

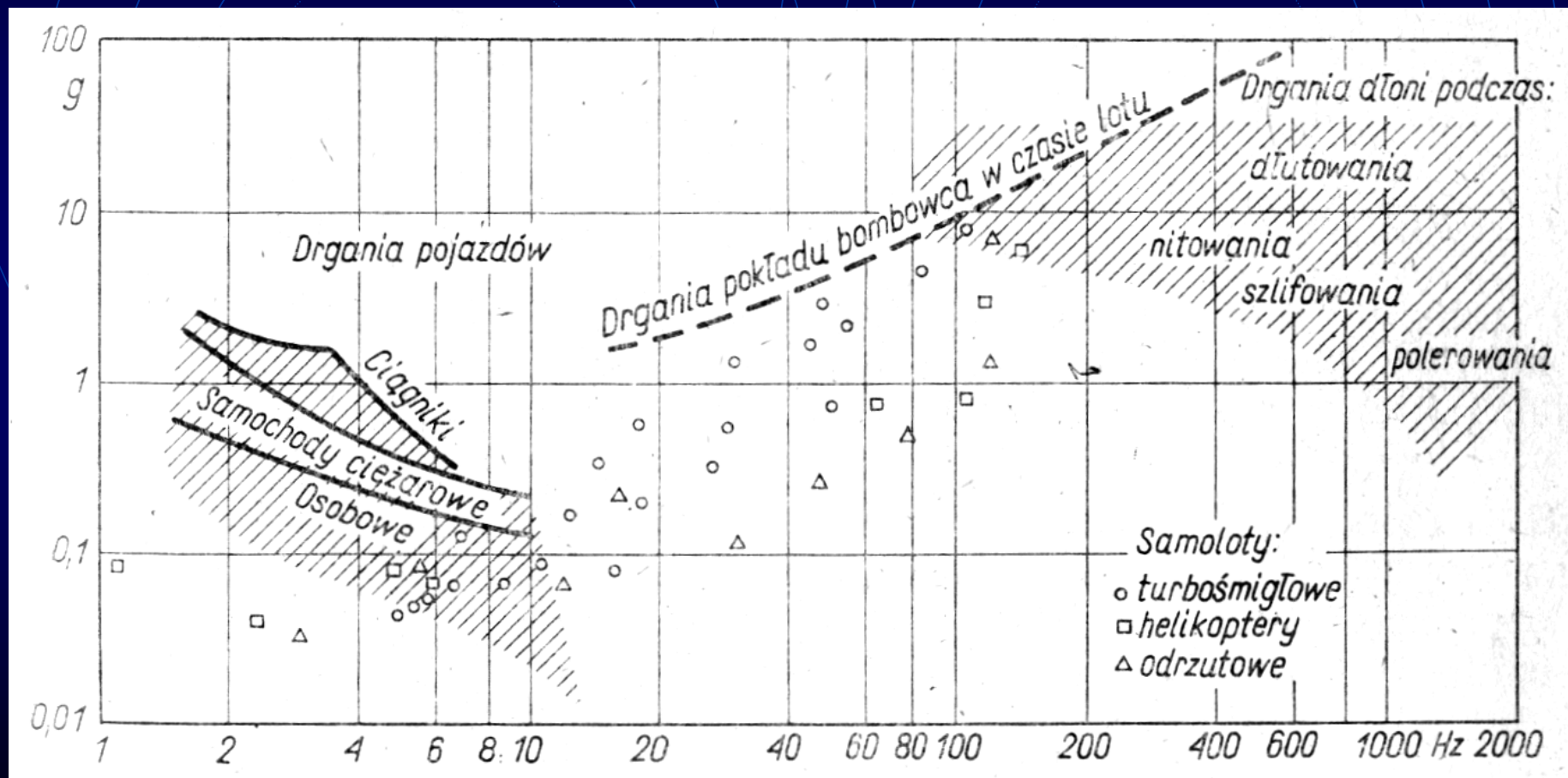
OCHRONA PRZECIWDŹWIĘKOWA

Drgania akustyczne materiałowe
Oddziaływanie drgań na człowieka
Tłumienie drgań - wibroizolacja maszyn i urządzeń

Wprowadzenie

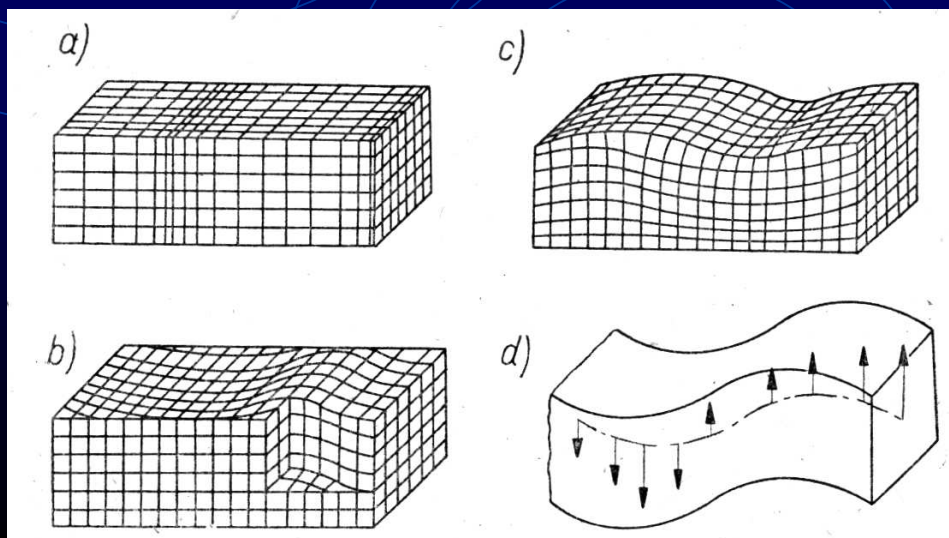
- w życiu codziennym człowiek nieomal bezustannie narażony jest na działanie drgań
 - użytkowanie pojazdów mechanicznych
 - robotnicy korzystający z narzędzi pneumatycznych czy mechanicznych
- istnieją pewne podobieństwa do "typowej" akustyki
- niektóre urządzenia celowo wykorzystują wibracje do realizacji niektórych zadań
- wibracje służą także do oceny stanu technicznego maszyny

Wprowadzenie



Drgania akustyczne materiałowe

- drgania akustyczne występujące w ośrodkach stałych nazywa się drganiami akustycznymi materiałowymi
 - nie tylko fala podłużna, ale także fala poprzeczna, fala powierzchniowa, fala giętna
 - o powstaniu danej fali decyduje długość fali
 - dany ośrodek musi posiadać właściwości sprężyste



Fala powierzchniowa

- fala powierzchniowa rozchodzi się tylko wzdłuż powierzchni danego elementu konstrukcyjnego
- w metalach fala powierzchniowa zanika już na głębokości równej 1.5 długości fali

Fala podłużna

- podłużna fala akustyczne w układzie 1D

$$c_L' = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E -wsp. sprężystości wzdłużnej
 ρ -gęstość

- podłużna fala akustyczna w układzie 2D

$$c_L'' = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{1-\mu^2}}$$

μ - liczba Poissona

- różnice między powyższymi prędkościami: 5-15% w zależności od materiału

Fala poprzeczna

- poprzeczna fala akustyczne

$$c_T = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1+\mu)}}$$

- zależność między falą podłużną a poprzeczną

$$\frac{c_L}{c_T} = 1,62$$

Fala giętna

- fale giętne w elementach takich jak pręt lub płyta powstają w ten sposób, że poszczególne cząstki elementu drgają w kierunku prostopadłym do osi pręta lub powierzchni płyty
- fale dźwiękowe giętne są krótsze niż podłużne
- dla pręta o przekroju prostokątnym i wysokości h :

$$c_B = \sqrt{1,8 \cdot c_L \cdot h \cdot f}$$

Poziom intensywności drgań

- poziom przyspieszenia drgań

$$L_a = 20 \log \frac{a}{a_0} [dB]$$

a -efektywna wartość przyspieszenia
 $a_0 = 10^{-5} \text{m/s}^2$ –wartość odniesienia

