Prof. dr hab. inż. Krzysztof STYPUŁA
Politechnika Krakowska
kstypula@pk.edu.pl

UWAGI DOTYCZĄCE STOSOWANIA WIBROIZOLACJI W NAWIERZCHNIACH SZYNOWYCH

1. WPROWADZENIE – HAŁAS A WIBRACJE

W strategii rozwoju transportu w Polsce w najbliższych latach szczególny nacisk położono na modernizację i rozbudowę infrastruktury transportu szynowego.

Dotyczy to zarówno transportu miejskiego (tramwaj, metro) jak i infrastruktury kolejowej (modernizacja dworców i linii kolejowych, koleje dużych prędkości).

Jednym z argumentów na rzecz rozwoju transportu szynowego jest fakt mniejszego zagrożenia dla środowiska w porównaniu z transportem drogowym, który jest istotnym źródłem zanieczyszczeń powietrza (spaliny, tlenek węgla), gleby i wody (smary, oleje, pył gumowy i asfaltowy, resztki opon itp.).

Tego typu zanieczyszczenia nie stanowią problemu w przypadku transportu szynowego, co nie oznacza, że transport ten nie emituje do środowiska istotnych zanieczyszczeń.

1. WPROWADZENIE – HAŁAS A WIBRACJE

Emituje do środowiska głównie dwa rodzaje zanieczyszczenia: hałas i wibracje (drgania).

W świetle ustawy „Prawo ochrony środowiska" z dnia 27 kwietnia 2001 (Dz. U. z 2001, Nr 62, poz. 627) ilekroć mówi się o zanieczyszczeniu (art. 3, pkt 49) rozumie się przez to emisję, która może być szkodliwa dla zdrowia ludzi lub stanu środowiska, może powodować szkodę w dobrach materialnych, może pogarszać walory estetyczne środowiska lub może kolidować z innymi, uzasadnionymi sposobami korzystania ze środowiska (art. 3, pkt 49).

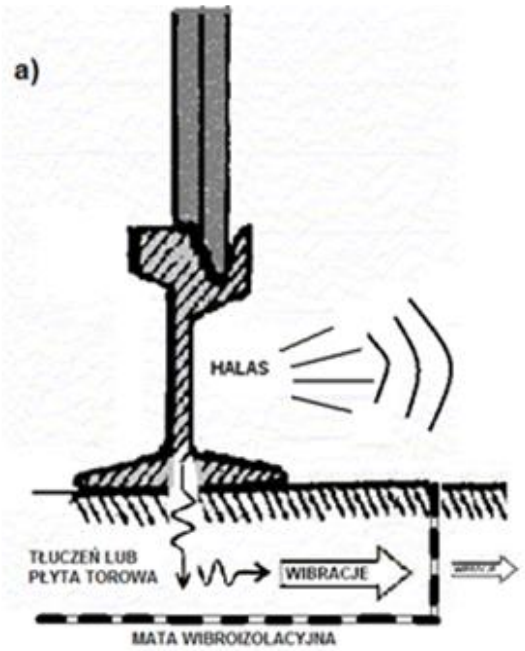
Przez emisję (art. 3, pkt 4) rozumie się wprowadzane bezpośrednio lub pośrednio, w wyniku działalności człowieka, do powietrza, wody, gleby lub ziemi:
a) substancje,
b) energie, takie jak ciepło, hałas, wibracje lub pola elektromagnetyczne

Zatem: Wibracje = energie = emisja = zanieczyszczenie
w pobliżu budynków konieczne rozważenie hałasu i wpływu drgań

1. WPROWADZENIE – HAŁAS A WIBRACJE

Hałas i wibracje bywają ze sobą mylone nawet w opracowaniach i decyzjach środowiskowych - warto kilka słów poświęcić ich rozróżnieniu.

Na styku koła z szyną generowane są drgania mechaniczne. Część tych drgań jest emitowana (głównie z powierzchni szyjki szyny) w postaci fal akustycznych, rozchodzących się w powietrzu i odbieranych przez człowieka jako dźwięki.



Zgodnie z przywołaną wyżej ustawą przez hałas rozumie się dźwięki o częstotliwościach od 16 Hz do 16 000 Hz (art. 3, pkt 5).

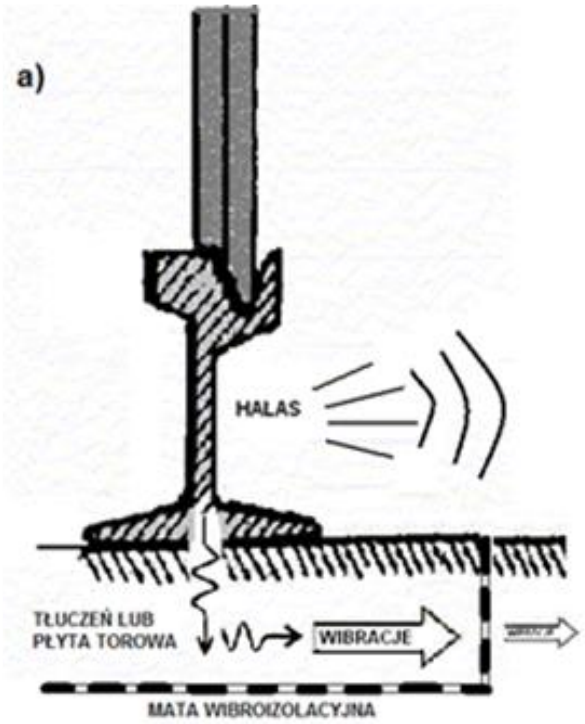
Według art. 3 tzw. Dyrektywy Hałasowej 2002/49/WE, hałas to każdy niepożądany lub szkodliwy dźwięk powodowany przez działalność człowieka na wolnym powietrzu, w tym hałas emitowany przez środki transportu, ruch drogowy, ruch kolejowy, ruch samolotowy oraz hałas pochodzący z obszarów działalności przemysłowej.

1. WPROWADZENIE – HAŁAS A WIBRACJE

Część drgań szyny przenosi się na konstrukcję nawierzchni a dalej propaguje się w podłożu docierając do konstrukcji budynków i znajdujących się w tych budynkach ludzi.

Te drgania mechaniczne propagujące się w ośrodkach stałych (szyna, konstrukcja nawierzchni, grunt, konstrukcja budynku) zwane są w ochronie środowiska wibracjami, a w dynamice konstrukcji najczęściej wprost drganiami.

Przy czym w diagnostyce wpływu wibracji na środowisko uwzględnia się drgania w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 80 Hz (wpływ na ludzi w budynkach) lub do 100 Hz (wpływ na budynki).



1. WPROWADZENIE – HAŁAS A WIBRACJE

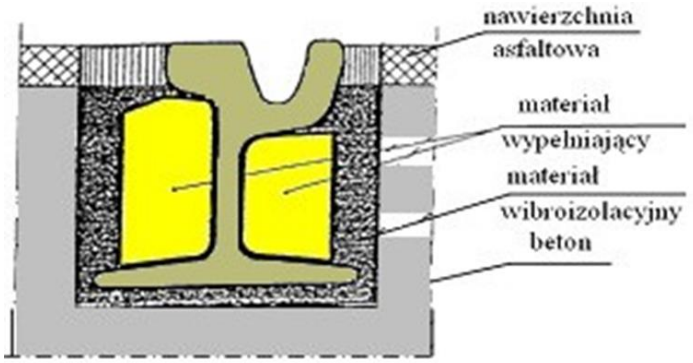
Tak więc drgania mechaniczne zwane wibracjami różnią się od drgań akustycznych:

- zakresem częstotliwości rozważanych (i mierzonych) drgań (wibracje 1 – 100 Hz a słyszalne fale dźwiękowe 16 – 16 000 Hz),
- ośrodkiem, w którym się propagują (wibracje w ciałach stałych a dźwięki w powietrzu).

W efekcie różnią się także sposobami ich pomiaru i analizy oraz zasadami ocen diagnostycznych.

Co więcej drgania stanowią dla budowli dodatkowe obciążenie, uwzględniane w obliczeniach konstrukcji budynku.

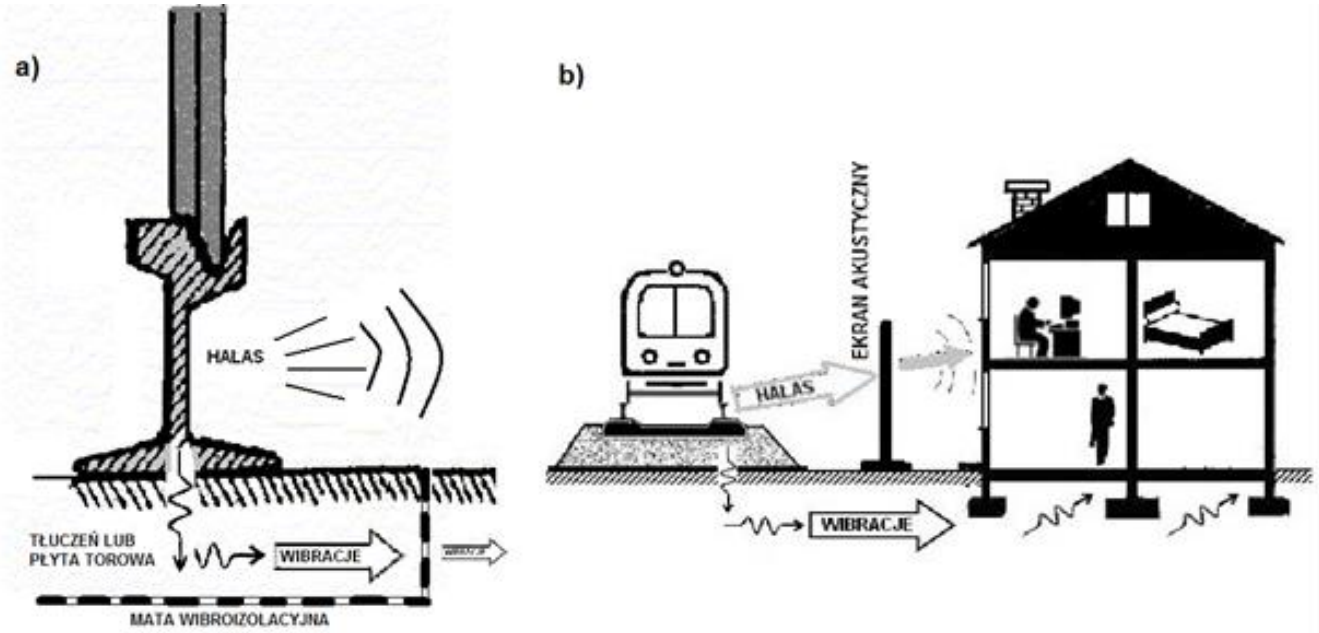
Z powodu tych różnic odmienne są na ogół sposoby redukcji tych dwu zanieczyszczeń, choć zdarzają się rozwiązania takie jak system ERS (szyna w otulinie), które równocześnie obniżają poziom hałasu i poziom wibracji (tramwaje, metro np. Madryt a także na przejazdach kolejowych).



1. WPROWADZENIE – HAŁAS A WIBRACJE

O ile kwestie ochrony przed hałasem są już znane to problematyka drgań transportowych jest niekiedy w dokumentach dotyczących ochrony środowiska (raportach, ocenach oddziaływania, decyzjach środowiskowych) pomijana lub niewłaściwie przedstawiana.

Dla przykładu, zastosowanie maty wibroizolacyjnej pod tłuczniem (mata podtłuczniowa) lub pod płytą torową (nawierzchnia bezpodsypkowa) nie ma w zasadzie wpływu na poziom emitowanego do środowiska hałasu.



