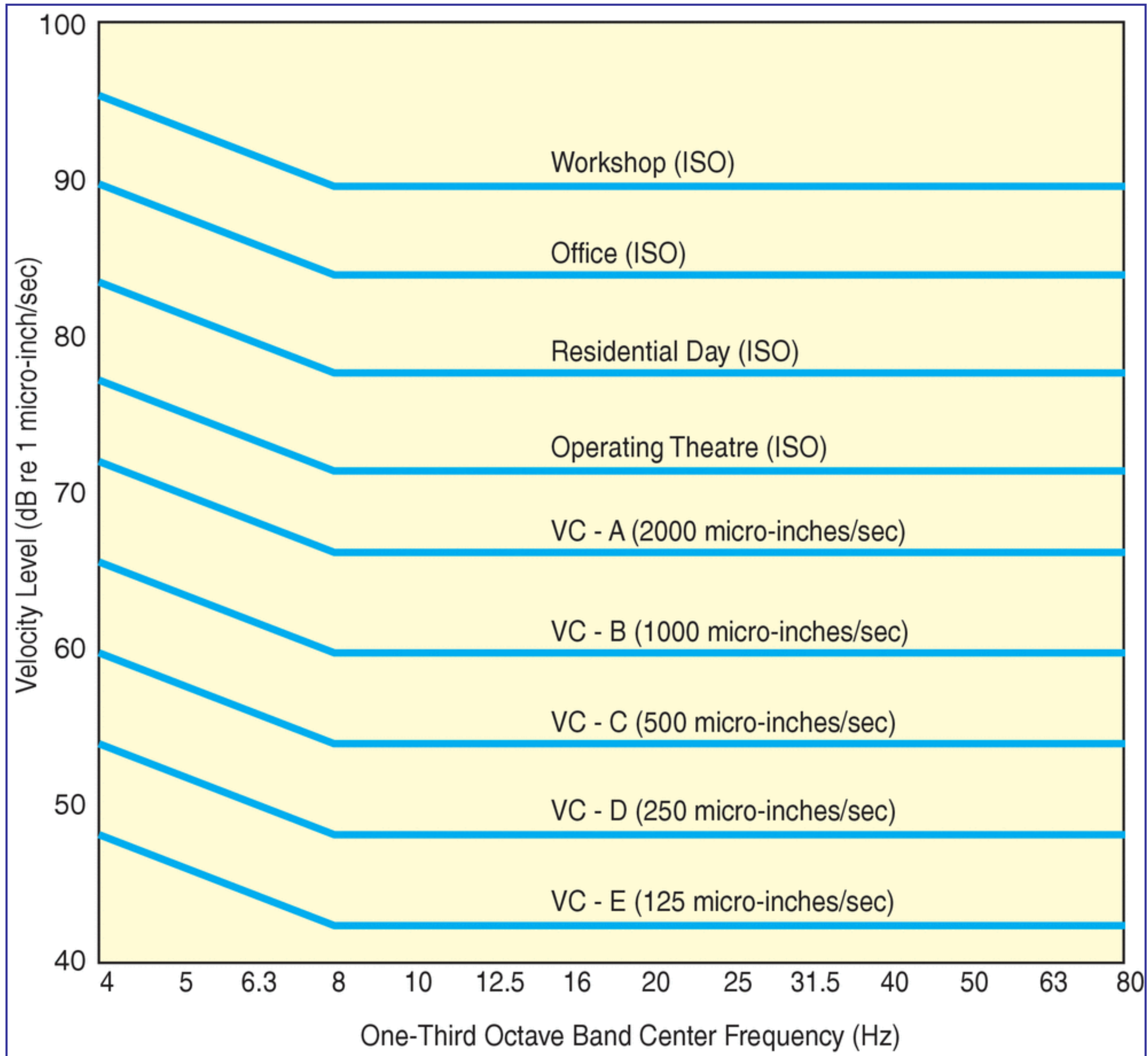
Common Vibrational Sources

Source	Frequency (Hz)	Amplitude (in.)
Air Compressors	4–20	10^{-2}
Handling Equipment	5–40	10^{-3}
Pumps	5–25	10^{-3}
Building Services	7–40	10^{-4}
Foot Traffic	0.55–6	10^{-5}
Acoustics	100–10,000	10^{-2} to 10^{-4}
Air Currents	Labs can vary depending on class	Not applicable
Punch Presses	Up to 20	10^{-2} to 10^{-5}
Transformers	50–400	10^{-4} to 10^{-5}
Elevators	Up to 40	10^{-3} to 10^{-5}
Building Motion	46/height in meters, horizontal	10^{-1}
Building Pressure Waves	1–5	10^{-5}
Railroads	5–20	$\pm 0.15g$
Highway Traffic	5–100	$\pm 0.001g$

Application and Interpretation of Criterion Curves

Criterion Curve	rms Amplitude ($\mu\text{m}/\text{sec}$)*	Detail Size (μm)	Description of Use
Workshop (ISO)	800	N/A	Distinctly discernible vibration. Appropriate to workshops and nonsensitive areas
Office (ISO)	400	N/A	Discernible vibration. Appropriate to offices and nonsensitive areas
Residential Day (ISO)	200	75	Barely discernible vibration. Probably adequate for computer equipment, probe test equipment and low-power (to 20 \times) microscopes
Operating Theatre (ISO)	100	25	Vibration not discernible. Suitable in most instances for microscopes to 100 \times
VC-A	50	8	Adequate for most optical microscopes to 400 \times , microbalances, optical balances, proximity and projection aligners
VC-B	25	3	Appropriate for optical microscopes to 1000 \times inspection and lithography equipment (including steppers) to 3 micron line widths
VC-C	12.5	1	A good standard for lithography and inspection equipment to 1 μm detail size
VC-D	6	0.3	Suitable for the most demanding equipment, including electron microscopes (TEMs and SEMs) and E-beam systems.
VC-E	3	0.1	A difficult criterion to achieve in most instances. Assumed to be adequate for long-path laser-based interferometers and other systems requiring extraordinary dynamic stability

*Data courtesy of Collin Gordon Associates



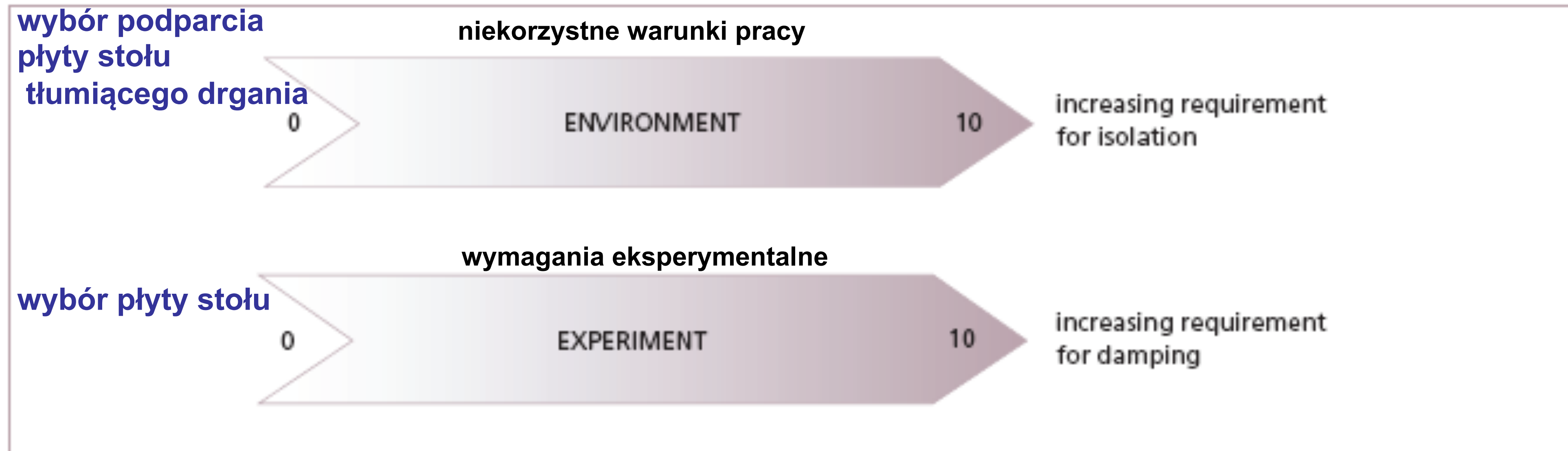
Kryteria wyboru ze względu na drgania



Kryteria wyboru ze względu na drgania

lokalizacja w piwnicy, w której nie ma ruchu

np. miejsce wysoko położone w budynku o konstrukcji stalowej, w lokalizacji o dużym ruchu



wymagania tylko co do dostatecznej powierzchni

np. holografia długoczasowa



Kryteria ze względu na drgania

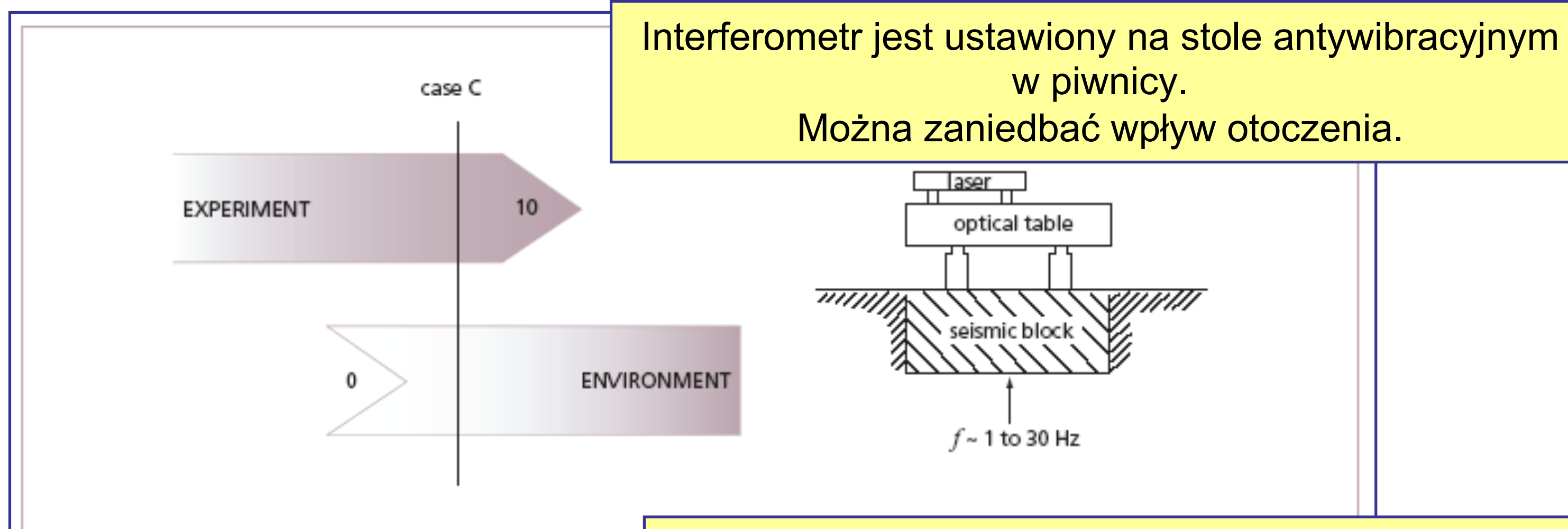
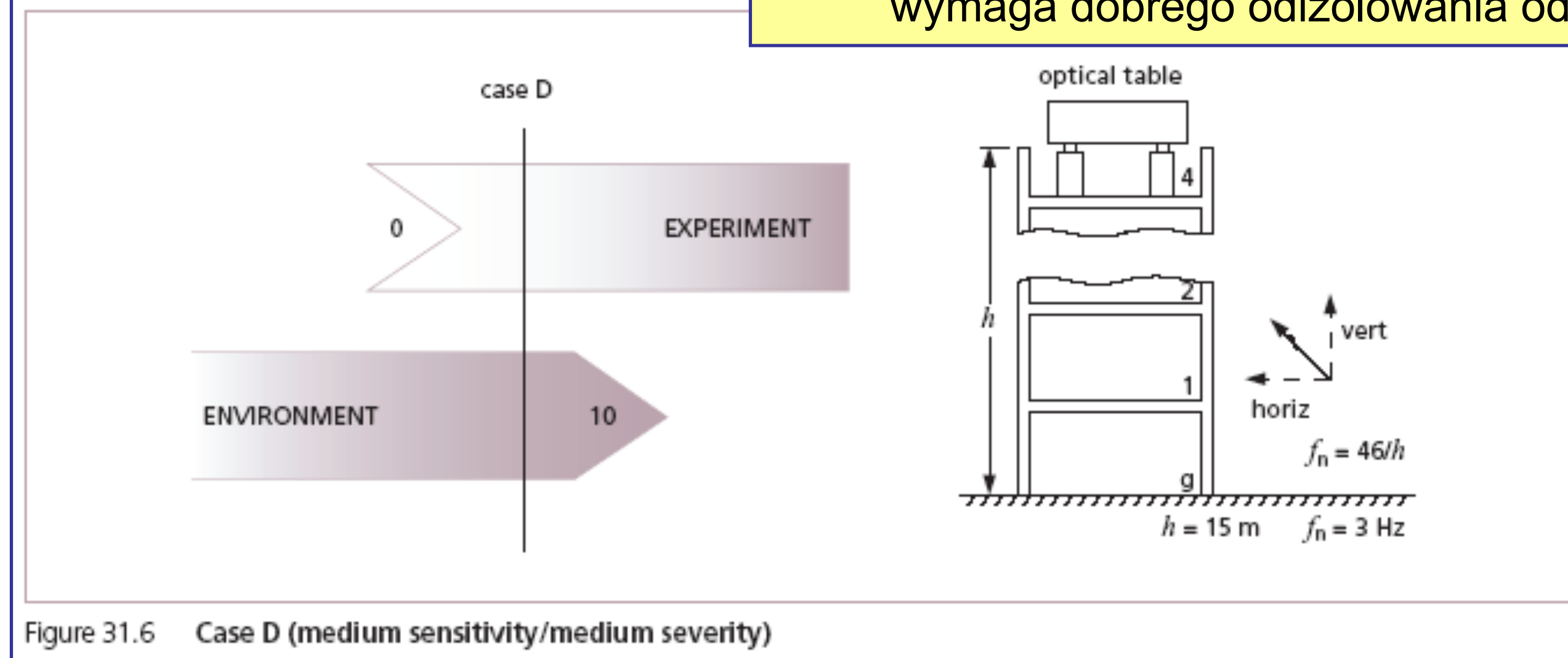


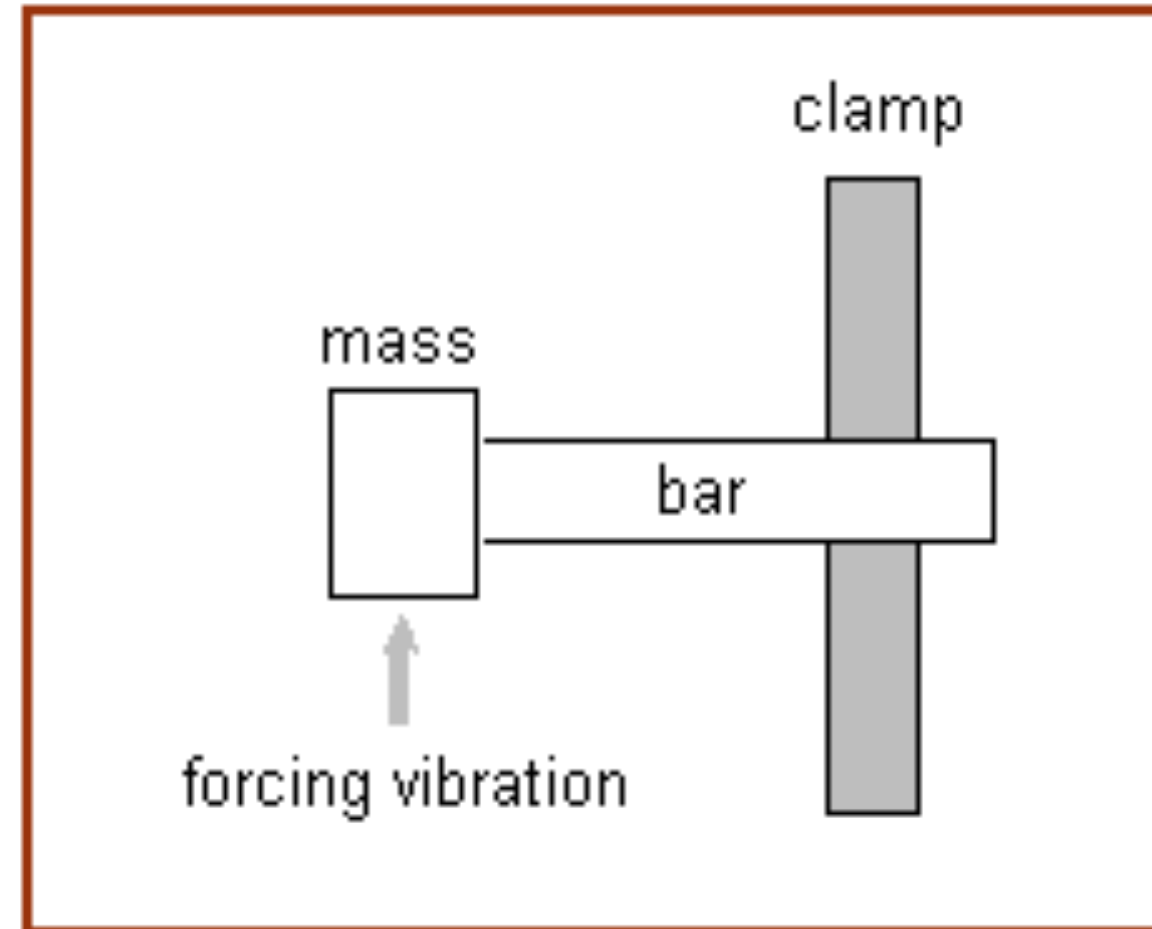
Figure 31.5 Case C (high sensitivity/low severity)

Względnie mało czuły eksperyment przeprowadzany na wyższych kondygnacjach wymaga dobrego odizolowania od otoczenia.



podatność statyczna (*compliance*) = liniowe/kątowe przemieszczenie / przyłożona siła

podatność dynamiczna (*compliance*) = amplituda drgań wymuszonych / amplitudy siły wymuszającej



$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = F \sin(ft)$$

k – współczynnik sztywności, C – współczynnik tłumienia

Ogólne wyrażenie na podatność takiego układu:

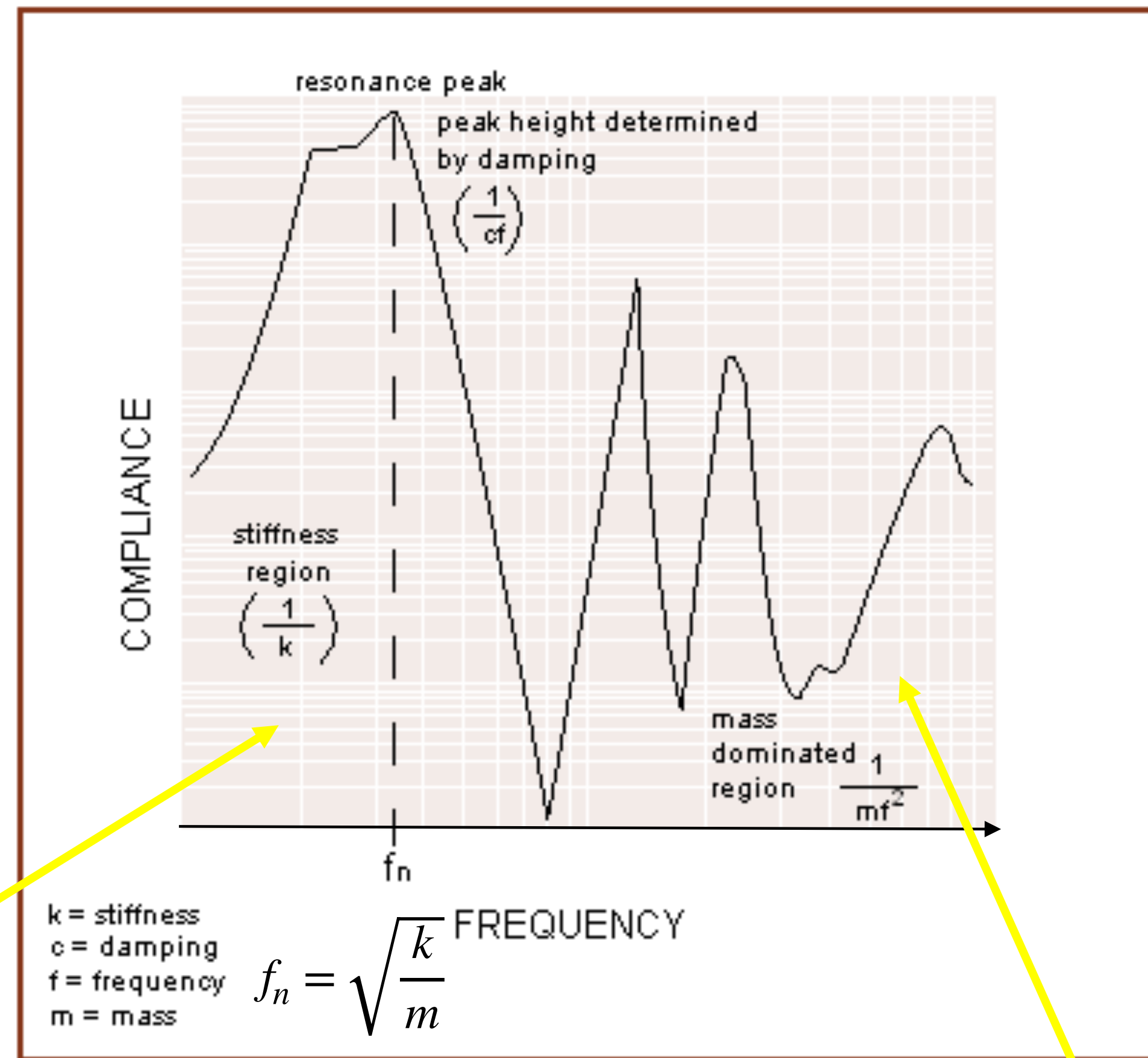
$$\frac{x}{f} = \frac{1}{\sqrt{(k - mf)^2 + (cf)^2}}$$

podatność

$$\text{compliance} = \frac{1}{\sqrt{(\text{stiffness} - \text{mass_effects}) + \text{damping}}}. \quad \text{Equation 3}$$

sztywność - bezwładność

tłumienie



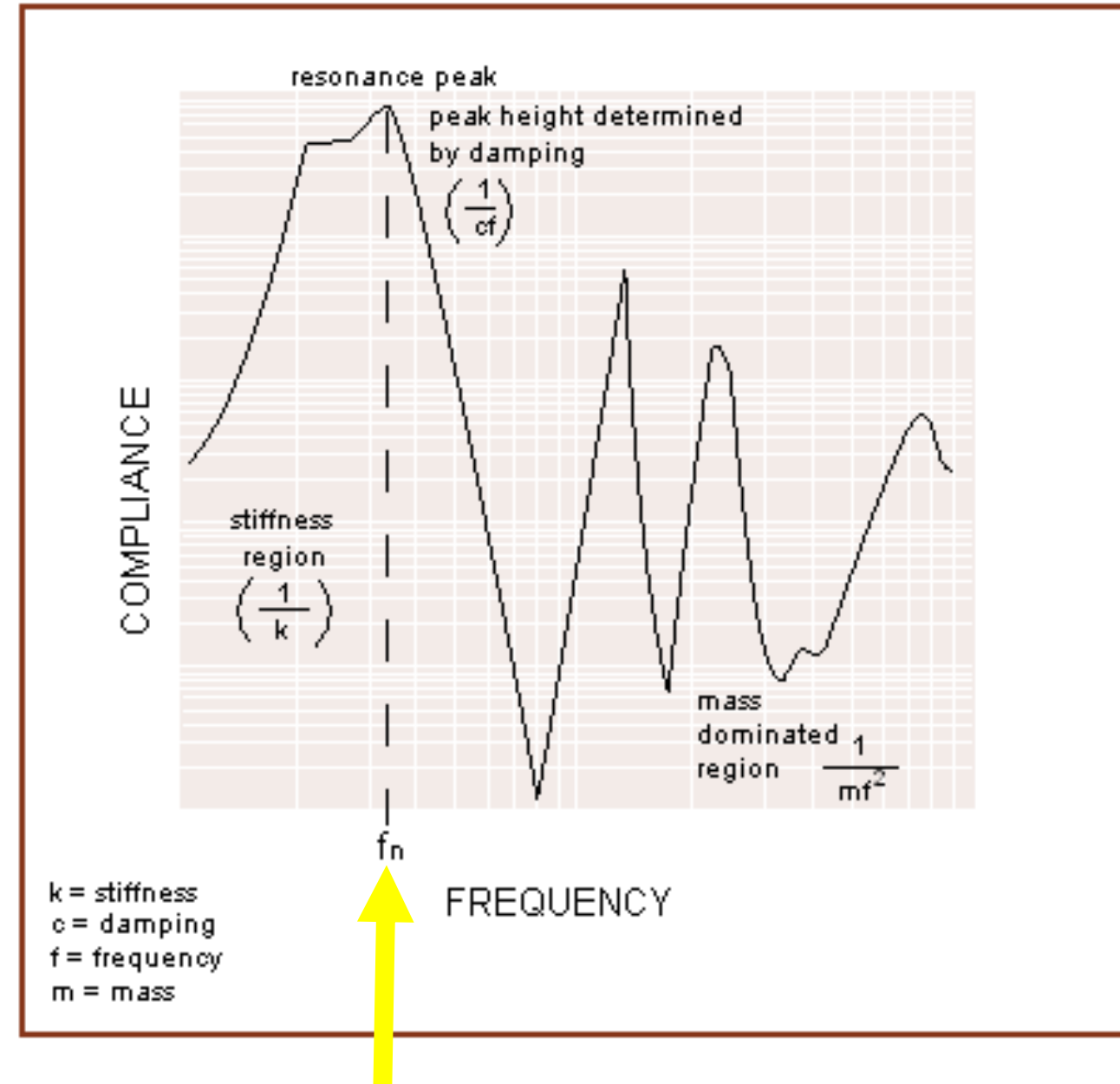
$$\frac{x}{f} = \frac{1}{\sqrt{(k - mf)^2 + (cf)^2}}$$

