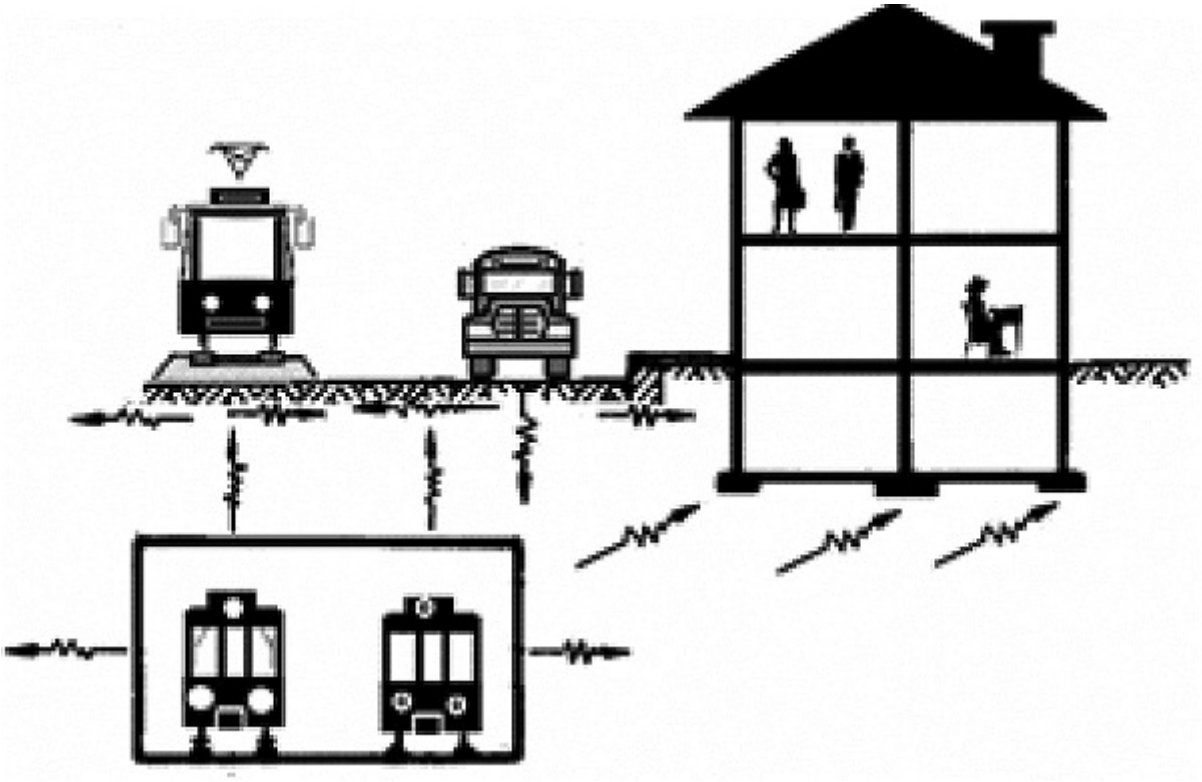
Zastosowanie wibroizolacji w konstrukcji nawierzchni szynowej

Jednym z istotnych zanieczyszczeń środowiska, emitowanych przez transport szynowy i drogowy, są drgania mechaniczne zwane też wibracjami.

Wibracje różnią się od drgań akustycznych:

- zakresem częstotliwości (wibracje rozważa się w paśmie częstotliwości od 1 do 100 Hz, a drgania akustyczne od 16 do 16000 Hz)
- ośrodkiem, w którym się rozprzestrzeniają (drgania akustyczne w powietrzu, a wibracje w ciałach stałych: nawierzchnia drogowa lub szynowa, grunt, konstrukcja budynku itp.)
- sposobami pomiaru i analizy oraz kryteriami oceny diagnostycznej.

Drgania (wibracje) generowane przez środki transportu, nazywane drganiami komunikacyjnymi lub transportowymi, przenoszą się na budynki przez podłoże (rys. 1).



Rys. 1. Źródła drgań transportowych

Z uwagi na odmienną specyfikę odbioru drgań przez budynki, źródła drgań transportowych można podzielić na dwie grupy:

- transport naziemny: ruch pojazdów samochodowych, szczególnie autobusów i samochodów ciężarowych (wpływ drgań od przejazdów samochodów osobowych i dostawczych jest zwykle niewielki), przejazdy pojazdów szynowych (kolej, metro, tramwaj)
- transport podziemny: ruch pojazdów w tunelach drogowych, kolejowych, metra oraz szybkiego tramwaju.

W ocenie oddziaływania drgań na środowisko, bierze się pod uwagę ich wpływ na konstrukcję budynków i ludzi przebywających wewnątrz obiektów.