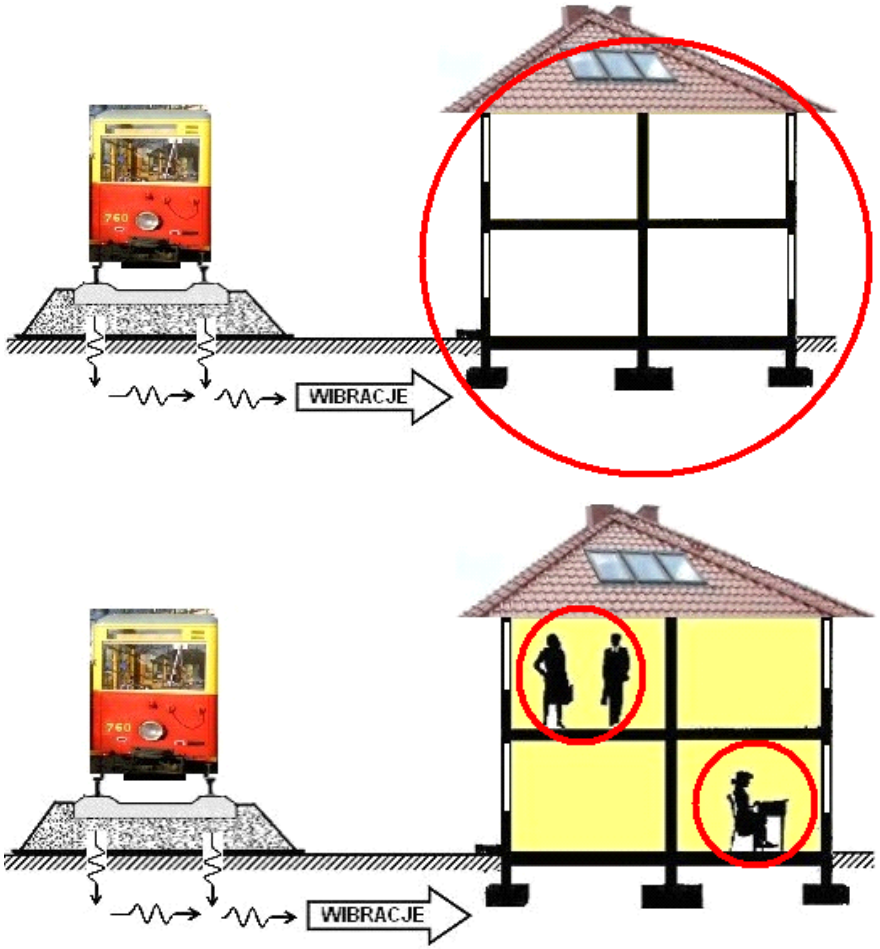
Dlatego bez sensu są spotykane w dokumentach środowiskowych zalecenia zastosowania tych mat tam, gdzie brakuje miejsca na wykonanie ekranów akustycznych. Podobnie zastosowanie ekranów (czy to normalnych, czy niskich przyszynowych) może obniżyć poziom hałasu ale nie ma wpływu na poziom emitowanych drgań.

2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

Diagnostyka wpływu wibracji na środowisko ujęta jest w dwóch polskich normach:

- **PN-B-02170: 1985. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.**

- **PN-B-02171: 1988. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.**



Podstawa ocen: drgania pomierzone w danym budynku lub z obliczeń symulacyjnych (do których dane wejściowe wzięte bezpośrednio z pomiaru drgań w danym budynku lub z bazy danych pomiarowych z pomiaru w sytuacji podobnej do rozważanej).

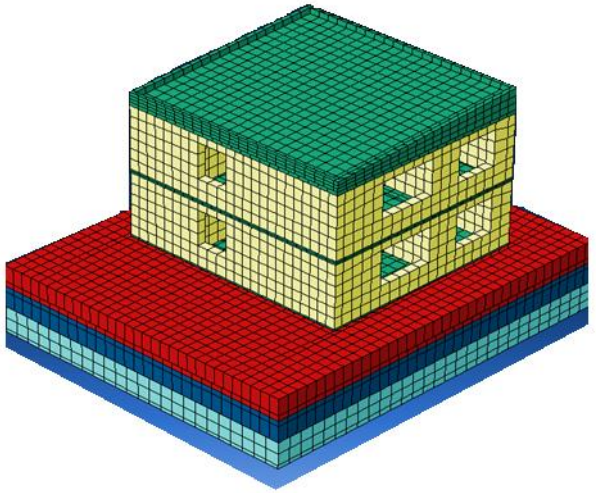
2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

Norma PN-85/B-02170 przewiduje dwie metody oceny wpływu drgań na konstrukcję budynków:

- **ocenę pełną, którą można stosować do wszystkich budynków,**
- **ocenę przybliżoną, która odnosi do wybranych typów budynków.**

Ocena pełna polega na:

- **sporządzeniu modelu budynku do obliczeń dynamicznych,**



- **obliczeniu sił dynamicznych obciążających dodatkowo konstrukcję budynku i sprawdzeniu nośności poszczególnych elementów konstrukcji budynku zgodnie z normami budowlanymi z zakresu projektowania konstrukcji (w wykonaniu takiej oceny powinien uczestniczyć inżynier budowlany).**

2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

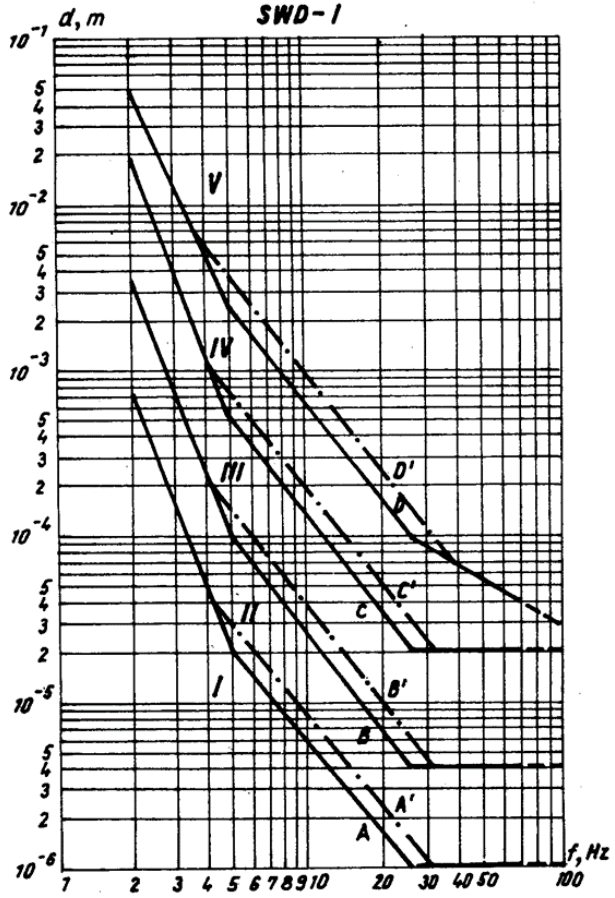
Biorąc pod uwagę pracochłonność omawianych powyżej obliczeń podano w normie PN-85/B-02170 przybliżony sposób oceny wpływów parasejsmicznych (ściślej wpływu poziomych składowych drgań) na budynek za pomocą tzw. skal wpływów dynamicznych SWD-I i SWD-II.

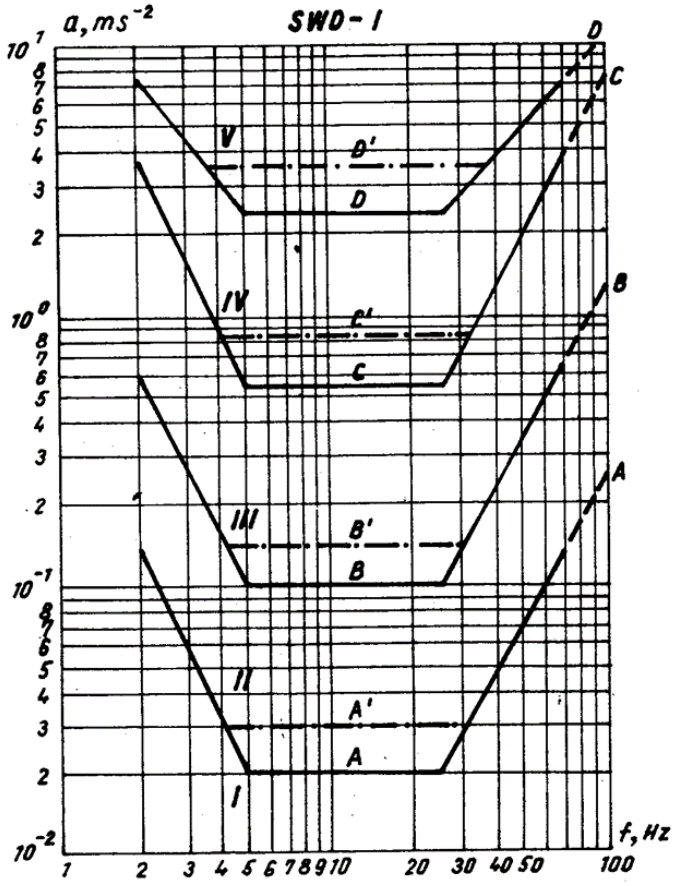
Skale te dotyczą najczęściej spotykanych typów budynków niskich i średnio wysokich (do 5 kondygnacji nadziemnych włącznie) wykonanych z elementów murowych (przeznaczonych do ręcznego układania jak cegła, pustaki itp.), wielkoblokowych oraz wielkopłytowych.

Ocenie podlegają wartości szczytowe przemieszczeń lub przyspieszeń składowych poziomych drgań pomierzonych w poziomie fundamentu lub terenu w sztywnym węźle konstrukcji od strony źródła drgań.

2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

Skala SWD-I odnosi się do budynków o kształcie zwartym o małych wymiarach zewnętrznych rzutu poziomego (nie przekraczających 15 m), jedno- lub dwukondygnacyjnych i o wysokości nie przekraczającej żadnego z wymiarów rzutu poziomego.

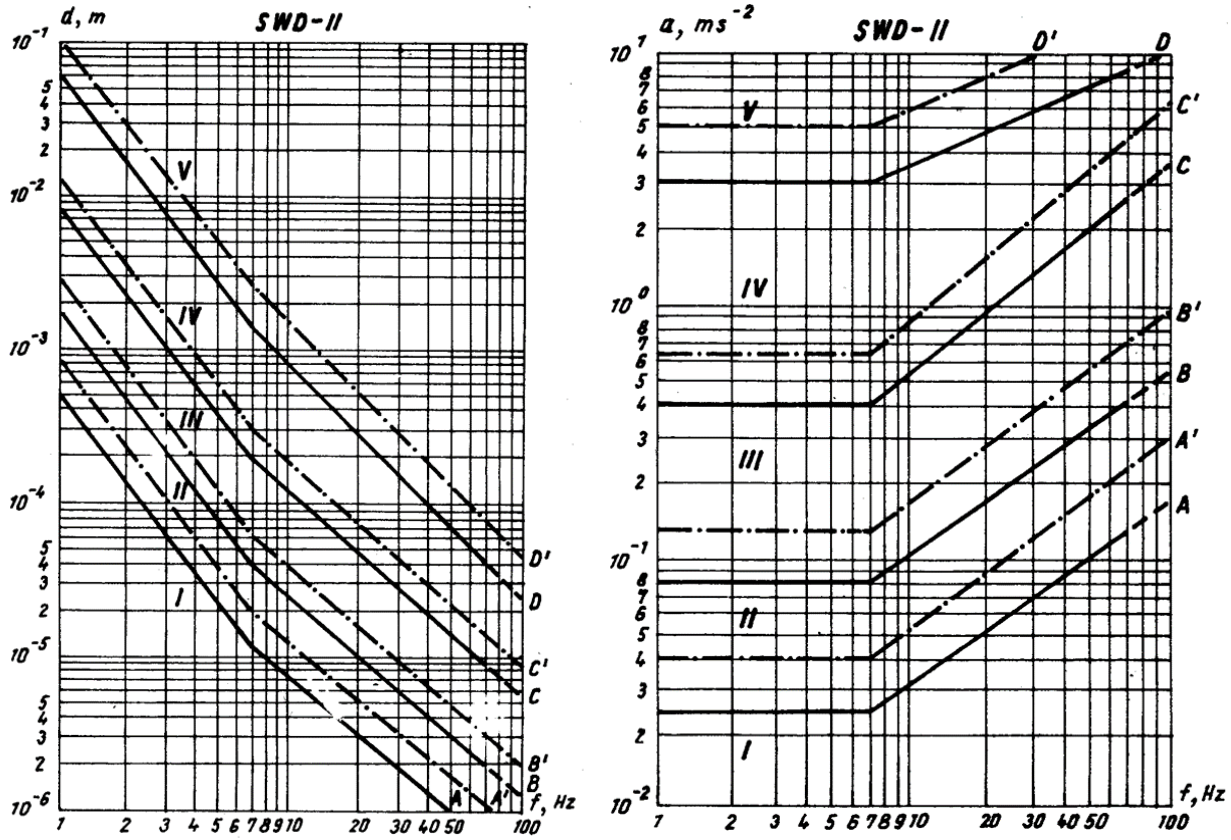




Skale SWD-I wg PN-85/B-02170

2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

Skala SWD-II odnosi się do budynków nie wyższych niż pięć kondygnacji, których wysokość jest mniejsza od podwójnej najmniejszej szerokości budynku w rzucie poziomym oraz do budynków niskich (do dwóch kondygnacji), lecz nie spełniających warunków podanych dla skali SWD-I.