sztywność –
kształt,
moduł Younga materiału pręta,
metoda zamocowania

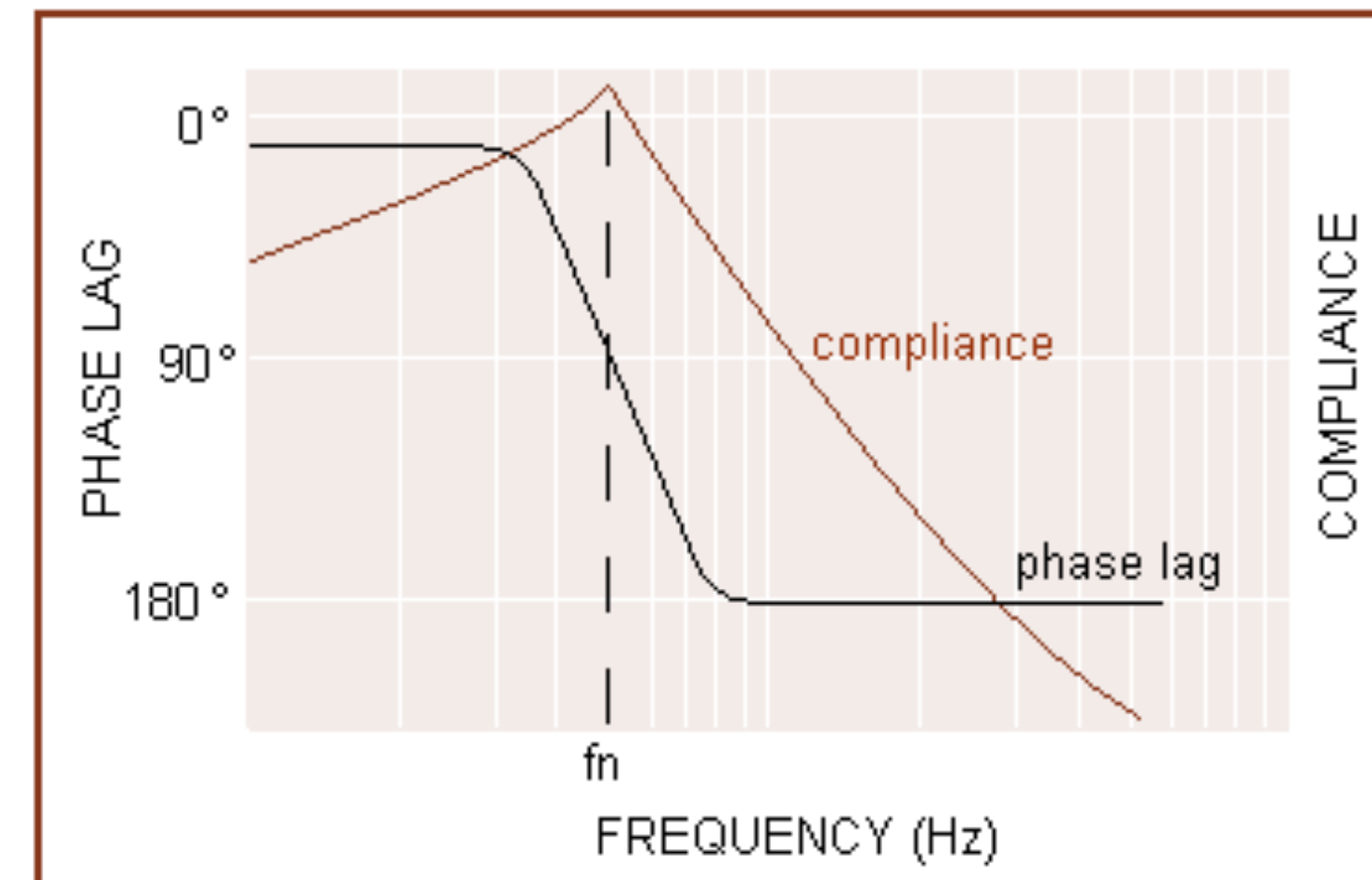
oscylator
harmoniczny

masa

drgania rezonansowe



Opóźnienie fazy drgań wymuszonych względem drgań wymuszających w zależności od częstotliwości siły wymuszającej

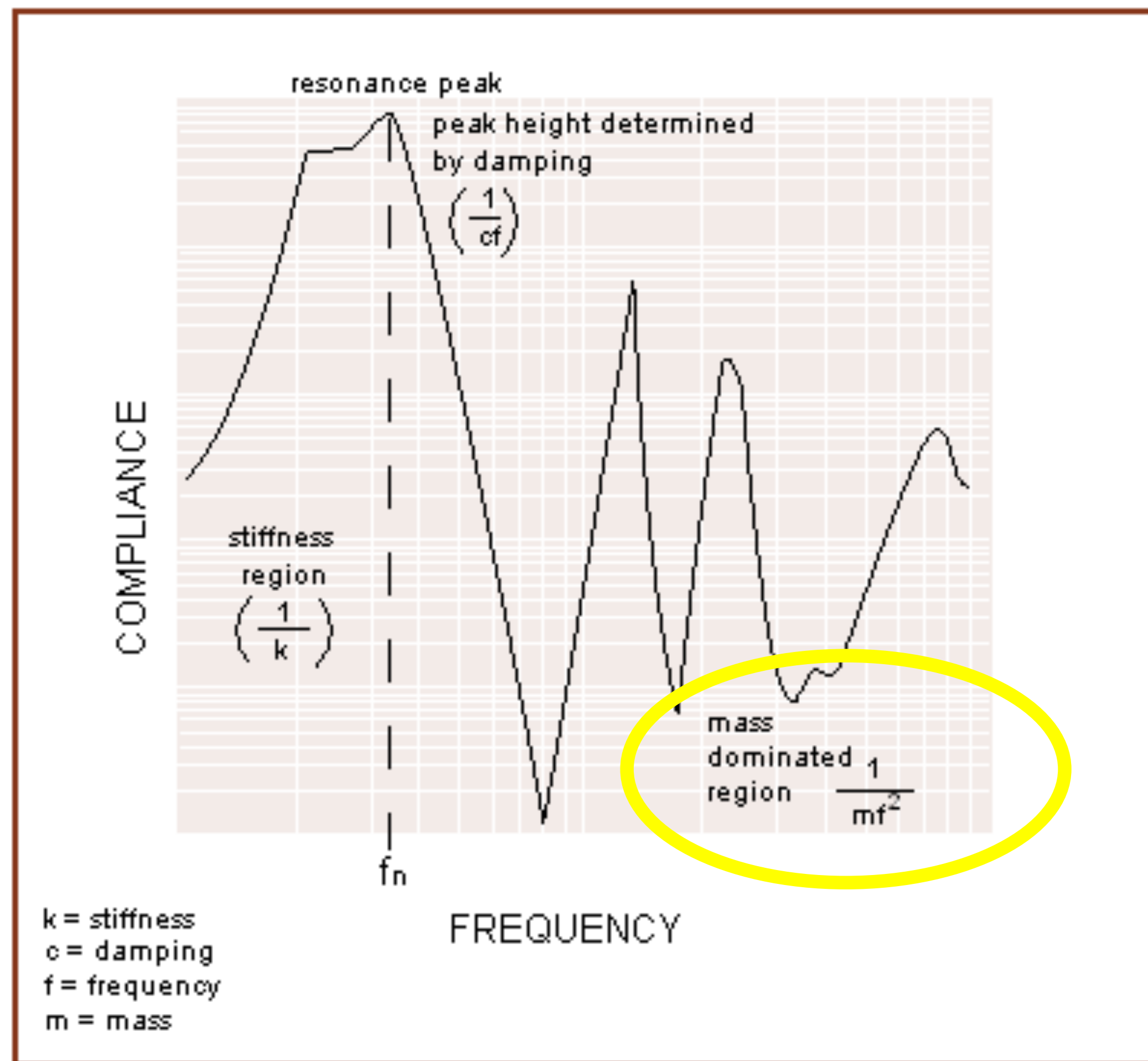


$$\frac{x}{F} = \frac{k}{\sqrt{(1 - f^2 f_n^2)^2 + (2\zeta f f_n)^2}}$$

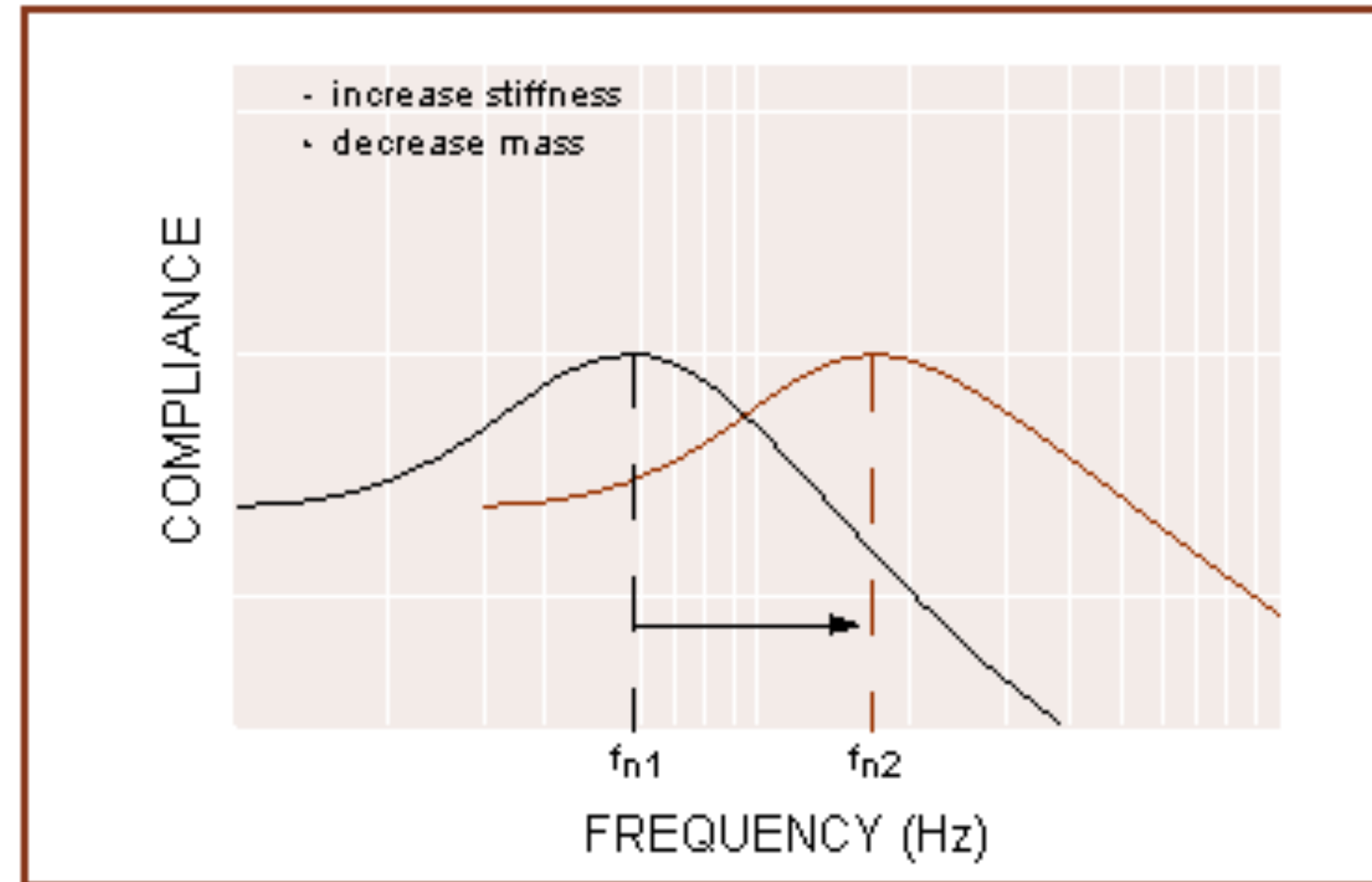
Maksimum podatności określa stopień tłumienia.

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

drgania wymuszające o dużej częstotliwości

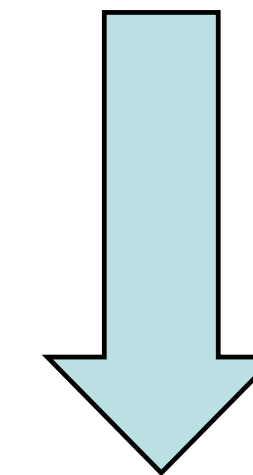


Modyfikacja częstotliwości rezonansowej



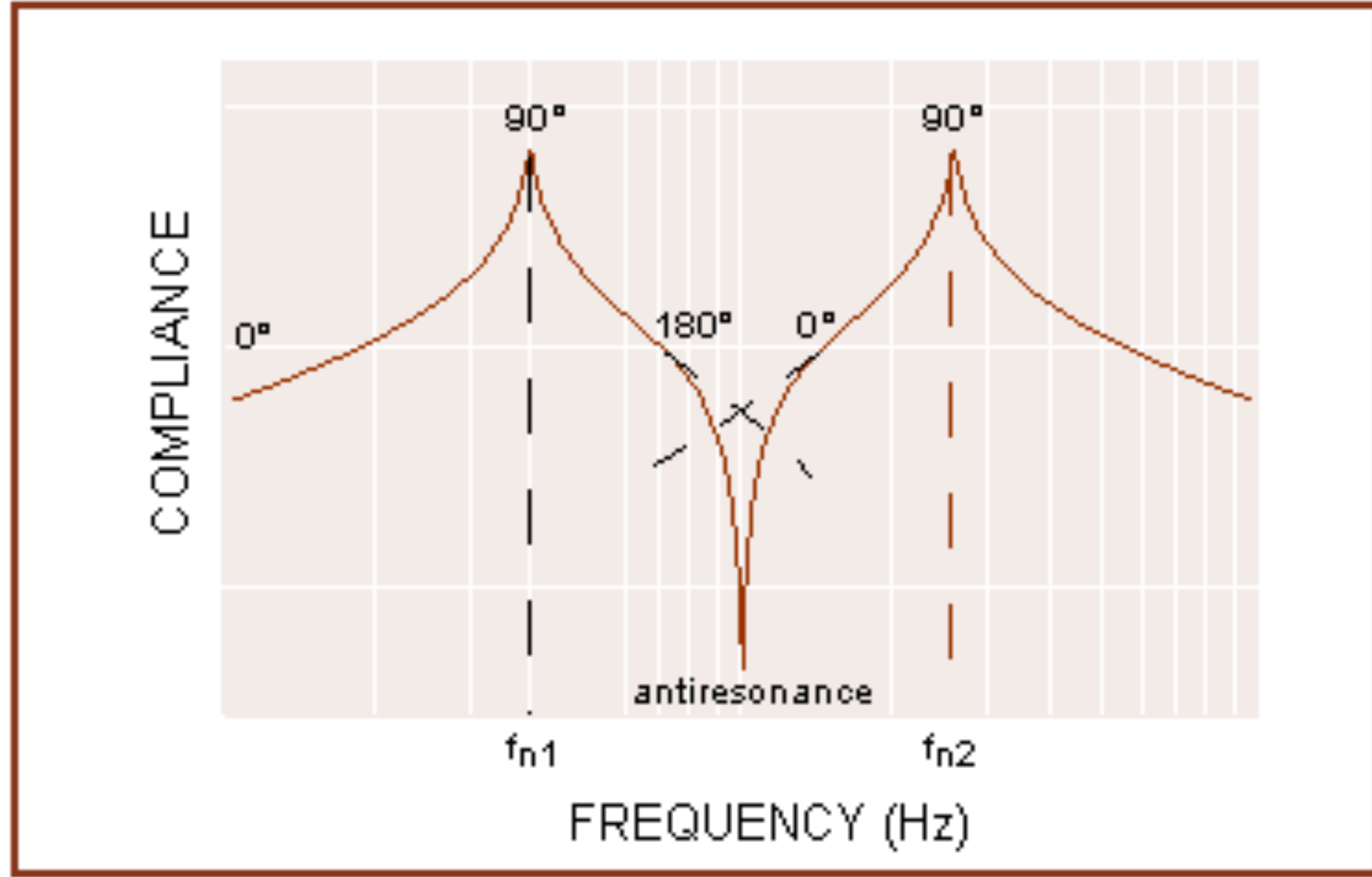
Wskazówki do konstrukcji:

spowodować zwiększenie częstotliwości rezonansowej
i zmniejszenie amplitudy drgań rezonansowych.



Zwiększyć sztywność w stosunku do masy.

Złożenie drgań - antyrezonanse



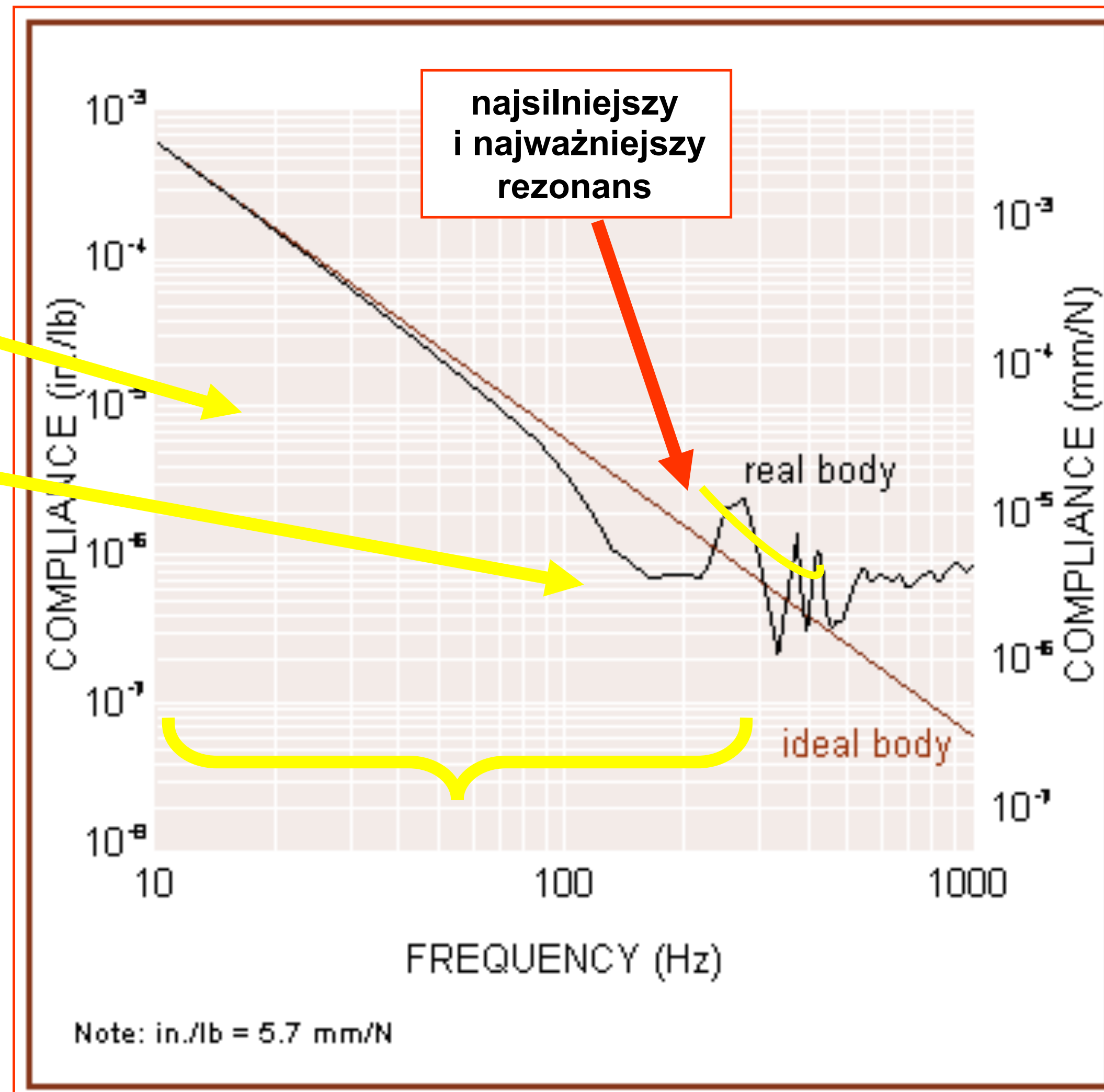
Dwa składniki drgań o tej samej amplitudzie ale różniące się o 180° w fazie.

Podatność na drgania rzeczywistych stołów

dominacja podparcia płyty, (a nie samej płyty)

antyrezonanse

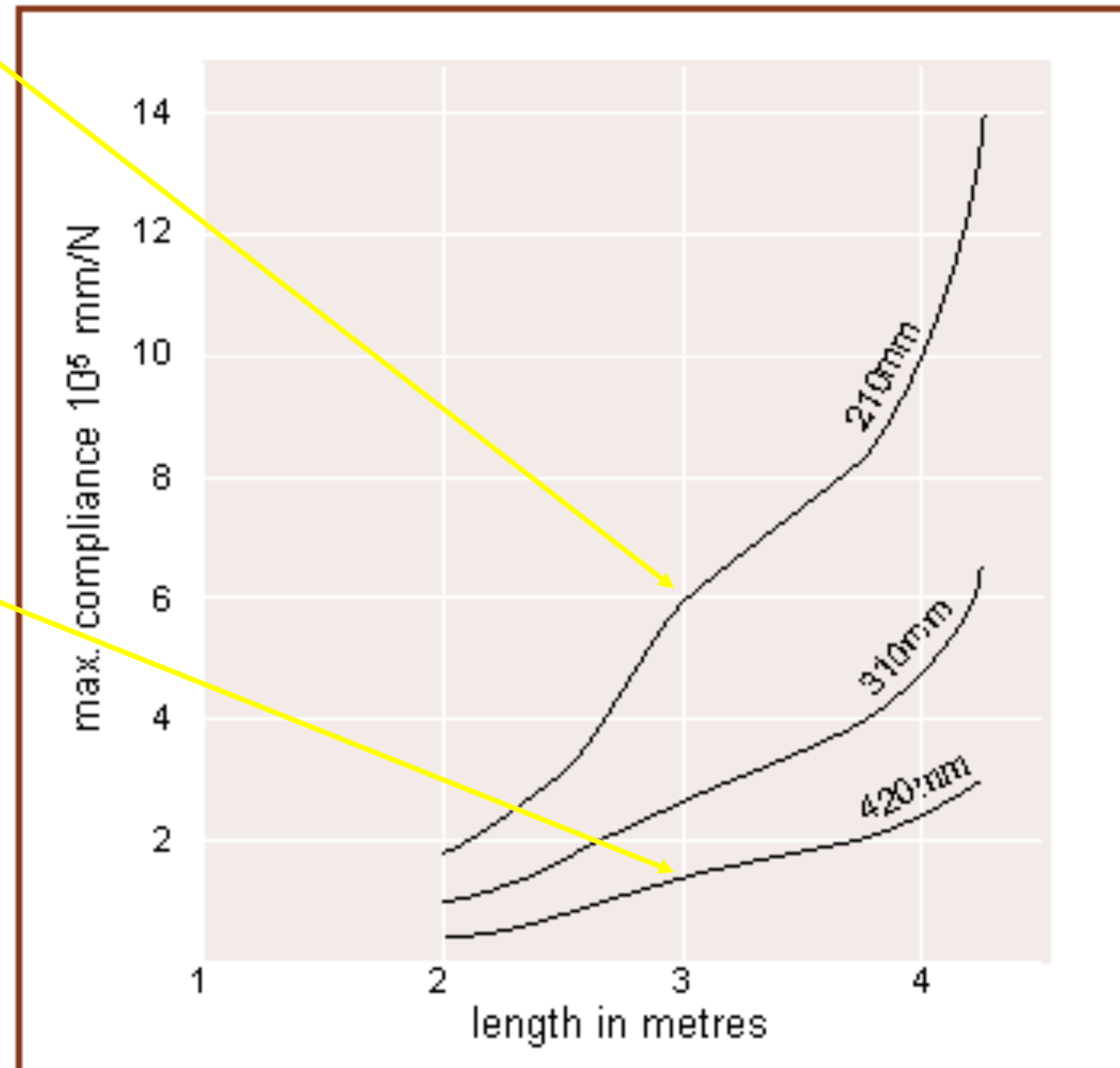
częstotliwości drgań generowanych przez urządzenia w laboratorium (0, 150)Hz