Podstawy prawne

Podstawowe akty prawne dotyczące uwzględnienia wpływu drgań na środowisko:

- ustawy:

– z dn. 27.04.2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2001 r. Nr 62, poz. 627)

– z dn. 7.07.1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. z 1974 r. Nr 89, poz. 414)
– z dn. 3.10.2008 r. „o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko” (Dz.U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1227)
– z dn. 13.04.2007 r. „o zapobieganiu szkodom w środowisku i ich naprawie” (Dz.U. z 2007 r. Nr 75, poz. 493)

- Rozporządzenie MI z dn. 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690)
- grupa norm ISO-14000 – Zarządzanie środowiskiem
- dyrektywy Unii Europejskiej:

– Dyrektywa Rady 85/337/EWG z dn. 27.06.1985 r., w sprawie oceny skutków niektórych publicznych i prywatnych przedsięwzięć dla środowiska
– Dyrektywa Rady 97/11/WE z dn. 3.03.1997 r., zmieniająca dyrektywę 85/337/EWG w sprawie oceny wpływu wywieranego przez niektóre publiczne i prywatne przedsięwzięcia na środowisko
– Dyrektywa 2001/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 27.06.2001 r., w sprawie oceny wpływu niektórych planów i programów na środowisko
– Dyrektywa 2003/35/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dn. 26.05.2003 r., przewidująca udział społeczeństwa w odniesieniu do sporządzania niektórych planów i programów w zakresie środowiska oraz zmieniająca w odniesieniu do udziału społeczeństwa i dostępu do wymiaru sprawiedliwości Dyrektywy Rady 85/337/EWG i 96/61/WE
– Dyrektywa Rady 96/48/WE z dn. 23.07.1996 r. w sprawie interoperacyjności transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości.

- normy polskie:

– PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki
– PN-88/B-02171 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

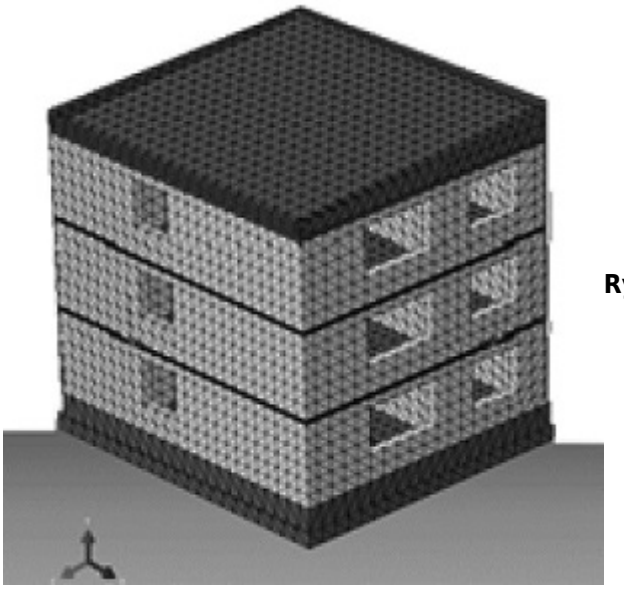
Diagnostyka wpływu drgań na budynki

Zasady i kryteria oceny wpływu drgań przekazywanych przez podłoże (także drgań transportowych) na konstrukcję budynków zawarte są w normie PN-85/B-02170. Przewiduje ona dwie metody oceny wpływu drgań na konstrukcję budynków: ocenę pełną (którą można stosować do wszystkich budynków) oraz ocenę przybliżoną, odnoszącą się tylko do dwóch wybranych typów budynków.

Pełna ocena polega na:

- sporządzeniu modelu budynku do obliczeń dynamicznych (modele z masami dyskretnymi, modele MES – rys. 2)
- obliczeniu sił dynamicznych obciążających konstrukcję budynku po uwzględnieniu wymuszenia kinematycznego (w postaci drgań zagłębionej w gruncie części budynku lub spektrum odpowiedzi)
- sprawdzeniu nośności elementów konstrukcji budynku zgodnie z normami budowlanymi z zakresu projektowania konstrukcji.

W wykonaniu oceny powinien bezwzględnie uczestniczyć inżynier budowlany, ze względu na konieczność znajomości norm i przepisów budowlanych oraz zasad statyki i dynamiki budowli.



Rys. 2. Przykładowy model budynku do obliczeń dynamicznych z podziałem na elementy metody elementów skończonych (MES)