- poziom prędkości drgań

$$L_v = 20 \log \frac{v}{v_0} [dB]$$

v -efektywna wartość prędkości
 $v_0 = 10^{-8} \text{m/s}$ –wartość odniesienia

- poziom natężenia drgań

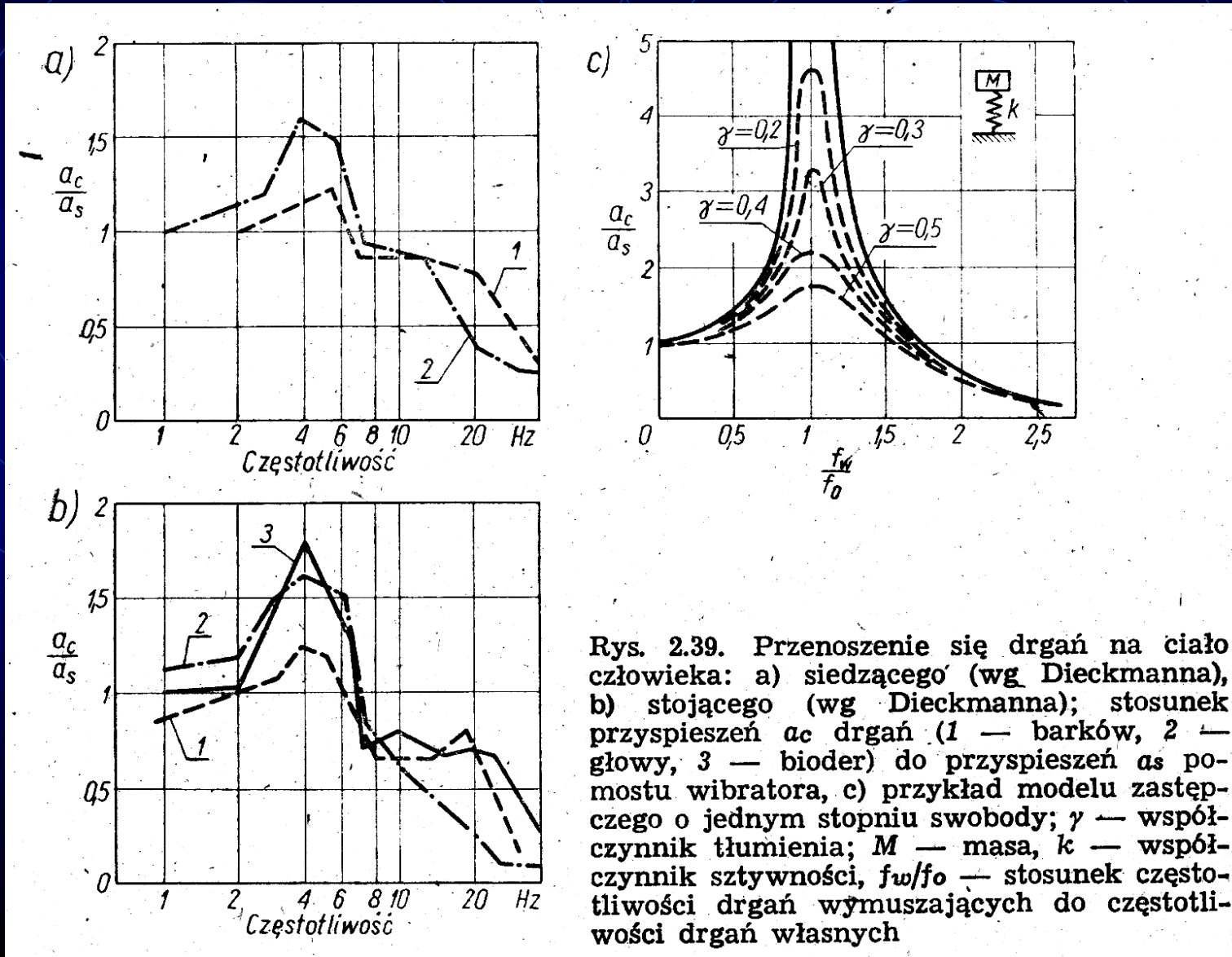
$$L_F = 20 \log \frac{F}{F_0} [dB]$$

F -efektywna wartość siły
 $F_0 = 10^{-6} \text{N}$ –wartość odniesienia

Wibracje

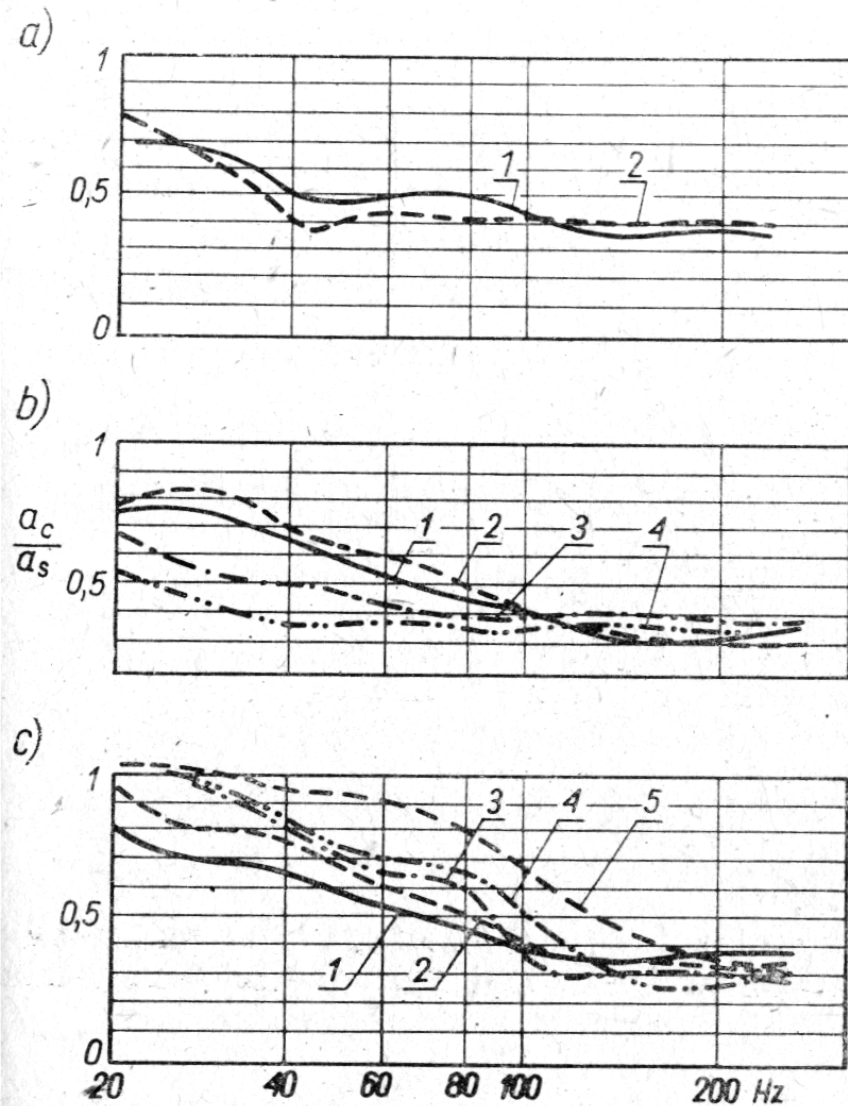
- drgania występujące w zakresie częstotliwości od 0.2Hz do 100Hz, które oddziałują na człowieka przez bezpośredni kontakt drgającego elementu maszyny, narzędzia lub urządzenia z jego ciałem
- ciało człowieka stanowi układ o określonych właściwościach mechanicznych
 - do 2Hz (częstotliwość drgań) ciało zachowuje się jak jednolita masa
 - drgania rezonansowe narządów w jamie brzusznej mogą mieć wartości 3 i 3,5Hz, drgania rezonansowe głowy względem barków –20-30Hz
 - powyżej 150Hz ciało można traktować za ośrodek o jednolitej strukturze

Wibracje



Rys. 2.39. Przenoszenie się drgań na ciało człowieka: a) siedzącego (wg Dieckmanna), b) stojącego (wg Dieckmanna); stosunek przyspieszeń a_c drgań (1 — barków, 2 — głowy, 3 — bioder) do przyspieszeń a_s pomostu wibratora, c) przykład modelu zastępczego o jednym stopniu swobody; γ — współczynnik tłumienia; M — masa, k — współczynnik sztywności, f_w/f_0 — stosunek częstotliwości drgań wymuszających do częstotliwości drgań własnych

Wibracje



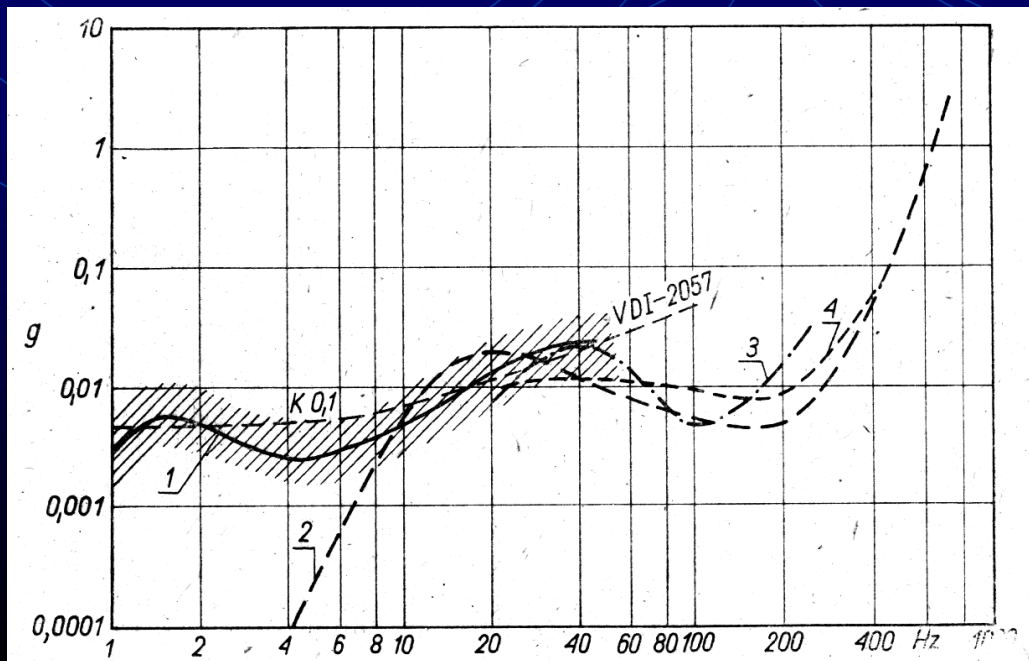
Rys. 2.40. Wyniki badań nad przenoszeniem się drgań na ciało człowieka: a) w pozycji siedzącej — czujnik umieszczony jest na szczycie głowy, ręce spoczywają: 1 — na biodrach, 2 — na kierownicy, b) w pozycji stojącej — czujnik umieszczony jest na szczycie głowy; 1 — ręce spoczywają na biodrach, 2 — ręce są wyciągnięte poziomo, 3 — pozycja na jednej nodze, 4 — pozycja w przysiadzie; c) w pozycji stojącej — czujnik umocowany jest: 1 — na szczycie głowy, 2 — na szyi, 3 — w pasie, 4 — na udzie powyżej stawu kolanowego, 5 — na podudziu powyżej kostki

Granice odczuwania drgań

- intensywność odczuwania drgań mechanicznych przez człowieka zależy od natężenia danego drgania, które określa się w funkcji częstotliwości
- zdolność odróżniania częstotliwości drgań jest gorsza niż drgań akustycznych przez ucho
- obszar odczuwania intensywności drgań zawarty jest między progiem czucia a progiem bólu
- receptory wrażeń wibracyjnych są rozmieszczone (niejednakowo gęsto) na rozległej przestrzeni skóry oraz narządów wewnętrznych

Krzywe progowe czucia drgań

- człowiek wyraźnie odczuwa zmianę charakteru drgań
- odstępstwa od sinusoidalnego przebiegu przyspieszeń interpretowane są jak wzrost częstotliwości



Krzywe progowe czucia drgań dla:

1-ciała stałego, 2- palca (wg Goldmana), 3- palca (wg Lewandowskiego), 4-dłoni na uchwycie narzędzia

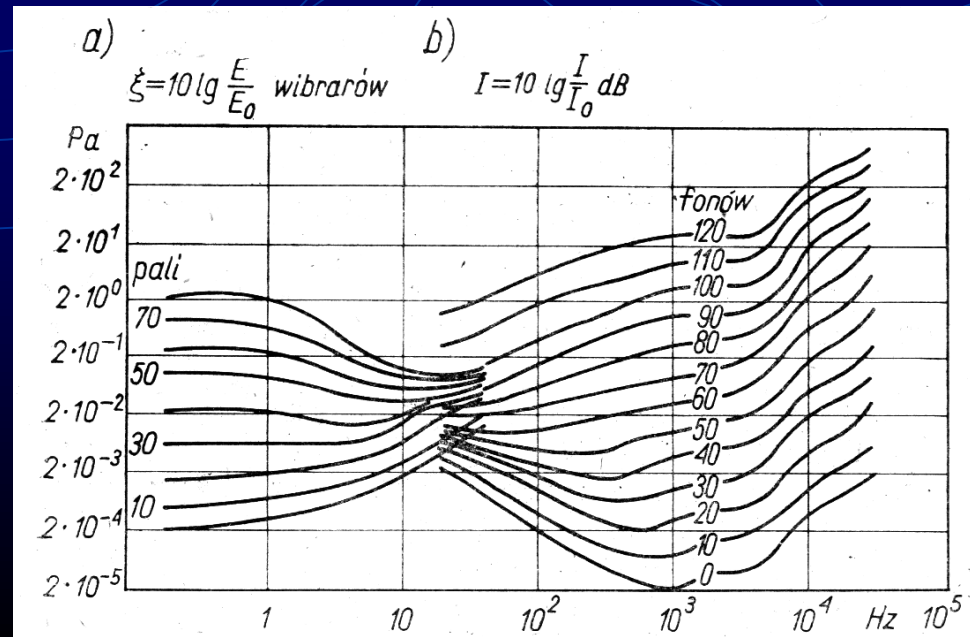
Jednostki intensywności wrażeń zmysłowych

- intensywność odczuwania natężenia (->dB)

$$\zeta = 10 \log \frac{E}{E_0} [\text{wibrarów}]$$

$E_0 = 0.1 \text{ cm}^2/\text{s}^3$ przy $f_0 = 1 \text{ Hz}$

- intensywność wrażenia zmysłowego w *palach* (->fon)