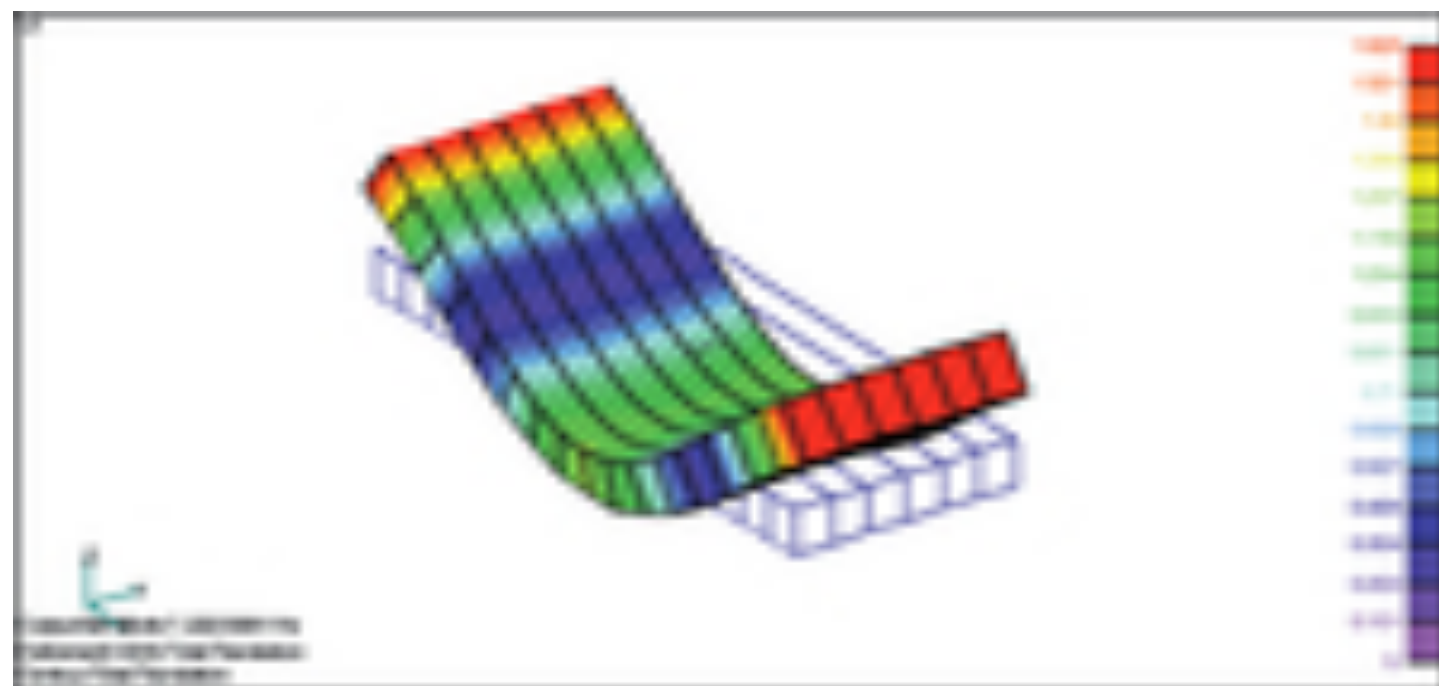
Podatność a wymiary stołu

Przykład 1:
wymiary stołu: 1,5 x 3 m
grubość = 210 mm
podatność = 6×10^{-5} mm/N

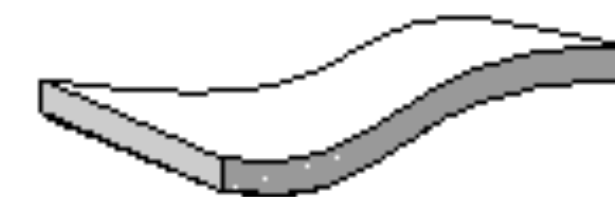
Przykład 2:
wymiary stołu: 1,5 x 3 m
grubość = 420 mm
podatność = $1,4 \times 10^{-5}$ mm/N



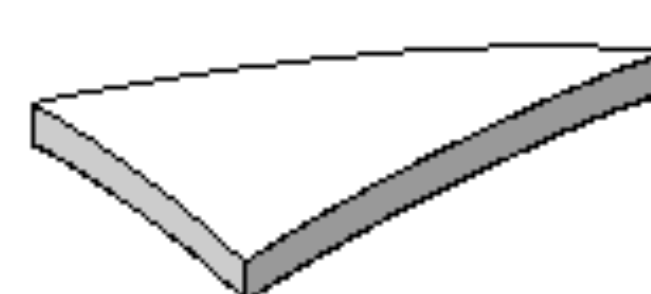
Rodzaje drgań rzeczywistych stołów



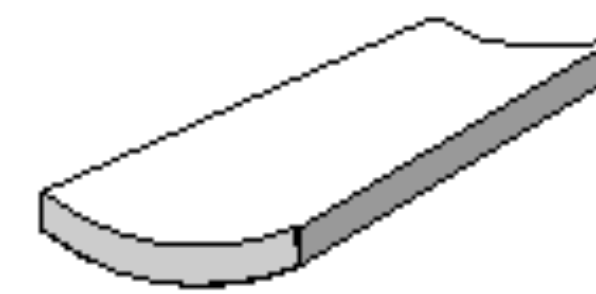
1st long bending mode



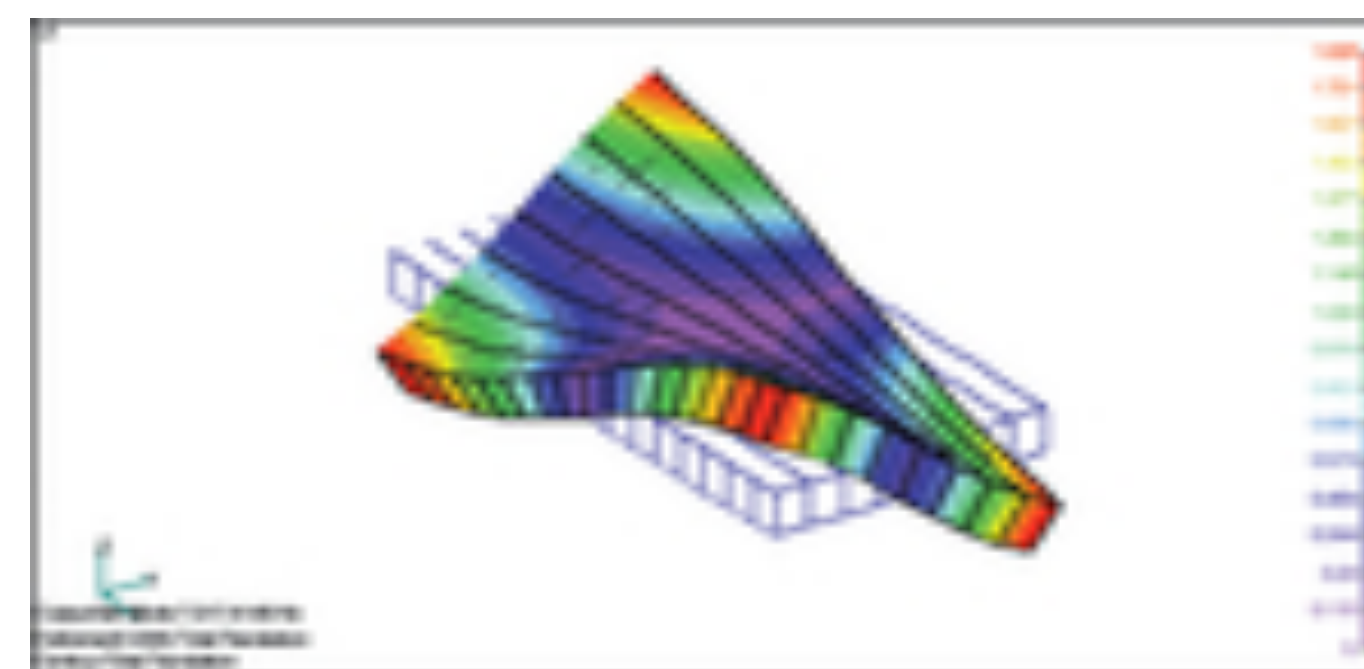
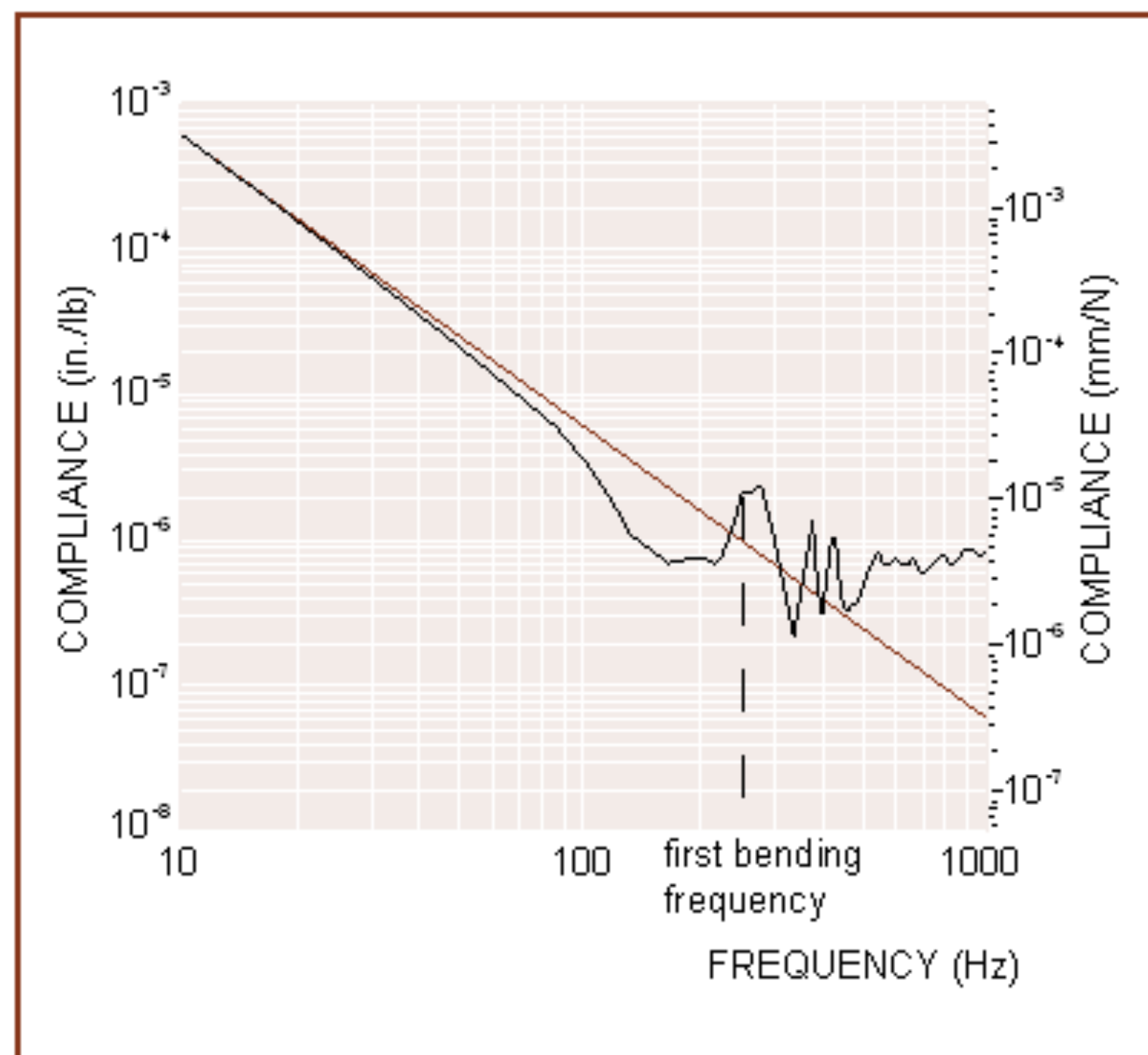
2nd long bending mode



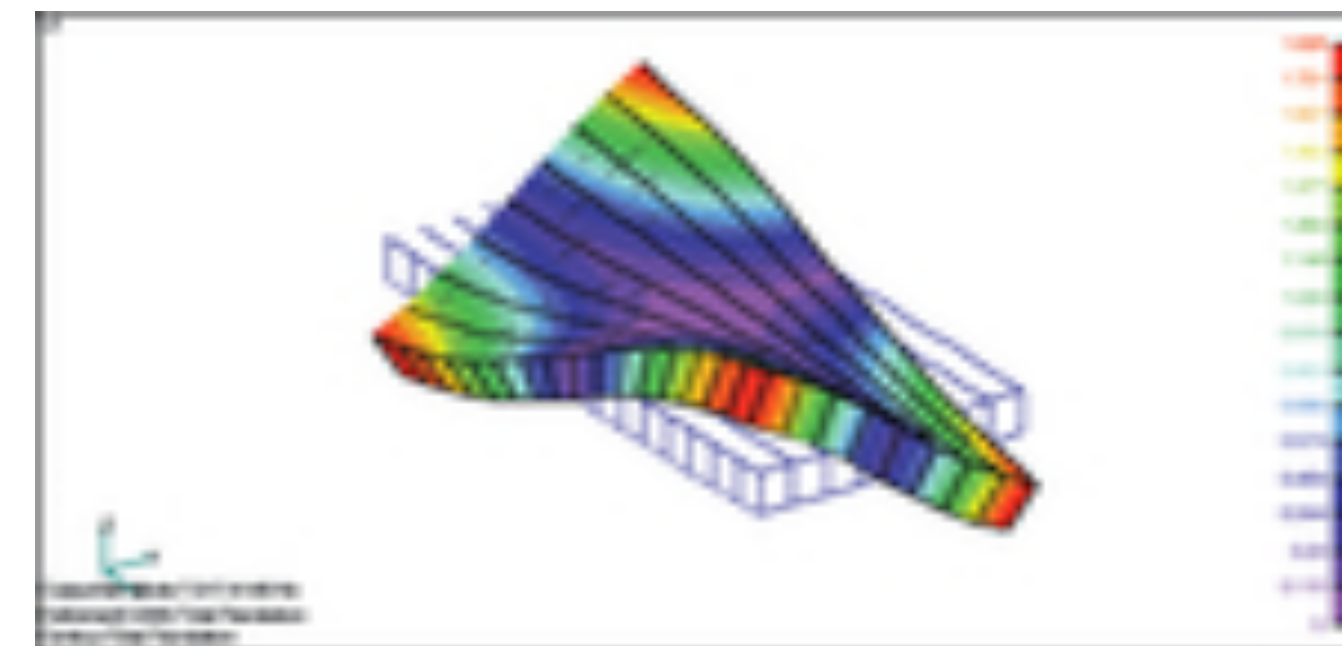
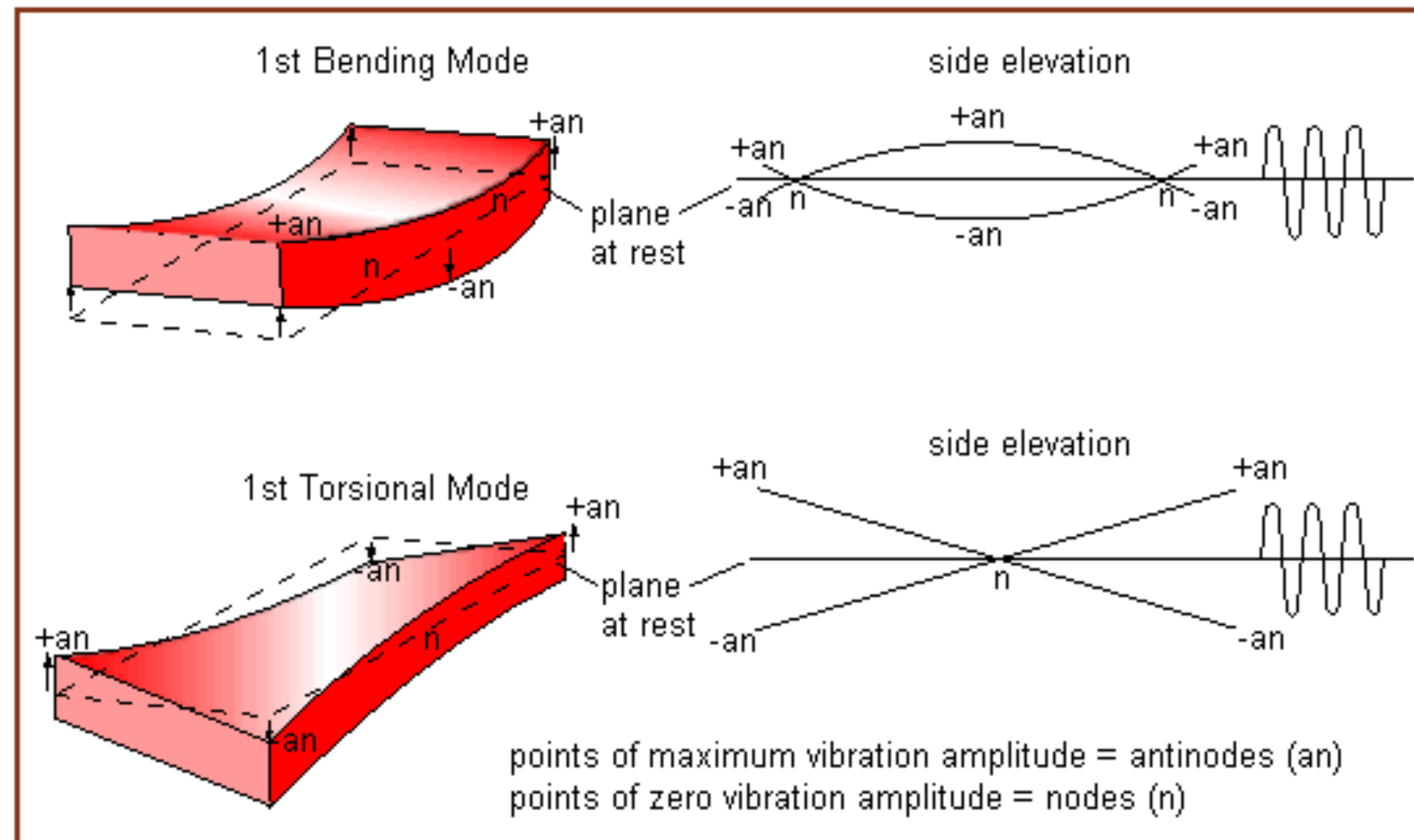
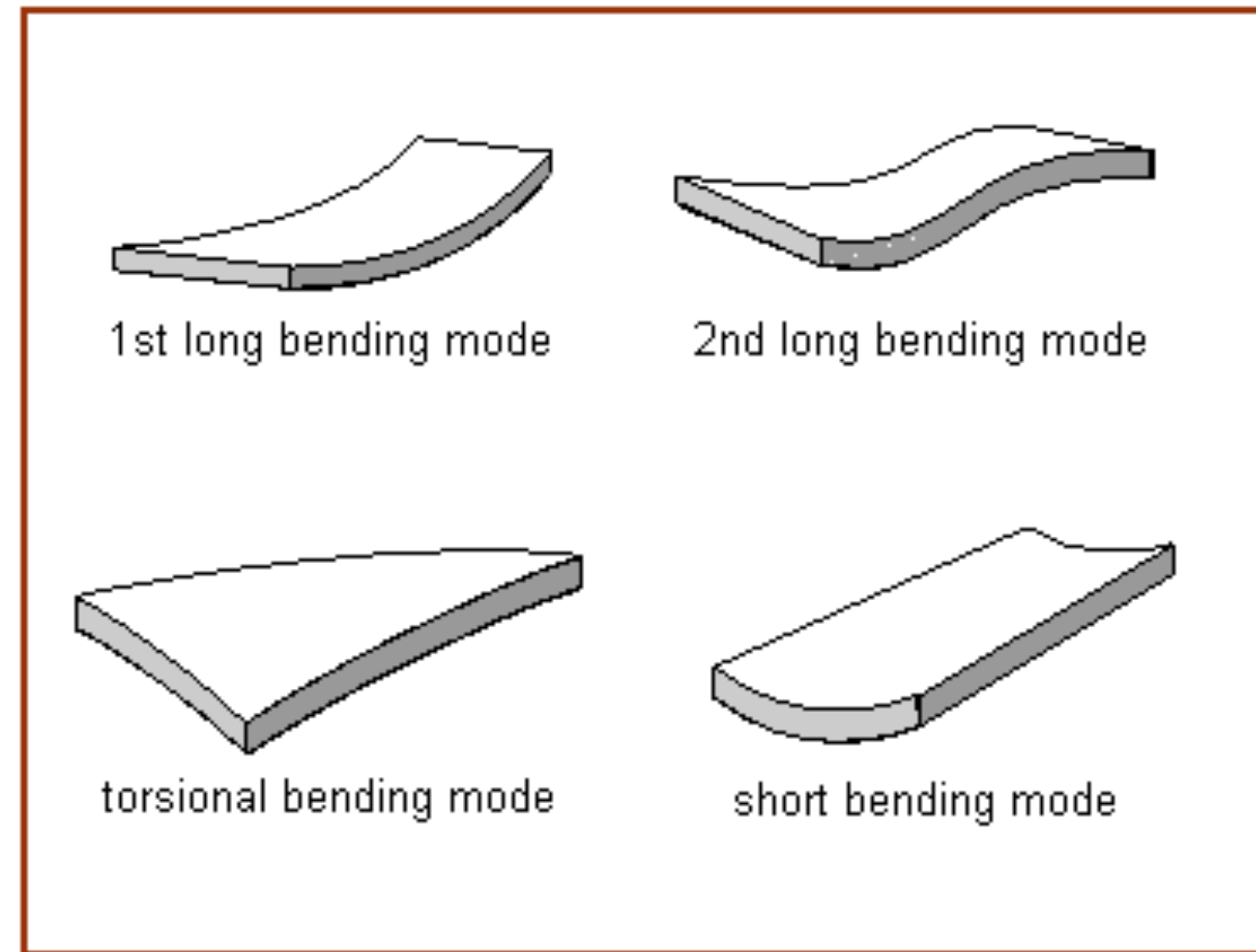
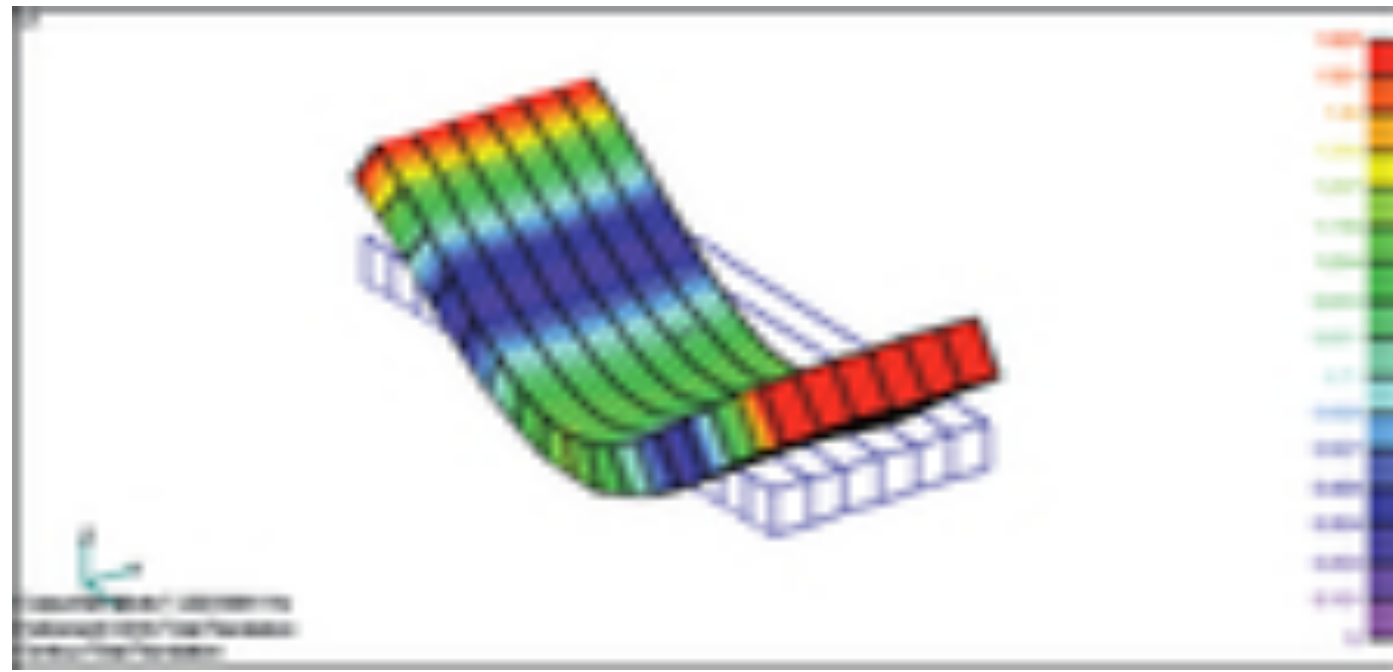
torsional bending mode