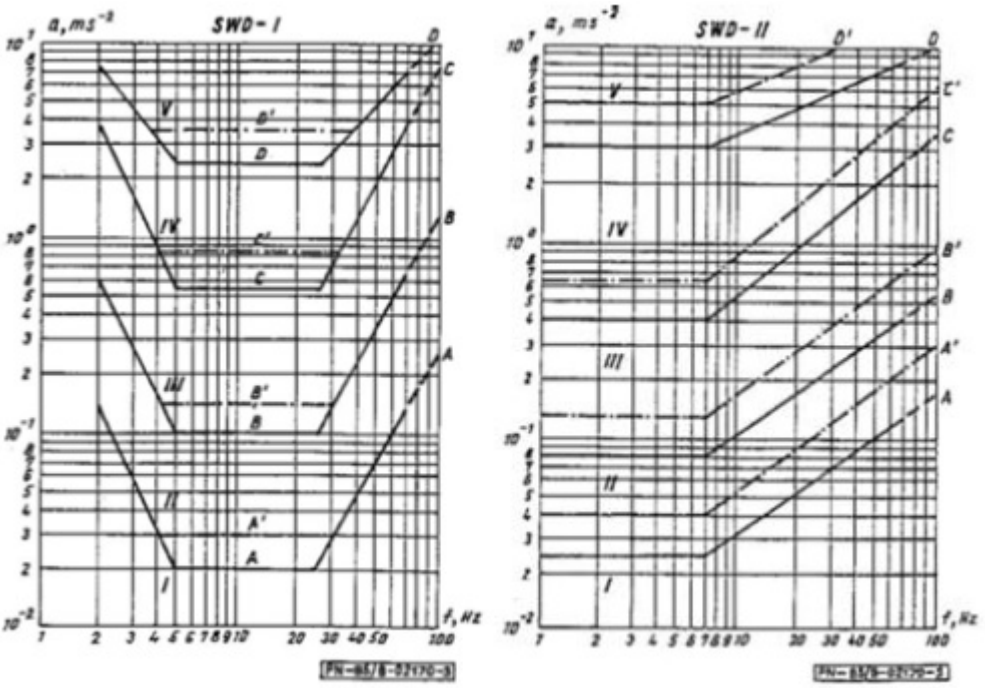
Przybliżona ocena wpływu drgań

Przybliżony sposób oceny ogranicza się do określenia wpływu poziomych składowych drgań na budynek (pomierzonych w sztywnym węźle konstrukcji, od strony źródła drgań, w poziomie fundamentu lub terenu) za pomocą tzw. skal wpływów dynamicznych SWD-I i SWD-II. Skale SWD można stosować do budynków wykonanych z elementów murowych (przeznaczonych do ręcznego układania jak cegła, pustaki itp.) oraz w przypadku budynków z wielkich bloków.

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

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

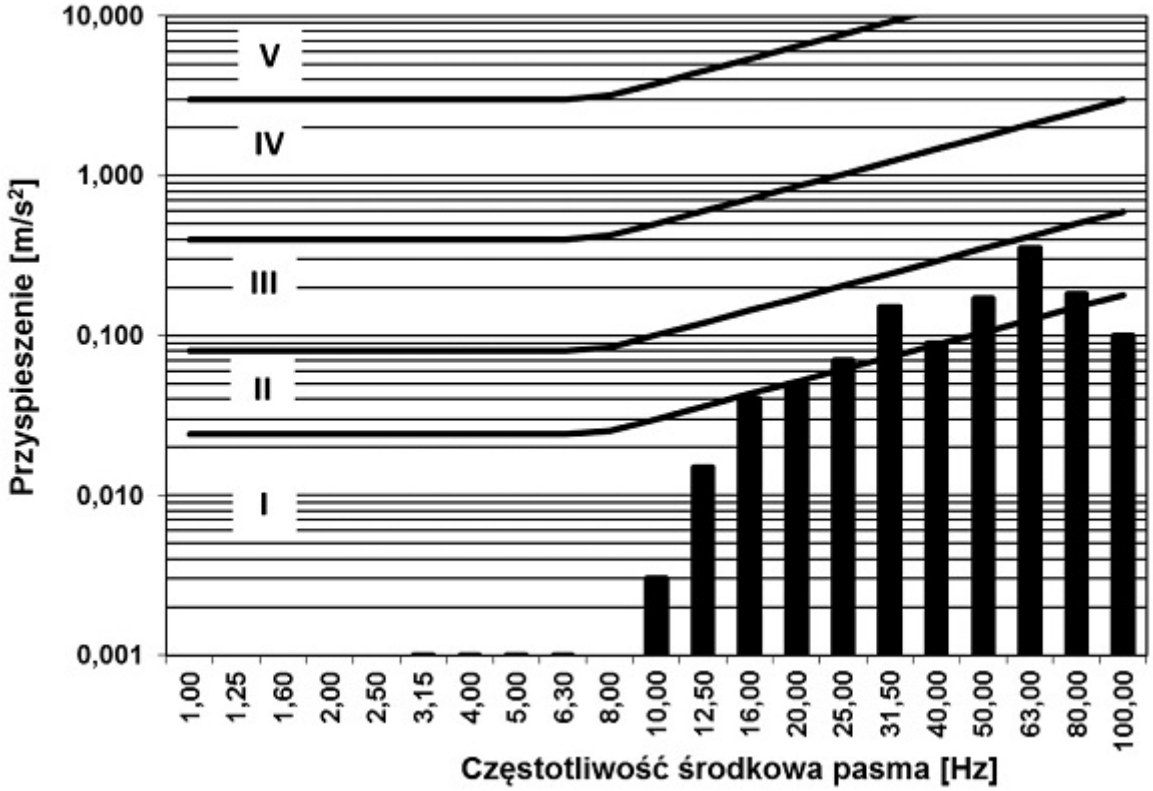
W normie obie skale podano w układzie przemieszczenie-częstotliwość lub przyspieszenie-częstotliwość (rys. 3).



Rys. 3. Skale SWD-I i SWD-II w układzie przyspieszenie (a) – częstotliwość (f) wg PN-85/B-02171

Szczytowe (maksymalne) wartości przemieszczenia d lub przyspieszenia a drgań poziomych oraz

odpowiadające im częstotliwości f należy wyznaczać z pomiaru, analizując je w poszczególnych tercjowych (1/3 oktawowych) pasmach częstotliwości. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe wyniki analizy (w tercjowych pasmach częstotliwości) wpływu na budynek pomierzonych przyspieszeń drgań od przejazdu tramwaju.