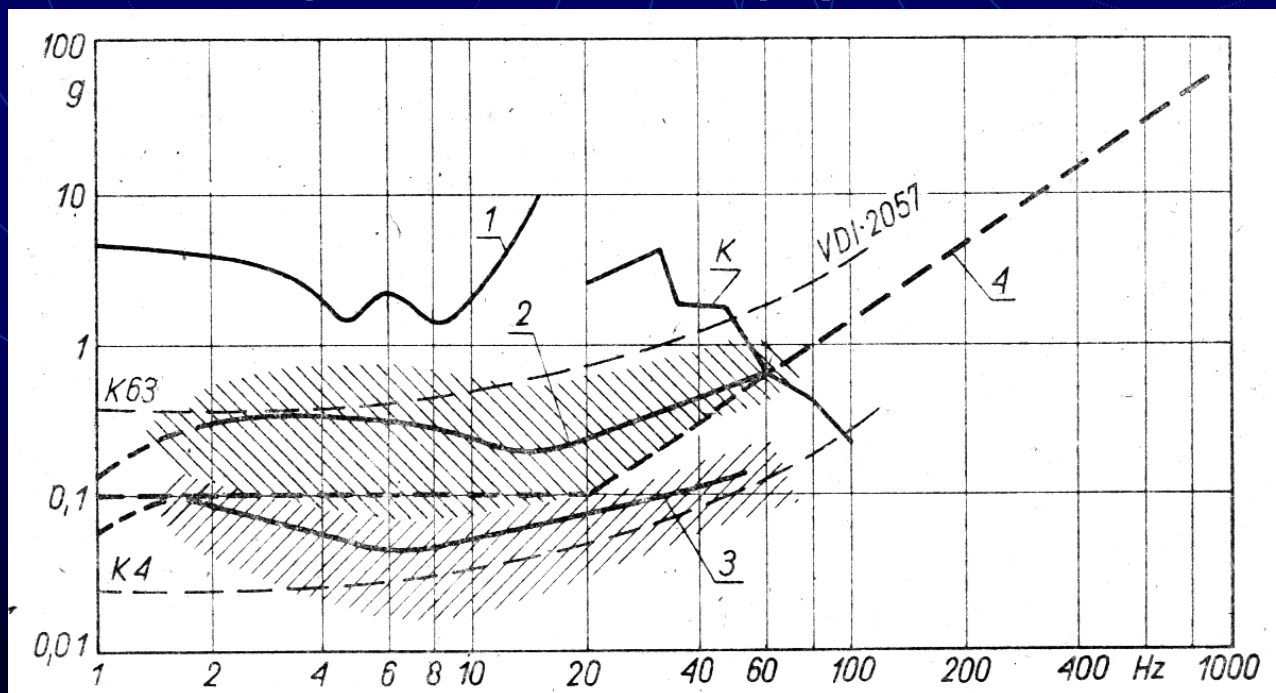


Intensywność wrażeń zmysłowych


zakres intensywność i wrażeń zmysłowych	subiektywna ocena intensywności wrażeń zmysłowych
0-10	drgania odpowiadające progowi czucia
10-20	drgania wyraźnie odczuwalne
20-30	drgania pochodzące od ruchu ulicznego, niedopuszczalne dla ludzi znajdujących się w budynkach
30-40	drgania wywołane przez wolno jadące pojazdy
40-50	drgania pojazdów, przyspieszenia w windach
50-60	silne wstrząsy w pojazdach znoszone przez ludzi bez szkody dla zdrowia tylko w ciągu krótkiego czasu
60-80	uszkodzenia fizyczne, choroba morską przy dużych częstotliwościach, uczucie bólu w momencie dotyku

Próg bólu

- nie istnieje jedna krzywa progowa ze względu na różnorodność warunków (m.in. kierunek, wielkość powierzchni itp.)



1- występowanie niewielkich uszkodzeń przy krótkim czasie działania drgań, 2- granica drgań dopuszczalnych, 3- drgania przykre, 4- krzywa wytrzymałości samolotów wojskowych na drgania



Skutki zdrowotne długotrwałego
narażenia na wibracje.

Ocena szkodliwości drgań

- zmiany naczyniowo-czuciowe (zespół wibracyjny)
 - występują przy drganiach o dużej ilości składowych wysoko-częstotliwościowych
 - podwyższenie progu czucia drgań
 - utrata czucia dotyku
 - częściowy lub całkowity niedowład
 - drżenie rąk
- zmiany w układzie kostno-stawowym
 - występują przy mniejszych częstotliwościach a większych amplitudach (->narzędzia pneumatyczne)
- napięcia w narządach jamy brzusznej
 - występują przy małych częstotliwościach i amplitudach (pojazdy mechaniczne)

Zespół wibracyjny

U osób długotrwale narażonych na drgania mechaniczne pojawiają się różnego rodzaju zmiany chorobowe o nieswoistym charakterze, których zespół zwany jest zespołem wibracyjnym.

Zespół wibracyjny

Najbardziej wrażliwe na drgania są:

- Układ krążenia krwi (naczyniowy)
- Układ nerwowy
- Układ kostno-stawowy

Zespół wibracyjny

Zaburzenia tych układów w skutek choroby wibracyjnej narastają przeważnie wolno, a pełno objawowa postać zespołu wibracyjnego rozwija się po kilku, a nawet po kilkunastu latach narażenia na wibracje. Zaawansowane zmiany chorobowe przeważnie nie ustępują, mimo przerwania kontaktu z drganiem.

Układ krążenia krwi

Zaburzenia w tym układzie objawiają się napadowym blednięciem palców rąk zwane objawem Raynauda, co jest związane z czasowym zatrzymaniem krążenia krwi w palcach w wyniku skurczu obwodowych naczyń krwionośnych. Początkowo bledną jedynie opuszki, lecz z kontynuacją narażenia na wibracje blednięcie rozszerza się także na paliczki.



Układ krążenia krwi – klasyfikacja objawu Raynauda

Stadium	Stopień zaawansowania	Objawy
0	Brak	-Brak napadowego blednięcia
1	Łagodny	-Sporadycznie pojawiające się napady blednięcia w opuszek palców
2	Umiarkowany	-Sporadycznie pojawiające się napady blednięcia paliczka paznokciowego i środkowego palców
3	Ostry	-Częste napady blednięcia wszystkich paliczków
4	Bardzo ostry	-Jak w stopniu 3 z troficznymi zmianami skóry paliczków paznokciowych

Układ krążenia krwi – objaw Raynauda

Od końca lat 70. zaczęto obserwować zmniejszanie się liczby przypadków objawu Raynauda wskutek wprowadzania na szeroką skalę urządzeń z układami antywibracyjnymi, a także z nakazem skrócenia czasu stosowania tych urządzeń.

Układ nerwowy

Zaburzenia tego układu objawiają się odczuwaniem mrowienia i drętwienia zlokalizowanego w palcach i całych kończynach górnych. Długotrwałe narażenie na wibracje może doprowadzić nawet do upośledzenia sprawności ruchowej. Dodatkowo zostaje obniżone czucie dotyku i temperatury.

Układ nerwowy – klasyfikacja zmian neurologicznych

Stadium	Objawy
0	-Brak objawów
1	-Okresowe drętwienia z mrowieniem lub bez mrowienia
2	-Okresowe lub stałe drętwienia, obniżenie percepcji czuciowej
3	-Okresowe lub stałe drętwienia, obniżenie różnicowania dotykem i sprawności manualnej

Klasyfikacja ta powstała w Sztokholmie w 1986r.

Dodatkowo u niektórych pracowników tj. wiertaczy, pilarzy mogą pojawić się zmiany neurologiczne w postaci zespołu cieśni nadgarstka związane z uciskiem nerwu pośrodkowego przechodzącego przez anatomiczny kanał nadgarstka.

Układ stawowo - kostny

Zaburzeniom tego układu ulegają osoby narażone na wibracje o niskich częstotliwościach (poniżej 50Hz).

Typowe objawy to zaburzenia typu martwic i torbieli zlokalizowanych w dłoniach i nadgarstkach. Zwrodnienie gośćca, a także skostnienia i zwapnienia przyczepów ścięgien mięśni, głównie w łokciach.

Układ stawowo - kostny

Dolegliwości w postaci bólu, obrzęku i sztywności ze strony stawu łokciowego oraz kości i stawów nadgarstka mogą być potwierdzone badaniami zmian radiologicznych kości i stawów. W niektórych państwach, jak Francja, Niemcy i Włochy zmiany kostno-stawowe pochodzące od drgań mechanicznych są uznane za chorobę zawodową i odpowiednio rekompensowane.

Zaburzenia w innych układach

Oprócz zaburzeń w wcześniej wymienionych układach wyniki badań wskazują, że osobą narażonym na długotrwałe wibracje pogarsza się w znacznym stopniu słuch, wskutek wzmożonego napięcia w naczyniach krwionośnych ucha wewnętrznego w wyniku narażenia na wibracje.

Inne zaburzenia

- Kolejnymi zaburzeniami u osób poddanych długotrwałemu narażeniu na wibracje są: uczucie ciągłego zmęczenia, bóle głowy, zaburzenia snu, rozdrażnienie, impotencja i zaburzenia elektroencefalograficzne.

Polska klasyfikacja zespołu wibracyjnego

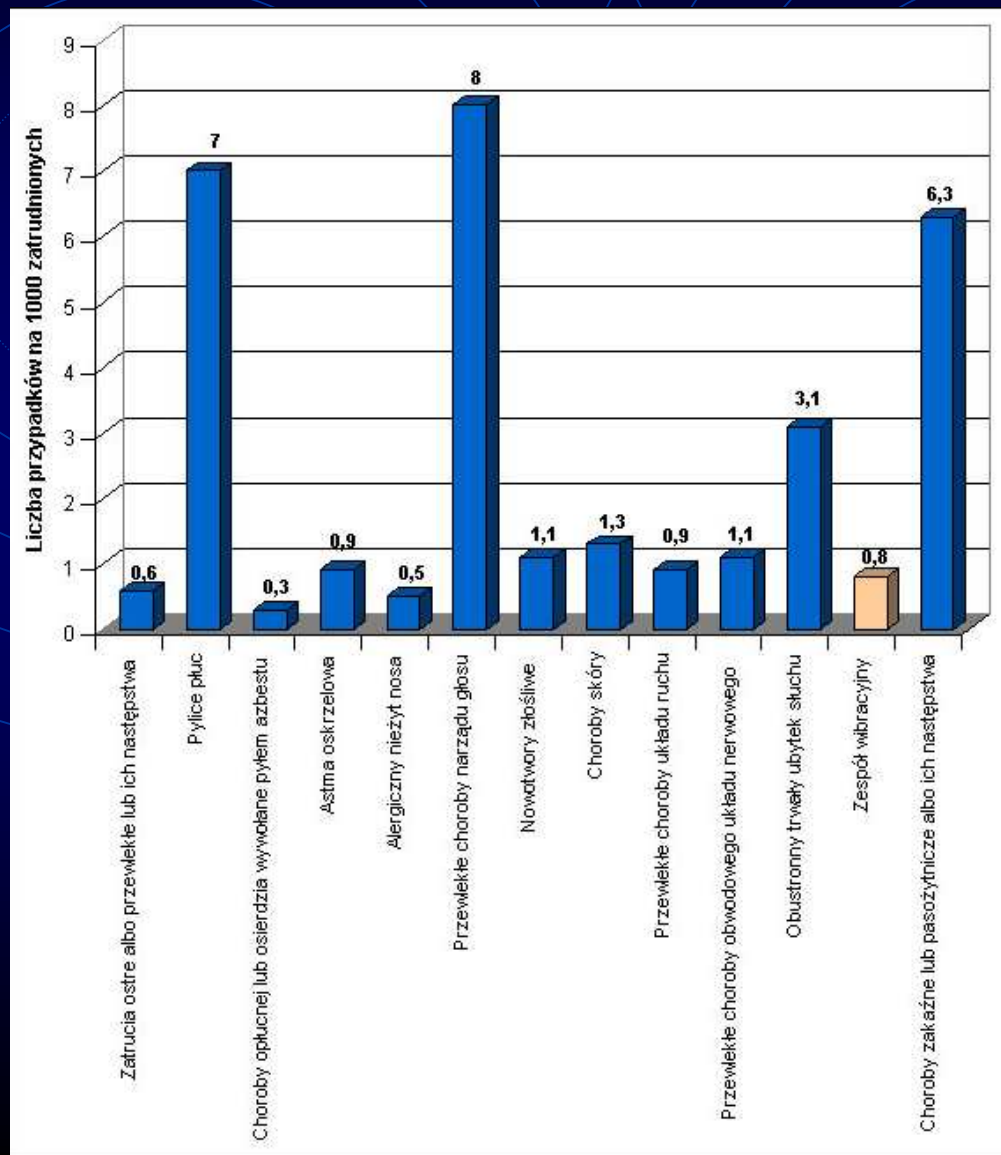
- Postać naczyniowa lub naczyniowo-nerwowa
- Postać kostna lub kostno-stawowa
- Postać mieszana naczyniowo-nerwowo-kostna

W Polsce najczęstszym przypadkiem jest postać naczyniowo-nerwowa. Według danych statystycznych z 1999r., wśród 275 stwierdzonych przypadków zespołu wibracyjnego aż 176 przypadków dotyczyło zaburzeń naczyniowo-nerwowych.

Zespół wibracyjny w Polsce

W stadium pełnoobjawowej postaci zespołu wibracyjnego zmiany chorobowe są prawie zawsze nieodwracalne, nie poddające się leczeniu, co trwale dyskwalifikuje pracownika do zatrudnienia na stanowiskach z narażeniem na działanie wibracji, a często upoważnia do uzyskania renty inwalidzkiej z tytułu niezdolności do pracy i powoduje odsunięcie od pracy na stałe.

Dominujące choroby zawodowe w Polsce w 2006 r. liczba stwierdzonych przypadków.