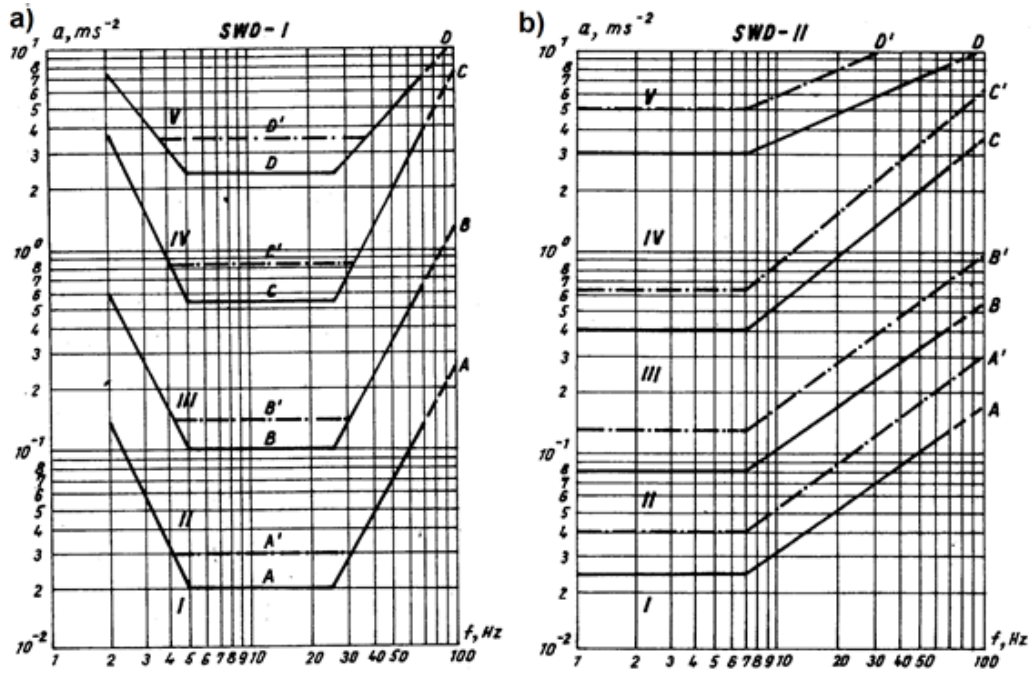


Skale SWD-II wg PN-85/B-02170

2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

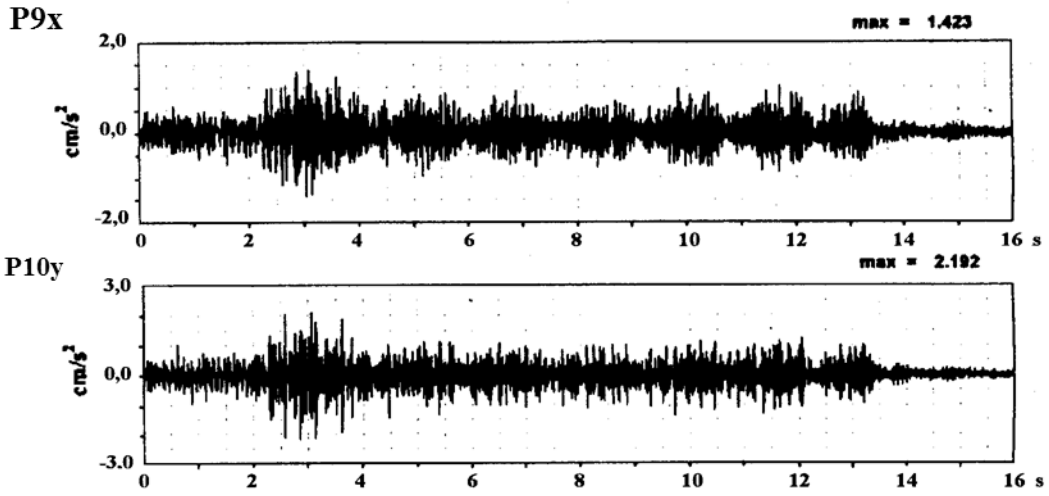
Na skalach SWD oznaczono następujące strefy szkodliwości:

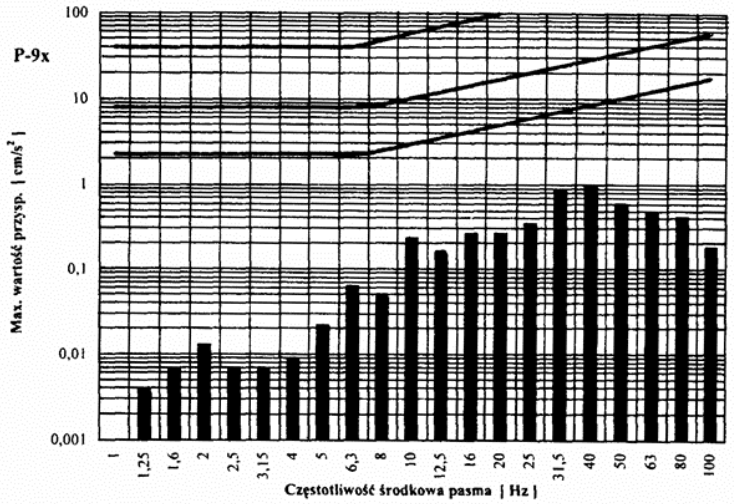
- strefa I – drgania nieodczuwalne przez budynek,
- strefa II – drgania odczuwalne przez budynek, ale nieszkodliwe dla jego konstrukcji; następuje tylko przyspieszone zużycie budynku i pierwsze rysy w wyprawach i tynkach,
- strefa III – drgania szkodliwe dla budynku, powodują lokalne zarysowania i spękania, przez co osłabiają konstrukcję budynku i zmniejszają jego nośność oraz odporność na dalsze wpływy dynamiczne; może nastąpić odpadanie wypraw i tynków,
- strefa IV – drgania o dużej szkodliwości dla budynku, stanowiące zagrożenie bezpieczeństwa ludzi; powstają liczne spękania, lokalne zniszczenia murów i innych pojedynczych elementów budynku; istnieje możliwość spadania przedmiotów zawieszonych, odpadania płatów wypraw sufitów, wysuwania się belek stropowych z łożysk itp.
- strefa V – drgania powodujące awarię budynku przez walenie się murów, spadanie stropów itp., .

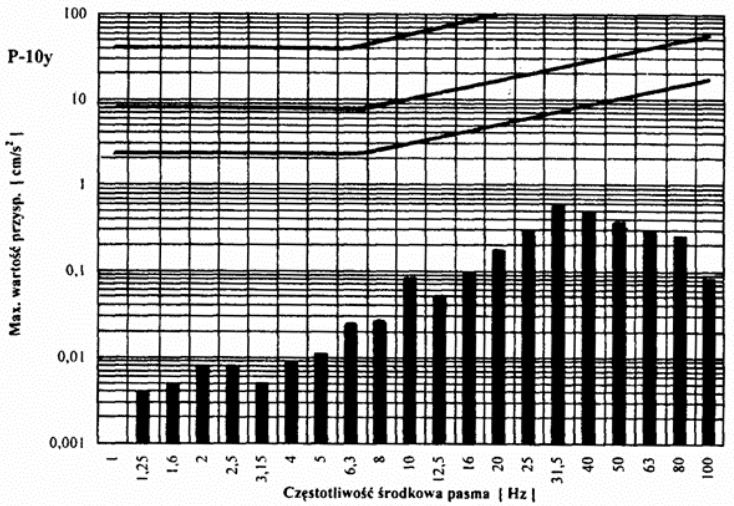


2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

Szczytowe wartości przyspieszenia a oraz odpowiadające im częstotliwości f należy wyznaczać z pomiaru, analizując je w poszczególnych tercjowych pasmach częstotliwości.
Ocenie podlegają wyłącznie składowe poziome drgań pomierzone w sztywnym węźle konstrukcji budynku usytuowanym w poziomie fundamentu lub w poziomie terenu od strony źródła drgań.







2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

Diagnostyka wpływu drgań na ludzi wykonywana jest w Polsce na podstawie normy PN-88/B-02171 [6], zgodnej ze standardami ISO.

Norma określa dopuszczalne wartości skuteczne (RMS – root mean square) przyspieszeń a_{dop} lub prędkości drgań v_{dop} w celu zapewnienia wymaganego komfortu przebywania ludzi w pomieszczeniach.
Podstawą oceny są wyniki analizy częstotliwościowej drgań zarejestrowanych w miejscu odbioru ich przez człowieka.

Oceny tej dokonuje się odrębnie dla kierunków poziomych x i y (kierunki prostopadłe do kręgosłupa człowieka) i pionowego z, rozumianego jako kierunek wzdłuż kręgosłupa.
Ocena przeprowadzana na podstawie wartości skutecznej (RMS) przyspieszenia lub prędkości drgań w pasmach 1/3 oktawowych (tercjowych) polega na porównaniu wg warunku:

$$a < a_{dop} \qquad \text{lub} \qquad v < v_{dop}$$

2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

Wartości dopuszczalne przyspieszenia lub prędkości drgań w pasmach 1/3 oktawowych (tercjowych) wyznacza się wg wzoru

$$a_{dop} = a_i \times n \qquad \text{lub} \qquad v_{dop} = v_i \times n$$

w którym :

a_{dop} (v_{dop}) - dopuszczalna wartość przyspieszenia (prędkości) w kierunku odbioru drgań dla pasma tercjowego o częst. środkowej f ,

a_i (v_i) - wartość przyspieszenia (prędkości) odpowiadająca progowi odczuwalności drgań przez człowieka dla pasma tercjowego o częstotliwości środkowej f ,

n - współczynnik przyjmowany w zależności od przeznaczenia pomieszczenia, pory występowania oraz charakteru drgań i ich powtarzalności - tabela 1.

2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

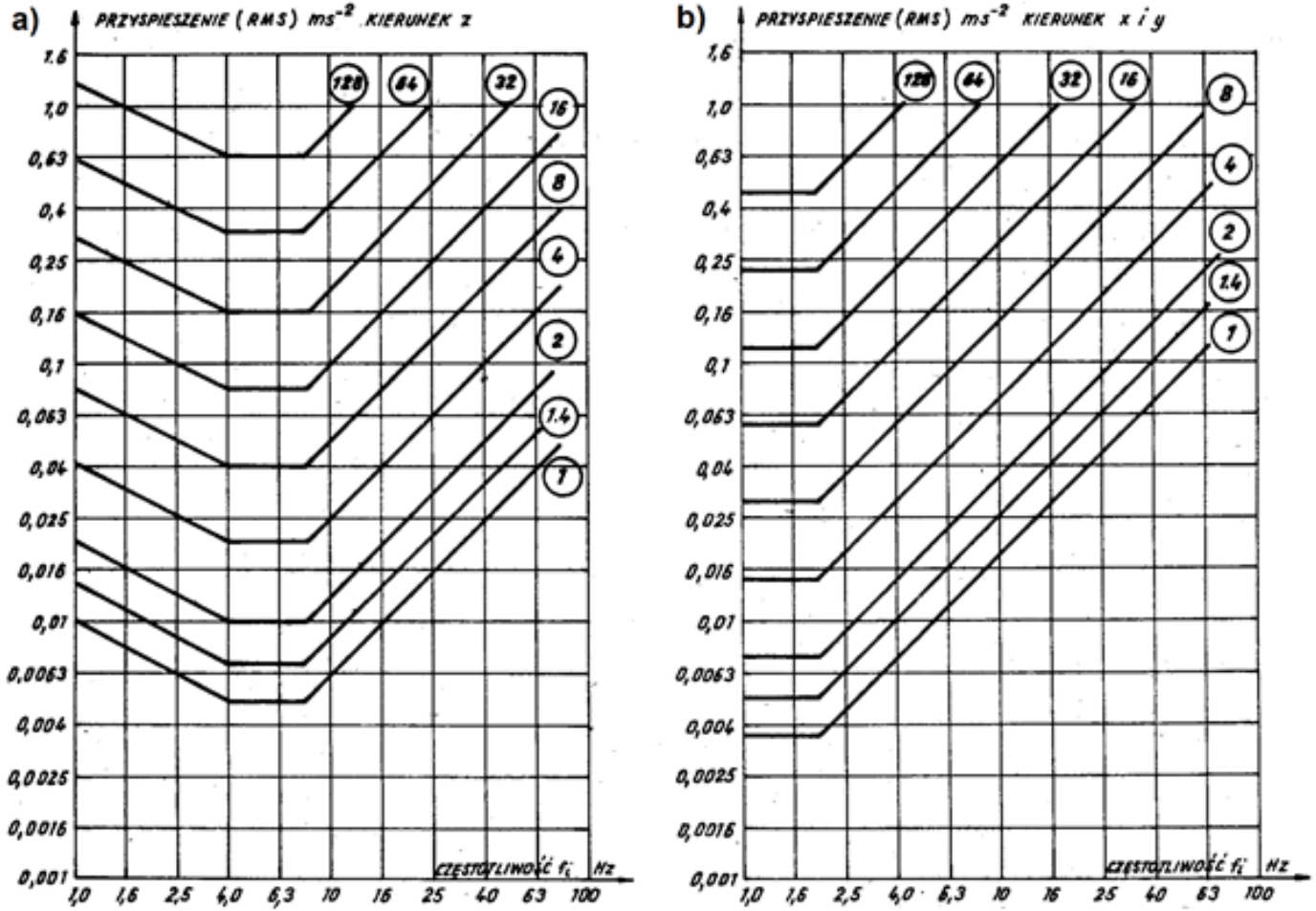
Tabela 1. Wartości współczynnika n (wg PN-88/B-02171 [6])

Przeznaczenie pomieszczenia w budynku	Pora występowania drgań	Wartość *n* w zależności od charakteru drgań i ich powtarzalności	
		drgania występujące stale oraz sporadyczne o krotności większej niż 10 na dobę	drgania sporadyczne o krotności nie przekraczającej 10 na dobę
Sale operacyjne w szpitalach, precyzyjne laboratoria i pomieszczenia podobnego przeznaczenia[1)]	dzień noc	1	1
Szpitale, sale chorych i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień	2	8
	noc	1	4
Mieszkania, internaty i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień	4	32[2)]
	noc	1,4	4
Biura, urzędy, szkoły i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień noc	4	64[2)]
Warsztaty pracy i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień noc	8[3)]	128

1) Wartość współczynnika *n* dotyczy czasu, w którym w salach operacyjnych odbywają się operacje lub w laboratoriach – bardzo precyzyjne czynności.
2) Wartość współczynnika *n* może być podwojona, jeżeli dotyczy drgań sporadycznych uprzednio zapowiedzianych np. sygnałami ostrzegawczymi, komunikatami.
3) Wartość współczynnika *n* może być podwojona, jeżeli dotyczy warsztatów pracy przemysłu ciężkiego, np. mechanicznych, odlewniczych.