Rys. 4. Analiza i ocena wg skali SWD-II wpływu na konstrukcję budynku drgań wywołanych przejazdem tramwaju

Diagnostyka wpływu drgań na ludzi w budynkach

Ocena wpływu drgań na ludzi wykonywana jest w Polsce na podstawie normy PN-88/B-02171. Określa ona dopuszczalne wartości skuteczne (RMS – root mean square) przyspieszeń lub prędkości drgań mechanicznych w celu zapewnienia wymaganego komfortu przebywania ludzi w pomieszczeniach. Podstawą oceny są wyniki analizy częstotliwościowej drgań zarejestrowanych na posadzce w miejscu odbioru ich przez człowieka. Oceny tej dokonuje się odrębnie dla kierunków poziomych x i y (kierunki prostopadłe do osi kręgosłupa człowieka) i pionowego z, rozumianego jako kierunek wzdłuż osi kręgosłupa. Ocena przeprowadzana na podstawie wartości skutecznej (RMS) przyspieszenia lub prędkości drgań w pasmach 1/3 oktawowych polega na porównaniu zmierzonych wartości RMS przyspieszenia drgań (a) lub prędkości drgań (v) w pasmach 1/3 oktawowych dla analizowanego kierunku drgań z odpowiednimi wartościami dopuszczalnymi (a_{dop} lub v_{dop}):

$$a < a_{dop} \text{ lub } v < v_{dop} \quad (1)$$

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

$$a_{dop} = a_i \times n \text{ lub } v_{dop} = v_i \times n \quad (2)$$

gdzie:
a_{dop} (v_{dop}) – dopuszczalna wartość przyspieszenia (prędkości) w kierunku odbioru drgań dla pasma tercjowego o częstotliwości środkowej f_i

a_i (v_i) – wartość przyspieszenia (prędkości) odpowiadająca progowi odczuwalności drgań przez człowieka dla pasma tercjowego o częstotliwości środkowej f_i (tabela 1)
n – współczynnik przyjmowany w zależności od przeznaczenia pomieszczenia, pory występowania oraz charakteru drgań i ich powtarzalności (tabela 2).

Tabela 1. Przyspieszenia i prędkości odpowiadające progowi odczuwalności drgań przez człowieka (wg PN-88/B-02171)

Częstotliwość środkowa pasma f_i [Hz]	Wartość przyspieszenia a_i [ms^{-2}] przy odbiorze drgań przez człowieka z kierunku		Wartość prędkości v_i [ms^{-1}] przy odbiorze drgań przez człowieka z kierunku	
	z	*x* i *y*	*z*	*x* i *y*
1,0	0,0100	0,0036	0,00159	0,00057
1,25	0,0089	0,0036	0,00113	0,00046
1,6	0,0080	0,0036	0,00079	0,00036
2,0	0,0070	0,0036	0,00056	0,00029
2,5	0,0063	0,0045	0,00040	0,00029
3,16	0,0057	0,0057	0,00029	0,00029
4,0	0,0050	0,0072	0,00020	0,00029
5,0	0,0050	0,0090	0,00016	0,00029
6,3	0,0050	0,0114	0,00013	0,00029
8,0	0,0050	0,0144	0,00010	0,00029
10,0	0,0062	0,0180	0,00010	0,00029
12,5	0,0078	0,0225	0,00010	0,00029
16,0	0,0100	0,0289	0,00010	0,00029
20,0	0,0125	0,0361	0,00010	0,00029
25,0	0,0156	0,0451	0,00010	0,00029
31,6	0,0197	0,0568	0,00010	0,00029
40,0	0,0250	0,0721	0,00010	0,00029
50,0	0,0313	0,0902	0,00010	0,00029
63,0	0,0394	0,1140	0,00010	0,00029
80,0	0,0500	0,1440	0,00010	0,00029

Tabela 2. Wartości współczynnika n (wg PN-88/B-02171)