short bending mode

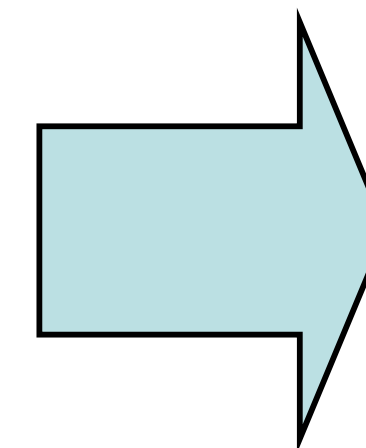


Rodzaje drgań rzeczywistych stołów

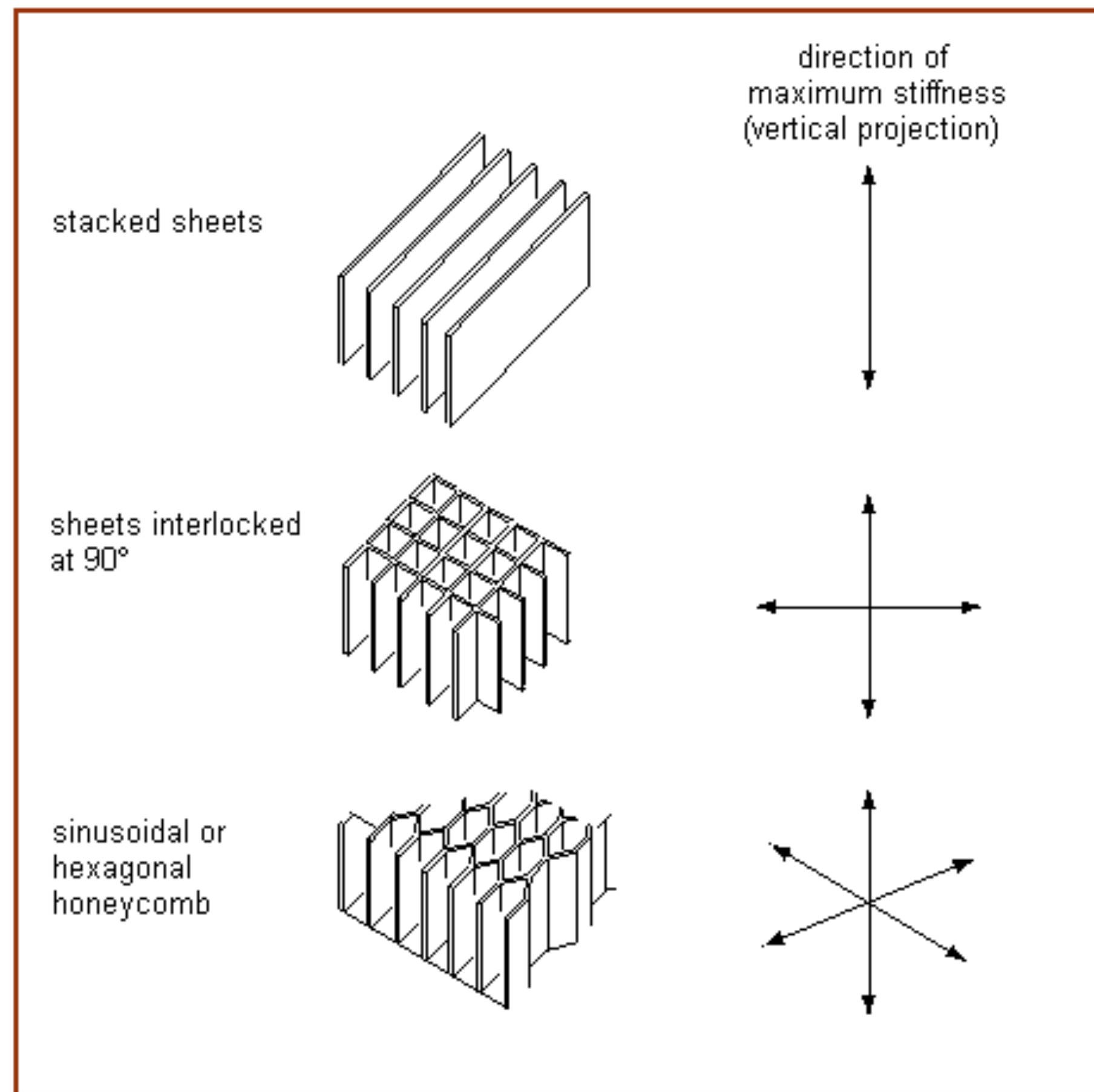
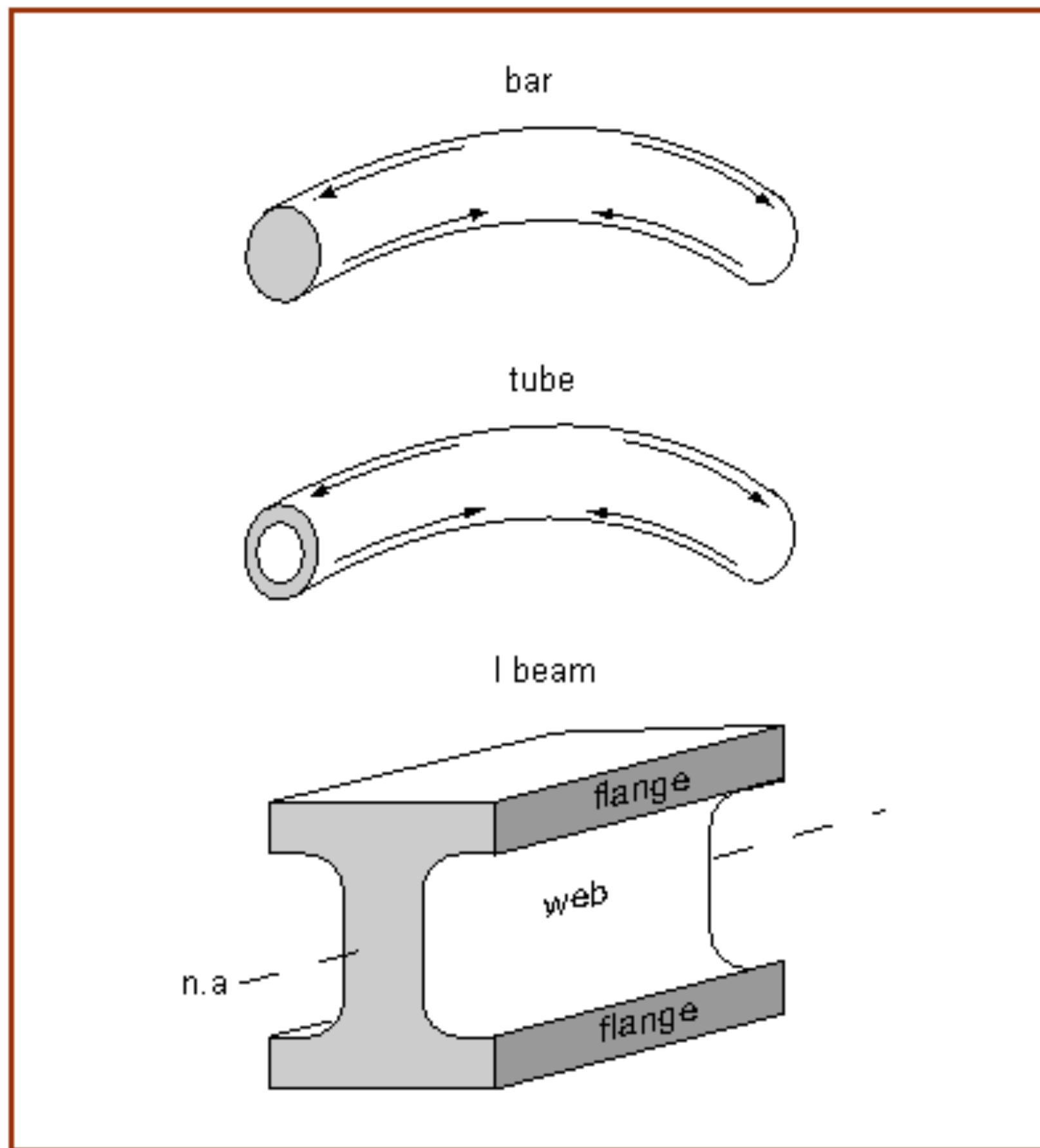


Materiały płyt stołowych

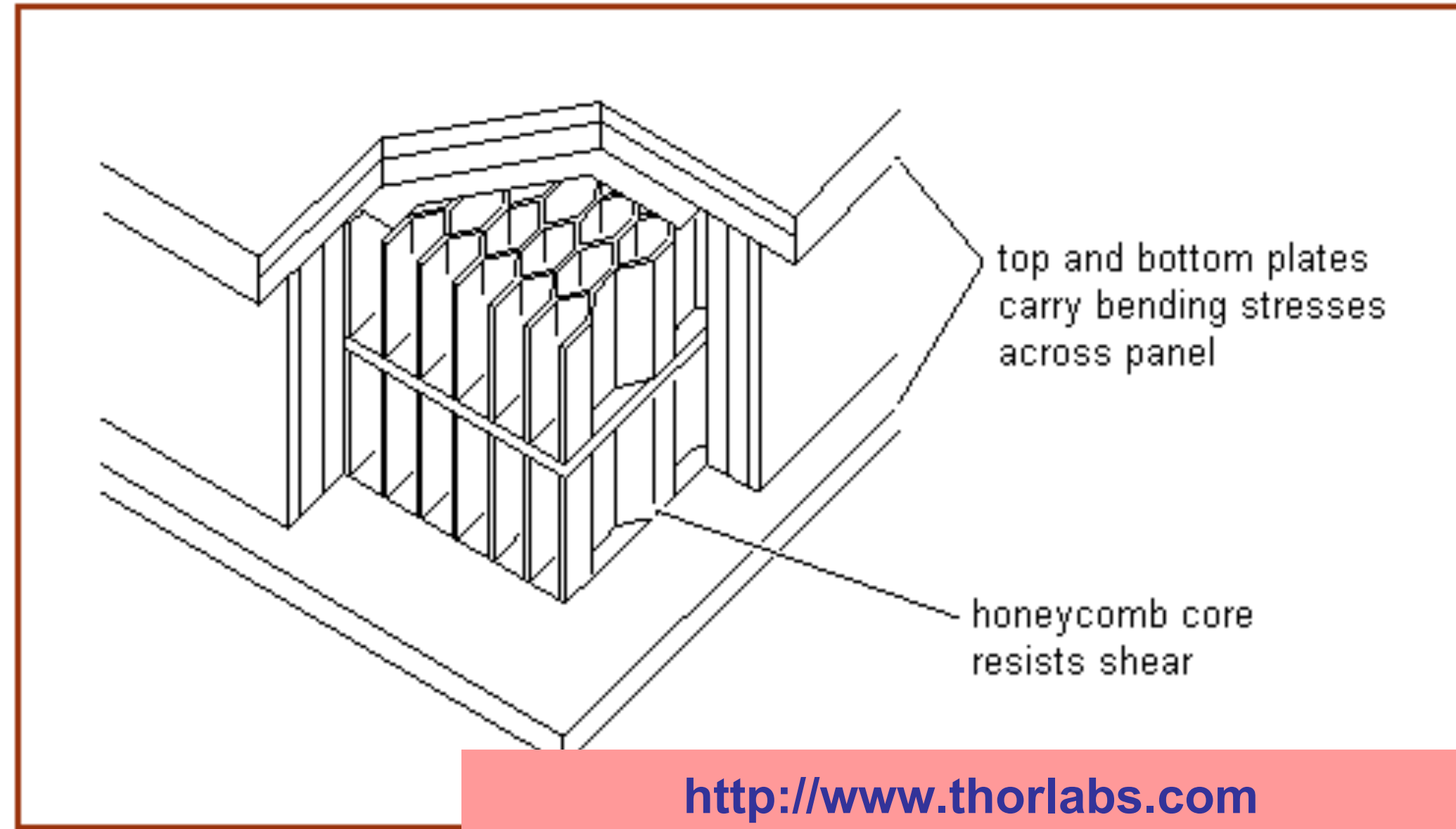
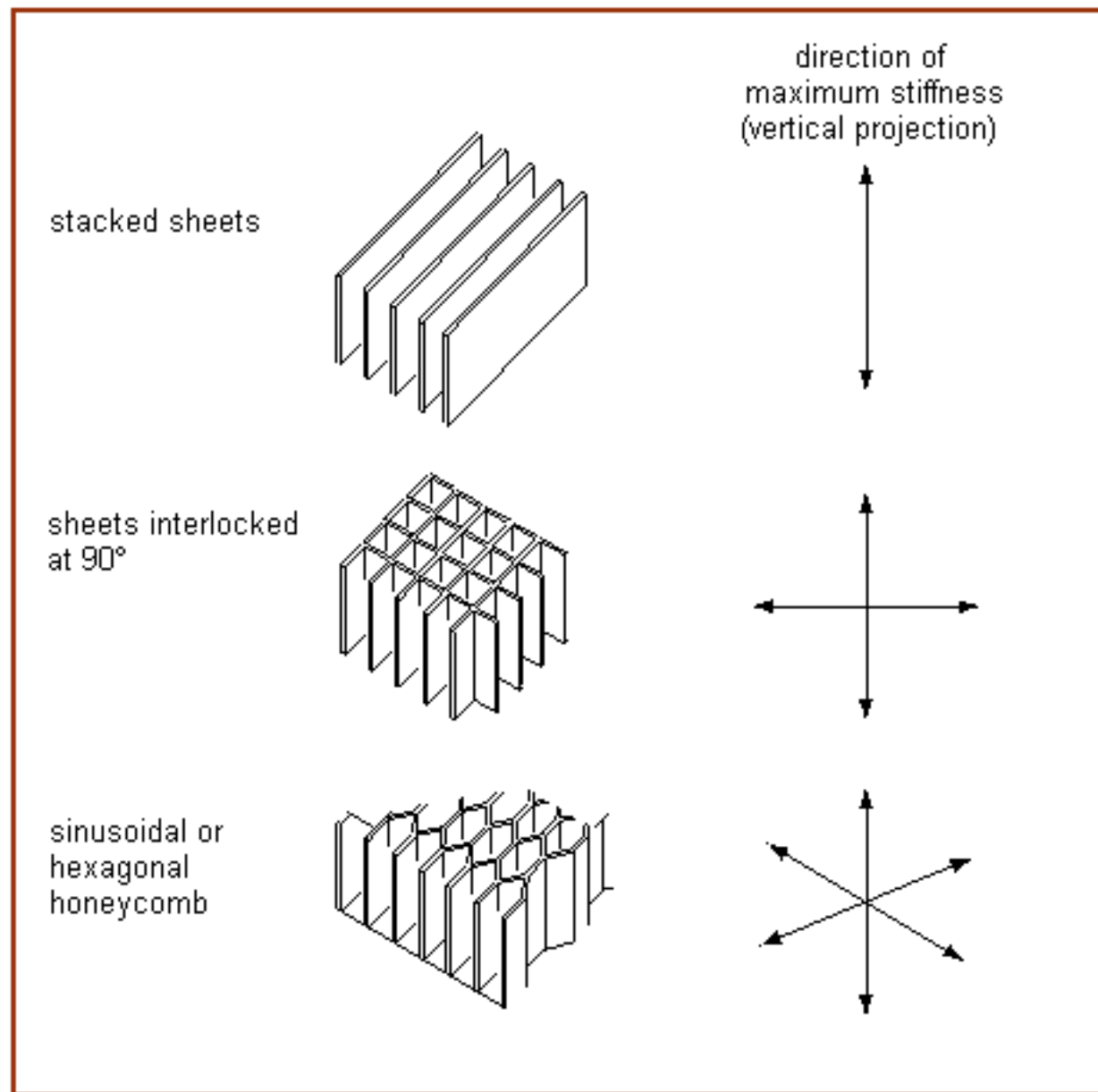
materiał	wady
granit	absorpcja wody prowadząca do deformacji
beton	absorpcja wody prowadząca do deformacji
stal	duża gęstość tendencje do rezonansu dla wielu częstotliwości słabe tłumienie drgań
drewno	tendencje do wypaczeń wraz z upływem czasu lub pod wpływem wilgoci



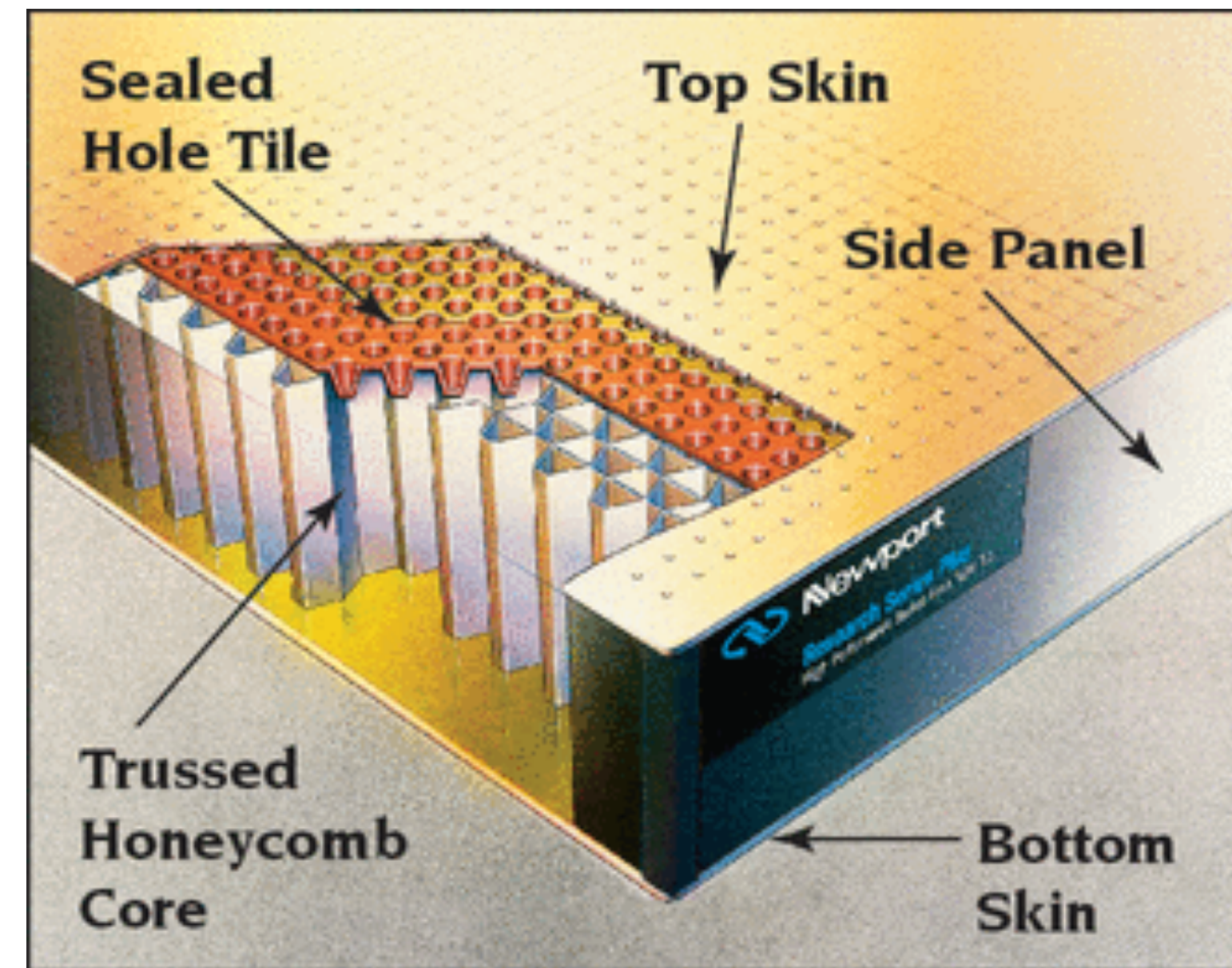
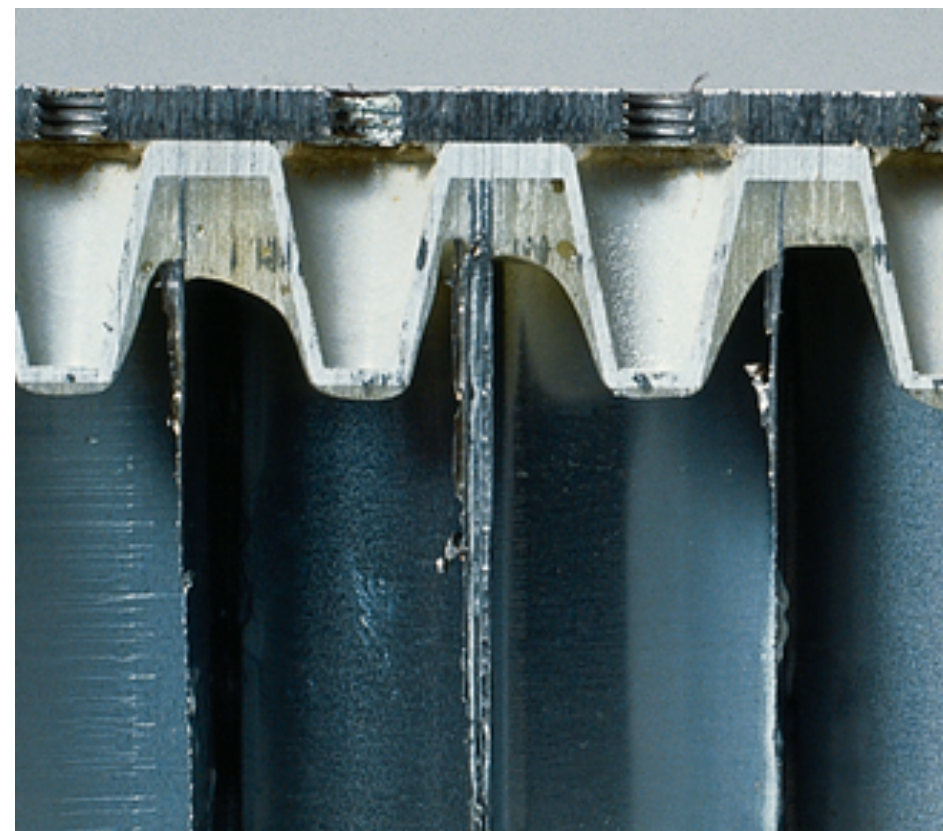
**konstrukcje
z wielu materiałów
o różnej sztywności**



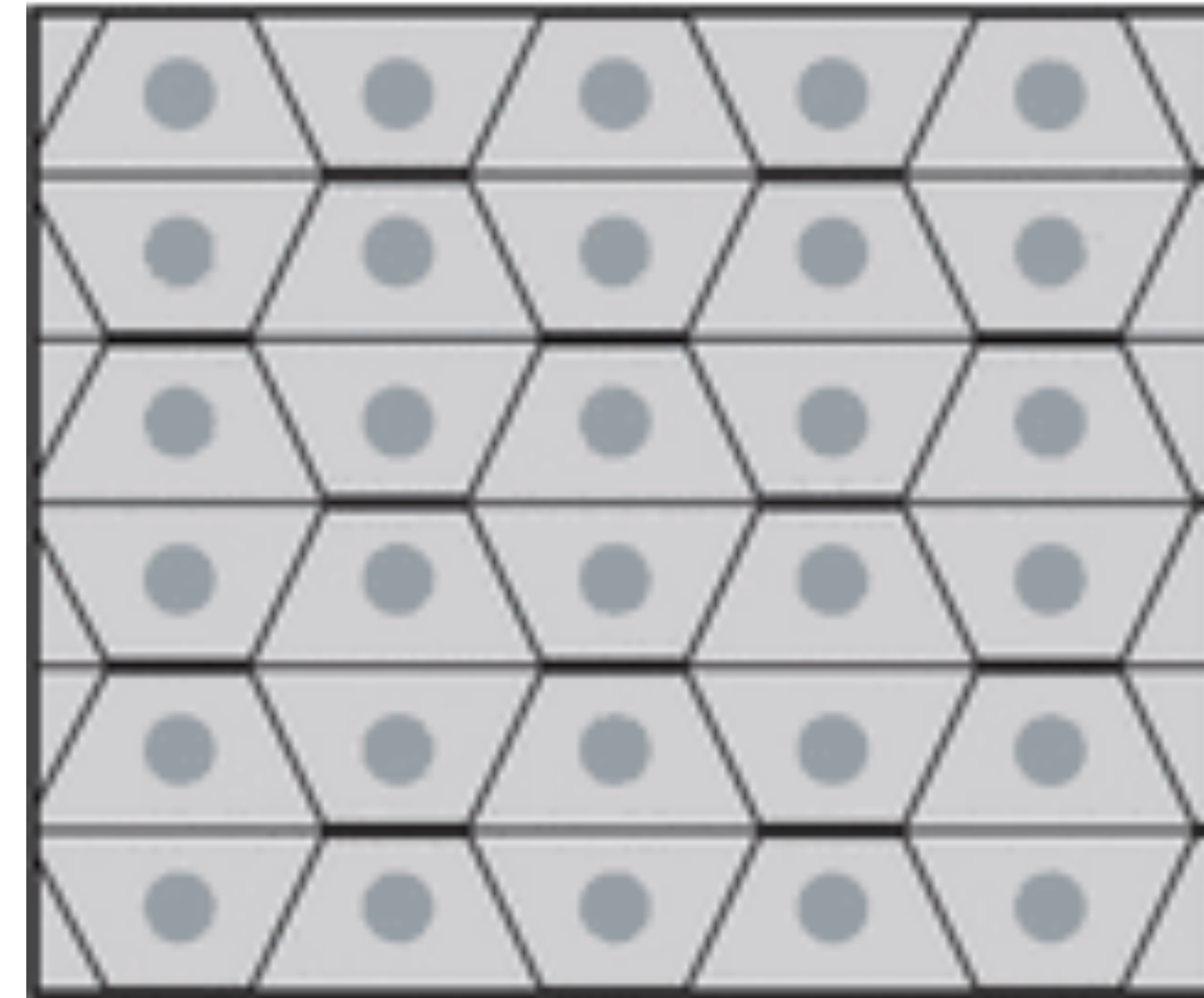
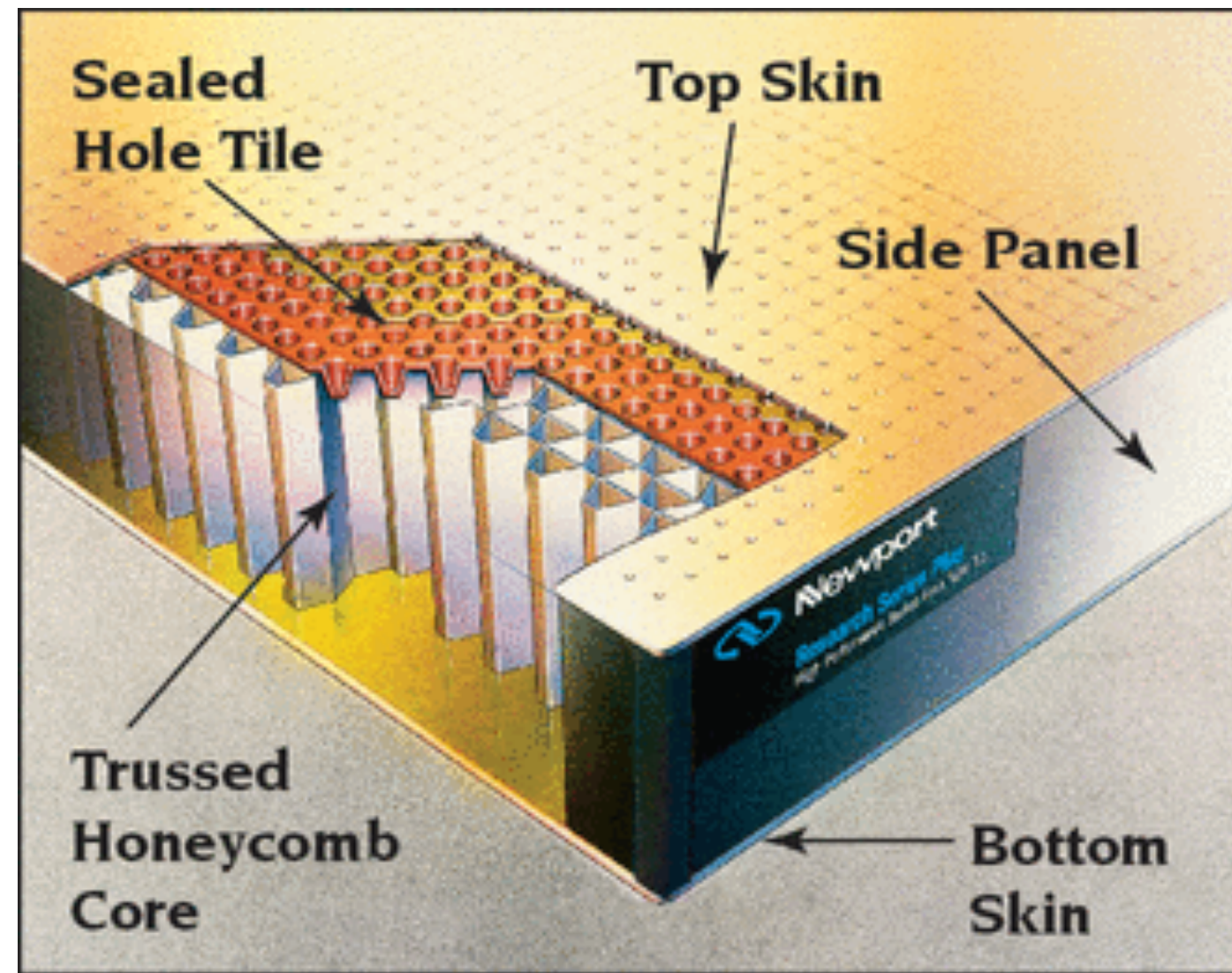
kształty o dużej sztywności