2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

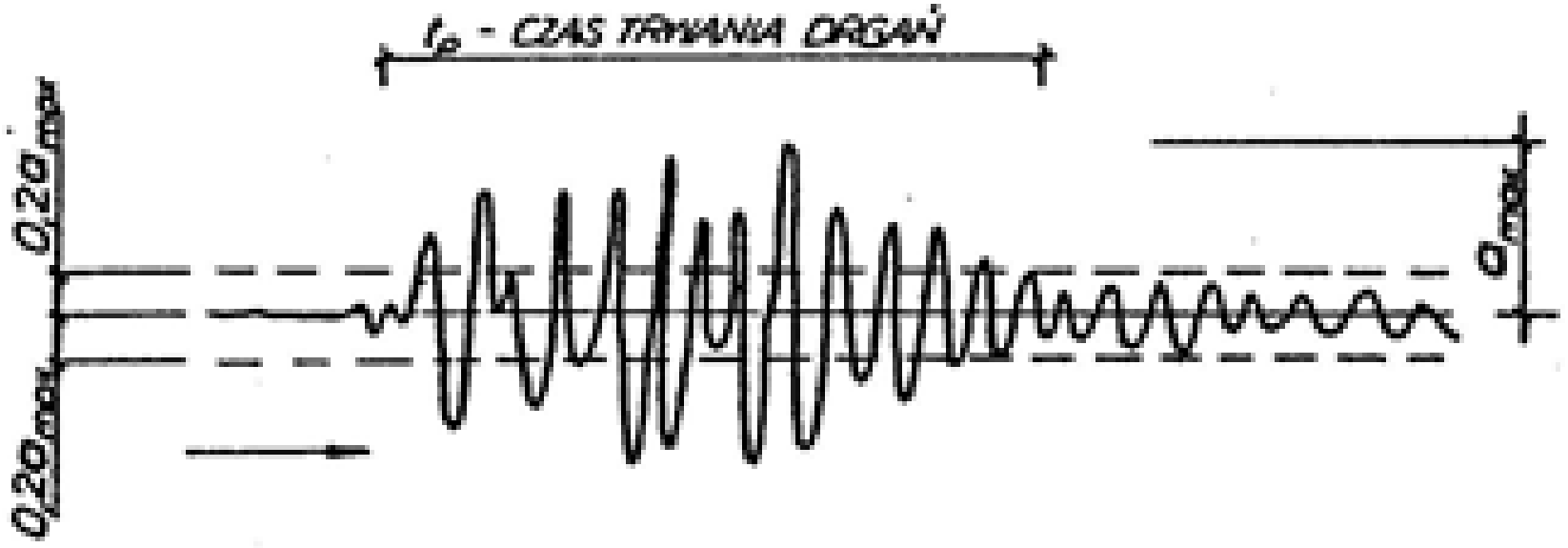
Progi odczuwalności drgań przez ludzi (krzywe oznaczone 1) oraz granice komfortu przy różnych wartościach współczynnika n przedstawiono dla przyspieszeń drgań



wg PN-88/B-02171

2. OCENA WPŁYWU DRGAŃ NA ŚRODOWISKO

Zgodnie z normami PN-85/B-02170 i PN-88/B-02171 czas trwania drgań jest to czas, w którym wartości amplitud są większe niż 0,2 wartości amplitudy maksymalnej. Taki też czas uśredniania należy przyjmować do analizy wartości RMS w pasmach tercjowych przy wykonywaniu oceny wpływu drgań na ludzi.



Ustalanie czasu trwania drgań zgodnie z normami [5] i [6]

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

W przypadku istniejących linii transportu szynowego pytanie o konieczność zastosowania wibroizolacji w nawierzchni szynowej pojawia się najczęściej na skutek skarg mieszkańców sąsiednich budynków.

Należy wówczas:

- **wykonać pomiary drgań i na ich podstawie**
- **ocenić wpływ drgań na budynki oraz na ludzi w budynkach.**

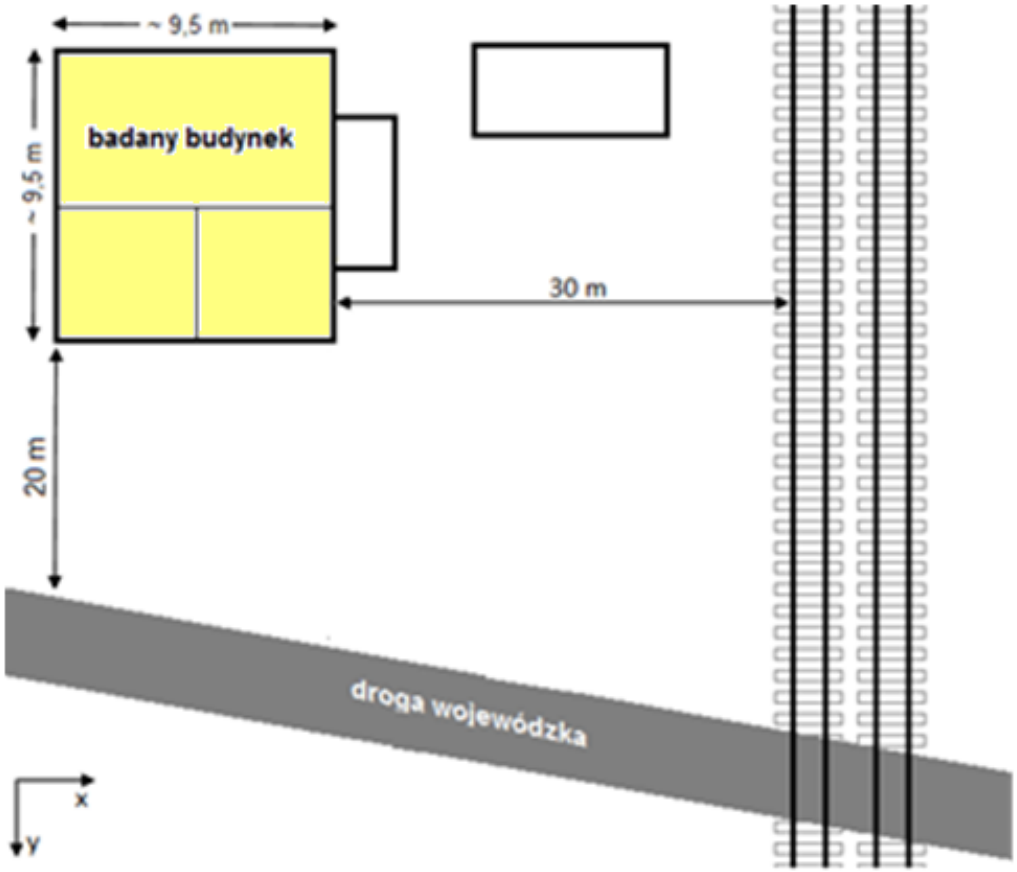
Wyniki tych pomiarów:

- **dają nie tylko odpowiedź na pytanie czy przekroczone są dopuszczalne wartości wpływu drgań na budynki i na ludzi**
- **a więc czy konieczna jest wibroizolacja**
- **ale także dostarczają danych potrzebnych do prawidłowego zaprojektowania tej wibroizolacji.**

W miejscach, w których występuje więcej niż jedno źródło drgań pomiary pozwalają zidentyfikować poziom wpływu drgań z poszczególnych źródeł. Jak wskazują dwa przytoczone niżej przykłady, informacja taka może być istotna przy podejmowaniu decyzji o konieczności zastosowania wibroizolacji.

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

Przykład pierwszy dotyczy jednopiętrowego budynku jednorodzinnego, o konstrukcji murowanej, znajdującego się w odległości ok. 30 m od najbliższego toru linii kolejowej oraz ok. 20 m od jezdni ulicy stanowiącej fragment drogi wojewódzkiej. Mieszkańcy skarżyli się na hałas oraz drgania od linii kolejowej, domagając się od zarządcy linii kolejowej wybudowania ekranów akustycznych i obniżenia poziomu drgań generowanych przejazdami pociągów.



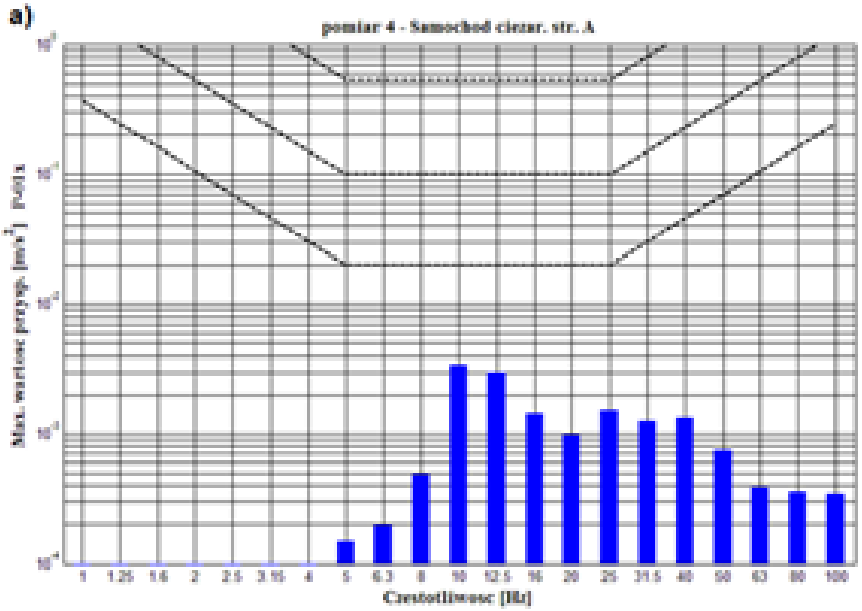
3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

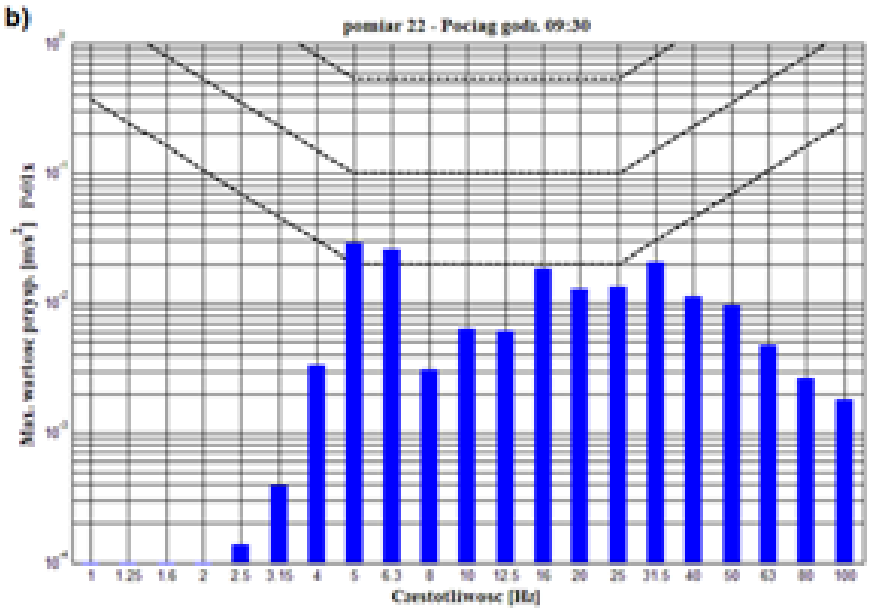
Wykonano pomiary hałasu i drgań zarówno od ruchu drogowego po drodze wojewódzkiej jak i od ruchu pociągów po linii kolejowej .

W wyniku pomiarów hałasu stwierdzono, że równoważny poziom dźwięku generowany przez pociągi poruszające się po linii kolejowej nie przekracza wartości dopuszczalnych hałasu w środowisku przy elewacjach badanego budynku zarówno dla pory dziennej, jak i pory nocnej.

Natomiast dominującym źródłem dźwięku na terenach zlokalizowanych w sąsiedztwie badanego budynku jest ruch samochodowy odbywający się po drodze wojewódzkiej. Przy elewacjach budynku zaobserwowano przekroczenia poziomu dźwięku w porze dziennej i nocnej przy uwzględnieniu w modelu obliczeniowym oddziaływania ruchu samochodowego.