Wibracje potęgują szkodliwe oddziaływanie hałas

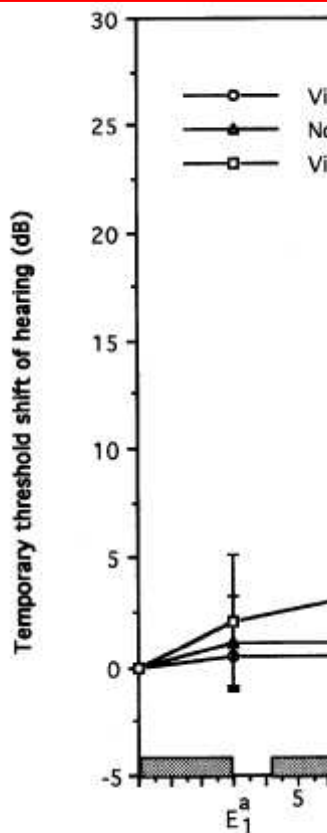


Fig. 1 Temporary threshold shift of hearing (dB) after exposure to vibration (30 m/s², 60 Hz) and/or noise [90 dB(A)] (n = 19). a E₁ to E₅ represent TTSs measured in pauses after the first to the fifth 3-min exposures, and A₁ to A₅ represent TTSs measured at 1, 2, 3, and 5 min after fifth exposure.

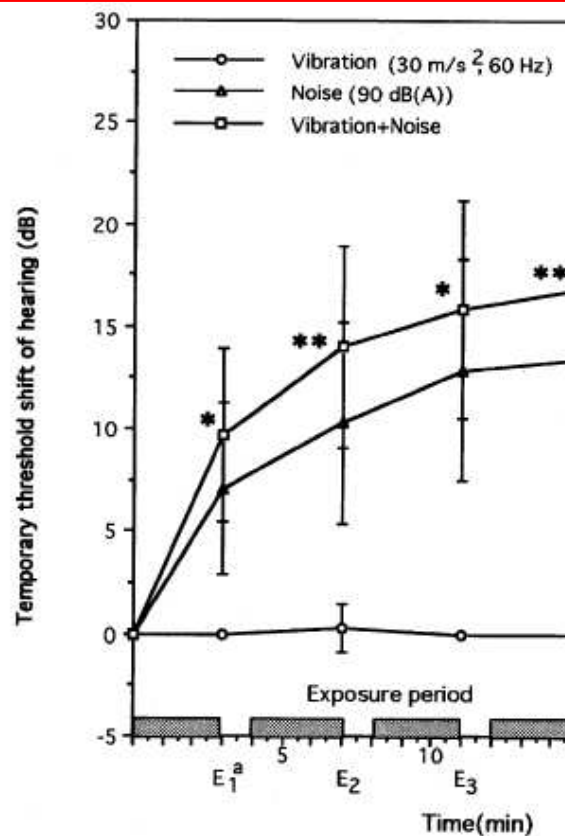


Fig. 2 TTS (dB) at 4 kHz during and after exposure to vibration (30 m/s², 60 Hz) and/or noise [90 dB(A)] (n = 19). a E₁ to E₅ represent TTSs measured in pauses after the first to the fifth 3-min exposures, and A₁ to A₅ represent TTSs measured at 1, 2, 3, and 5 min after fifth exposure. *P < 0.05; **P < 0.01, statistical difference by Wilcoxon matched-pairs signed rank test between noise exposure and combined exposure.

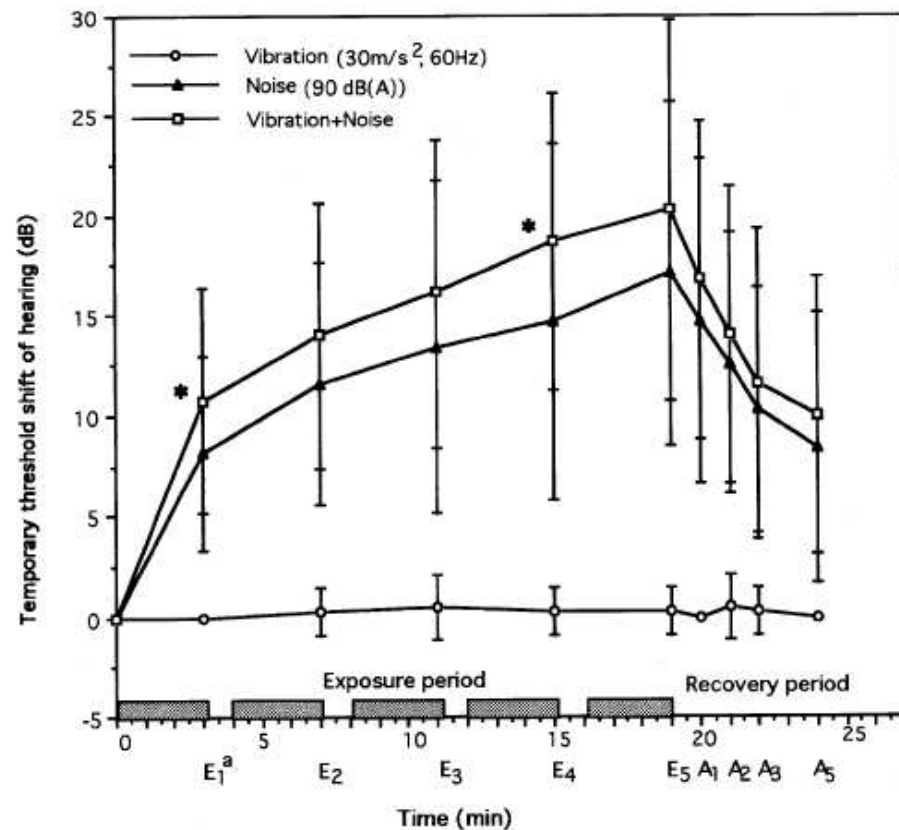


Fig. 3 TTS (dB) at 6 kHz during and after exposure to vibration (30 m/s², 60 Hz) and/or noise [90 dB(A)] (n = 19). a E₁ to E₅ represent TTSs measured in pauses after the first to the fifth 3-min exposures, and A₁ to A₅ represent TTSs measured at 1, 2, 3, and 5 min after fifth exposure. *P < 0.05, statistical difference by Wilcoxon matched-pairs signed rank test between noise exposure and combined exposure.

Ocena stanowisk roboczych

- stosuje się specjalne nomogramy i krzywe
 - intensywność
 - częstotliwość (w pasmach tercjowych do 63Hz)
 - czas ekspozycji na drgania
 - kierunek oddziaływania
- dodatkowe zalecenia dotyczące oddziaływania na ręce
 - próby stworzenia rękawic wibroizolacyjnych

Podstawy ochrony

- Środki ochrony indywidualnej w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa użytkowników tych środków powinny:
- 1) zapewniać wystarczającą ochronę przed występującymi zagrożeniami;
- 2) być zaprojektowane oraz wykonane zgodnie z wymaganiami ergonomii w taki sposób, aby w przewidywanych warunkach używania, do których są przeznaczone, użytkownik mógł normalnie wykonywać wszystkie czynności w przypadku zagrożenia, korzystając równocześnie z odpowiedniej ochrony na możliwie najwyższym osiągalnym poziomie.

Obowiązki pracodawcy

- Pracodawca jest obowiązany dostarczyć pracownikowi nieodpłatnie środki ochrony indywidualnej zabezpieczające przed działaniem niebezpiecznych i szkodliwych dla zdrowia czynników występujących w środowisku pracy oraz informować go o sposobach posługiwania się tymi środkami.

Środki ochrony kończyn górnych

- W celu ochrony pracowników przed drganiami mechanicznymi działającymi na ich organizm przez kończyny górne stosuje się rękawice antywibracyjne.
- Właściwości tłumiąco – wibroizolacyjne rękawic przeznaczonych do ochrony przed drganiami są charakteryzowane przez dwa współczynniki liczbowe:
- skorygowany współczynnik przenoszenia drgań TR_M , wyznaczony w czasie badań rękawic dla przedziału częstotliwości 32 – 200 Hz
- skorygowany współczynnik przenoszenia drgań TR_H , wyznaczony w czasie badań rękawic dla przedziału częstotliwości 200 – 1250 Hz.

Rękawice ciąg dalszy

- Wartości tych współczynników decydują, czy rękawice można uznać za antywibracyjne, czy też nie.
- $TR_M < 1$ (32 – 200 Hz)
- $TR_H < 0,6$ (200 – 1250 Hz)
- Oprócz wymienionych wyżej warunków podstawowych, rękawice antywibracyjne powinny spełniać inne, ustalone dla takich rękawic wymagania, dlatego też znajdują się one w wykazie środków ochrony indywidualnej podlegających obowiązkowej certyfikacji. Tylko rękawice z certyfikatem powinny być rozpowszechniane wśród użytkowników.
- Należy podkreślić, że stosowanie rękawic antywibracyjnych może nie tylko ograniczyć drgania transmitowane z narzędzi do rąk operatora, ale też zabezpiecza ręce przed niską temperaturą i wilgocią, które to czynniki potęgują skutki oddziaływania drgań, przyspieszając pojawienie się i rozwój choroby wibracyjnej.



CE



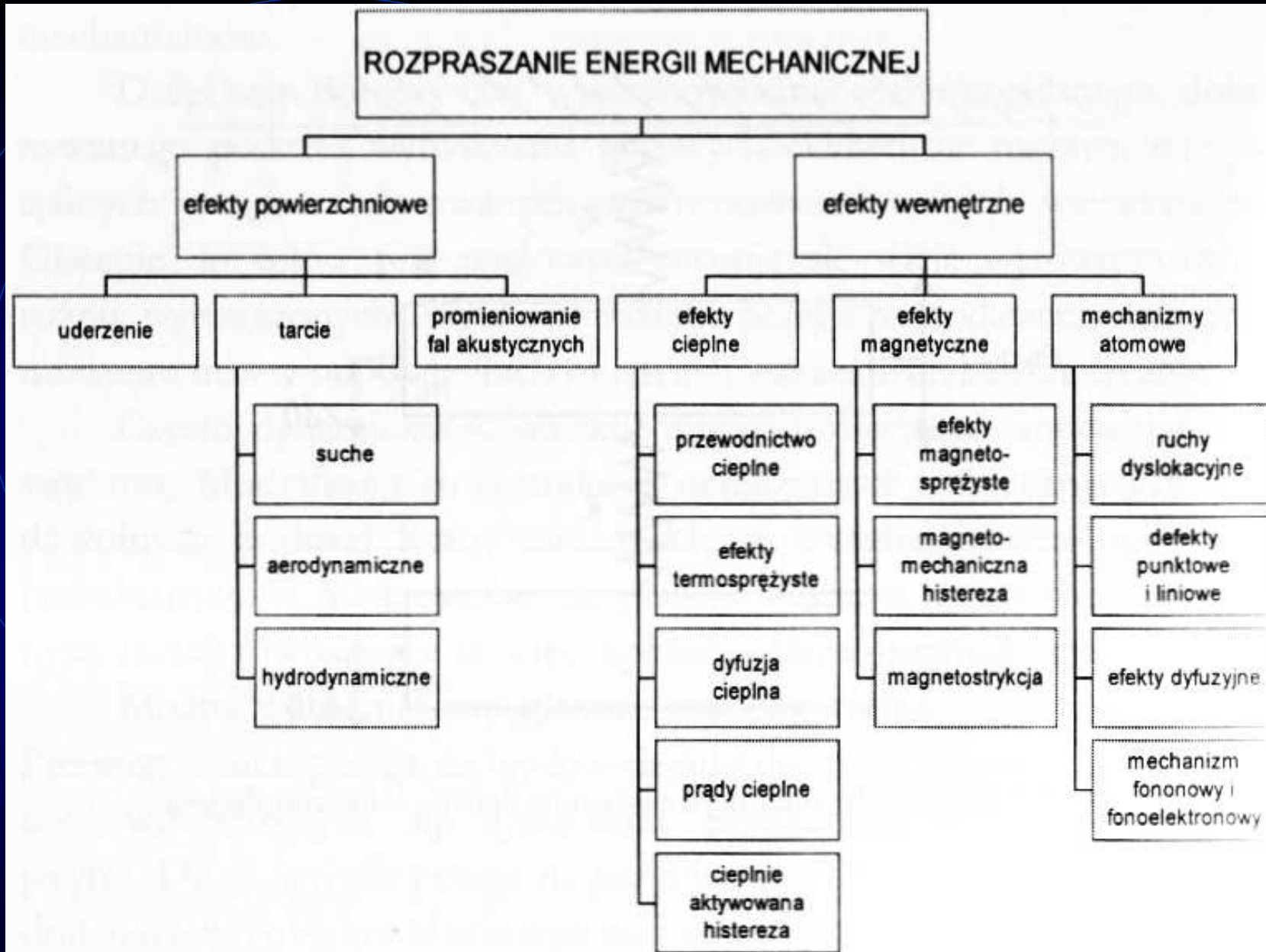
Metody tłumienia drgań

- pasywne
 - tłumienie wewnętrzne materiału
 - odbicie i przenoszenie energii na granicy dwóch ośrodków
 - zmiany przekroju
 - rozgałęzienia
 - wkładki z materiału o dużym tłumieniu wewnętrznym
 - pasty przeciwwibracyjne
 - elementy usztywniające
- aktywne
 - kompensowanie sił powodujących drgania