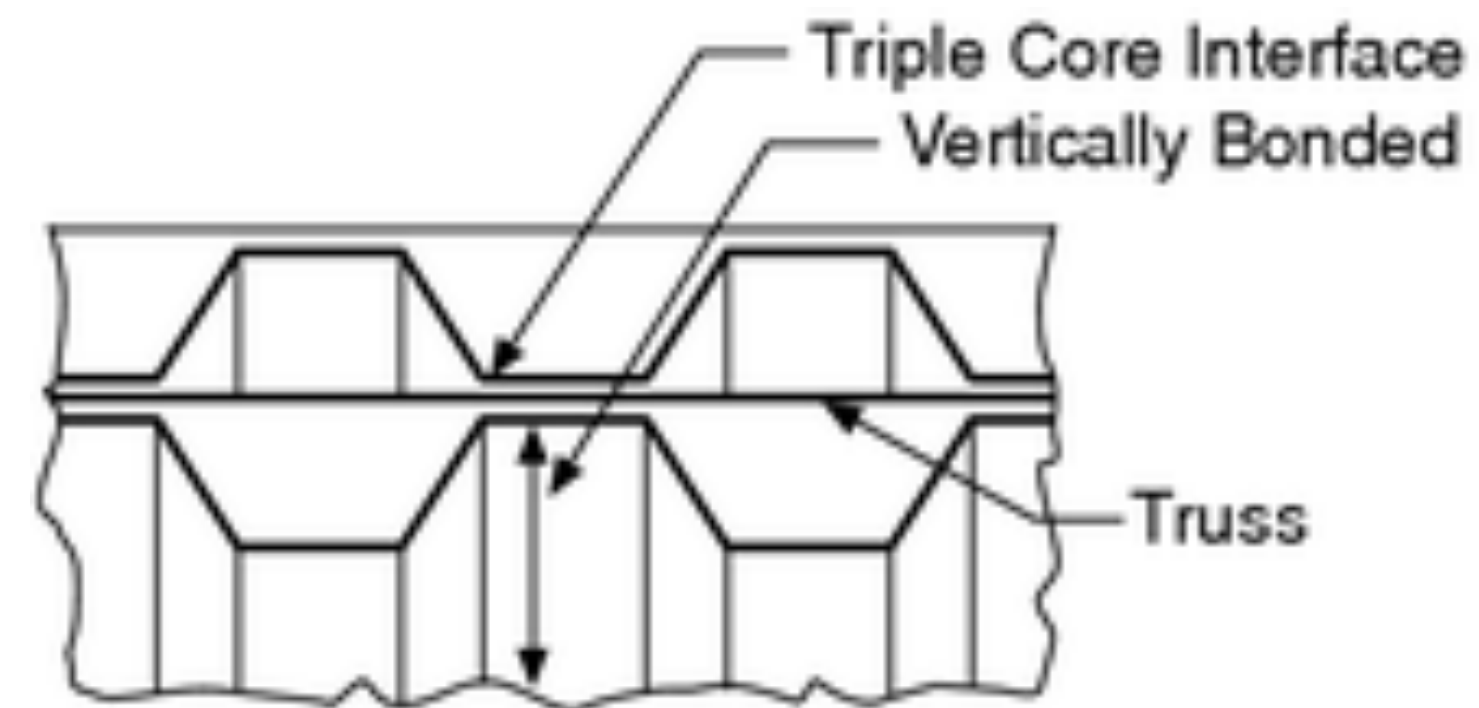
konstrukcja plastra miodu



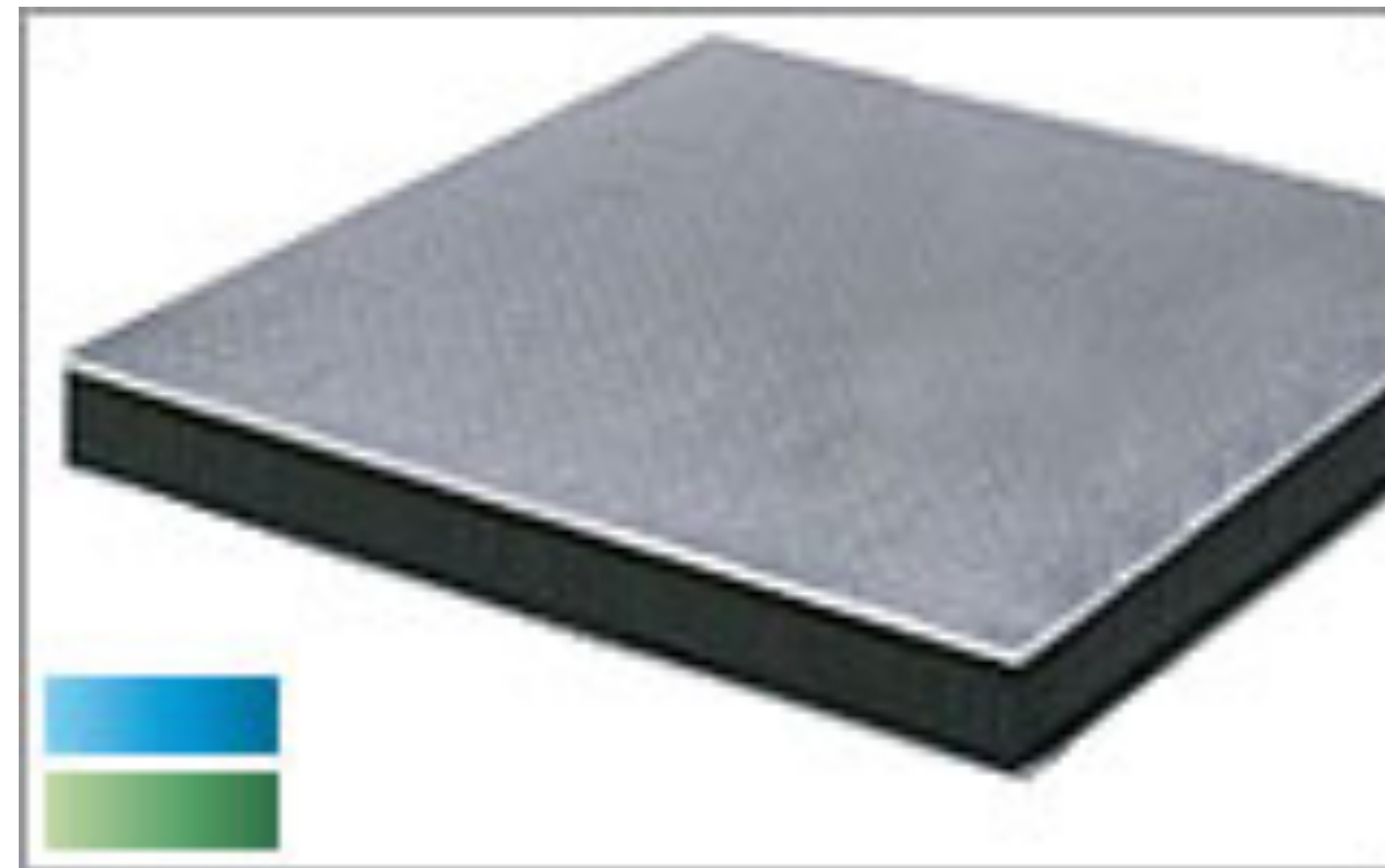
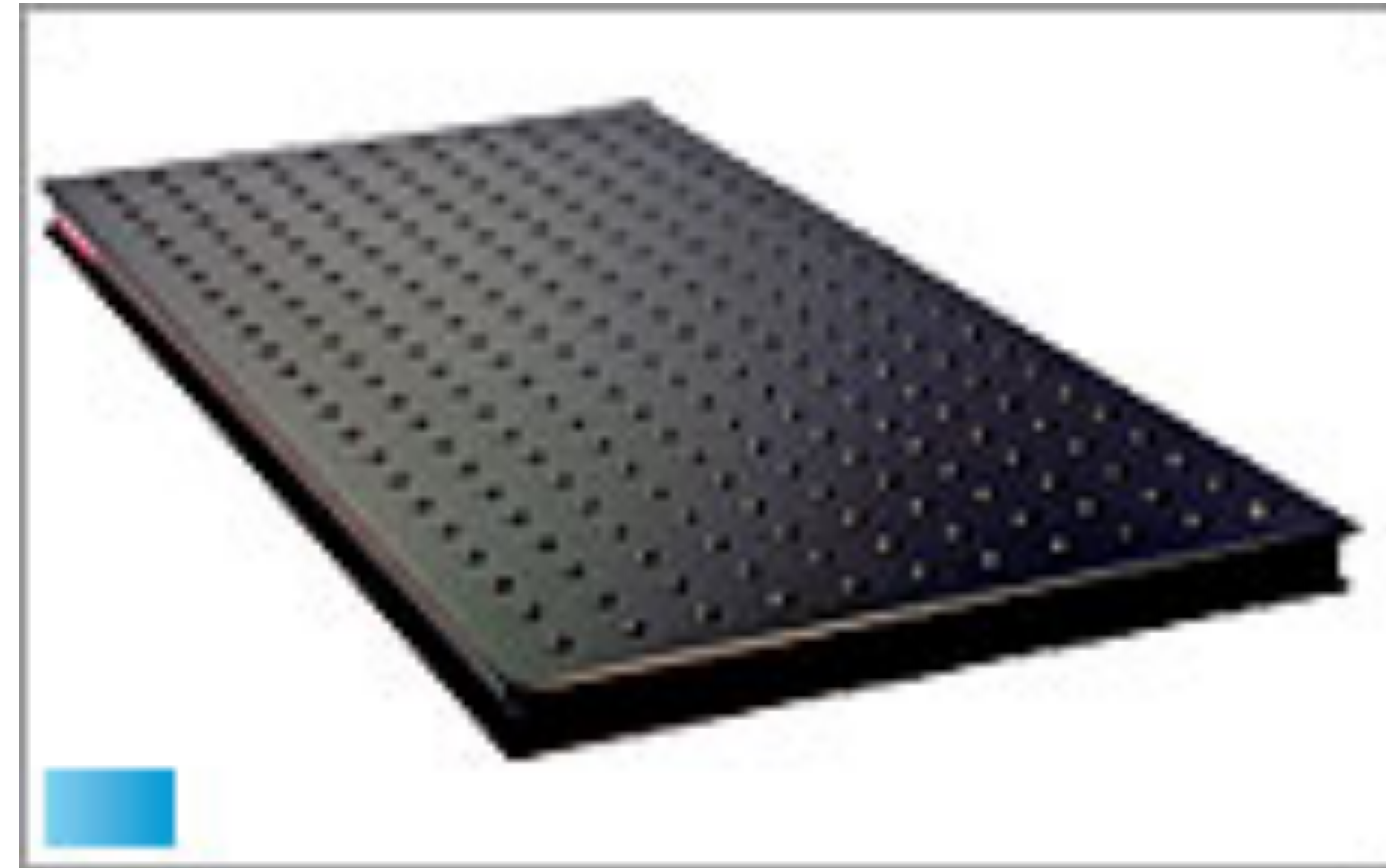
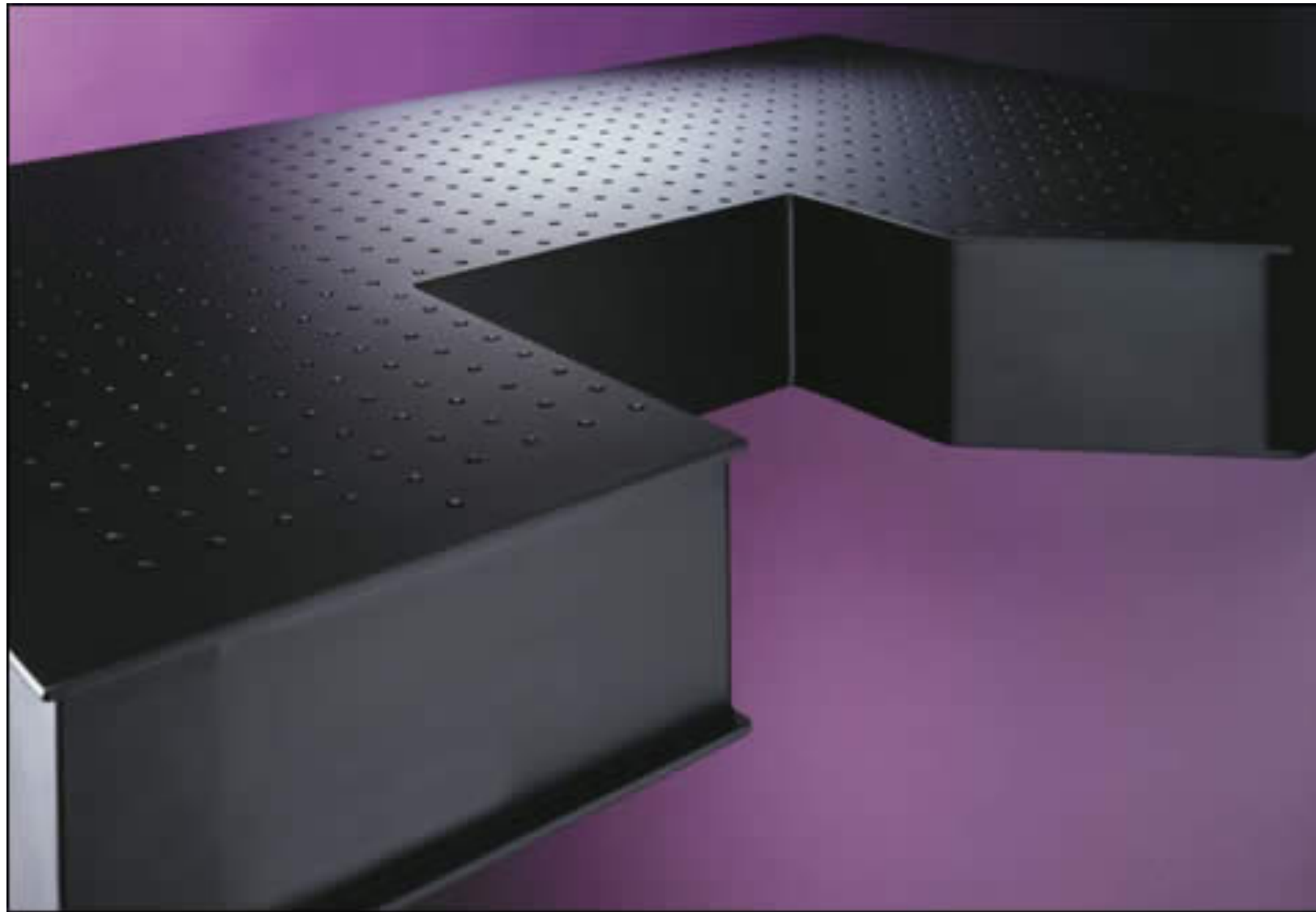
Stoły antywibracyjne



konstrukcja plastra miodu



Stoły antywibracyjne



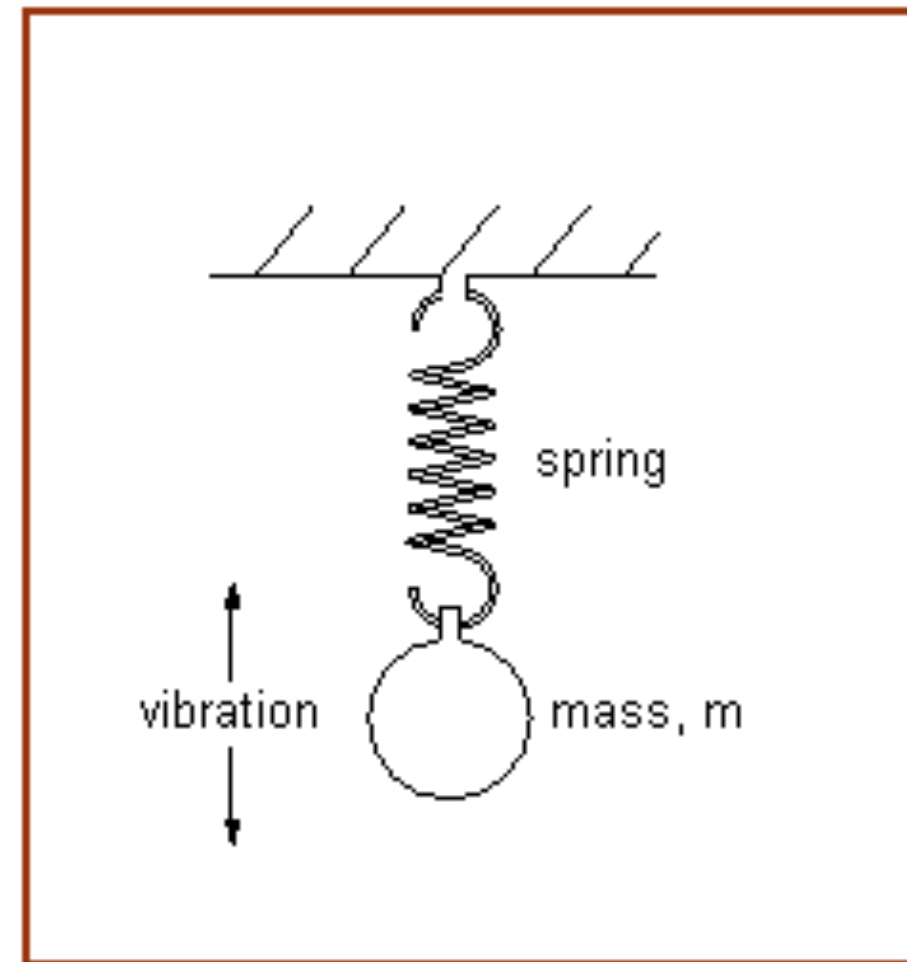
<http://www.thorlabs.com>

<http://www.newport.com>

Stoły antywibracyjne

materiał	zalety	wady
granit	duża bezwładność izolator materiał niemagnetyczny odporność chemiczna (za wyjątkiem kwasu fluorowodorowego) gładkość (po obróbce lepsza niż 1 μ m)	słabe tłumienie drgań duża podatność dla dużych f droga obróbka przy wierceniu otworów montażowych w płycie absorpcja wody prowadząca do deformacji duży ciężar w porównaniu ze stołem typu plastra miodu

Przenoszenie drgań



$$f_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

typowy zakres f drgań podłogi:

drżania poziome (1 – 20) Hz

drżania pionowe (10 – 50) Hz

Teoretyczna transmisja drgań

$$T = \sqrt{\frac{1 + \left(2\zeta \frac{f}{f_n}\right)^2}{\left(1 - \left(\frac{f}{f_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\zeta \frac{f}{f_n}\right)^2}}$$

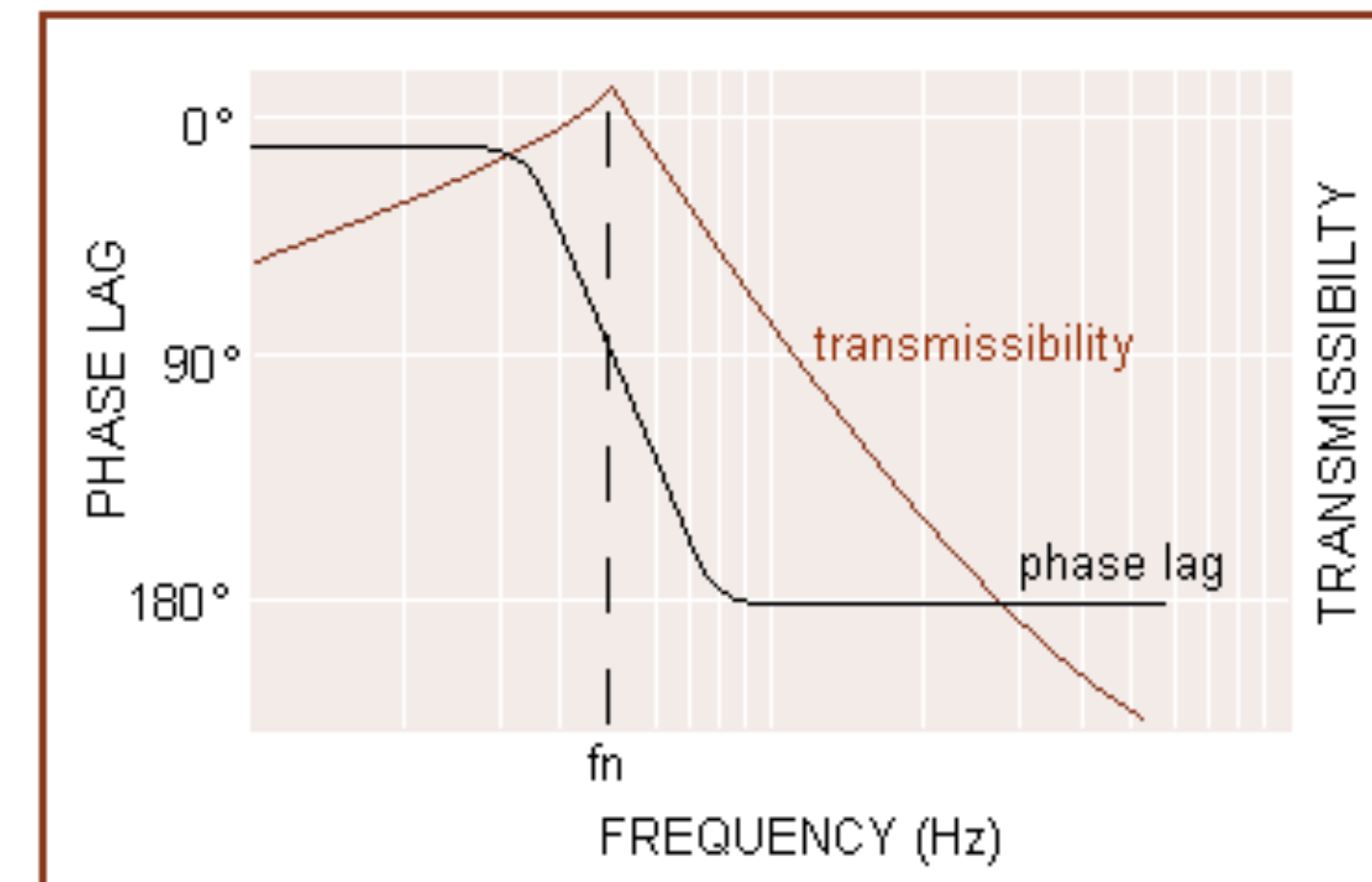
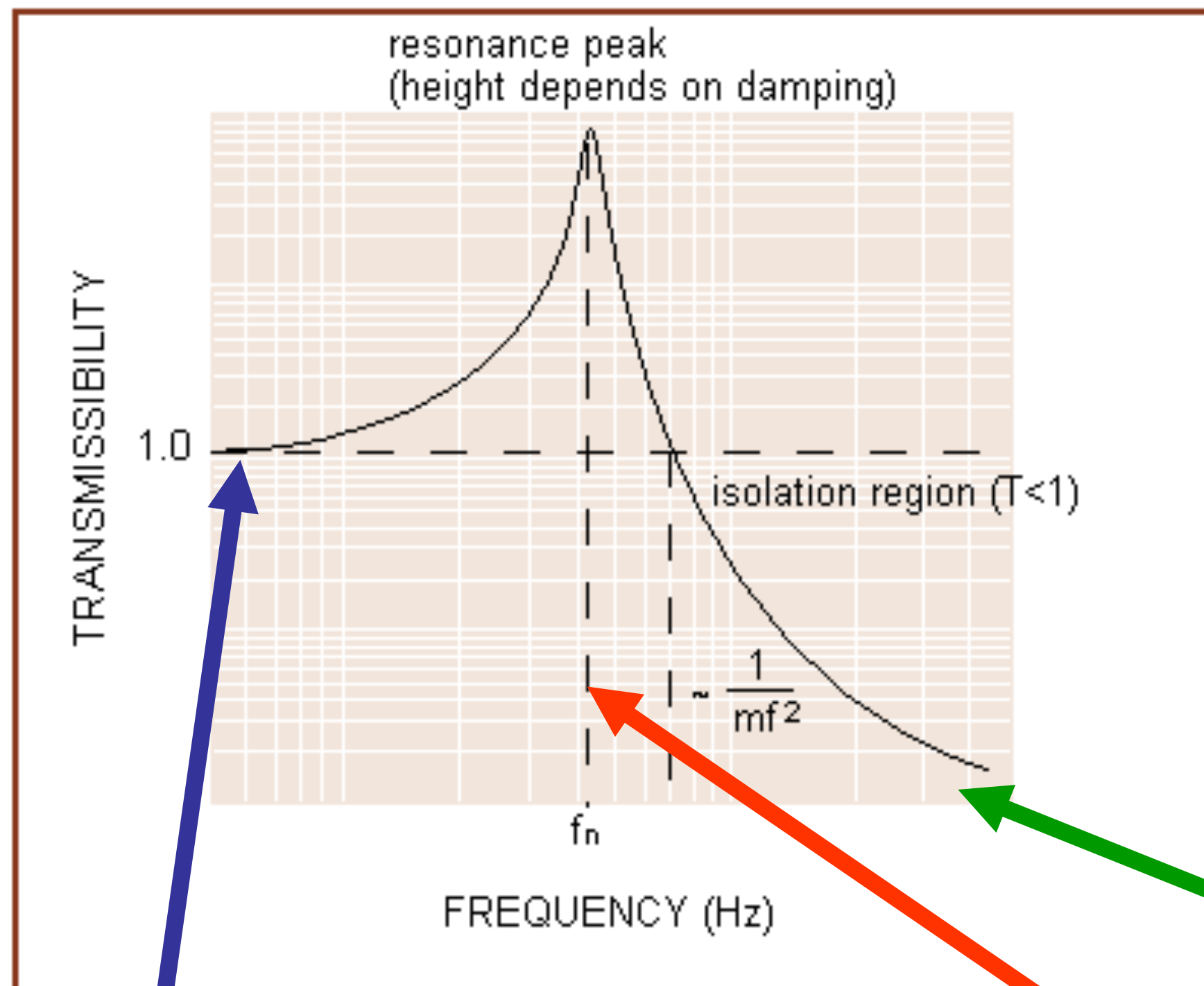
Stopień tłumienia

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

seismic mounting – mocowanie umożliwiające ruch obiektu

całkowicie niezależny od otoczenia (podłogi itd.)