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI



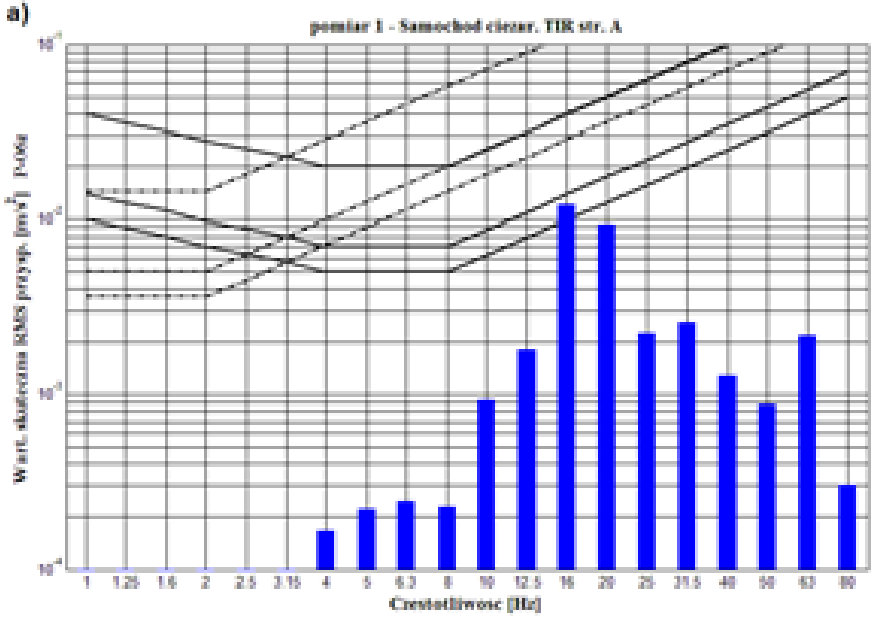


Najniekorzystniejsze wyniki oceny wpływu na konstrukcję budynku drgań wywołanych: a) ruchem samochodów, b) przejazdem pociągu

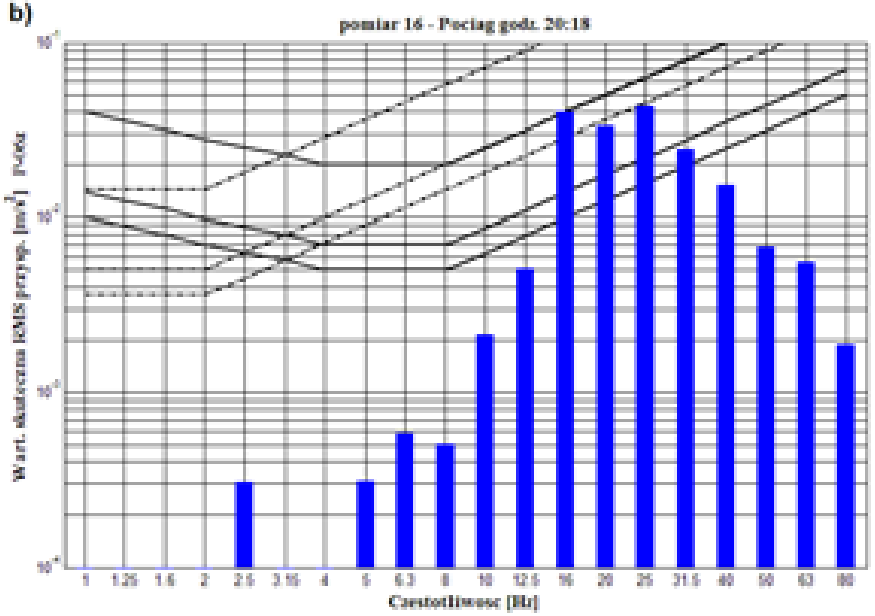
Drgania drogowe mają poziom znacznie niższy od granicy odczuwalności drgań przez konstrukcję budynku - nieodczuwalne dla tej konstrukcji. Natomiast drgania kolejowe dochodzą do II strefy skali SWD-I, są to zatem drgania odczuwalne przez budynek ale nieszkodliwe dla konstrukcji budynku. Mogą one powodować przyspieszone zużycie budynku, pojawianie się uszkodzeń (rys) na tynkach stropów i ścian.

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

a)

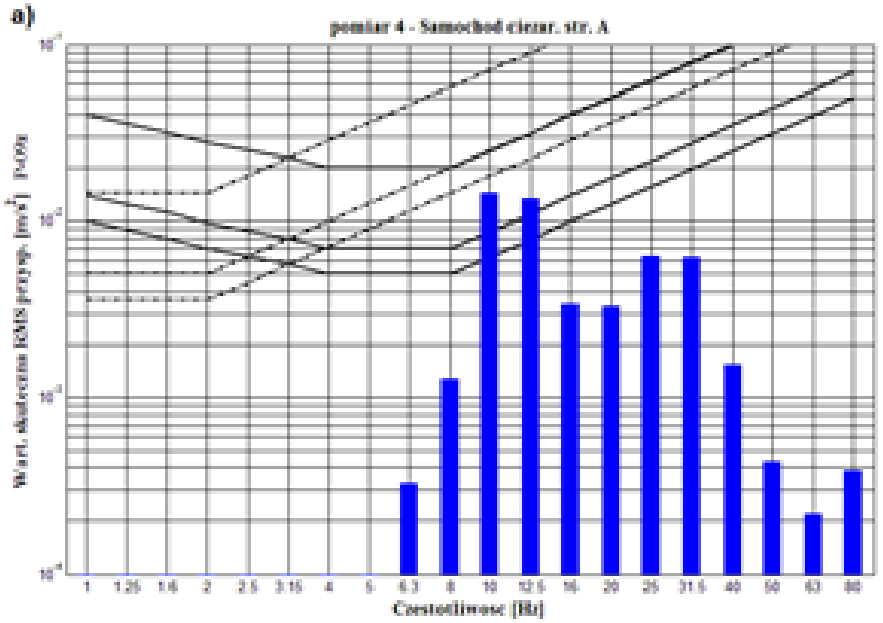


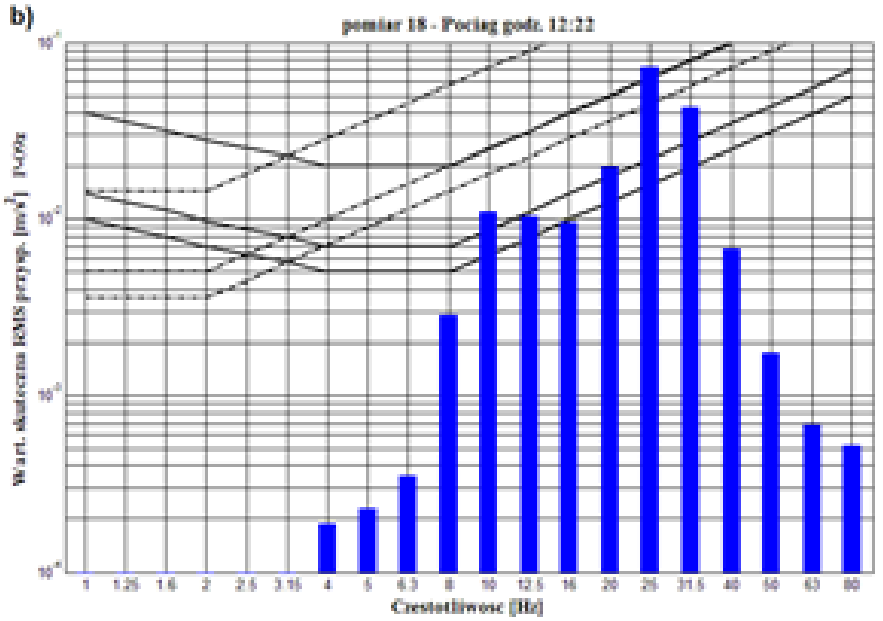
b)



Najniekorzystniejsze wyniki oceny wpływu na ludzi na parterze budynku drgań Z wywołanych: a) ruchem samochodów, b) przejazdem pociągu

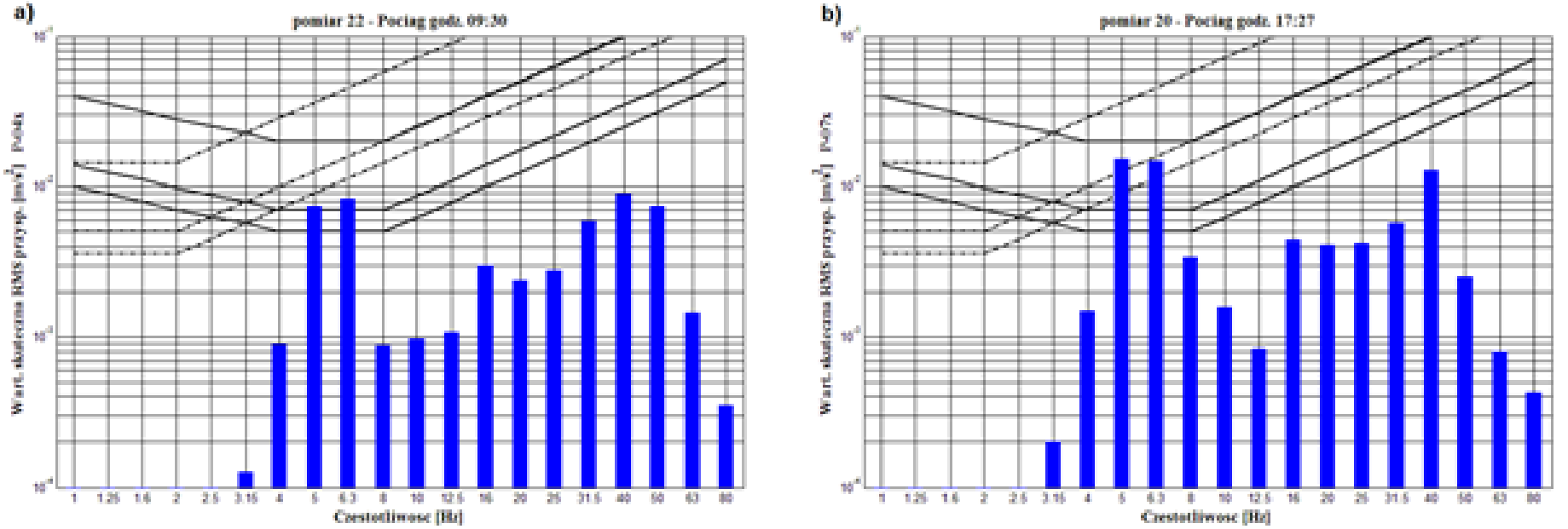
3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI





Najniekorzystniejsze wyniki oceny wpływu na ludzi na piętrze budynku drgań Z wywołanych: a) ruchem samochodów, b) przejazdem pociągu

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI



Najniekorzystniejsze wyniki oceny wpływu na ludzi na piętrze budynku drgań X i Y wywołanych: a) ruchem samochodów, b) przejazdem pociągu

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

Z przedstawionych analiz wynika, że drgania generowane ruchem samochodowym na drodze wojewódzkiej są odczuwalne dla ludzi w budynku ale nie powodują naruszenia warunków komfortu wibracyjnego należnego ludziom w pomieszczeniach mieszkalnych.

Natomiast drgania generowane przejazdami pociągów nie tylko są dla ludzi odczuwalne ale przekraczają dopuszczalne granice zapewnienia ludziom komfortu wibracyjnego w pomieszczeniach mieszkalnych zarówno w porze dnia jak i w nocy.

Podsumowując ten przykład, dzięki pomiarom hałasu i drgań stwierdzono, że nie ma konieczności zabezpieczania badanego budynku przed hałasem kolejowym, natomiast powinien on zostać zabezpieczony przed wpływem drgań kolejowych na jego konstrukcję i na przebywających w nim ludzi. Należy w tym celu zaprojektować odpowiednie rozwiązanie wibroizolacji w konstrukcji nawierzchni szynowej (np. w postaci zastosowania w konstrukcji torowiska mat podpodsypkowych).