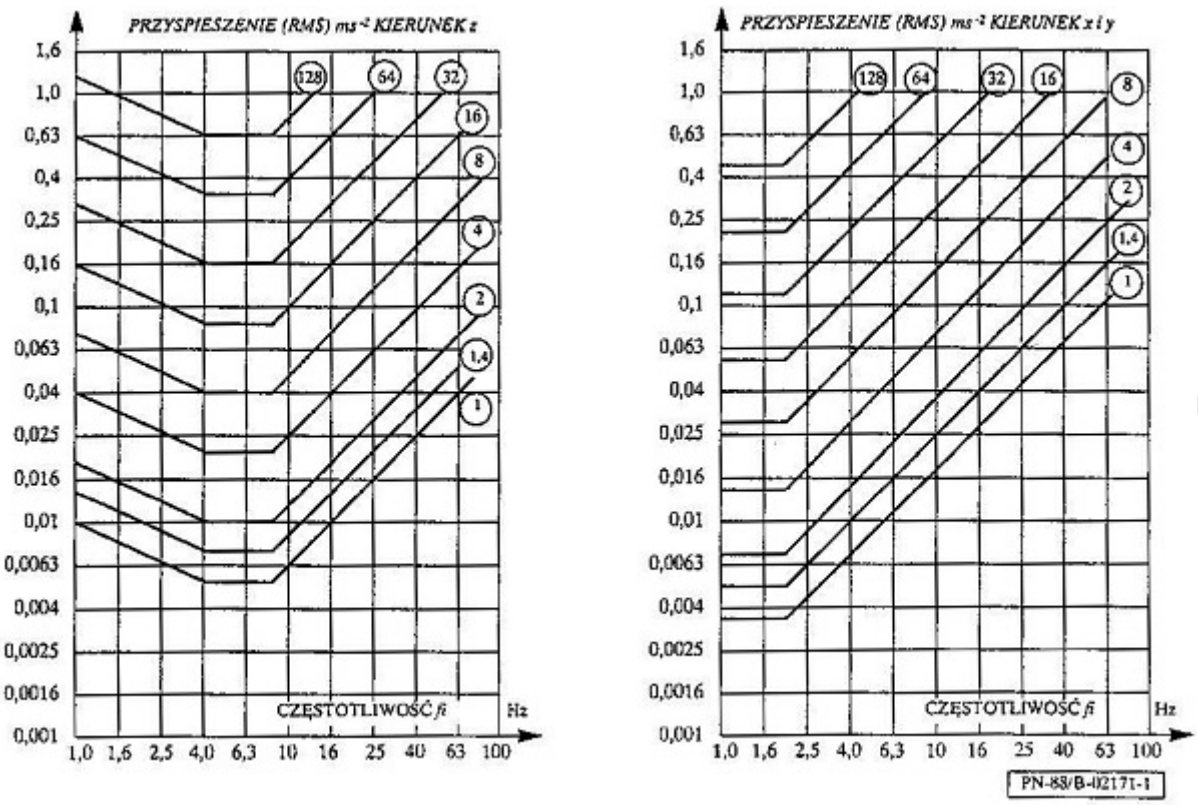
Przeznaczenie pomieszczenia w budynku	Pora występowania drgań	Wartość *n* w zależności od charakteru drgań i ich powtarzalności	
		Drgania występujące stale oraz sporadyczne o krotności większej niż 10 na dobę	Drgania sporadyczne o krotności nie przekraczającej 10 na dobę
Sale operacyjne w szpitalach, precyzyjne laboratoria i pomieszcze-nia podobnego przeznaczenia[1)]	dzień, noc	1,0	1,0
Szpitale, sale chorych i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień	2,0	8,0
	noc	1,0	4,0
Mieszkania, internaty i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień	4,0	32,0[2)]
	noc	1,4	4,0
Biura, urzędy, szkoły i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień, noc	4,0	64,0[2)]
Warsztaty pracy i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień, noc	8,0[3)]	128,0

[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**

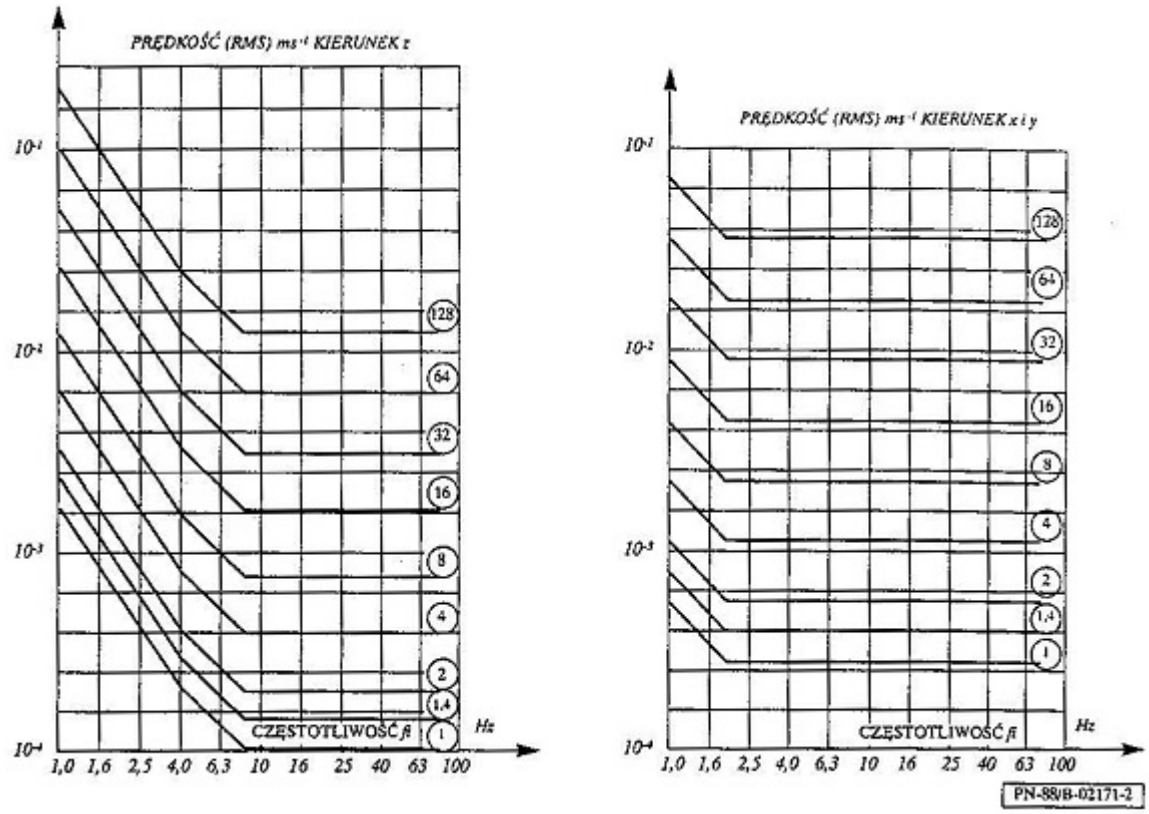
zapowiedzianych, np. sygnałami ostrzegawczymi, komunikatami.