Przenoszenie drgań



Kula porusza się synchronicznie z obiektem o dużej masie (sufitem), do którego jest zamocowana. Kula porusza się tak, jakby sprężyna była sztywna.

Opóźnienie fazy ruchu kuli względem siły wymuszającej, jest równe 90° .
Układ sprężyna/kula porusza się ze swoją częstotliwością własną (rezonansową) f_n .

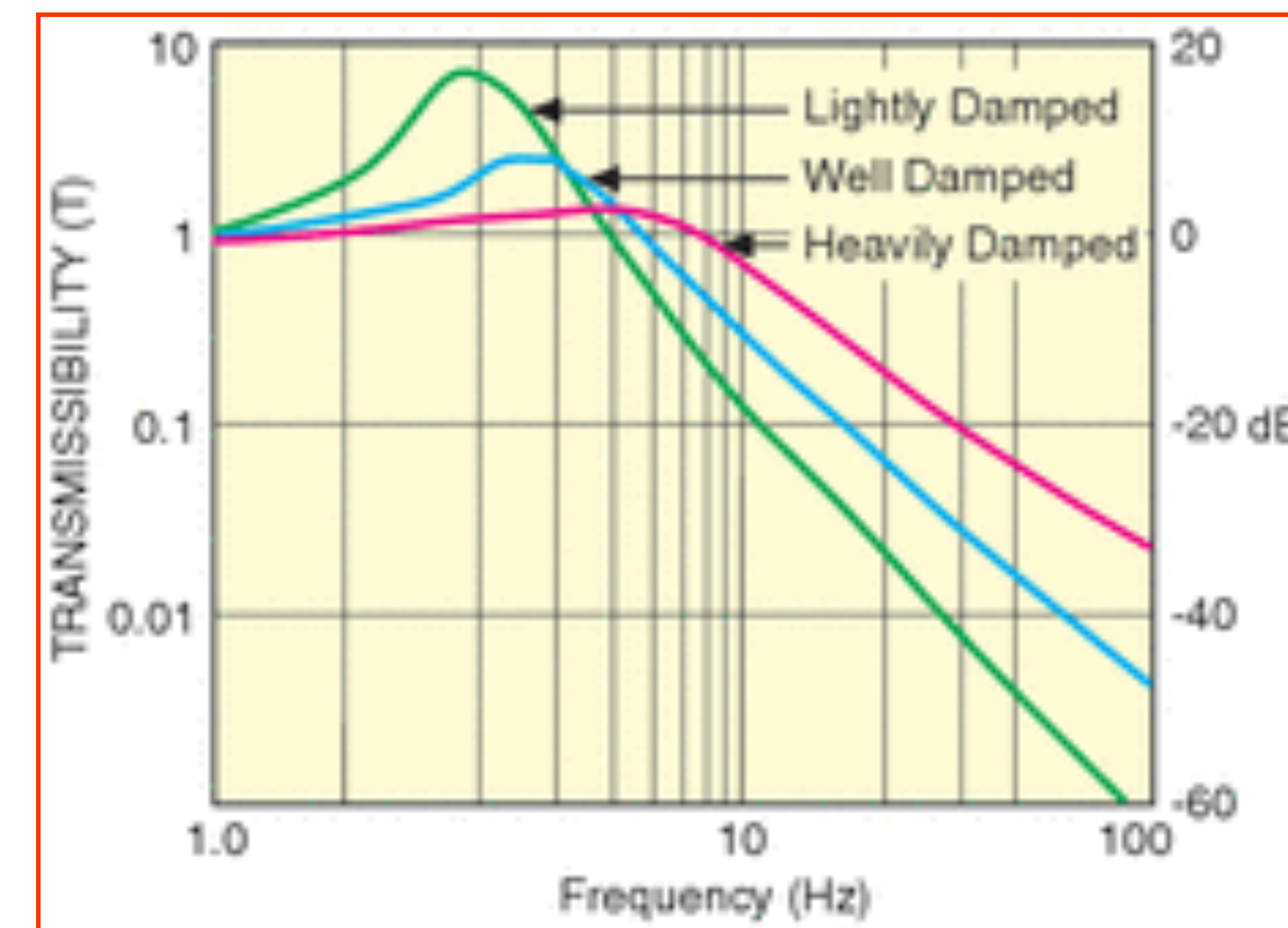
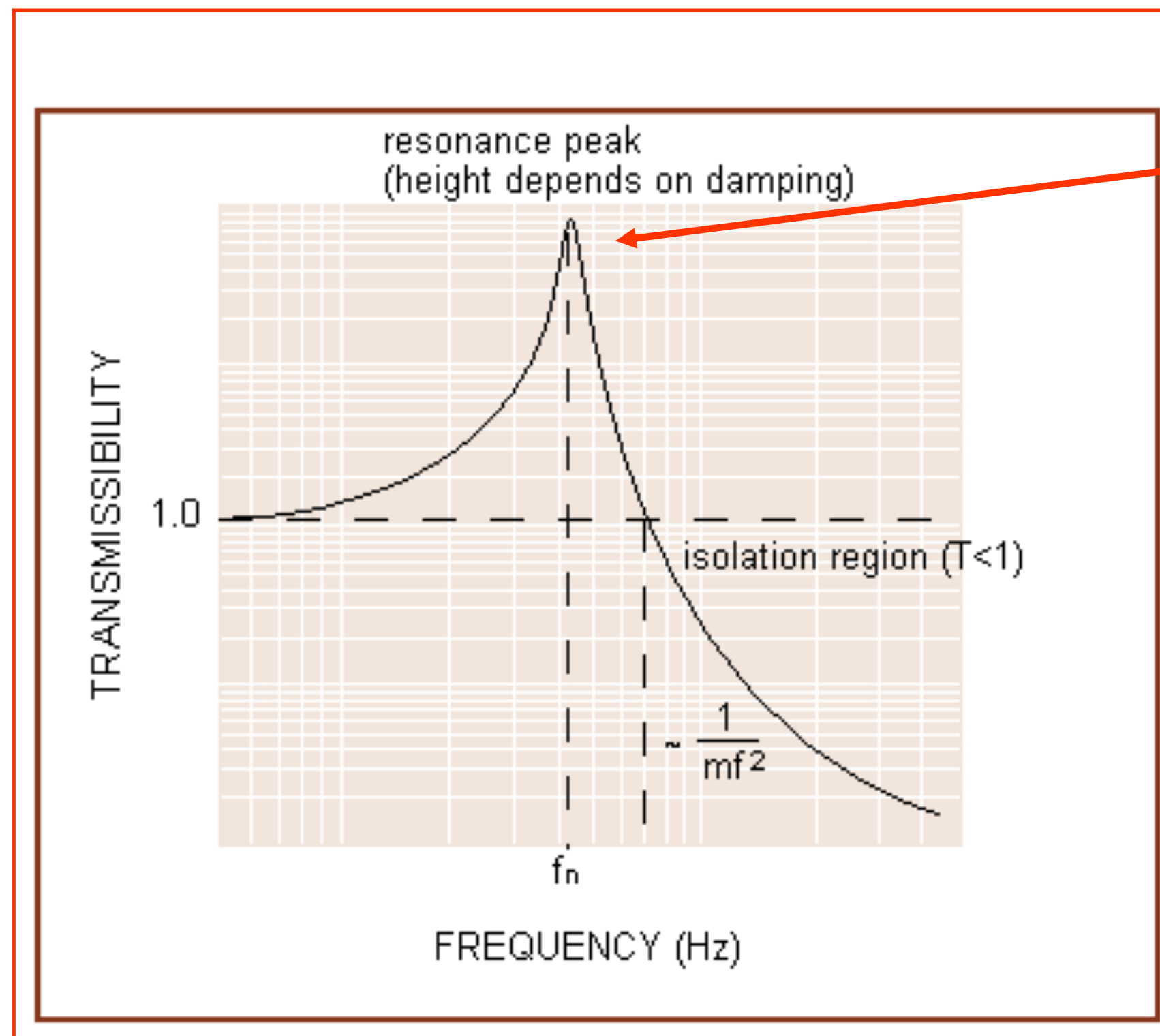
Reakcja kuli silnie zależy od jej masy. Sprężyna zachowuje się tak, jakby była mało sztywna i wymuszające drganie jest przez nią przenoszone powoli. Im większa jest częstotliwość siły wymuszającej (drgania dużej masy), tym transmisja jest mniejsza i położenie kuli przestaje być zaburzone przez drgania dużej masy. Mocowanie kuli—**Seismic Mounting**

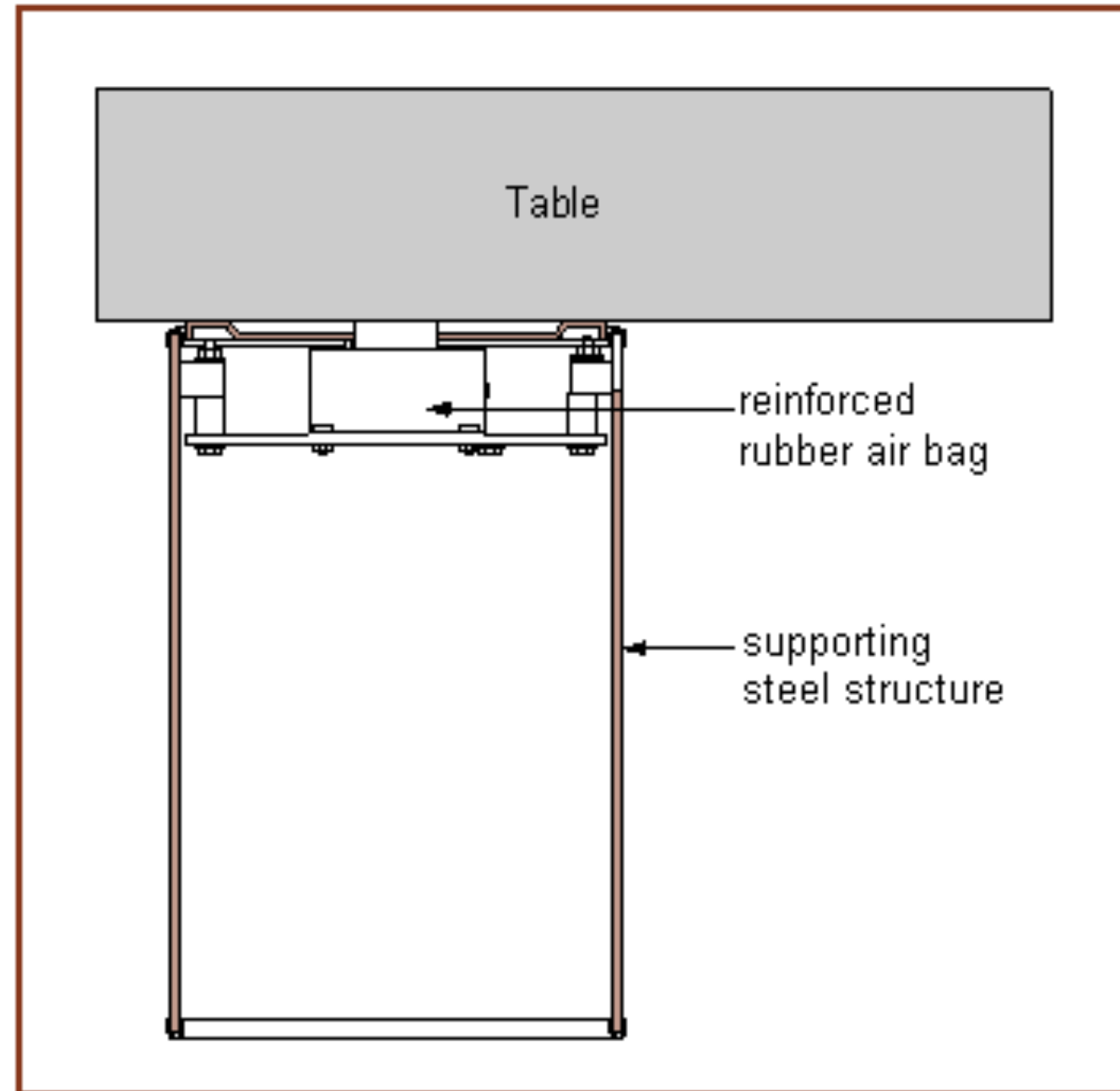
Tłumienie drgań

W warunkach rezonansu: $\frac{f}{f_n} = 1$

wartość T maksimum krzywej rezonansowej zależy wyłącznie od stopnia tłumienia:

$$T = \frac{1}{2\zeta}$$





noga stołu optycznego z poduszką/"sprężyną" powietrzną

częstotliwość rezonansowa izolatora powietrznego

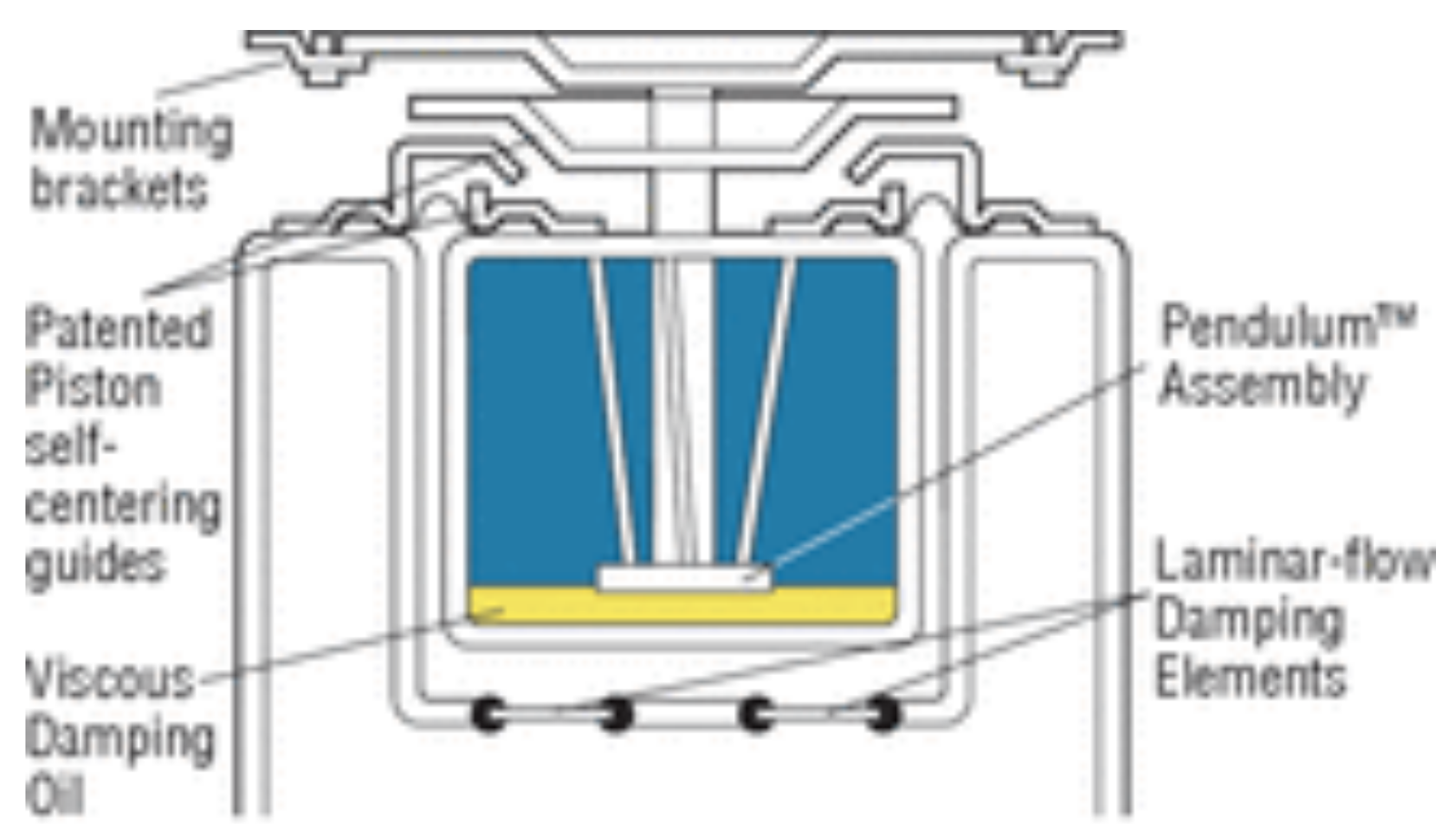
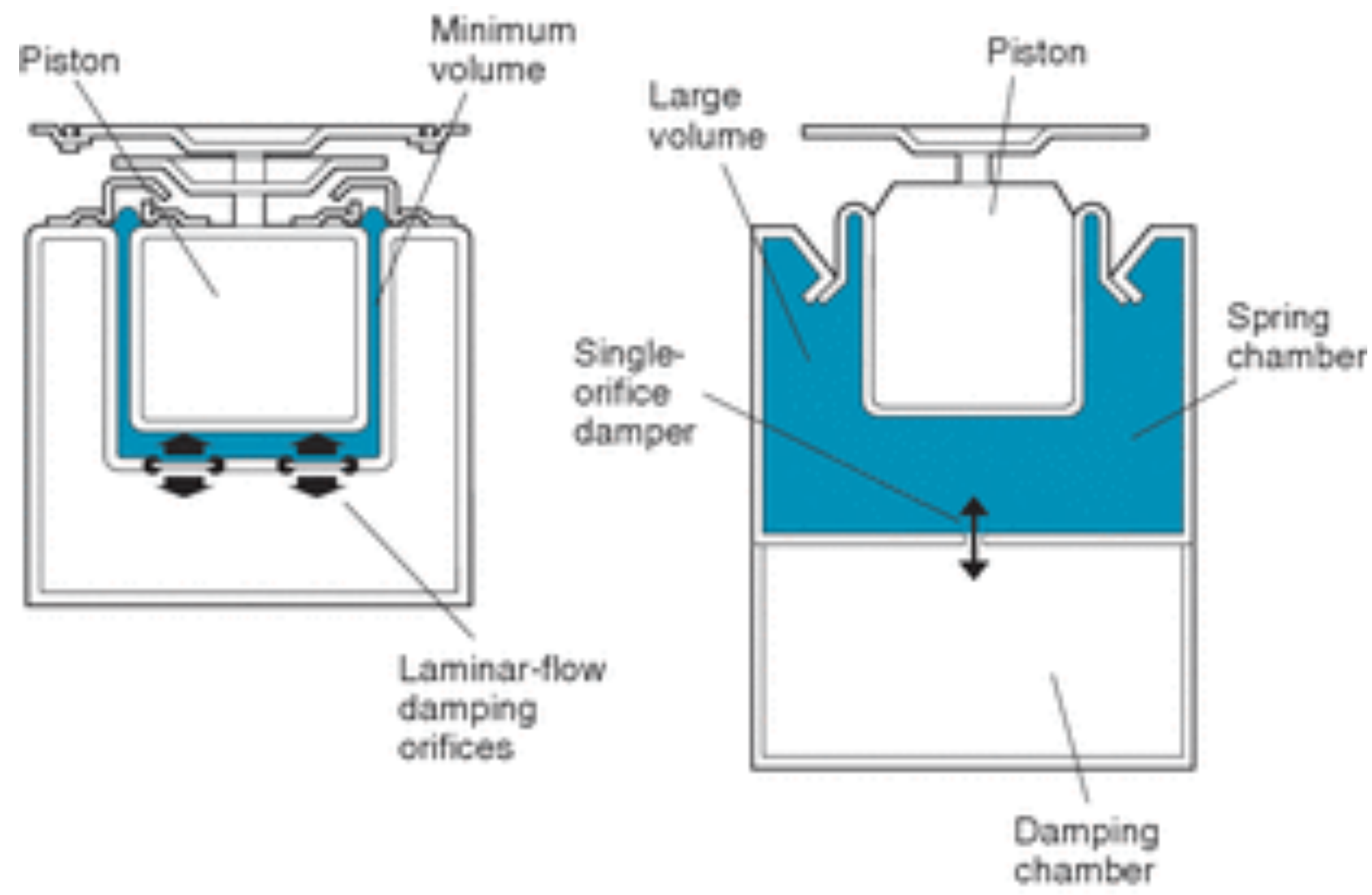
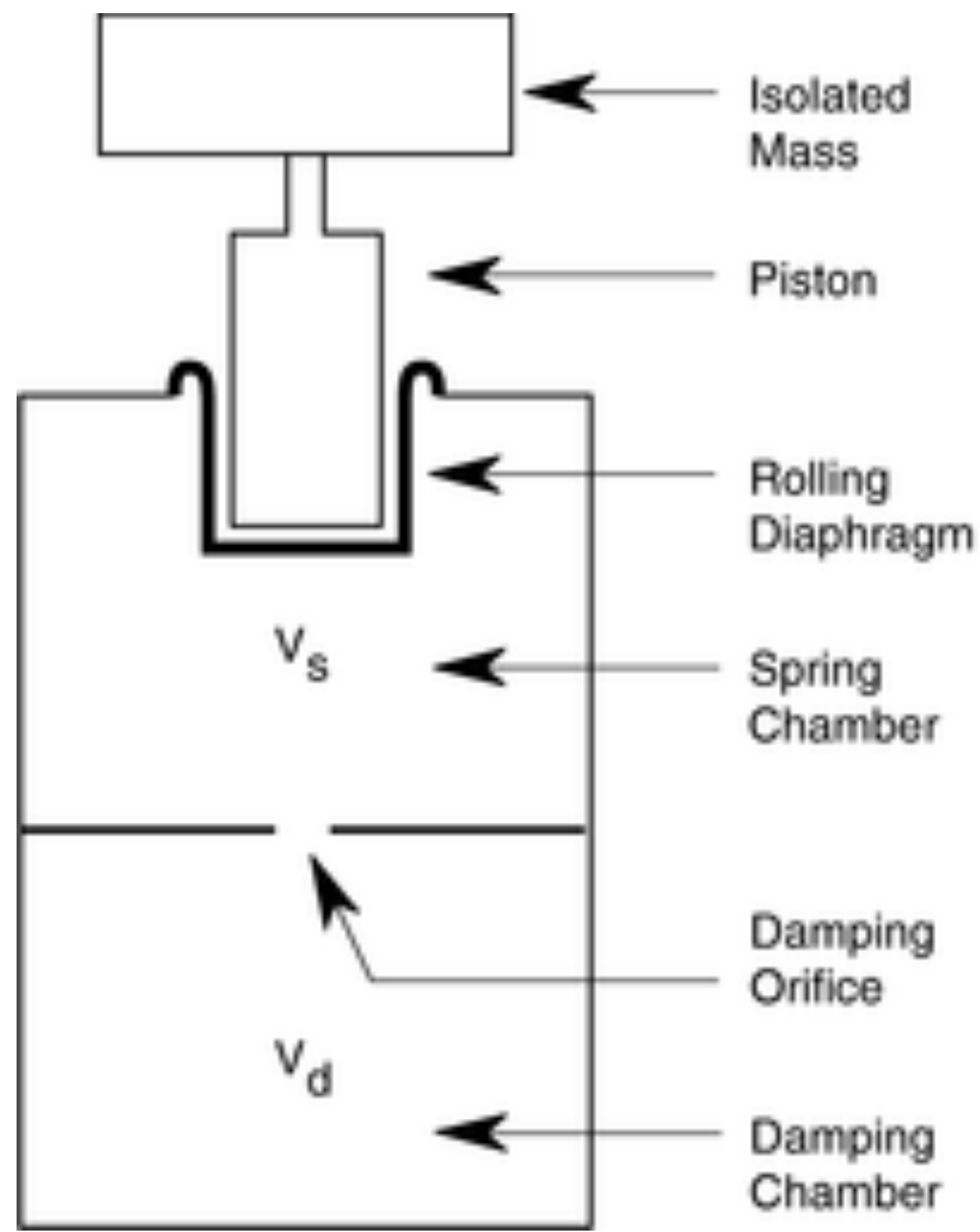
$$f_n = \sqrt{\frac{rAg}{V}}$$