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

Drugi przykład dotyczy wpływu na ludzi drgań z dwu źródeł:

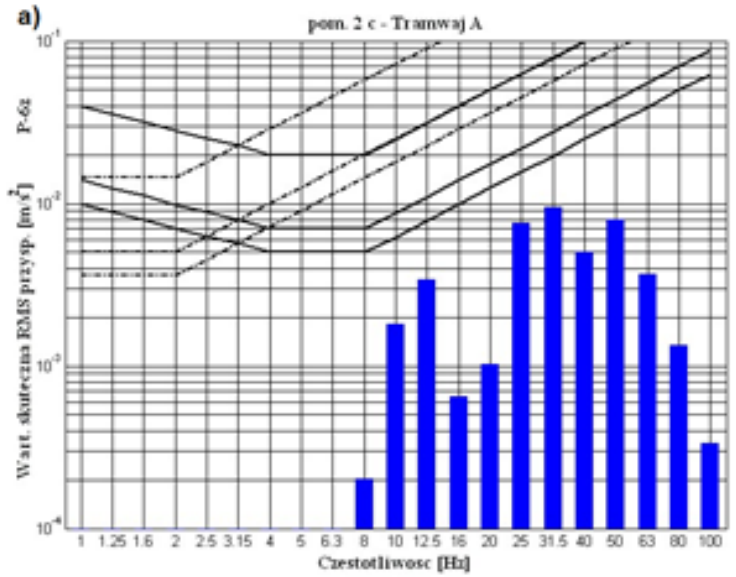
- z tunelu metra
- i od linii tramwajowej

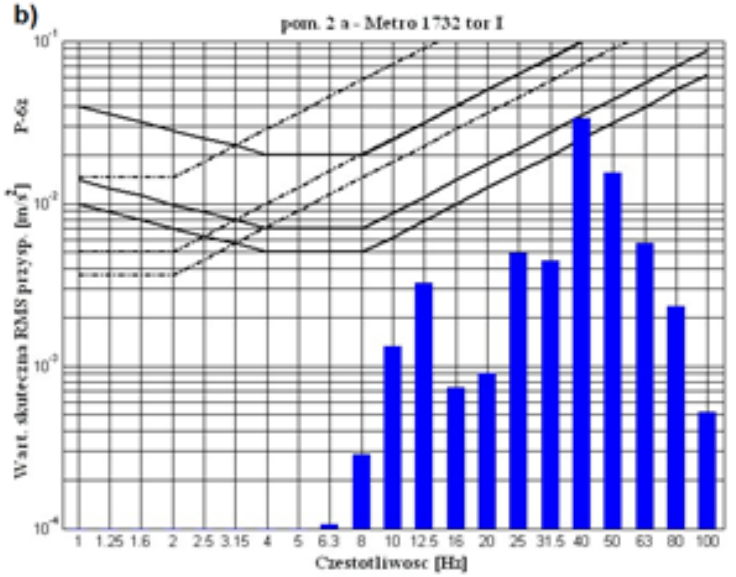
Należało ocenić, czy wpływające do zarządcy metra w Warszawie skargi od ludzi z kilku budynków przy jednej z ulic wywołane zostały naruszeniem komfortu wibracyjnego przez drgania od przejazdów metra (pod jezdnią ulicy) czy od tramwajów (blisko).

Do pomiarów wybrano jeden z budynków, z którego pochodziła znaczna liczba skarg: budynek mieszkalny (z usługami na parterze) czterokondygnacyjny, podpiwniczony, o tradycyjnej konstrukcji murowej z cegły ceramicznej, usytuowany w odległości ok. 25,0m od osi tunelu metra oraz ok. 9,0m od toru tramwajowego. Punkty pomiarowe obrano na posadzce drugiej (I p.) i najwyższej (III p.) kondygnacji (pomiar na parterze nie był możliwy z uwagi na charakter usługowy pomieszczeń na parterze). Poniżej przedstawiono wyniki analiz wpływu drgań pionowych posadzki (drgania poziome miały mniejszy wpływ)

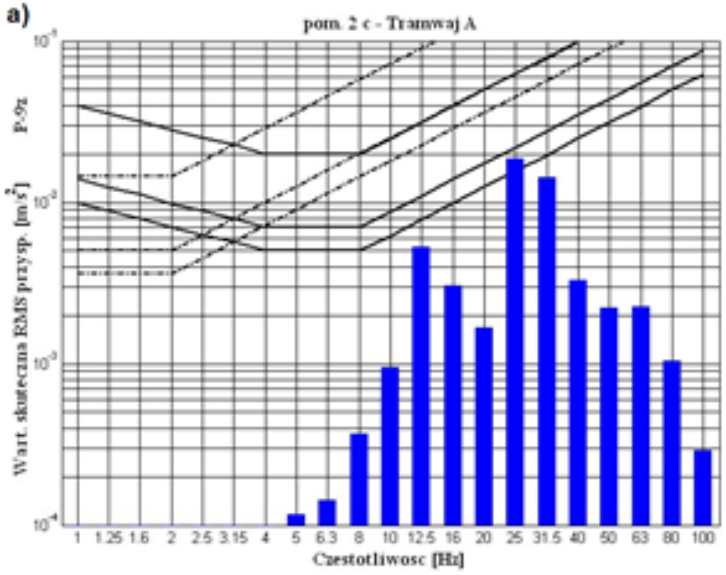
3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

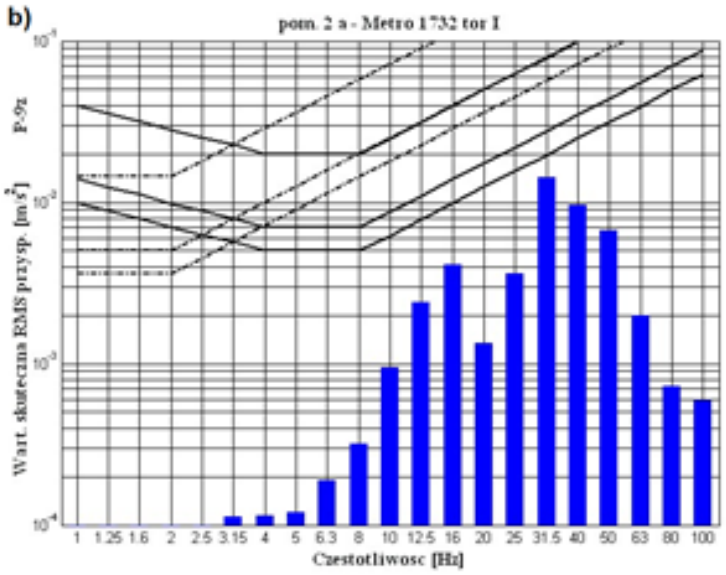
I piętro :
a) tramwaj,
b) metro





IV piętro :
a) tramwaj,
b) metro





3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

W przypadku modernizacji starej linii transportu szynowego lub budowy nowej wstępne określenie konieczności ograniczenia wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach powinno nastąpić na etapie sporządzania opracowań środowiskowych (karty informacyjne przedsięwzięcia, raporty o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko, oceny oddziaływania na środowisko) i wydawanych na ich podstawie decyzji środowiskowych.

Celem określenia konieczności i zakresu zastosowania rozwiązań wibroizolacyjnych, w ramach opracowań środowiskowych dotyczących danej inwestycji powinny zostać wykonane:

- **przedrealizacyjne badania wpływu drgań na budynki i ludzi w budynkach znajdujących się w strefie wpływów dynamicznych danej inwestycji czyli tzw. pomiary tła dynamicznego,**
- **prognoza wpływu drgań na budynki i ludzi w budynkach spodziewanego po wykonaniu nowej (lub modernizacji starej) nawierzchni szynowej ze wskazaniem koniecznych zabezpieczeń przed drganiami.**

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

Przedrealizacyjne pomiary drgań wykonuje się w wybranych budynkach, reprezentatywnych dla pozostałej zabudowy znajdującej się w strefie wpływów dynamicznych danej linii transportu szynowego. Szczególnie uwzględnia się budynki położone najbliżej torów, gdyż na ogół to one będą decydować o konieczności wykonania zabezpieczeń przed nadmiernym wpływem drgań.

Zasięg strefy wpływów dynamicznych uwarunkowany jest z reguły wpływem drgań na ludzi i jest zależny od rodzaju transportu szynowego, warunków gruntowo-wodnych oraz od konstrukcji budynków i ich stanu technicznego. Można przyjmować, że zasięg ten, w przeciętnych warunkach, wynosi:

- **ok. 25 m od osi torów tramwajowych,**
- **40 m od ścian tunelu metra**
- **i ok. 50 m od osi torów kolejowych.**

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

Pomiary przedrealizacyjne spełniają kilka zadań:

- **dokumentują stan wpływów dynamicznych przed realizacją inwestycji co pozwoli potem ocenić skuteczność zastosowanej wibroizolacji,**

- **w odniesieniu do tych inwestycji modernizacyjnych, w których nie następuje zasadnicza zmiana konstrukcji nawierzchni szynowej a modernizacja polega m.in. na wprowadzeniu wibroizolacji (np. maty podtłuczniowej) pomiary przedrealizacyjne pozwalają bezpośrednio na podstawie wyników pomiarów ocenić, w pobliżu których budynków konieczne jest zastosowanie wibroizolacji,**

- **dostarczają informacji potrzebnych do zweryfikowania modeli służących do prognozowania wpływu drgań na sąsiednią zabudowę.**

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

Prognoza wpływu drgań na budynki i ludzi w budynkach spodziewanego po wykonaniu inwestycji:

- **określa prognozowany poziom tych wpływów**
- **wskazuje czy będą potrzebne jakieś zabezpieczenia antywibracyjne a jeśli tak, to w jakich lokalizacjach z wstępnym określeniem rodzaju tych zabezpieczeń.**

Pozwala to uwzględnić w kosztorysie inwestycji koszty zaprojektowania i wykonania wspomnianych zabezpieczeń (wibroizolacji).

3. POMIARY DRGAŃ JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI O KONIECZNOŚCI ZASTOSOWANIA WIBROIZOLACJI

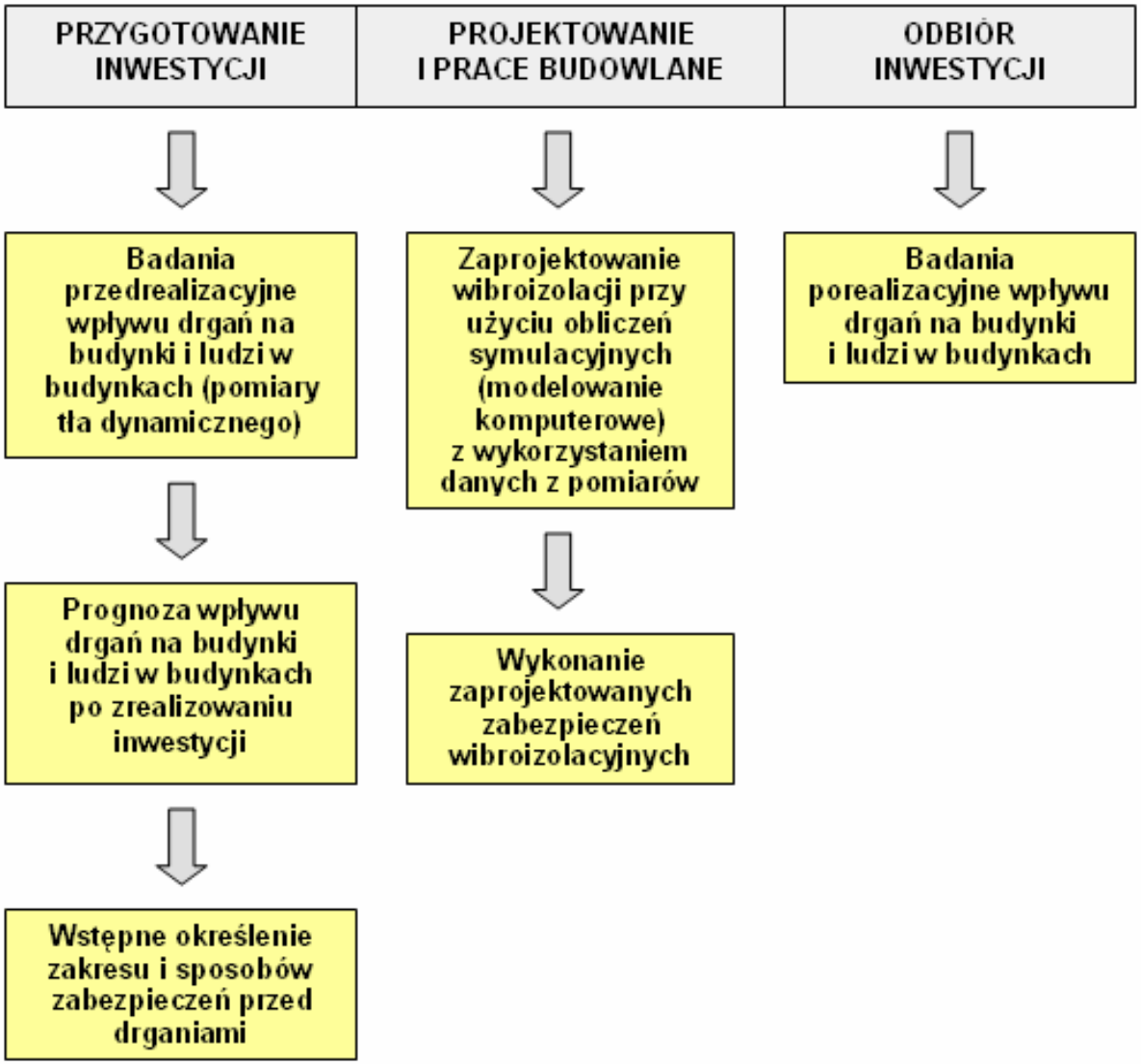
Po zrealizowaniu całej inwestycji (w tym zabezpieczeń wibroizolacyjnych) powinny zostać wykonane pomiary porealizacyjne wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach, celem potwierdzenia założonej skuteczności w zakresie ochrony budynków i ludzi przed drganiami.

Pomiary te powinny zostać wykonane przede wszystkim w tych samych budynkach i punktach pomiarowych co pomiary przedrealizacyjne, tak aby możliwe było uzyskanie porównań i ocena uzyskanego obniżenia wpływu drgań na środowisko.