Metody pasywne

Ograniczenie propagacji drgań

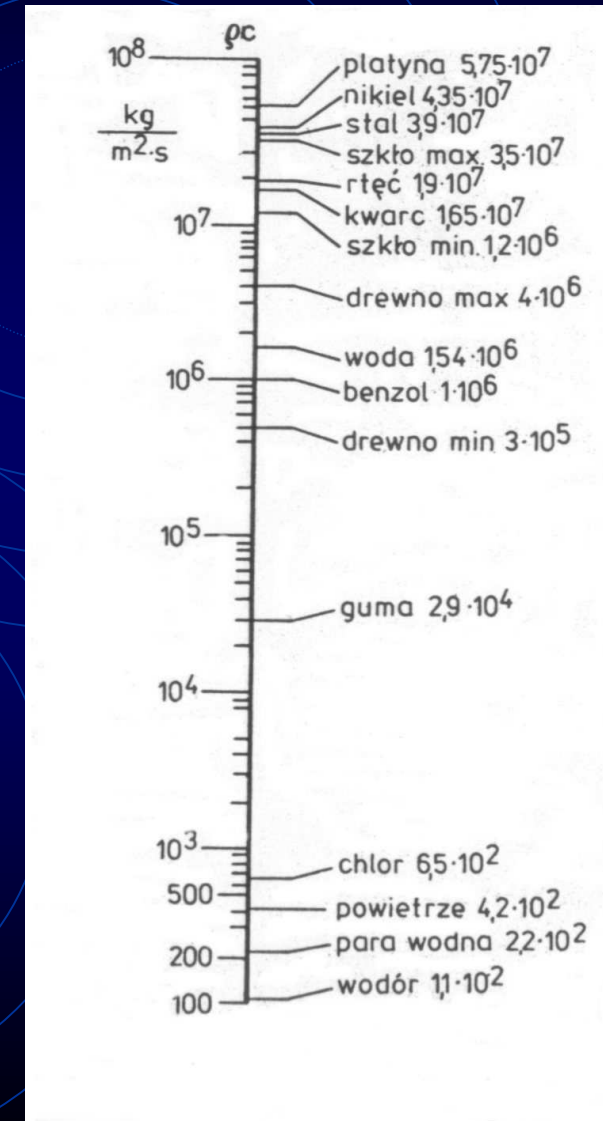
- Każde naruszenie jednorodności materiałowej konstrukcji jest przeszkodą na drodze propagacji drgań.
- W zależności od możliwości stosuje się do tego celu przekładki z różnego rodzaju materiałów i/lub różnego rodzaju rozgałęźniki będące z punktu widzenia fali niedopasowaniem impedancyjnym.
- Wszystkie powyższe dodatki spełniają dobrze swe zadania, jeśli różnica oporności falowej ($Z = \rho \cdot c$) pomiędzy materiałem jednym a drugim jest możliwie duża.



Rys. 5.3. Rodzaje rozpraszania energii mechanicznej

Tłumienie wewnętrzne materiału

- W każdym materiale na skutek zmiennych obciążeń występują siły oporu wewnętrznego. Siły te dzielimy na sprężyste i **dyssypacyjne**, powodujące rozpraszanie energii. **Siły dyssypacyjne nazywamy siłami tłumienia wewnętrznego.**
- Przenoszenie się drgań jest uwarunkowane wewnętrznym tłumieniem materiału, a ponadto tłumienie drgań wzrasta z odległością od pobudzenia.
- Tłumienie na jednostkę długości jest tym większe, im długość rozprzestrzeniających się fal jest mniejsza i im większy jest współczynnik wewnętrznego tłumienia.



Tłumienie wewnętrzne materiału

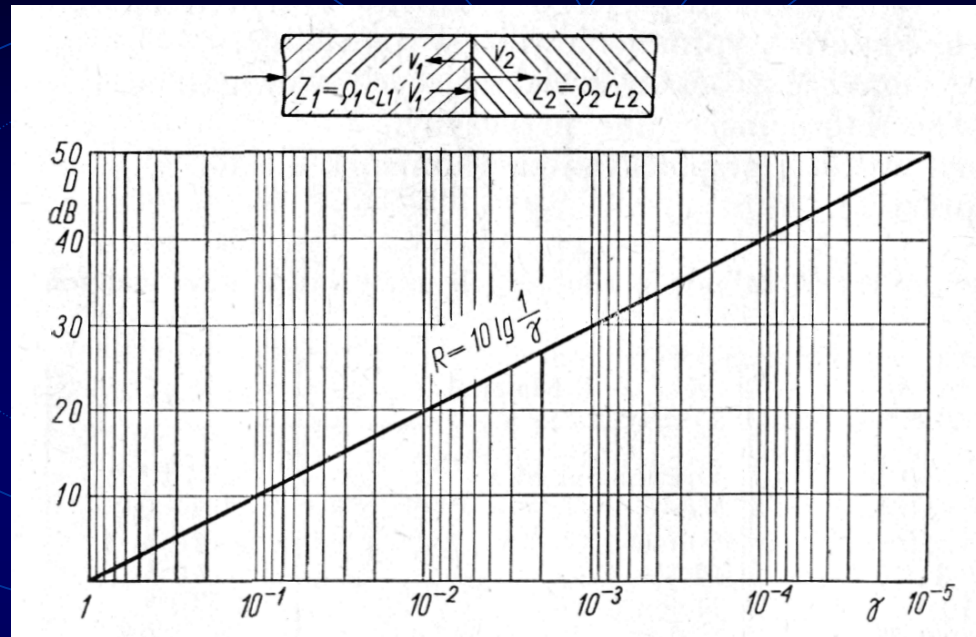
Tabela 5.1. Współczynnik tłumienia wybranych materiałów [wg 1]

Material	Współczynnik tłumienia η	Material	Współczynnik tłumienia η
Aluminium	10^{-4}	Magnez	10^{-4}
Asfalt	$0,05 + 0,3$	Miedź	$2 \cdot 10^{-3}$
Brąz	$< 10^{-3}$	Mosiądz, nikiel	$< 10^{-3}$
Beton ciężki	$(1 + 5) \cdot 10^{-2}$	Ołów	$(0,5 + 2) \cdot 10^{-3}$
Beton lekki	$1,5 \cdot 10^{-2}$	Piasek (suchy)	$(0,6 + 0,12)$
Cegła	$(1 + 2) \cdot 10^{-2}$	Płyta pilśniowa	$(1 + 3) \cdot 10^{-2}$
Cyna	$2 \cdot 10^{-3}$	Sklejka	$(1 + 1,3) \cdot 10^{-2}$
Cynk	$3 \cdot 10^{-4}$	Stal, żeliwo	$(1 + 6) \cdot 10^{-4}$
Dąb, jodła	$(0,8 + 1) \cdot 10^{-2}$	Szkło	$(0,6 + 2) \cdot 10^{-3}$
Gips (płyty)	$(0,6 + 3) \cdot 10^{-2}$	Szkło organiczne	$0,02 + 0,04$
Korek	$0,13 + 0,17$	Tekstolit	$0,01 + 0,02$
Kapron	$0,03 + 0,05$	Tynk	$5 \cdot 10^{-3}$
Laminat szklany	$0,02 + 0,04$		

Metody zwiększenia tłumienia wewnętrznego

- tworzenie konstrukcji kombinowanych z wykorzystaniem materiałów o dużym tłumieniu wewnętrznym
- wykorzystanie zamiast materiałów tradycyjnych, materiałów o dużym tłumieniu wewnętrznym
- zalety konstrukcji o dużym tłumieniu wewnętrznym:
 - zmniejszenie amplitudy drgań rezonansowych
 - tłumienie fali rozprzestrzeniającej się od źródła
 - skracanie okresu dobrzmiewania drgającego elementu

Odbicie i przenoszenie energii



- współczynnik przenikania akustycznego

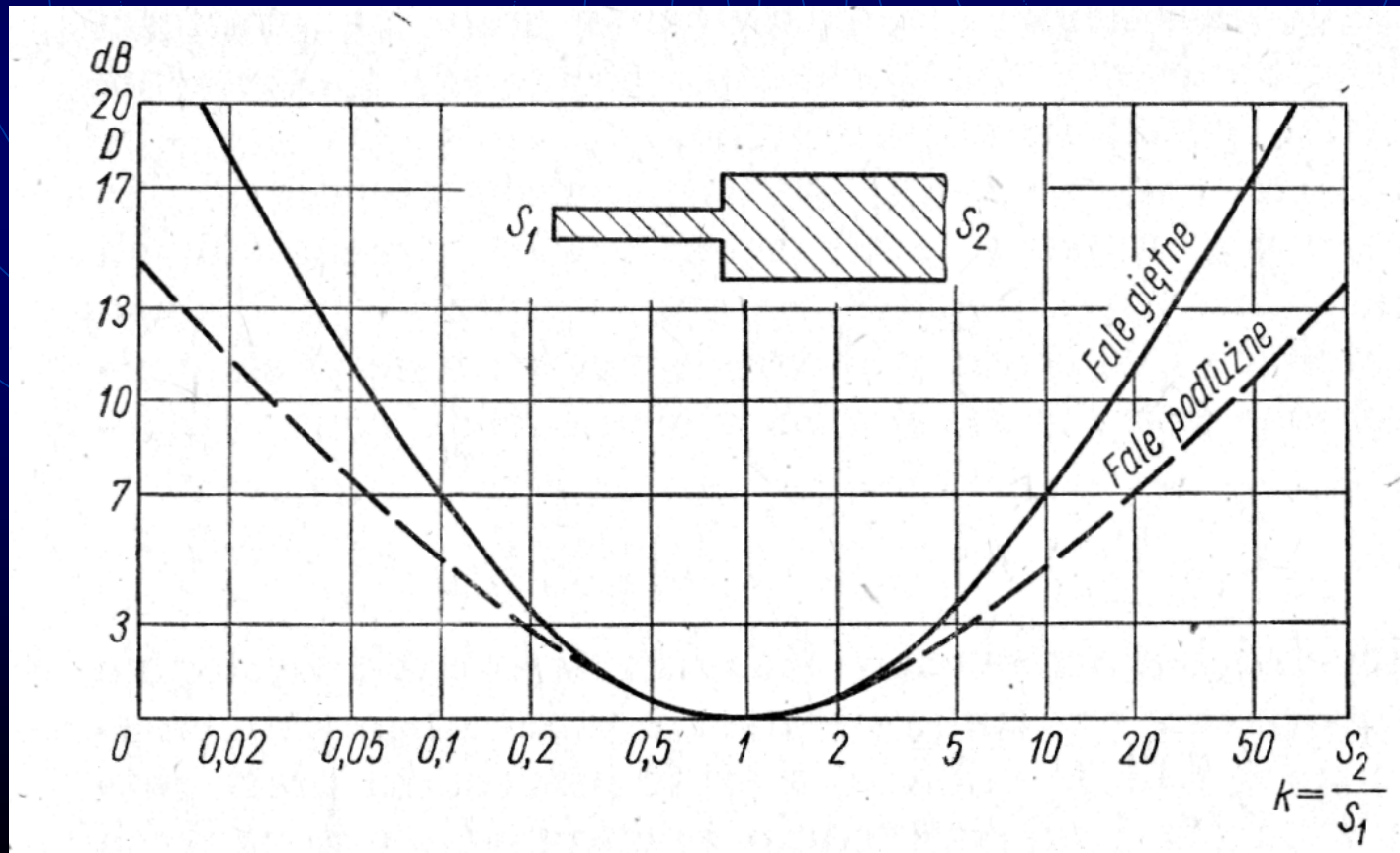
$$\gamma = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