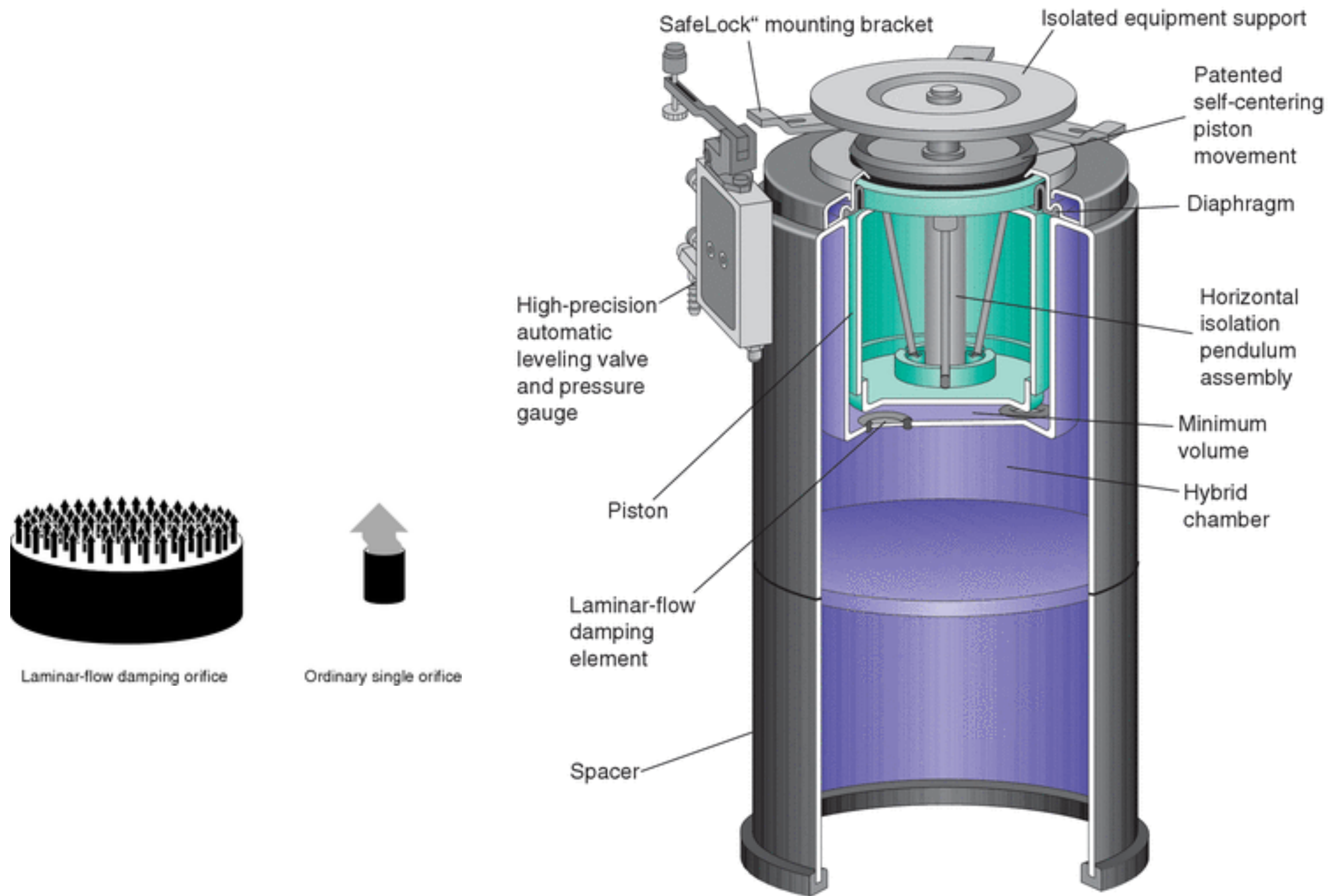
r – współczynnik cieplny gazu
 A – powierzchnia tłoka
 g – przyspieszenie ziemskie
 V – objętość cylindra/poduszki powietrznej

Sztywność „sprężyny powietrznej”,
a przez to częstotliwość rezonansowa dla masy przez nią podpieranej,
zależy od wysokości sprężyny (objętości poduszki),
nie zależy od ciężaru podieranego.

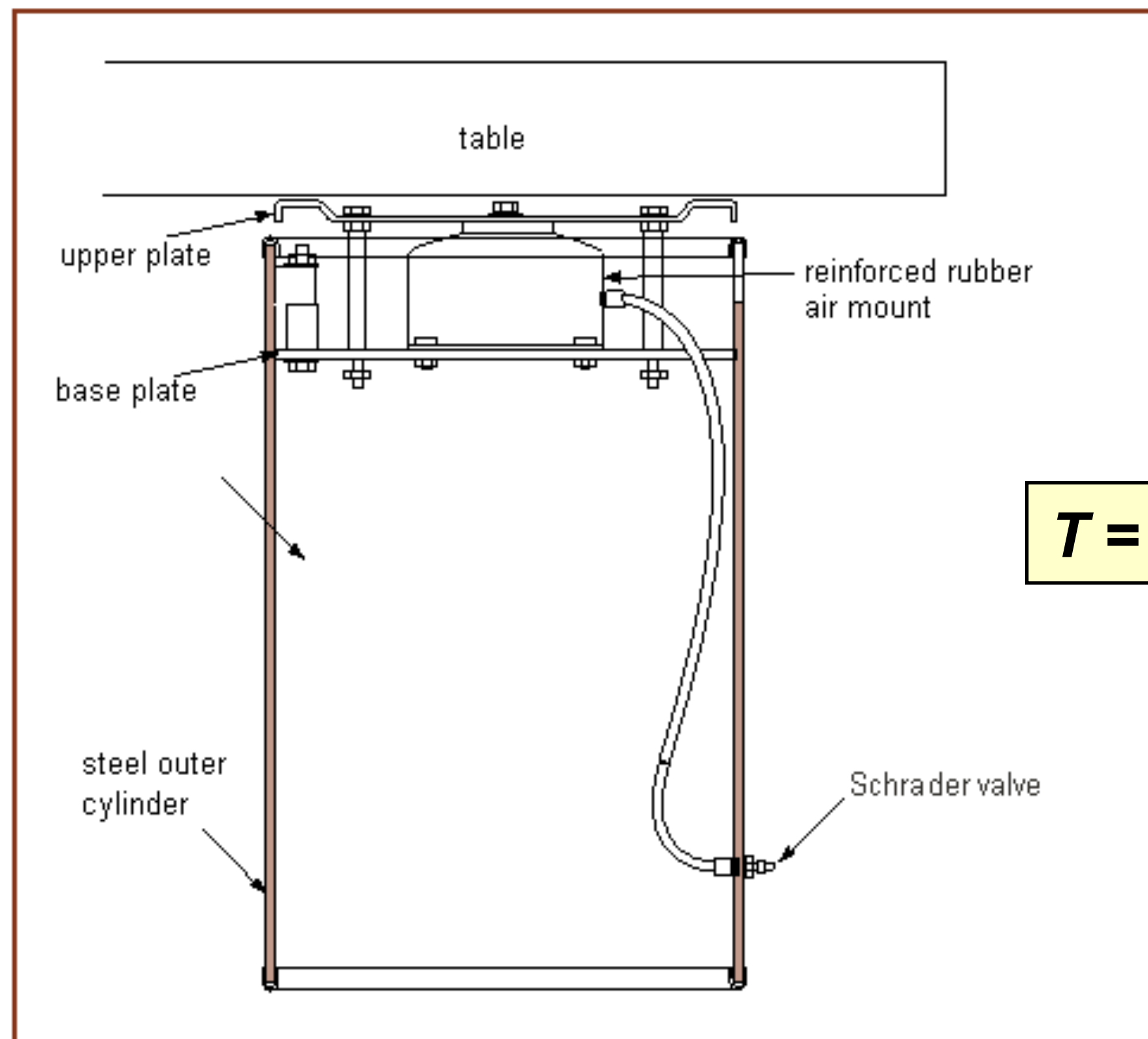
Uwaga: Pik wibracji rezonansowej może być wysoki,
brak mechanizmu tłumiącego drgania poziome płyty stołu (przez co stół może
się kołysać na nogach),
częstotliwość rezonansowa drgań pionowych zależy od rodzaju i kształtu
połączenia płyty z poduszkami powietrznymi nóg stołu (3 Hz - 5 Hz).

noga stołu optycznego
z poduszką "sprężyną" powietrzną





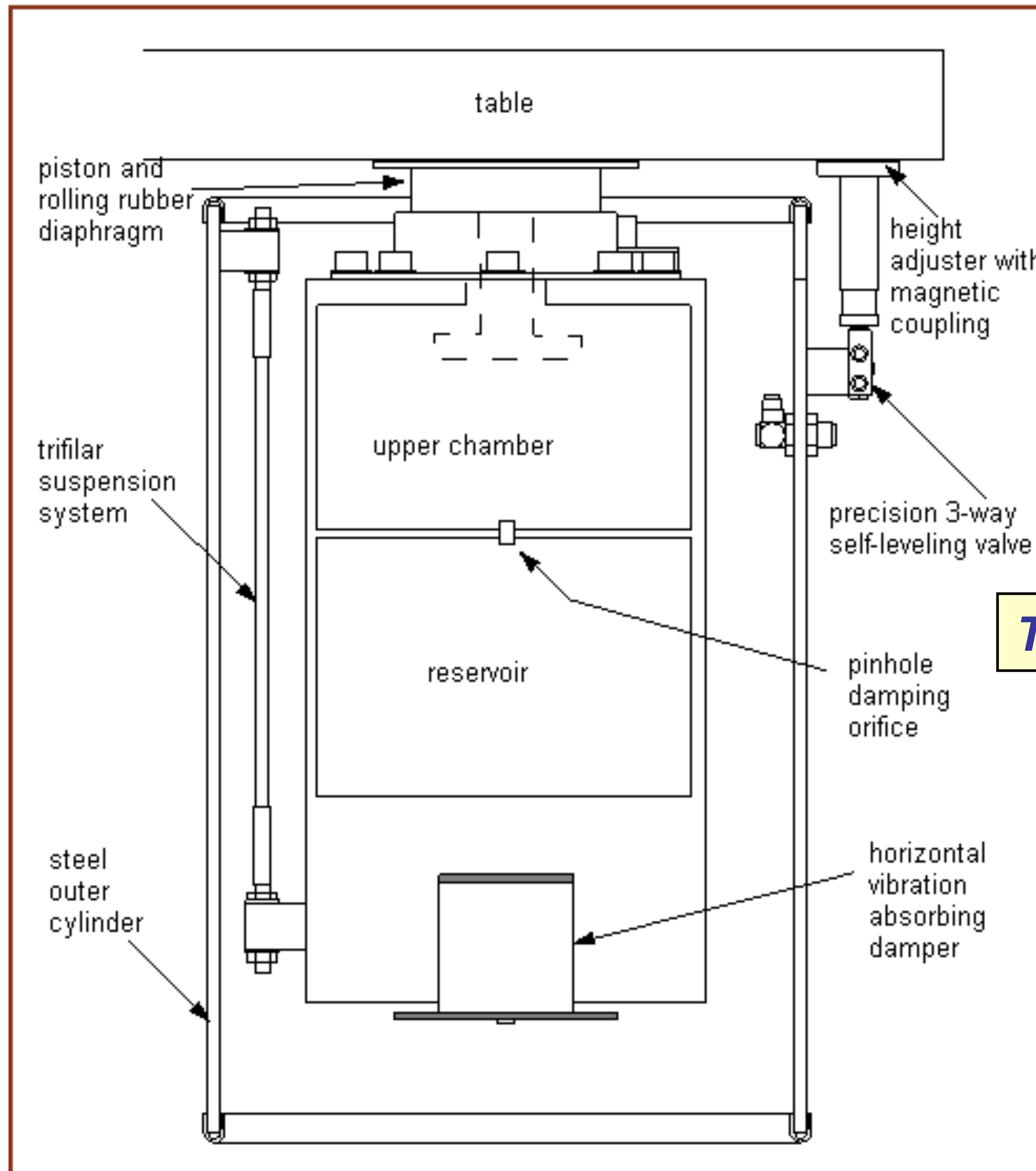
noga stołu optycznego z poduszką/"sprężyną" powietrzną o regulowanym ciśnieniu



$$T = 0,3 \text{ dla } f > 10 \text{ Hz}$$

Poziomowanie stołu możliwe poprzez niezależną regulację ciśnienia w poduszkach poszczególnych nóg stołu.

noga stołu optycznego z aktywnym systemem tłumienia



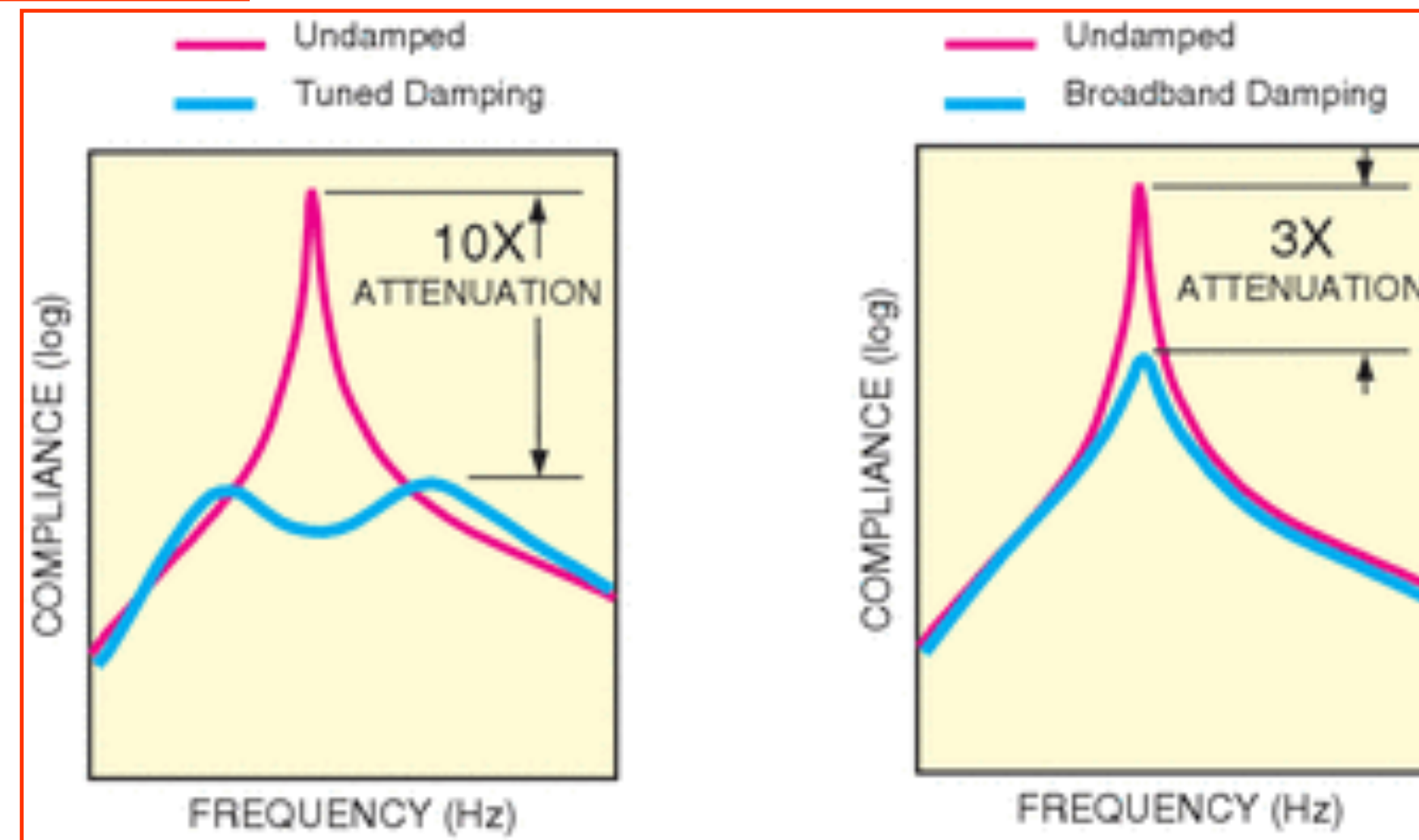
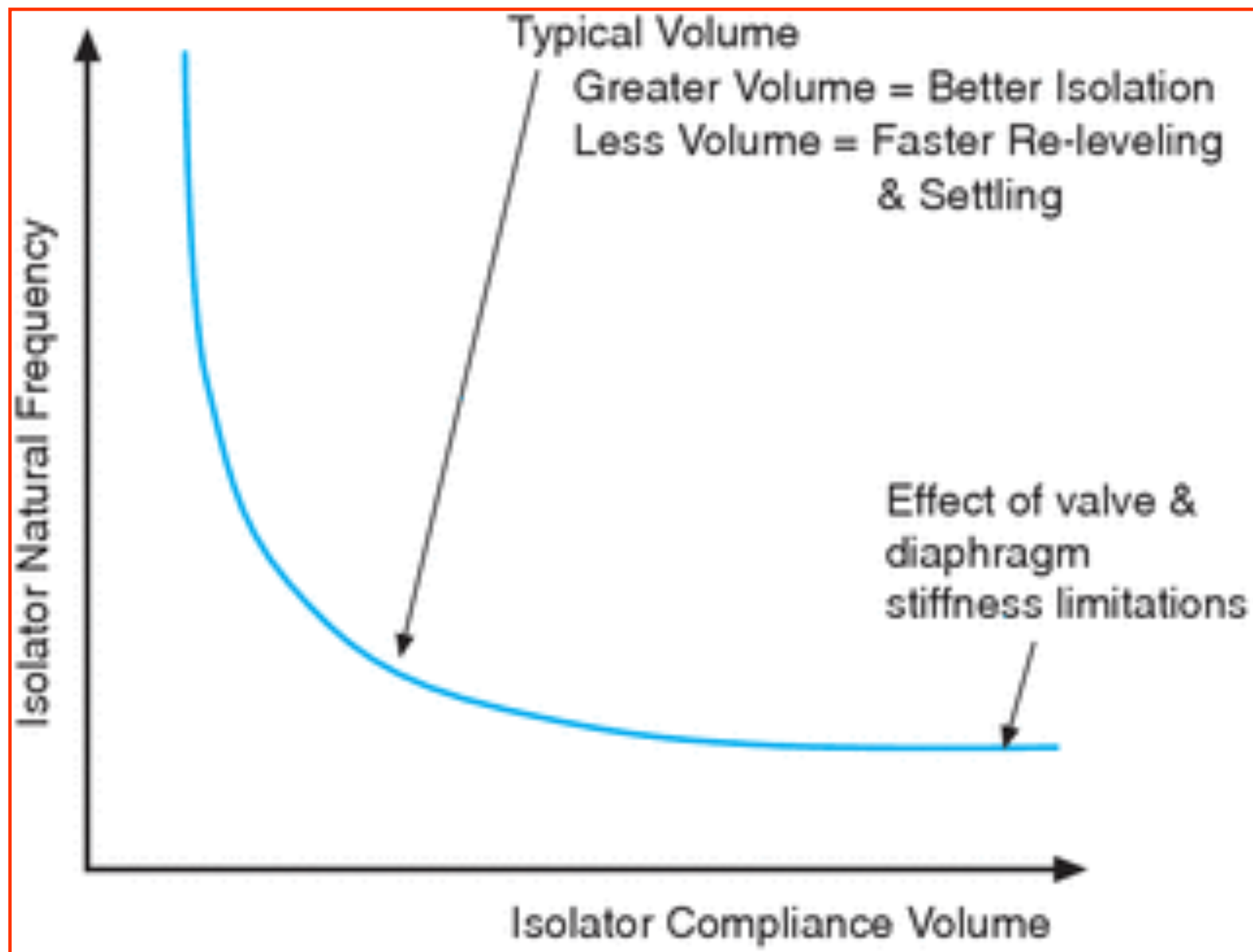
$$f_n = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

drżania poziome – model
wahadła matematycznego
o częstotliwości rezonansowej f_n

$$T = 0,3 \text{ dla } f > 2 \text{ Hz}$$

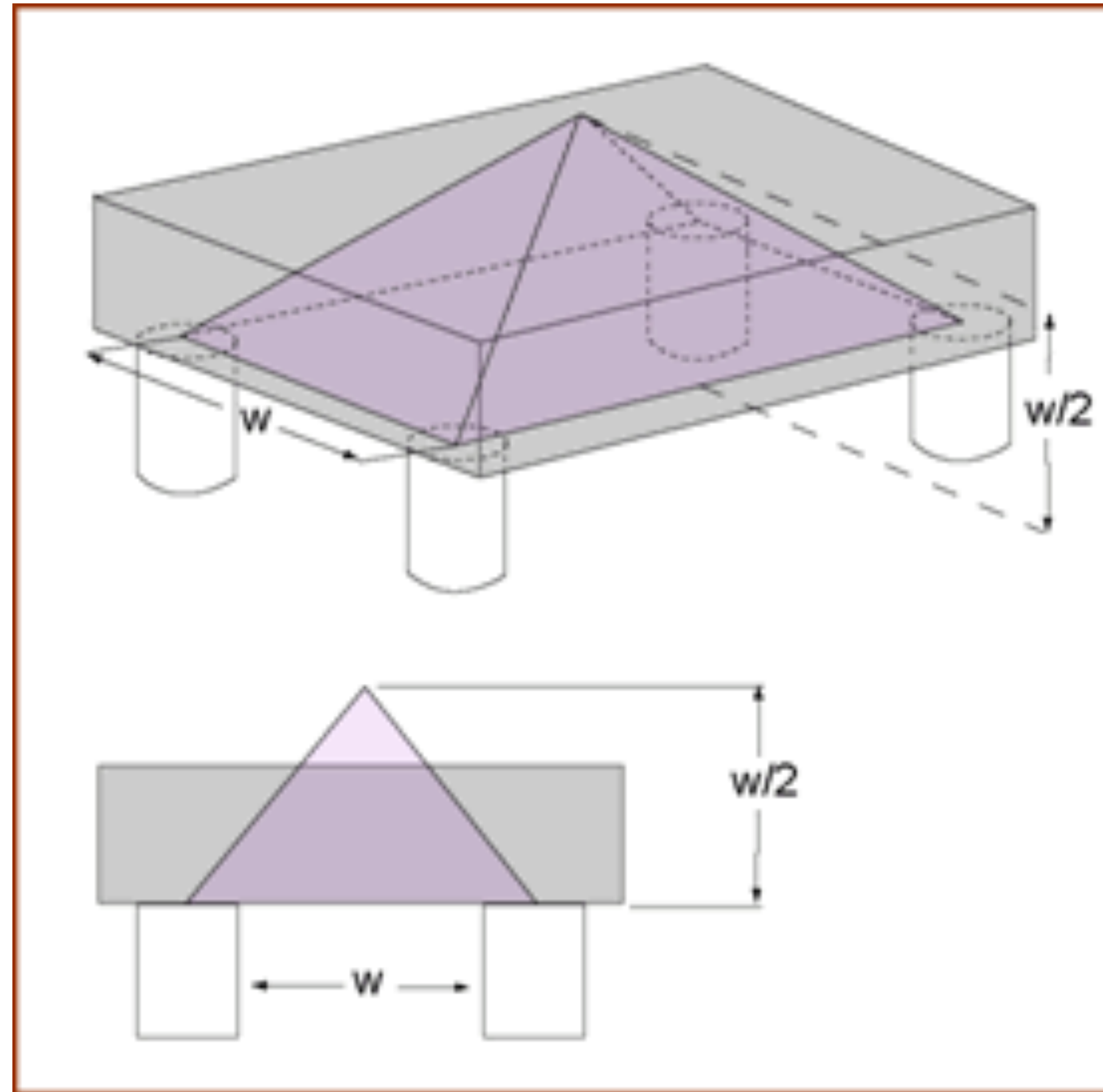
kompensacja zaburzenia,
powrót do pierwotnego poziomu
z dokładnością do $\pm 0,25 \text{ mm}$

możliwość regulacji wysokości
nóg w zakresie $\pm 26 \text{ mm}$,
(np. przy poziomowaniu stołu na
nierównej podłodze)