[3] Wartość współczynnika n może być podwojona, jeżeli dotyczy warsztatów pracy przemysłu ciężkiego, np. mechanicznych, odlewniczych.



Rys.

5. Granice komfortu wpływu drgań na ludzi w skali przyspieszeń drgań (wg PN-88/B-02171)

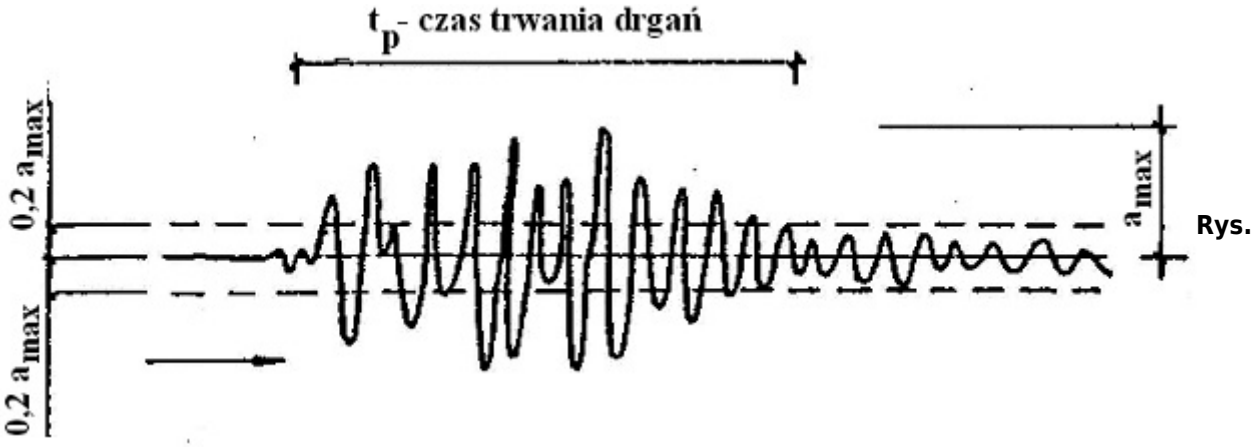


Rys. 6.

Granice komfortu wpływu drgań na ludzi w skali prędkości drgań (wg PN-88/B-02171)

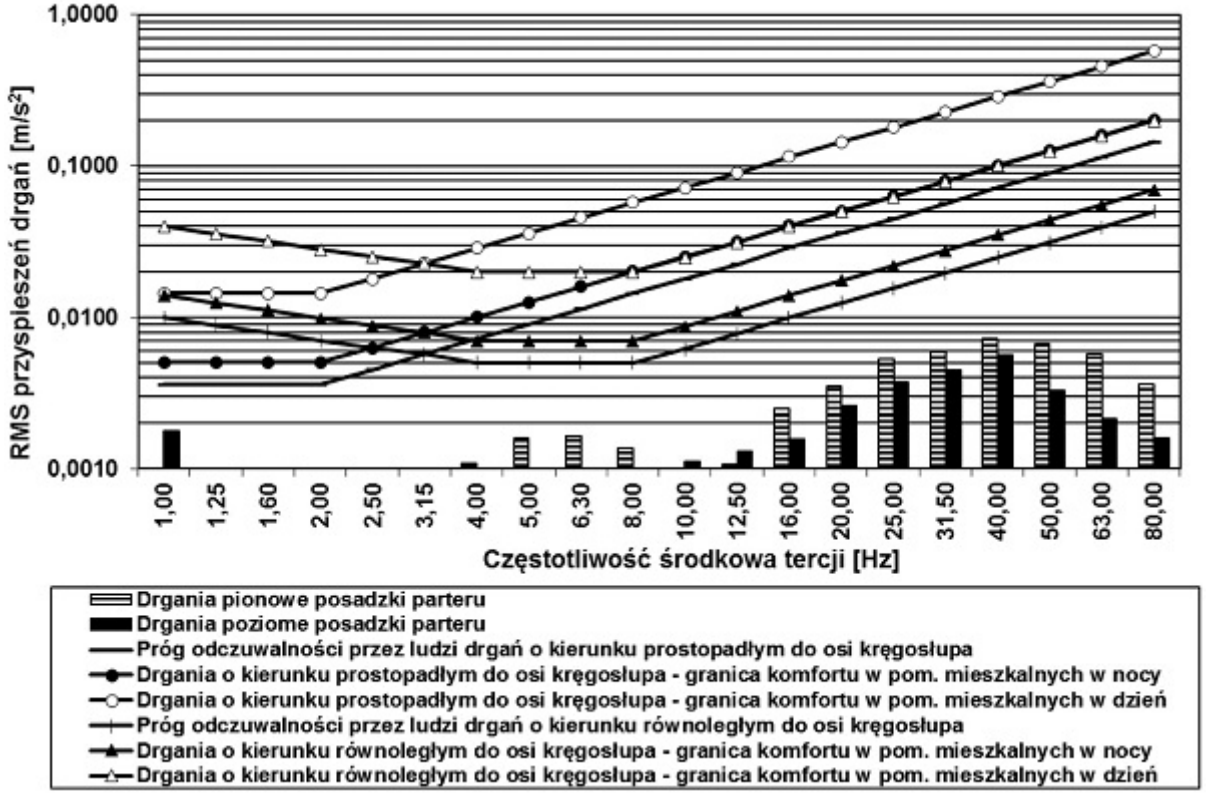
Progi komfortu przy różnych wartościach współczynnika n przedstawiono dla przyspieszeń i prędkości drgań odpowiednio na rys. 5 i 6. Przyjmowany do analizy w pasmach tercjowych czas trwania drgań jest to czas, w