- przenikalność akustyczna

$$B = -S\gamma$$

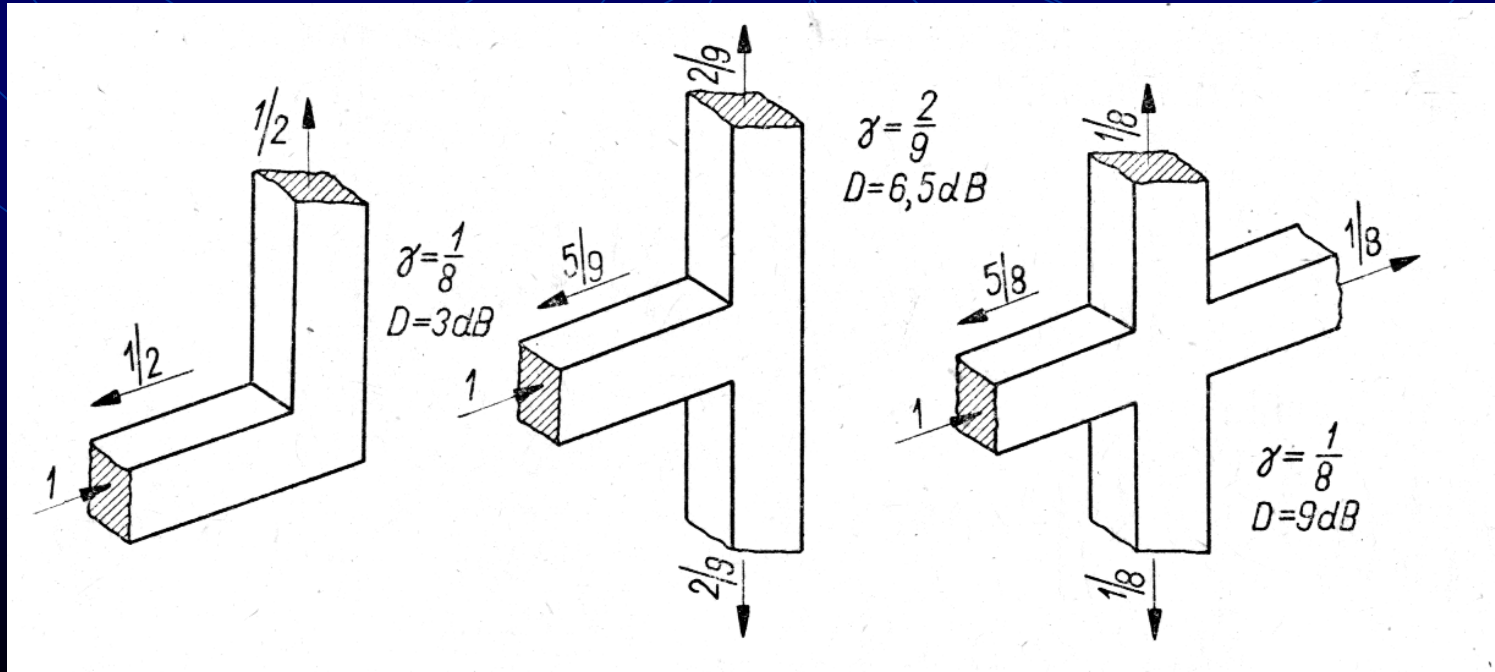
Zmiany przekroju

- konieczne wielokrotne zmiany przekrojów, aby wpływ tłumiący był widoczny



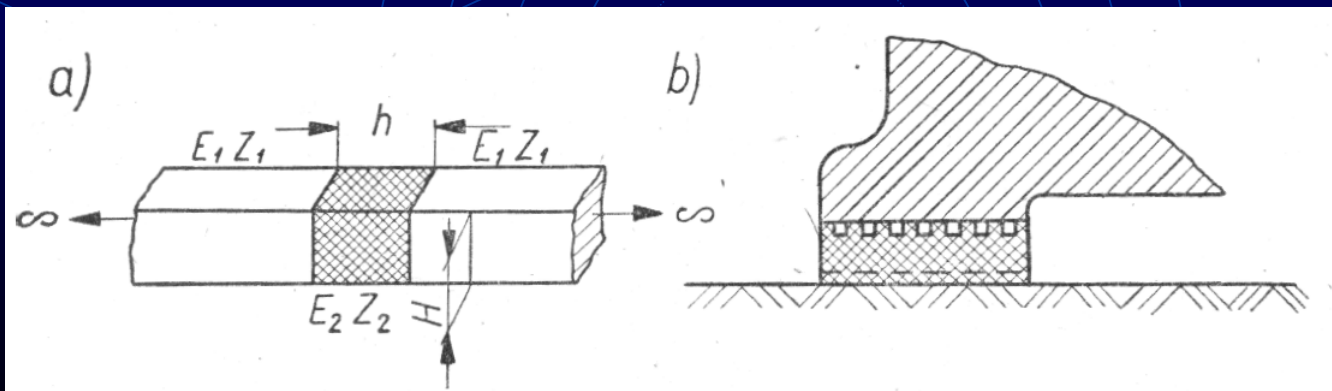
Rozgałęzienia

- im mniej ramion, tym większa część energii przenika dalej
- część która przenika rozdziela się jednakowo na ramiona



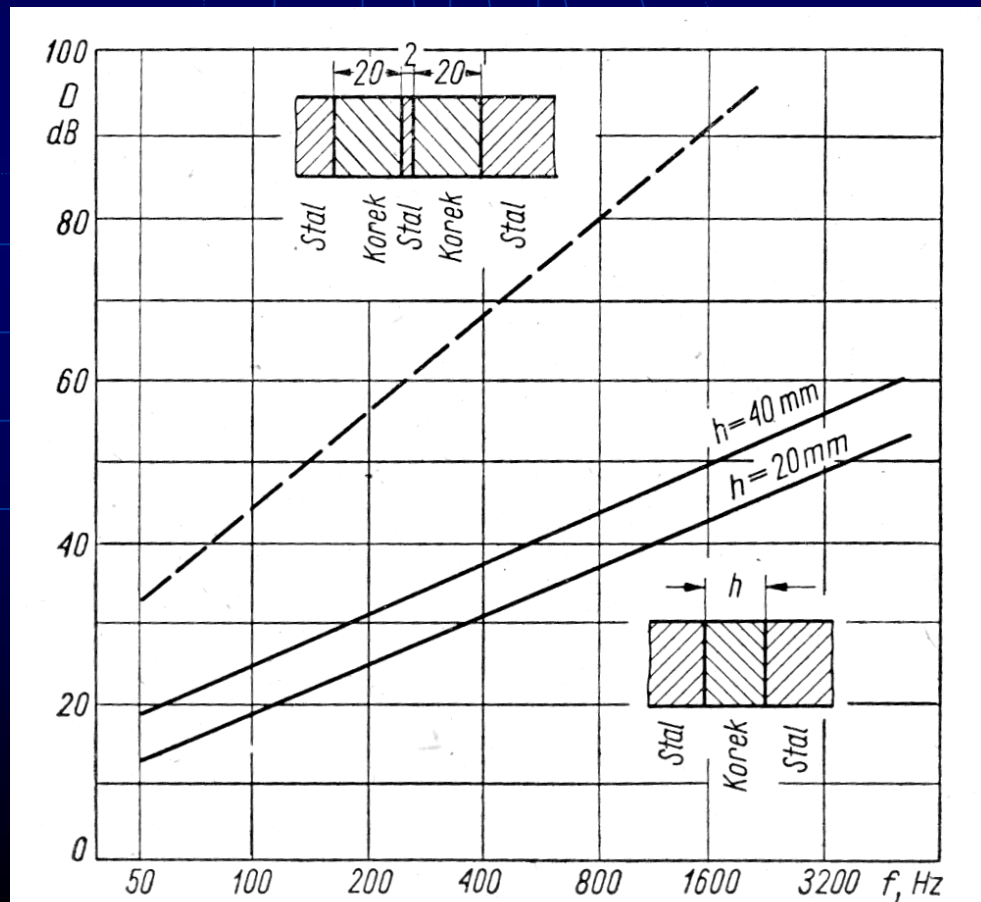
Wkładki z materiału o dużym tłumieniu

- wykorzystanie zjawiska odbicia części energii na zetknięciu dwóch ośrodków o różnej impedancji akustycznej falowej
 - tłumienie rośnie wraz ze wzrostem częstotliwości i grubości wkładki (6dB na oktawę)
 - do znajdowania określonych grubości warstw służą specjalne nomogramy