Należy przestrzegać zapisów art. 147a Ustawy „Prawo Ochrony Środowiska" z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627 z późniejszymi zmianami), aby pomiary wpływu drgań na budynki i ludzi w budynkach były wykonywane przez laboratoria posiadające akredytację w tym zakresie, podobnie jak to jest w przypadku pomiarów hałasu.

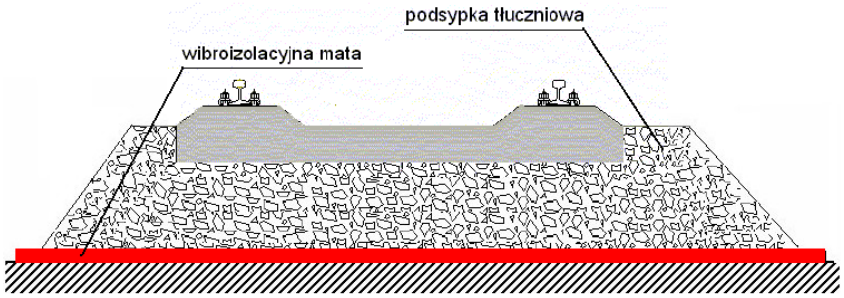
4. PROJEKTOWANIE ROZWIĄZAŃ WIBROIZOLACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM OBLICZEŃ SYMULACYJNYCH

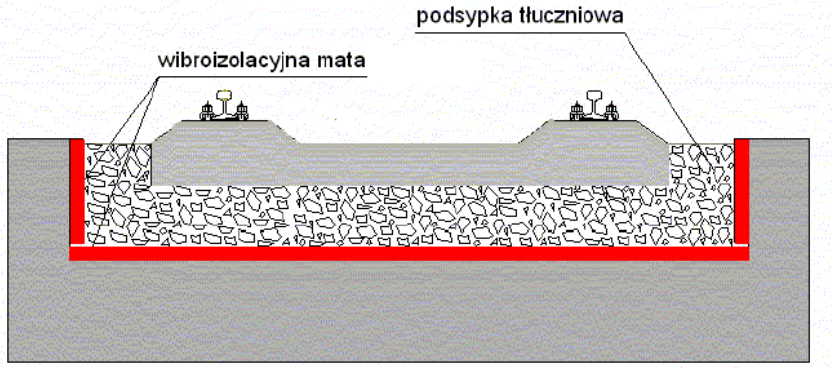
Schemat działań



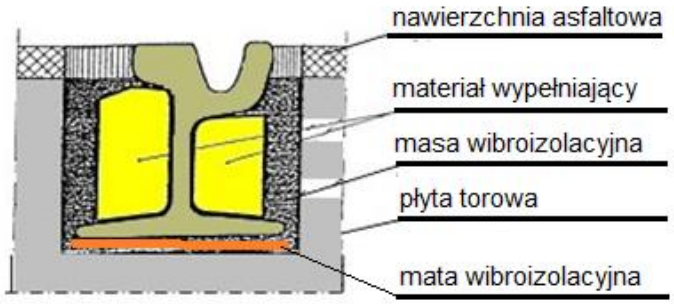
4. PROJEKTOWANIE ROZWIĄZAŃ WIBROIZOLACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM OBLICZEŃ SYMULACYJNYCH

Opis różnych rodzajów rozwiązań wibroizolacyjnych w konstrukcji nawierzchni szynowych można zaczerpnąć z literatury (np. [4]), opracowań UIC oraz informacji handlowych producentów rozwiązań i materiałów wibroizolacyjnych.

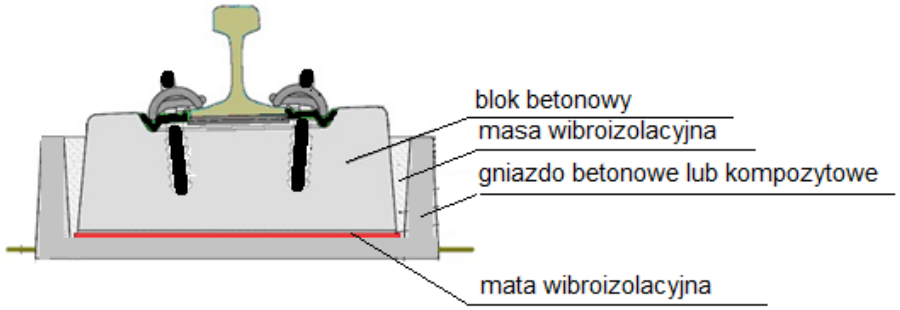




Maty podtłuczniowe na szlaku i na obiekcie inżynierskim



System ERS – szyna w otulinie
Embedded Rail System



System EBS – blok w otulinie
Embedded Block System

4. PROJEKTOWANIE ROZWIĄZAŃ WIBROIZOLACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM OBLICZEŃ SYMULACYJNYCH

Wybierając odpowiednie (pod względem technicznym) rozwiązanie należy brać pod uwagę:

- **z jednej strony wymagania formalne (dopuszczenie wydane przez UTK, certyfikaty CNTK itp.)**

- **a z drugiej trzeba tak dobrać parametry rozwiązań, aby osiągnąć zakładany efekt stosowania wibroizolacji (np. obniżenie poziomu drgań w sąsiednich budynkach lub w pomieszczeniach modernizowanych dworców kolejowych poniżej progu odczuwalności drgań przez ludzi).**

4. PROJEKTOWANIE ROZWIĄZAŃ WIBROIZOLACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM OBLICZEŃ SYMULACYJNYCH

Dlatego na etapie projektowania inwestycji należy wykonać prace związane z zaprojektowaniem wibroizolacji, które obejmują:

- **modelowanie numeryczne do obliczeń dynamicznych nawierzchni z wibroizolacją oraz obiektu odbierającego drgania (budynku, tunelu pod dworcem kolejowym itp.),**
- **prognozowanie drgań generowanych przez pojazdy szynowe na podstawie wyników pomiarów drgań (wykorzystuje się tu przede wszystkim wyniki pomiarów przedrealizacyjnych tj. pomiarów tła dynamicznego oraz dane z bazy danych pomiarowych odnoszące się do porównywalnych sytuacji),**
- **ustalenie tzw. wymuszenia kinematycznego tj. drgań dolnej części budynku,**
- **zweryfikowanie modelu obliczeniowego budynku**
- **przeprowadzenie obliczeń symulacyjnych wpływu drgań na budynek i na ludzi w budynku przy założonych parametrach wibroizolacji.**

4. PROJEKTOWANIE ROZWIĄZAŃ WIBROIZOLACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM OBLICZEŃ SYMULACYJNYCH

Konieczność wykonania obliczeń (i/lub badań doświadczalnych) potwierdzających skuteczność wibroizolacji w przypadku konkretnego jej zastosowania wynika z uzależnienia efektów wibroizolacyjnych od wielu czynników, m.in. od:

- **sztywności i tłumienia materiału wibroizolacyjnego (sztywność masy zalewowej w podporach blokowych i otulinie szyny pływającej, sztywność mat wibroizolacyjnych) oraz wymiarów elementów np. grubości mat wibroizolacyjnych,**
- **rozstawu podpór np. podpór blokowych i wynikających z niego ugięć szyny a co za tym idzie zmiany charakterystyk wymuszenia,**
- **konstrukcji i wymiarów (masy) płyt podtorowych,**
- **sztywności podbudowy,**
- **konstrukcji obudowy tunelu w przypadku komunikacji podziemnej,**
- **różnego spektrum częstotliwości drgań w przypadku różnych rodzajów pojazdów (tramwaj, metro, wagon kolejowy),**
- **warunków gruntowo-wodnych na drodze propagacji od toru do budynku,**
- **konstrukcji i stanu technicznego budynku odbierającego drgania,**
- **zmiany wartości obciążenia podczas eksploatacji,**
- **różnic w odbiorze drgań przez ten sam budynek w zależności czy drgania pochodzą od komunikacji podziemnej czy powierzchniowej.**

4. PROJEKTOWANIE ROZWIĄZAŃ WIBROIZOLACYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM OBLICZEŃ SYMULACYJNYCH

Na podstawie wyników obliczeń symulacyjnych określa się parametry wibroizolacji tak, aby spełnione były założone kryteria ochrony przed drganiami.

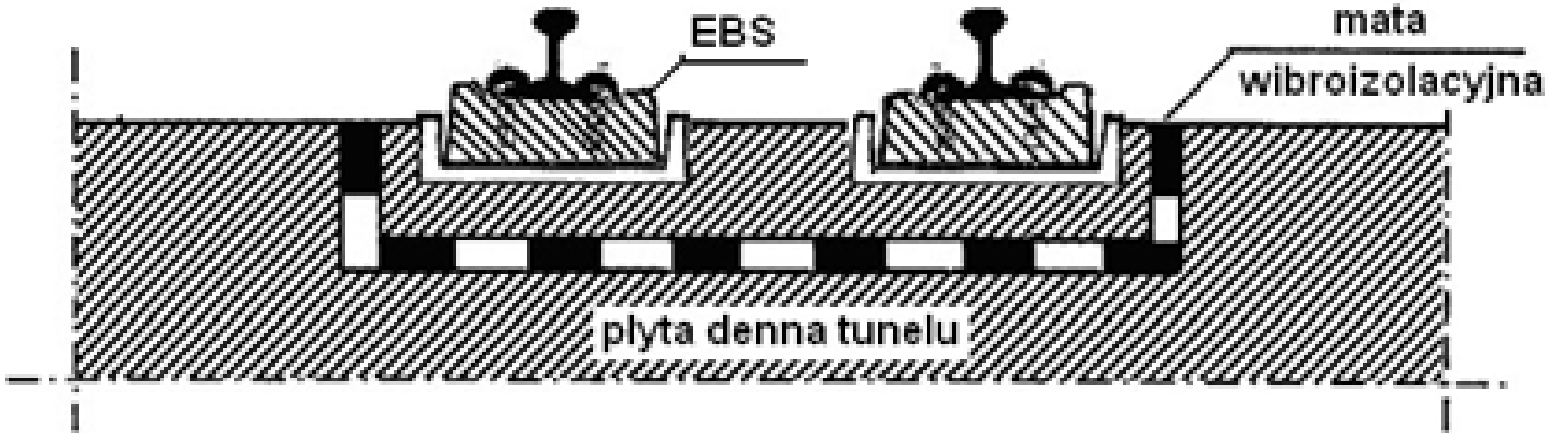
Jak wspomniano wyżej najczęściej kryterium tym jest obniżenie poziomu wpływu drgań na ludzi poniżej progu odczuwalności drgań przez ludzi.

Z reguły chodzi o ludzi w budynkach sąsiadujących z linią transportu szynowego, ale w przypadku projektowania wibroizolacji związanej z przebudową i modernizacją dworców kolejowych może to być kwestia wpływu drgań w miejscach obsługi podróżnych (kasy, poczekalnie itp., szczególnie pod ziemią), wpływu drgań na ludzi w budynkach posadowionych bezpośrednio na płycie dworca podziemnego czy w przylegających do dworca centrach handlowych. Kryterium może też być ograniczenie hałasu materiałowego w tunelach dworcowych i obiektach związanych z konstrukcją dworca.

5. PRZYKŁADY

5.1. Analiza zależności wpływu drgań na ludzi w budynku od sztywności maty wibroizolacyjnej

Rozważmy zastosowanie pod płytą torową nawierzchni bezpodsypkowej w systemie EBS przy zastosowaniu pod płytą torową mat wibroizolacyjnych o różnych modułach sztywności dynamicznej i o tej samej grubości.



Konstrukcja nawierzchni w systemie EBS z matą wibroizolacyjną pod płytą torową

5. PRZYKŁADY

5.1. Analiza zależności wpływu drgań na ludzi w budynku od sztywności maty wibroizolacyjnej

W rzeczywistości nie zawsze mata mniej sztywna jest bardziej korzystna z punktu widzenia ograniczenia wpływu drgań na ludzi w budynkach.

W książce [1] zamieszczono wyniki obliczeń symulacyjnych dotyczące wpływu na ludzi drgań posadzki parteru budynku S9 położonego w sąsiedztwie tunelu kolejowego w Warszawie. W tunelu projektowano wibroizolację w postaci systemu EBS Edilon i mat wibroizolacyjnych.