którym wartości amplitud są większe niż 0,2 wartości amplitudy maksymalnej (rys. 7), czyli w tak ustalonym czasie powinny być określane wartości RMS.



Rys.

7. Ustalanie czasu trwania drgań zgodnie z normami PN-85/B-02170 oraz PN-88/B-02171



Rys. 8. Przykładowe wyniki analizy wpływu na ludzi przebywających na parterze budynku drgań generowanych przejazdem tramwaju

Wpływ drgań na środowisko – procedury

Ocena wpływu drgań na środowisko powinna obejmować:

■ określenie zasięgu strefy wpływu drgań na środowisko – w przeciętnych warunkach (zależnie m.in. od warunków gruntowych i konstrukcji budynków) zasięg ten można przyjąć orientacyjnie: w przypadku drgań kolejowych do ok. 50 m, drgań drogowych i tramwajowych do ok. 25 m, drgań wywołanych przejazdami metra do ok. 40 m

■ zidentyfikowanie budynków znajdujących się w tej strefie

■ wytypowanie budynków do pomiarów drgań (należy wybrać obiekty reprezentatywne dla istniejącej zabudowy)

■ wykonanie przedrealizacyjnych pomiarów drgań (tzw. pomiarów tła dynamicznego) w celu określenia dotychczasowego, a następnie prognozowanego po modernizacji wpływu drgań na konstrukcję budynków i

na ludzi w nich przebywających

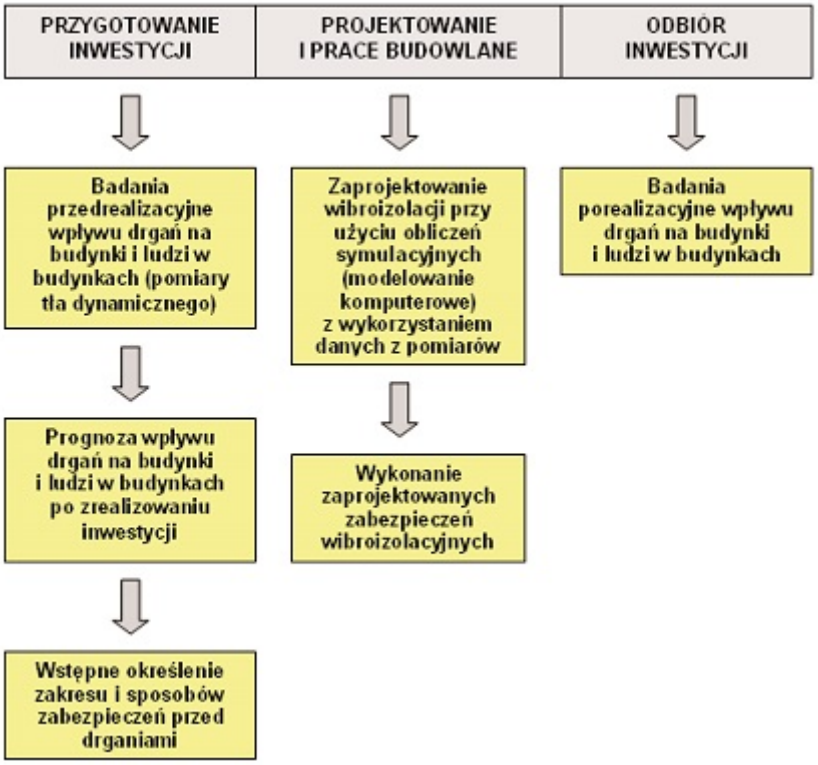
- określenie na tej podstawie czy i gdzie potrzebne są zabezpieczenia wibroizolacyjne.