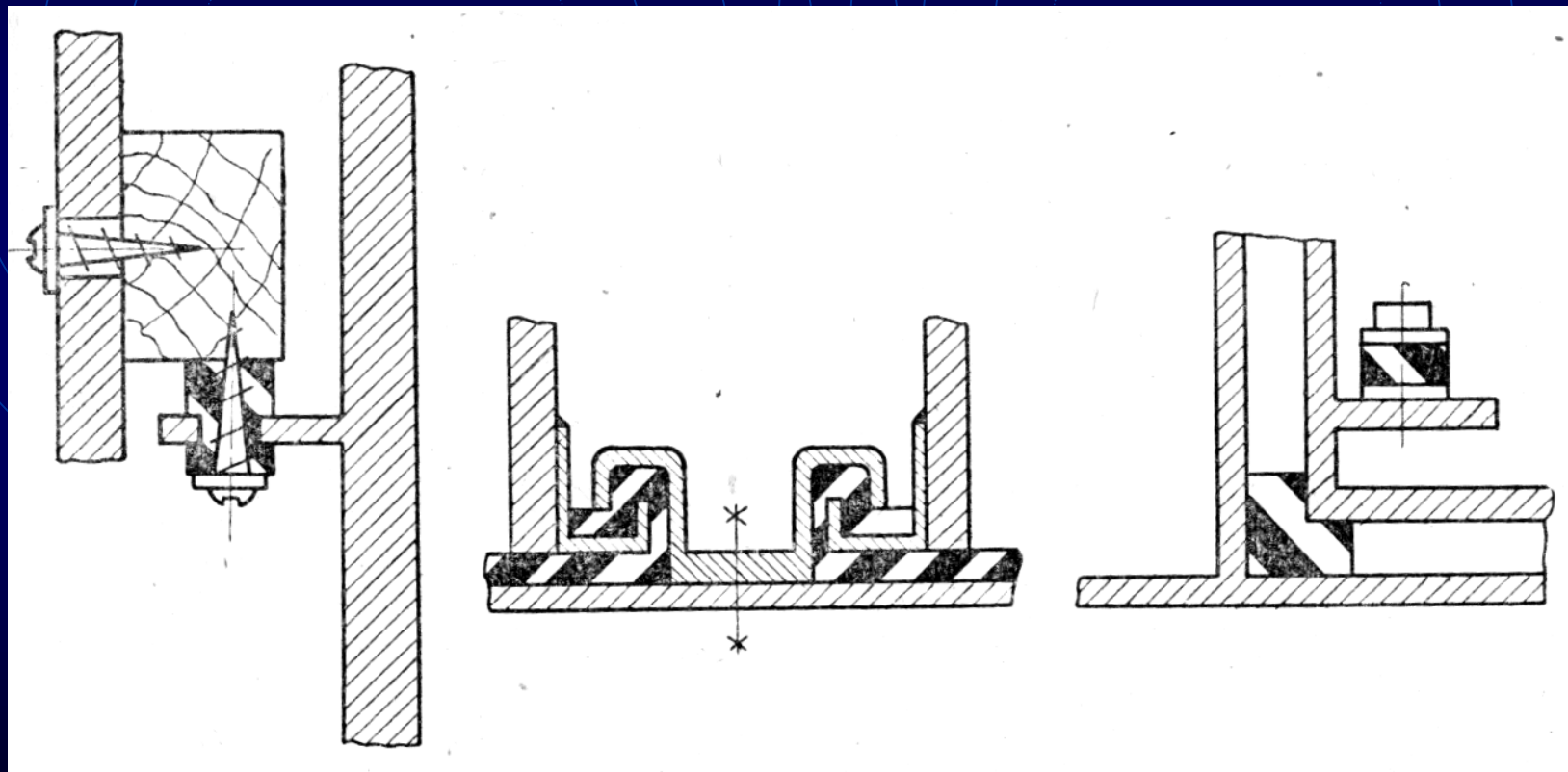


Wkładki z materiału o dużym tłumieniu

- użycie kolejnych warstw tłumiących powoduje wzrost tłumienia



Przykłady konstrukcji z wkładkami antywibracyjnymi



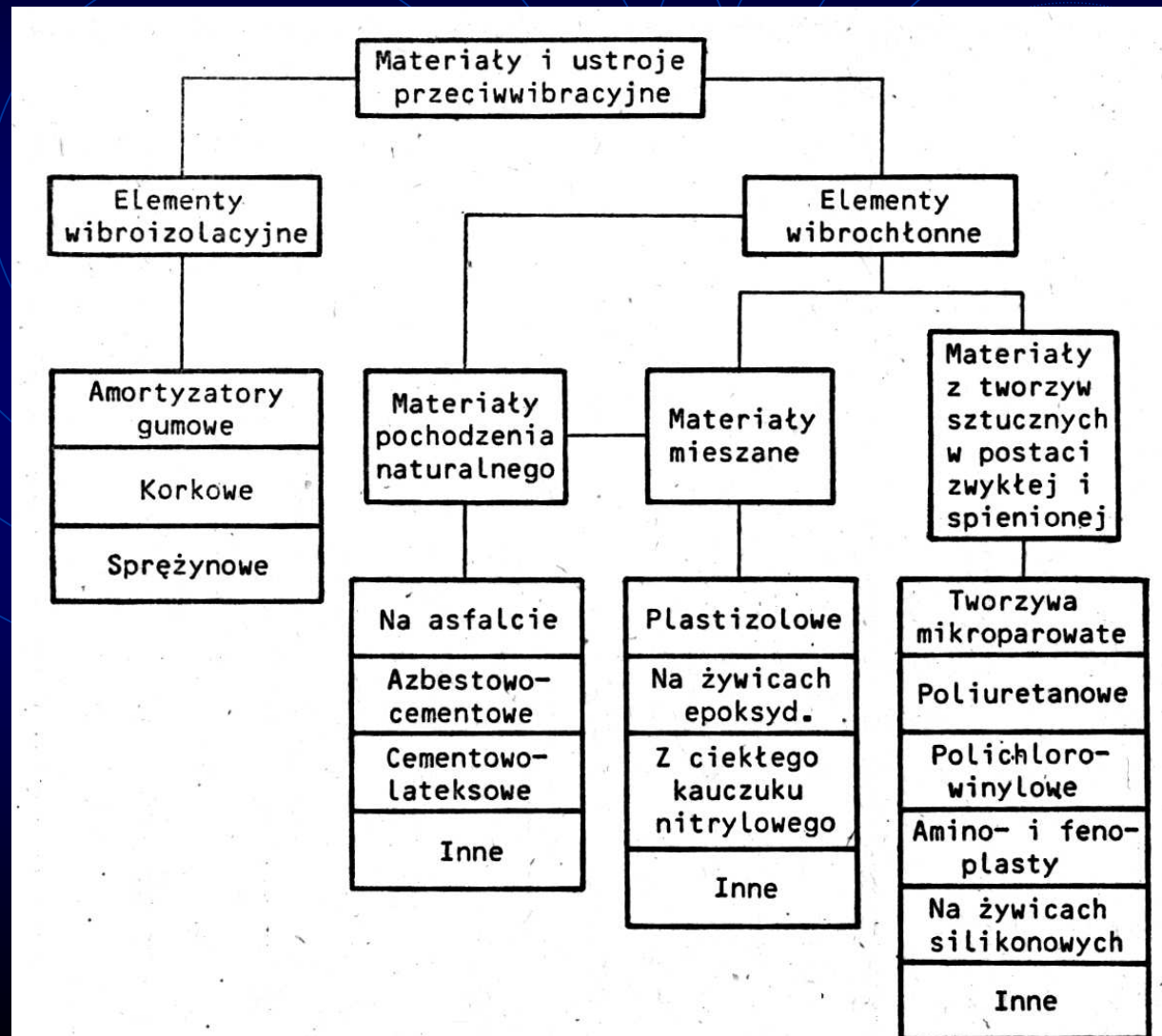
Pasty przeciwwibracyjne

- charakteryzują się dużą wartością współczynnika wewnętrznego tłumienia
- stosuje się je przede wszystkim dla cienkich blach
- im bardziej twarda i sztywna pasta, tym większe tłumienie
- istnieje optymalna grubość warstwy pasty
- blacha jest z reguły pokrywana z jednej strony
- możliwe jest doklejenie do warstwy pasty dodatkowych materiałów dźwiękochłonnych

Tłumienie drgań płyty przez elementy usztywniające

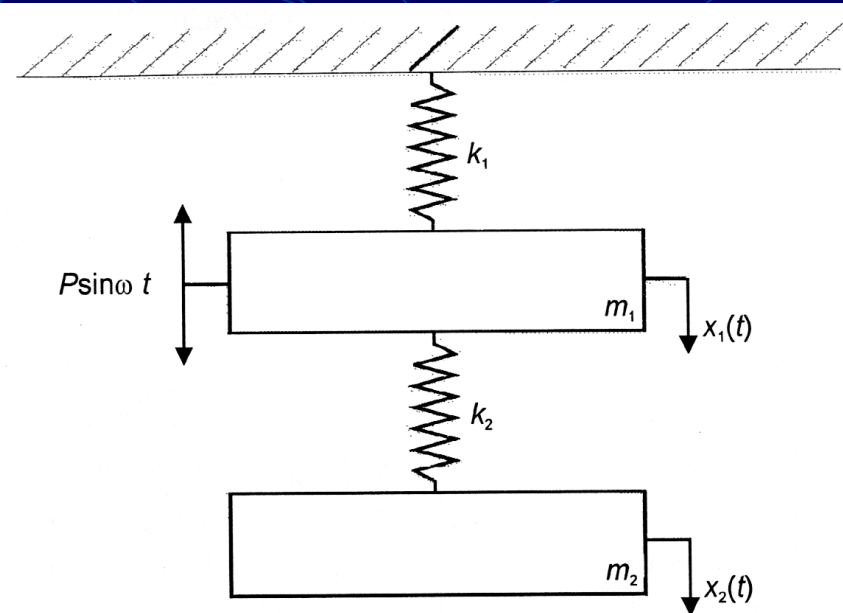
- dzięki zwiększeniu całkowitej akustycznej impedancji falowej danej konstrukcji można zmniejszyć drgania -> w tym celu należy do niej przymocować materiały usztywniające
- stłumieniu ulegają fale podłużne (głównie w zakresie wyższych częstotliwości) i giętne

Materiały i ustroje wibroizolacyjne



Dynamiczny eliminator drgań

- energia drgań szkodliwych jest rozpraszana za pomocą dodatkowego elementu, w którym praca sił wymuszających, zewnętrznych w stosunku do tego elementu, jest równa energii kinetycznej jego ruchu
 - eliminator Frahma



Ultradźwięki

- częstotliwości powyżej 16000Hz
- działanie mechaniczne (niższe częstotliwości)
- działanie cieplne
- szkodliwość drgań ultraakustycznych
 - miejscowe uszkodzenia tkanek
 - niedomagania układu krążenia
- przyjmuje się, że w zakresie 20-100kHz poziom w pasmach tercjowych nie powinien być większy od 110dB

Infradźwięki

- polegają na rozchodzeniu się fal sprężystych w ośrodkach gazowych
- częstotliwości z zakresu 0.1Hz-20Hz
- podział źródeł na naturalne, występujące poza miejscem pracy i w środowisku pracy
- szkodliwość drgań infraakustycznych
 - dość duży poziom dopuszczalny (120-130dB)
 - efekt zbliżony do działania wibracji
 - mogą powodować rozkojarzenie
 - zakłócenia w układzie krążenia
- małe możliwości pochłaniania przez materiały i ustroje pochłaniające



Przykład redukcji drgań i hałasu

Przejazdy samochodowo-kolejowe

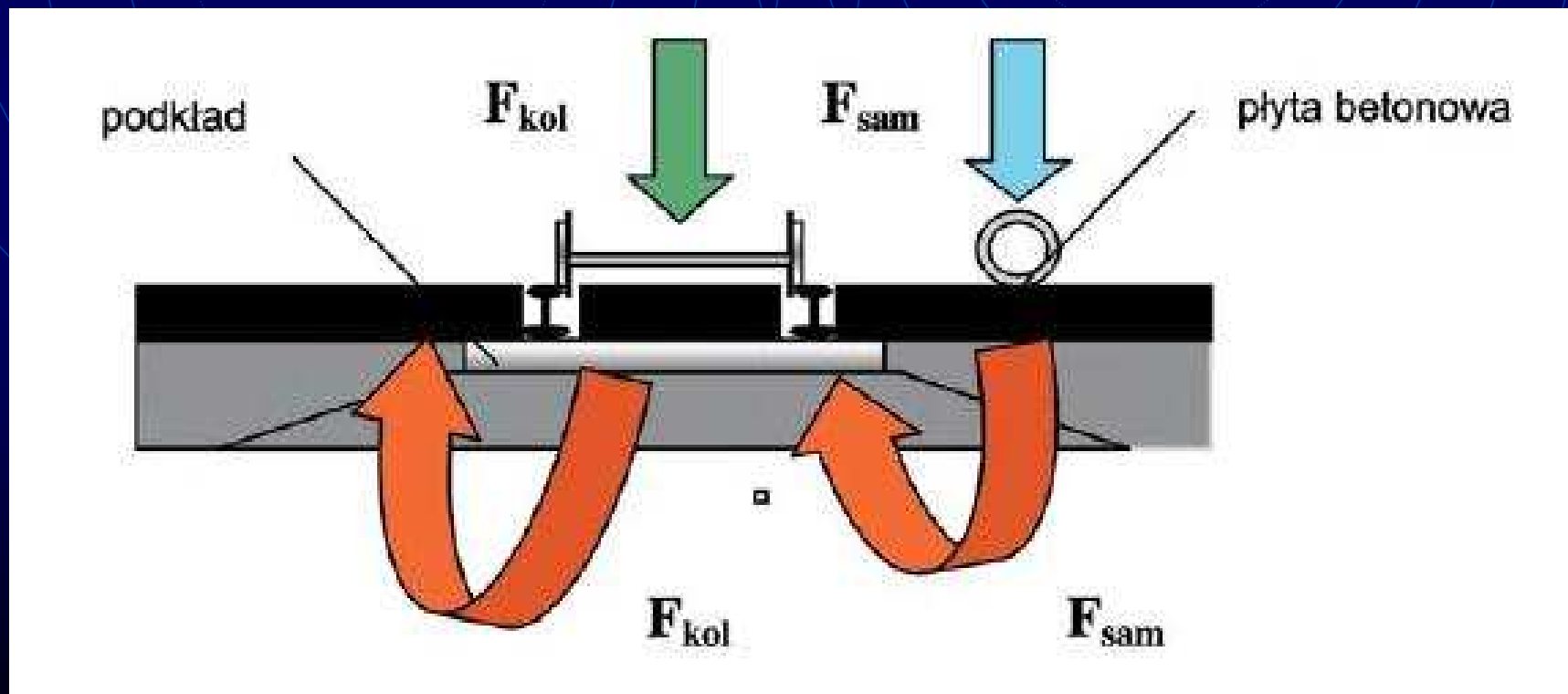
Przejazdy samochodowo-kolejowe

Konstrukcje zabudowy przejazdów jednopoziomowych skrzyżowań dróg transportu kolejowego i samochodowego (obecnie nie spełniających współczesnych wymogów) będąc źródłem drgań i hałasu są przyczyną problemów:

- źródło drgań, hałas
- klawiszowanie
- powiększenie drgań
- przenoszenie drgań na pobliskie obiekty
- powolna destrukcja zabytkowych kamienic, domów, itd.