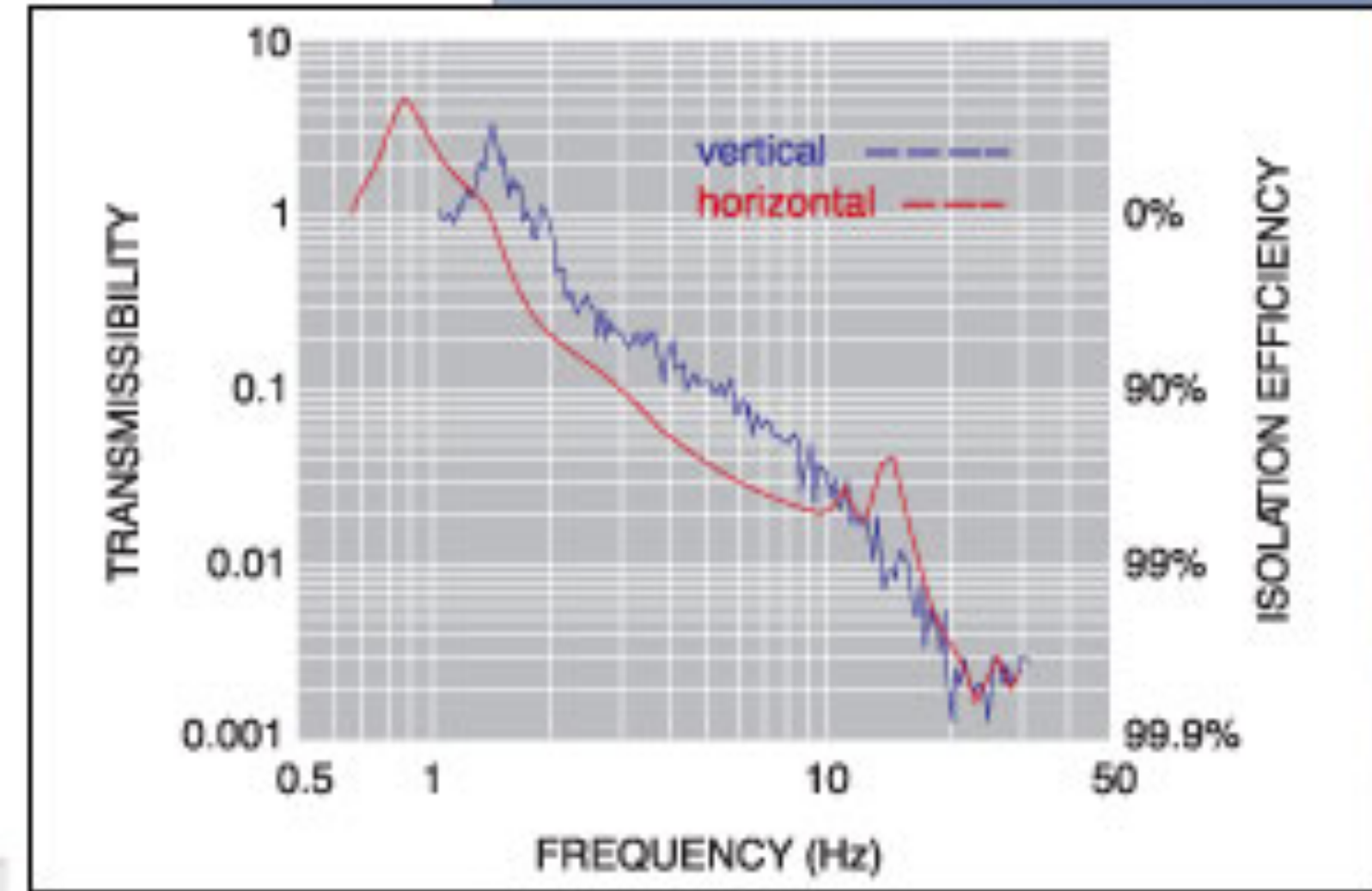
Statyczna stabilność układu

w - najmniejsza odległość
pomiędzy izolatorami drgań



**Środek ciężkości układu:
zestaw urządzeń i elementów umieszczonych na stole + stół
powinien znajdować się wewnątrz „piramidy stabilności”.**

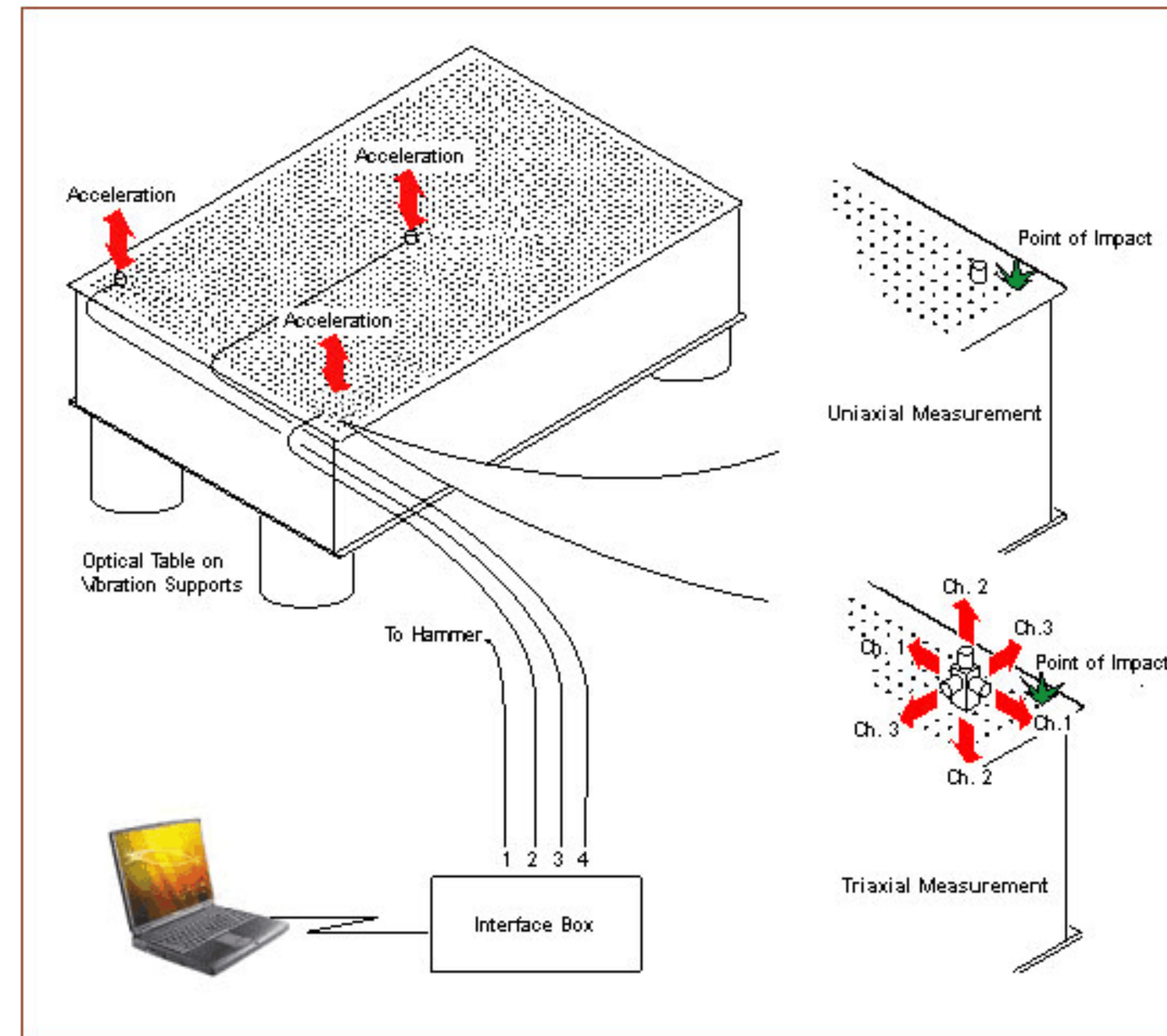
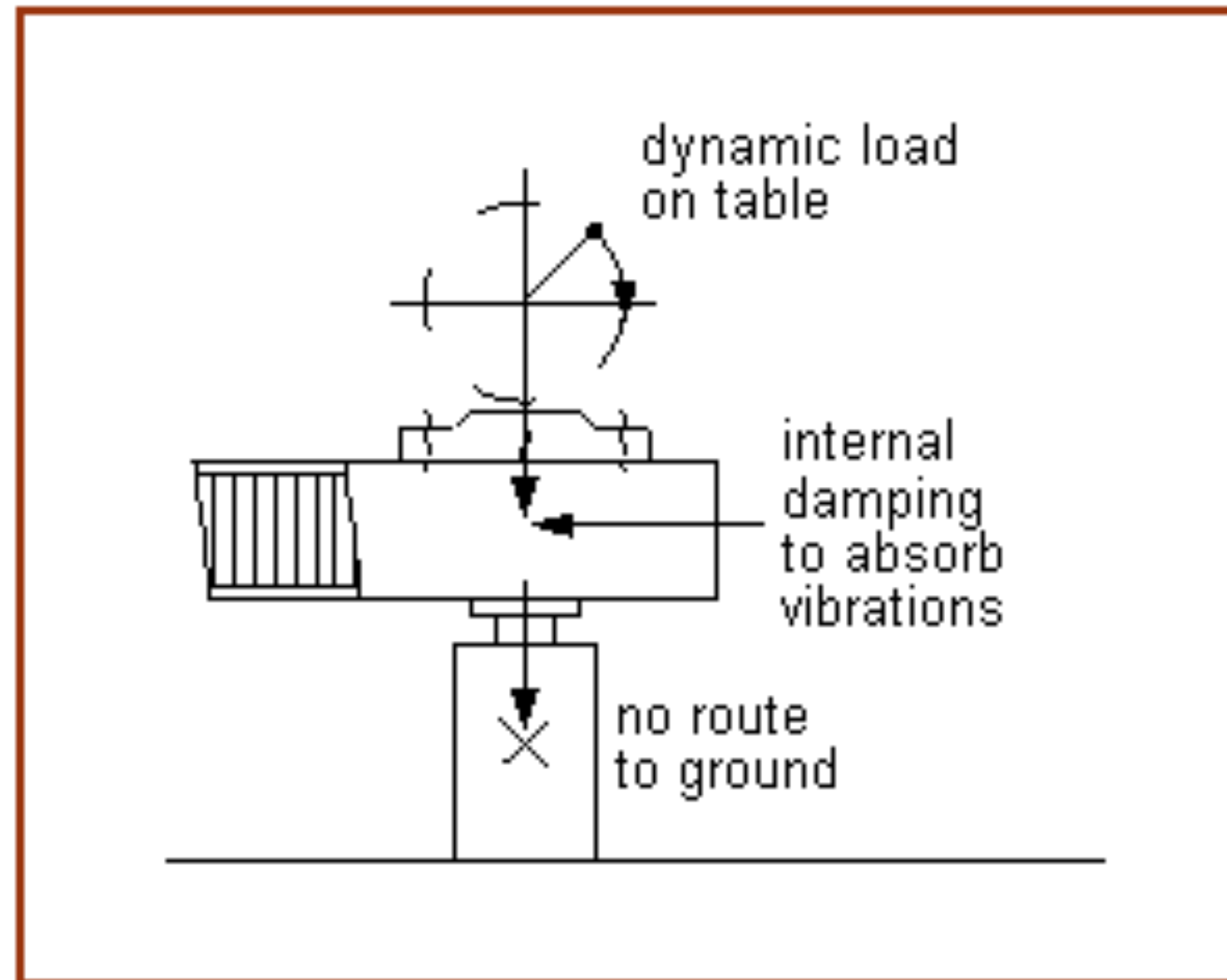
- ▶ Excellent Vertical and Horizontal Isolation
- ▶ Extremely Low Resonant Frequency and Very Fast Settling Time
- ▶ Self-Leveling for Constant Height
- ▶ Heights: 23.6" and 27.5 " (600 mm and 700 mm)

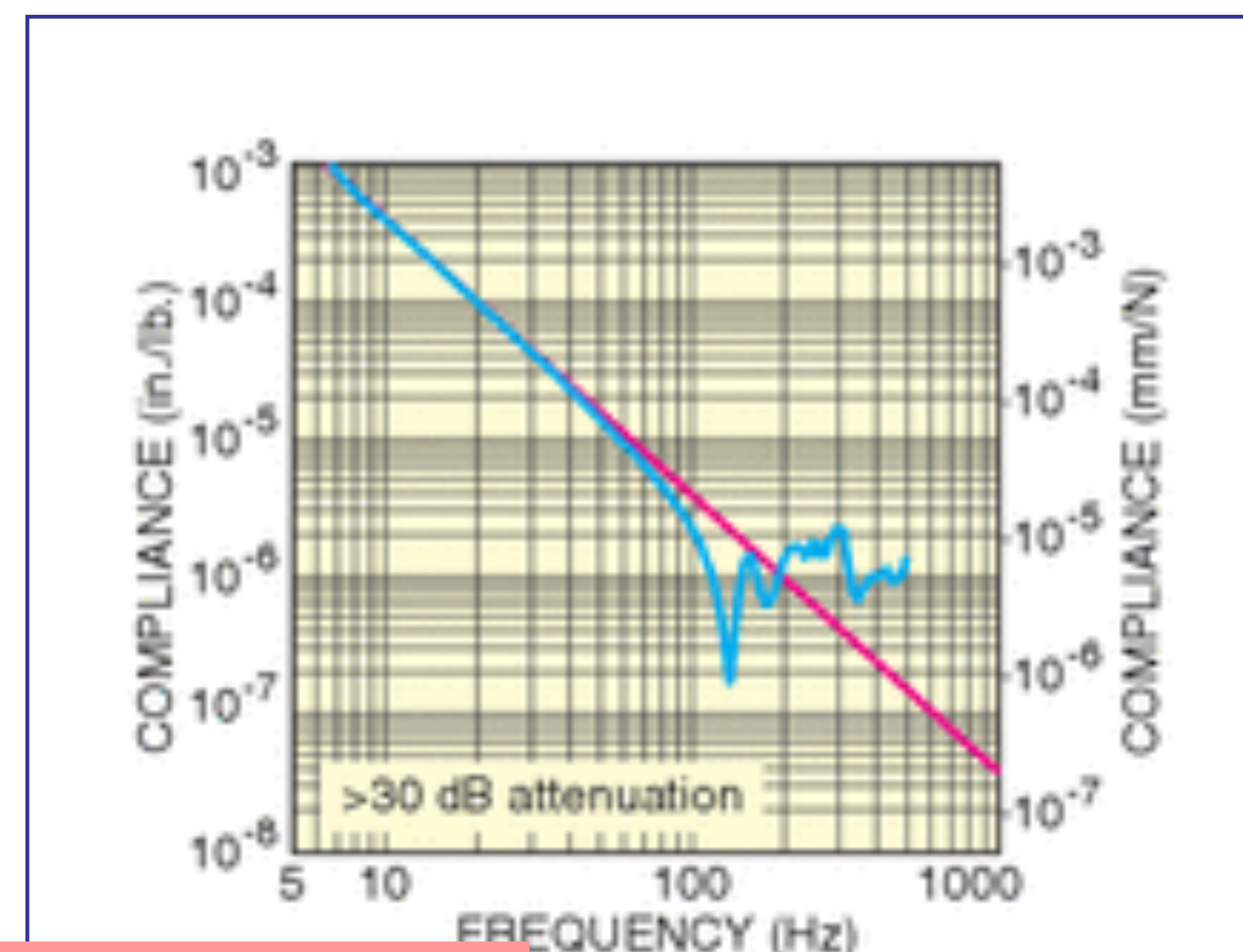
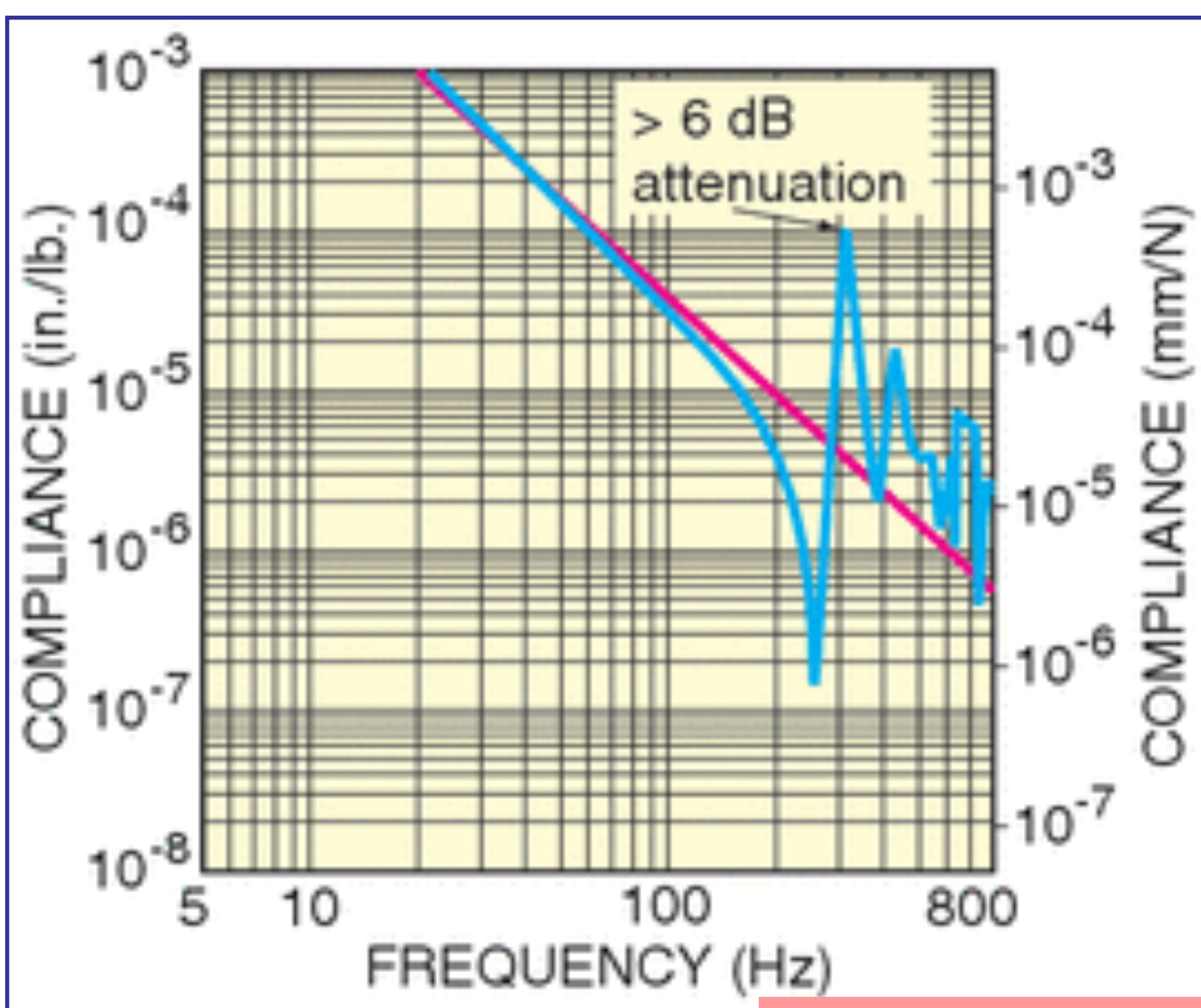
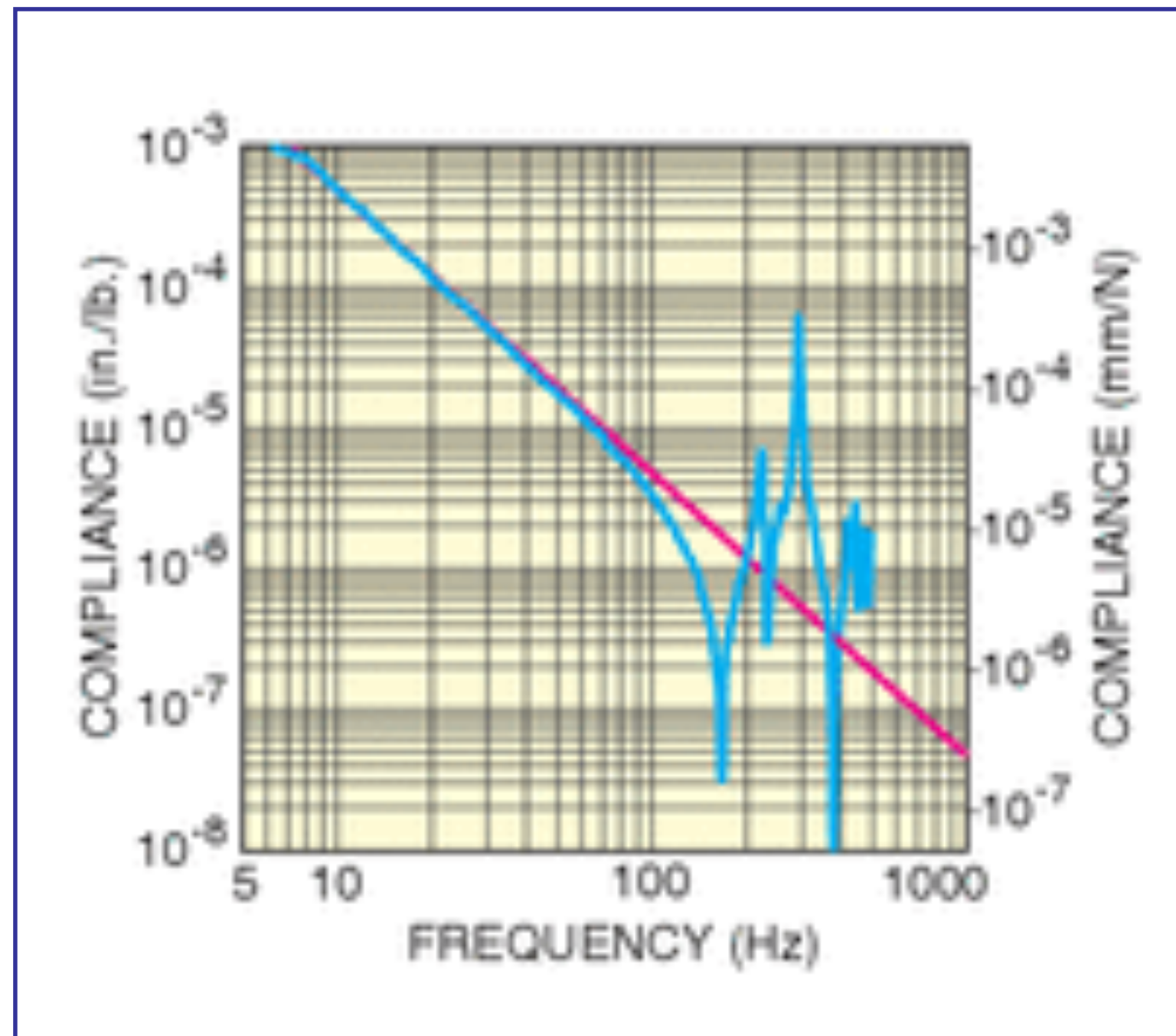
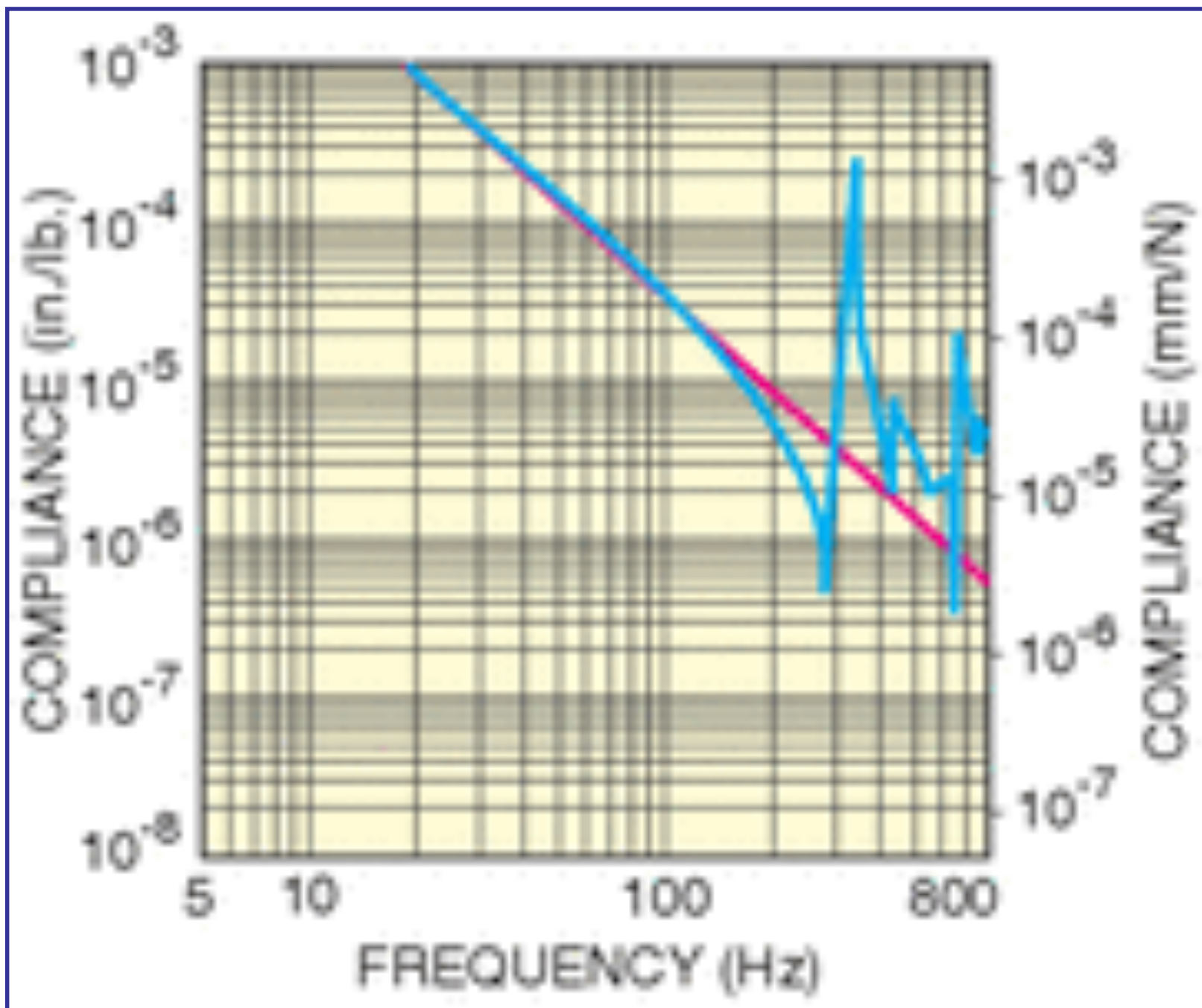


Related Products



Pomiar podatności stołu na przenoszenie drgań





Most Tacoma



2007

1950

Dziękuję za uwagę!

W wykładzie wykorzystano materiały ze stron internetowych:

<http://www.thorlabs.com>, <http://www.mellesgriot.com>,

<http://www.newport.com>