Przedstawiono tam prognozowane wyniki oceny wpływu drgań na ludzi w przypadku nawierzchni bez maty wibroizolacyjnej oraz przy zastosowaniu dwóch typów mat wibroizolacyjnych o grubości 25mm, różniących się parametrami charakteryzującymi sztywność:

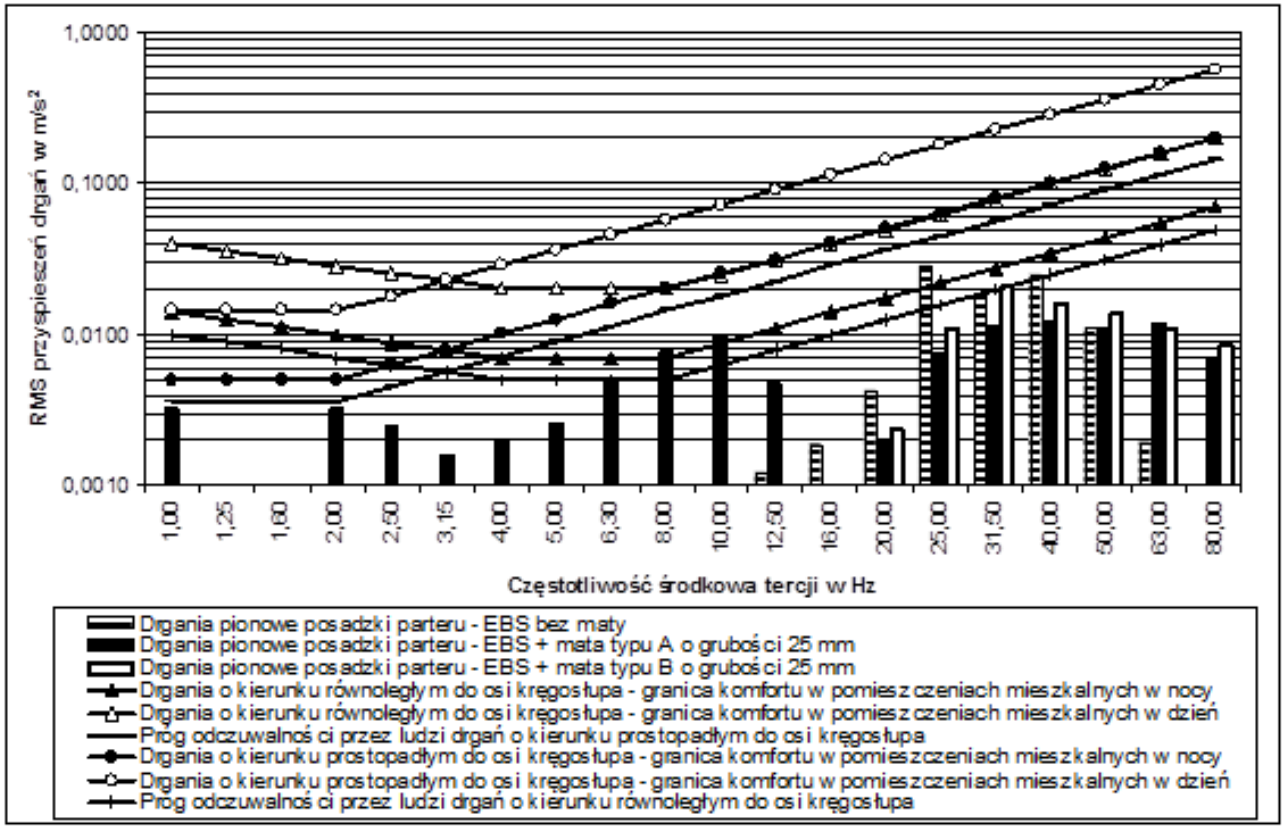
- **mata typu A – moduł sztywności E = 0,017N/mm^3,**
- **mata typu B – moduł sztywności E = 0,023N/mm^3.**

5. PRZYKŁADY

5.1. Analiza zależności wpływu drgań na ludzi w budynku od sztywności maty wibroizolacyjnej

mata typu A -obniżenie wpływu drgań pionowych stropu na ludzi powyżej 20 Hz, ale równocześnie wzrost poziomu drgań.

mata typu B w mniejszym stopniu doprowadziła do obniżenia poziomu drgań w wyższych częstotliwościach, ale nie spowodowała wzrostu w przedziale niskich częstotliwości.



Prognozowany wpływ na ludzi drgań pionowych posadzki parteru budynku S9 w przypadku braku wibroizolacji oraz przy zastosowania mat typu A i B o różnych sztywnościach [1, 2]

5. PRZYKŁADY

5.2. Analiza zależności wpływu drgań na ludzi w budynku od konstrukcji budynku

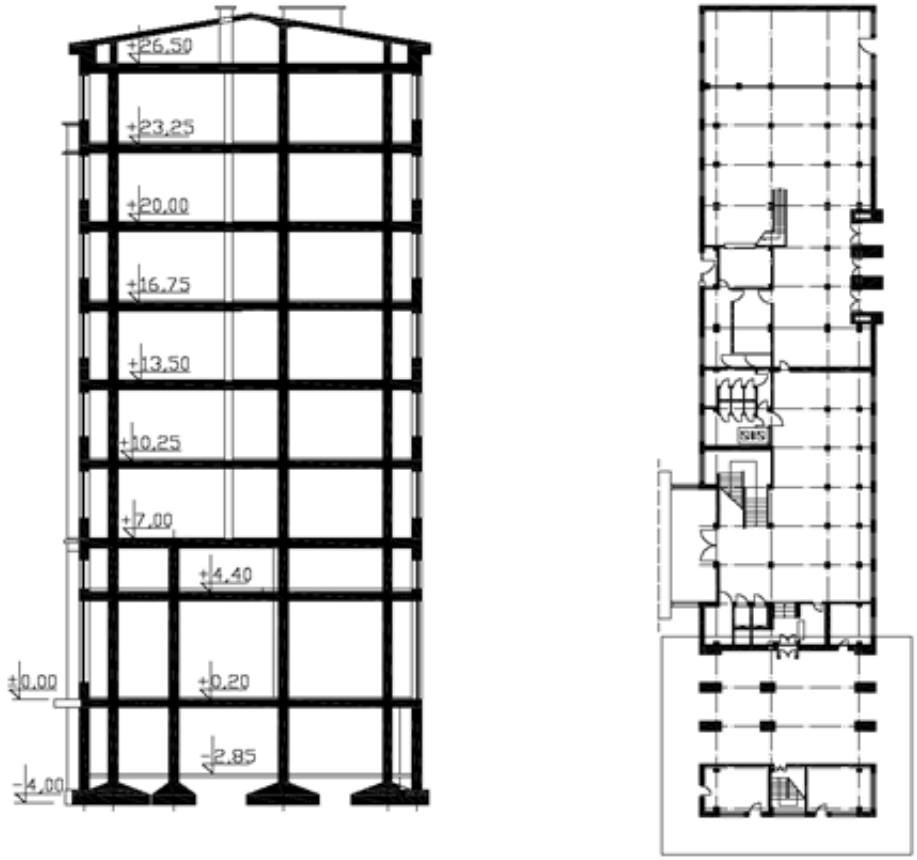
Efekt wibroizolacyjny zależy także od konstrukcji budynków, np. w przypadku wpływu na ludzi w dużej mierze od konstrukcji stropów (częstotliwości ich drgań własnych).

Niejednokrotnie można spotkać się z sytuacją, że wibroizolacja wystarczająca z punktu widzenia ochrony ludzi w jednym budynku może być niewystarczająca do zapewnienia odpowiedniego komfortu ludziom w sąsiednim budynku.

5. PRZYKŁADY

5.2. Analiza zależności wpływu drgań na ludzi w budynku od konstrukcji budynku

analizowano zależności wpływu na ludzi drgań generowanych przez metro od grubości żelbetowych płyt stropowych rozważanego budynku

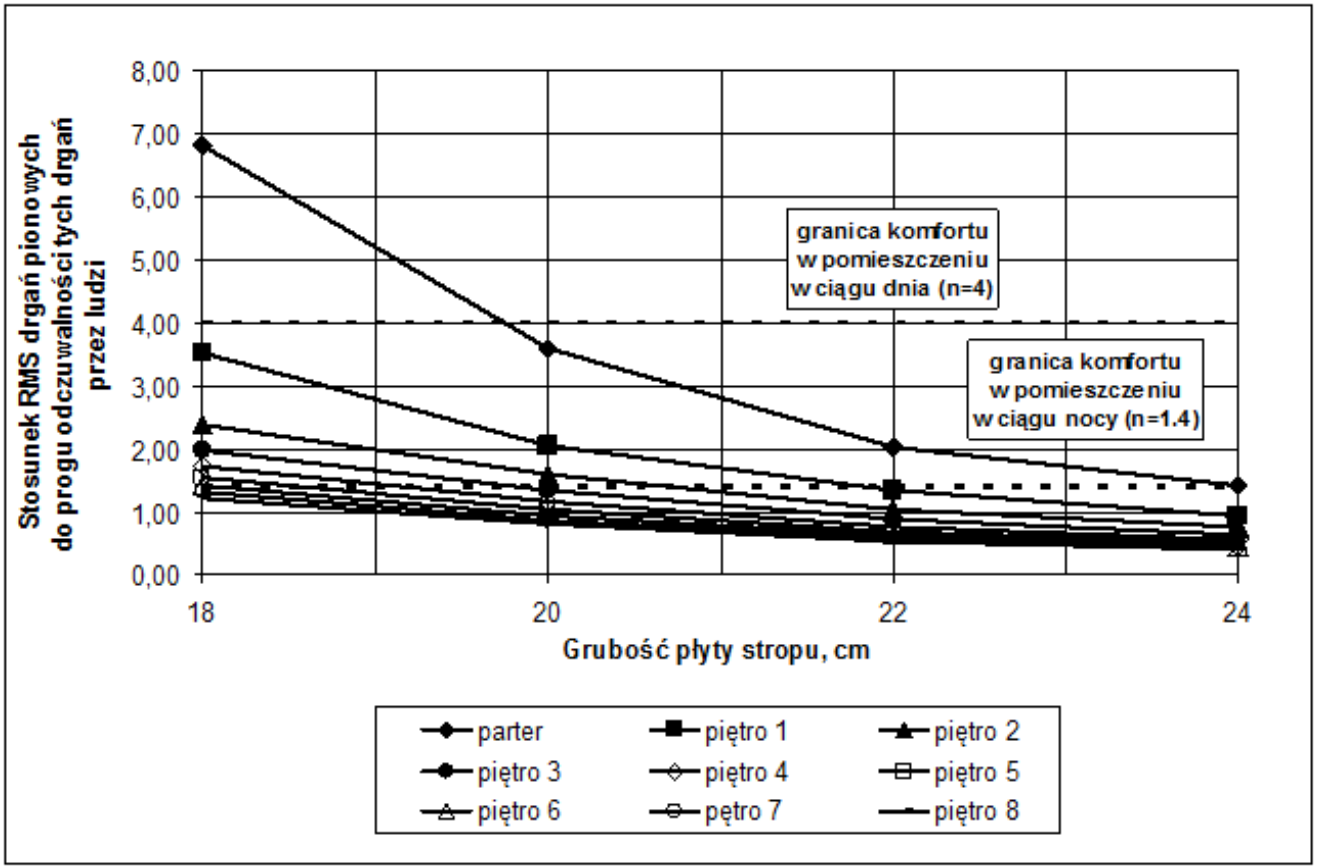


Schematyczny przekrój pionowy i rzut poziomy rozważanego budynku

5. PRZYKŁADY

5.2. Analiza zależności wpływu drgań na ludzi w budynku od konstrukcji budynku

wartości wskaźnika odczuwalności drgań przez ludzi (WODL) czyli stosunku wartości skutecznych (RMS) drgań w poszczególnych tercjowych pasmach częstotliwości do wartości progu odczuwalności drgań przez ludzi w danym paśmie częstotliwości



Zależność wartości wskaźnika odczuwalności przez ludzi (WODL) drgań pionowych stropu generowanych przejazdami metra od przyjętych grubości płyt żelbetowych stropów rozważanego budynku [1]

PODSUMOWANIE

Podstawą opracowania skutecznych rozwiązań ochrony środowiska przed drganiami jest prawidłowe przeprowadzenie pomiarów drgań i właściwa interpretacja ich wyników a następnie wykonanie obliczeń symulacyjnych celem potwierdzenia skuteczności projektowanej wibroizolacji.

Powielanie różnych rozwiązań bez takiej analizy uwzględniającej m. in. konstrukcję budynków odbierających drgania może prowadzić do nieuzyskania zakładanych efektów wibroizolacyjnych a w skrajnych przypadkach nawet do wzrostu poziomu drgań odbieranych przez ludzi w budynkach.

Literatura i wykorzystane materiały

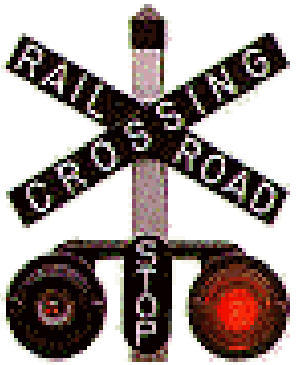
[1] Kawecki J., Stypuła K.; Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013

[2] Kozioł K., Stypuła K., Obliczenia symulacyjne w projektowaniu wibroizolacji nawierzchni szynowych. Wybrane przykłady zastosowań, DROGI Lądowe – Powietrzne – Wodne, Nr 10/2010 (29), str. 95 – 109

[3] Stypuła K.: Drgania generowane w podłożu przez transport szynowy i ich wpływ na budynki i ludzi w budynkach. Mat. XXIV Ogólnopolskiej Konferencji Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji „Naprawy i wzmocnienia konstrukcji budowlanych", Wisła 2009, t. II, str. 395-420

[4] Stypuła K.: Nowoczesne wibroizolacje. Builder, Nr 10, październik 2009, s. 66-70.

[5] PN-85/B-02170. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.

[6] PN-88/B-02171. Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