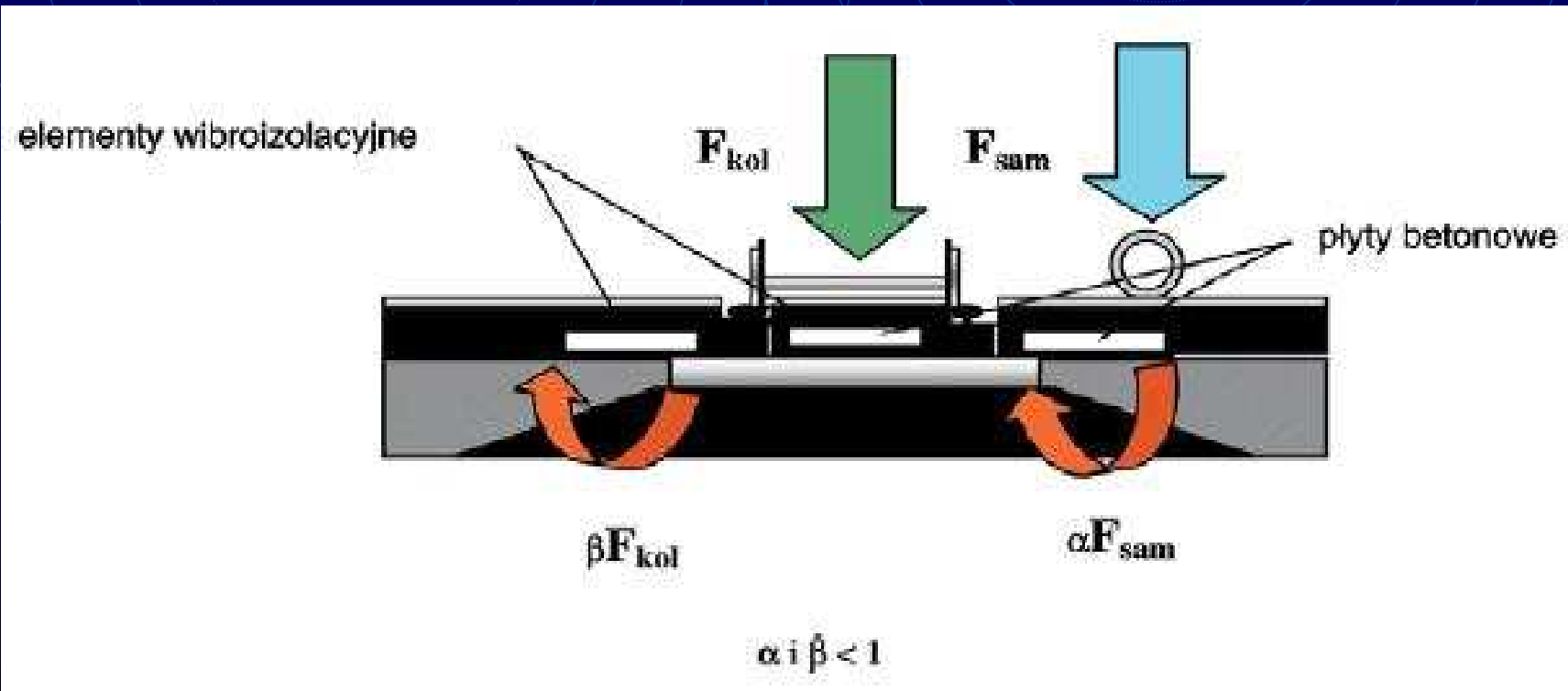
Rozchodzenie się drgań:

- Drgania są bezpośrednio przenoszone z betonowych płyt na powierzchnie:



Rozchodzenie się drgań (2)

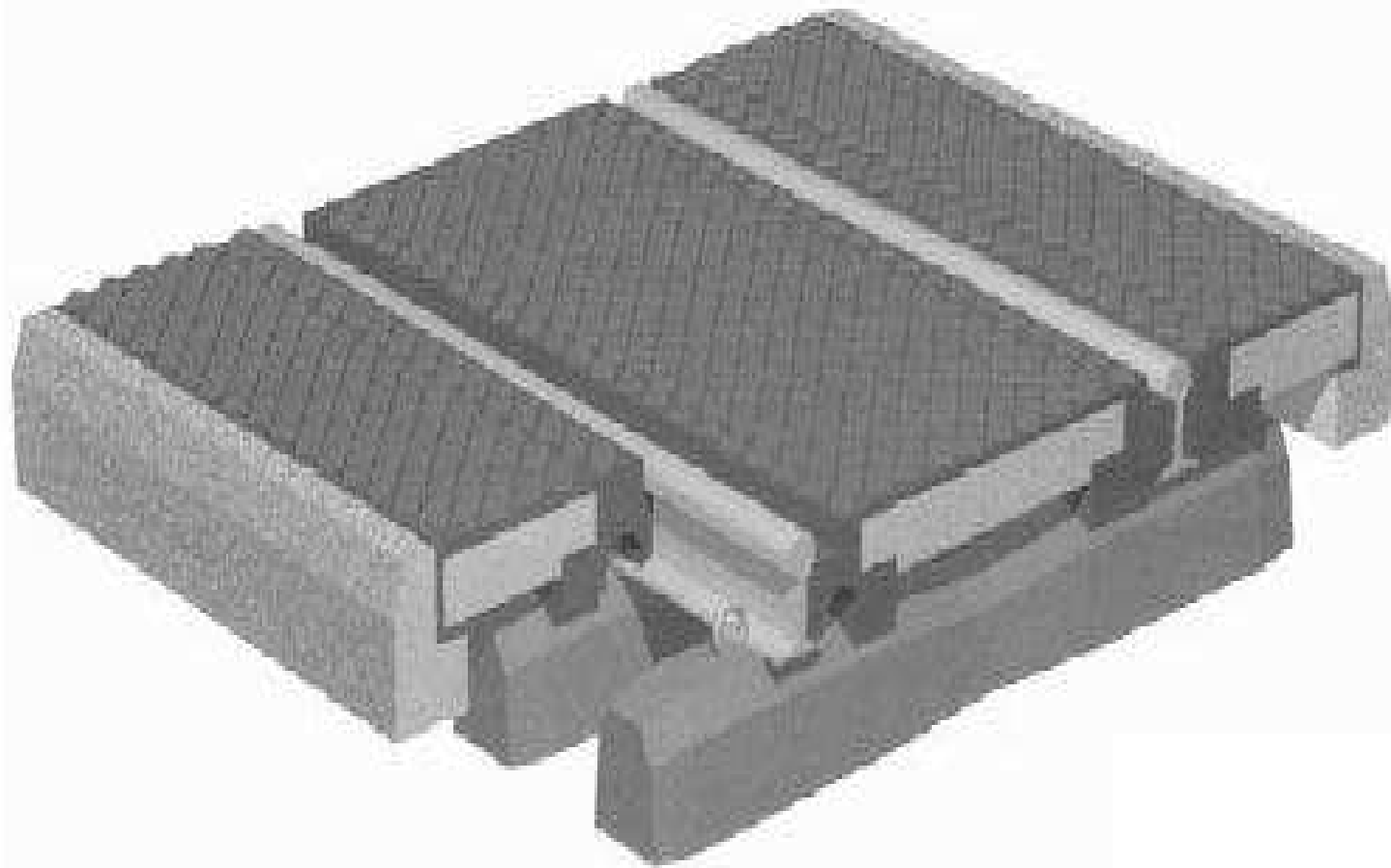
- Dlatego też do konstrukcji przejazdu wprowadzono elementy elastyczne (wibroizolatory):



Objaśnienie powyższego rozwiązania

Głównym elementem przenoszącym drgania od transportu szynowego i samochodowego w tym rozwiązaniu jest szyna z podkładem, która na skutek zastosowania elastycznych materiałów wibro- i dźwięko-izolacyjnych znacznie ogranicza oddziaływanie dynamiczne i akustyczne przekazywane do środowiska naturalnego.

Prototyp



Wyniki

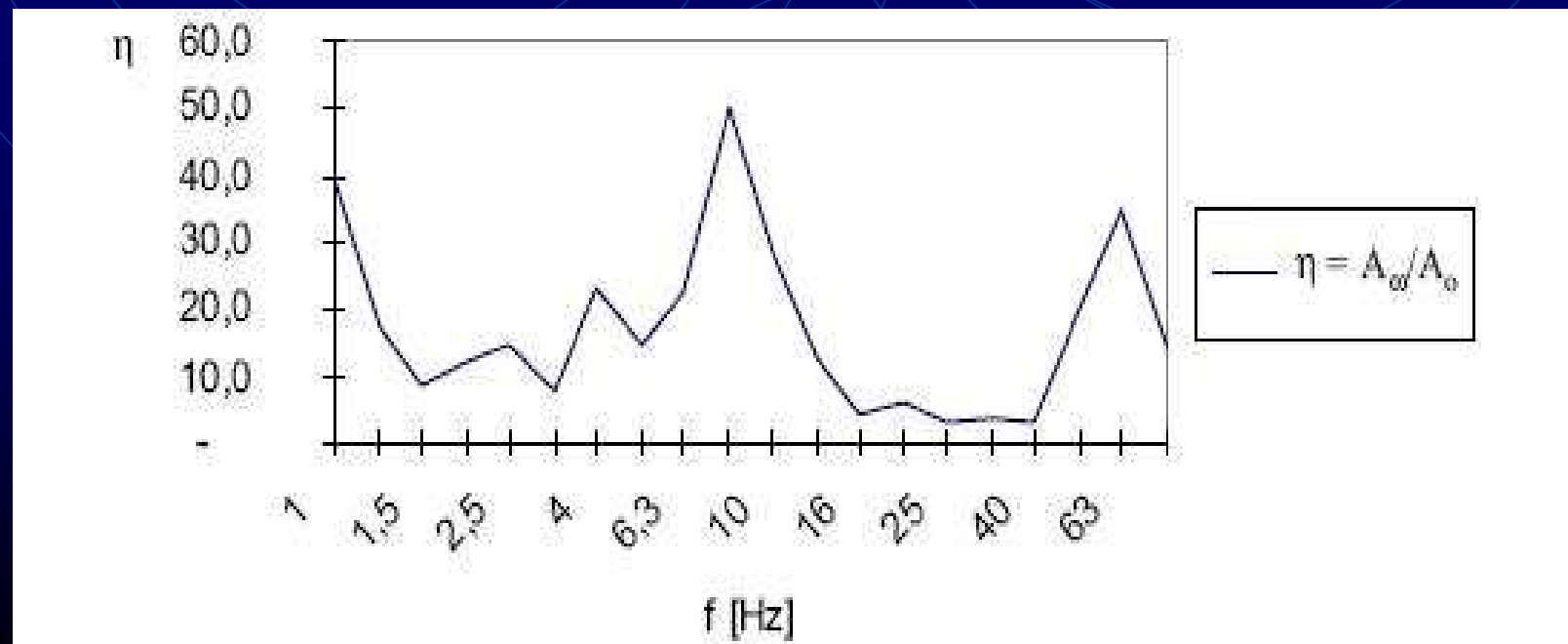
Przeprowadzone badania doświadczalne na zamontowanych wibroizolacyjnych przejazdach kolejowo-samochodowych potwierdziły przypuszczenia, że oddziaływania dynamiczne przekazywane od pojazdów samochodowych oraz kolejowych zostały znacznie ograniczone

Wyniki

Wyniki przedstawiono na wykresie zamieszczonym na kolejnym slajdzie w postaci przenoszenia 'n', tzn. Ilorazu amplitudy przyspieszenia płyty jezdnej przejazdu wywołanych ruchem pojazdu A_w do amplitudy przyspieszeń przekazywanych na podłoże A_0

Wyniki

- Analizując przebieg współczynnika przenoszenia w funkcji częstotliwości, wyraźnie widać, że jest on w całym zakresie częstotliwości znacznie większy od jedności. Przy $f=10\text{Hz}$ i 80Hz jego wartość zawiera się w przedziale od 40 do 50



Wyniki

- Również poziom emitowanego dźwięku do otoczenia na przejeździe kolejowo-samochodowym wibroizolowanym jest o ok. 10 dBA niższy w porównaniu z przejazdem tradycyjnym. Powodem tego jest znacznie niższy poziom składowych charakterystyki widmowej w szerokim zakresie częstotliwości (od 20 Hz do 20 kHz).