Jeżeli ocena wykaże konieczność zastosowania zabezpieczeń wibroizolacyjnych, to na etapie wykonywania projektu budowlanego lub najpóźniej wykonawczego, powinny zostać przeprowadzone obliczenia symulacyjne celem zaprojektowania takich zabezpieczeń i określenia prognozowanej ich skuteczności w wybranych budynkach.

Zagadnienie analizy symulacyjnej w prognozowaniu wpływów dynamicznych i projektowaniu wibroizolacji w skrócie polega na zbudowaniu modelu obliczeniowego obiektu oraz jego otoczenia, założeniu odpowiednich więzów, obciążeniu obiektu ruchem podłoża (ściślej czasowymi przebiegami drgań) oraz przeprowadzeniu obliczeń i analizie otrzymanych wyników.

Najczęściej obliczenia przeprowadza się dwuetapowo. Najpierw buduje się model propagacji drgań od źródła do budynku, otrzymując prognozowane przebiegi czasowe drgań fundamentów analizowanego budynku (trzeba przy tym uwzględnić interakcję dynamiczną grunt-budynek, a ściślej redukcję drgań na styku grunt-budynek), które stanowią tzw. wymuszenie kinematyczne budynku. Dane wyjściowe do tych obliczeń uzyskuje się z pomiarów drgań in situ wykonanych na potrzeby analizowanej sytuacji lub z bazy danych pomiarowych (uwzględniając podobieństwo sytuacji, w której otrzymano wyniki pomiarów). Następnie sporządzany jest model całego budynku i wykonywane są obliczenia dynamiczne drgań budynku wywołanych prognozowanym wymuszeniem kinematycznym, które przykłada się w modelu na styku budynku z gruntem. W efekcie tych obliczeń otrzymuje się siły bezwładności obciążające dodatkowo konstrukcję budynku oraz przebiegi czasowe drgań w poszczególnych punktach konstrukcji (w węzłach siatki MES). Analizując otrzymane z obliczeń symulacyjnych przebiegi czasowe drgań stropów budynku, dokonuje się oceny prognozowanego wpływu drgań na ludzi w danym budynku.

Po zakończeniu inwestycji (po upływie ok. 3-6 miesięcy w celu „ułożenia się” toru) powinny zostać wykonane pomiary porealizacyjne (z reguły w tych samych obiektach i punktach pomiarowych, co pomiary przedrealizacyjne).
Schemat wszystkich działań przedstawiono na rys. 9.



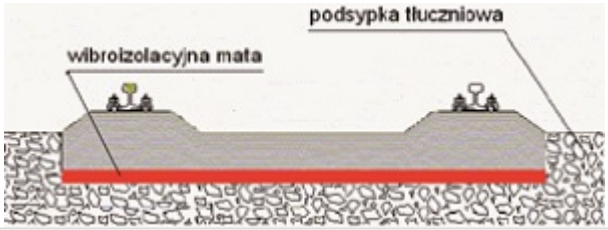
Rys. 9. Schemat

uwzględnienia wpływu drgań na środowisko w wypadku modernizacji nawierzchni szynowej

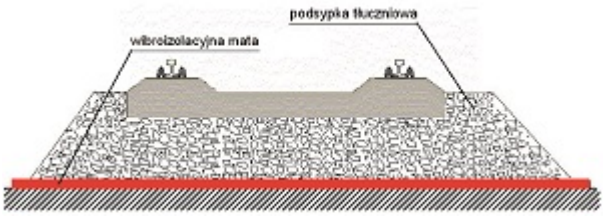
Rozwiązania techniczne – wibroizolacja

Najlepszym sposobem ochrony przed drganiami jest ograniczenie ich emisji w samym źródle drgań. W przypadku pojazdów szynowych poziom generowanych drgań jest uzależniony od typu pojazdu np. od typu tramwaju: inną dynamiczność (spektrum drgań) mają tramwaje typu 105N, a inną NGT6. Ogromną rolę odgrywa stan kół wagonów oraz stan torów. Wzrastające w czasie eksploatacji taboru deformacje kół (bicie promieniowe, owalizacja, spłaszczenia itd.) oraz szyn (falistość, złuszczenia, ugięcia itp.) mogą powodować nawet kilkunastokrotny wzrost poziomu drgań generowanych przez pojazdy szynowe. W metrze warszawskim zużyte zestawy kołowe wagonów są eliminowane w wyniku wskazań opracowanego w Politechnice Krakowskiej systemu monitoringu wpływu drgań na ludzi w budynkach sąsiadujących z I linią metra.

Oprócz dbałości o stan kół i szyn głównym sposobem ograniczenia emisji drgań jest stosowanie wibroizolacji w konstrukcji nawierzchni szynowej.
W stosowanych od lat nawierzchniach podsypkowych wykorzystywano przede wszystkim właściwości tłumiące warstwy tłucznia, a także podkładów drewnianych. Obecnie właściwości tłumiące nawierzchni podsypkowych polepsza się wprowadzając elementy wibroizolacji: przekładki wibroizolujace w węzłach mocujących oraz maty wibroizolacyjne pod podkładami (rys. 10) lub maty podtłuczniowe (rys. 11).



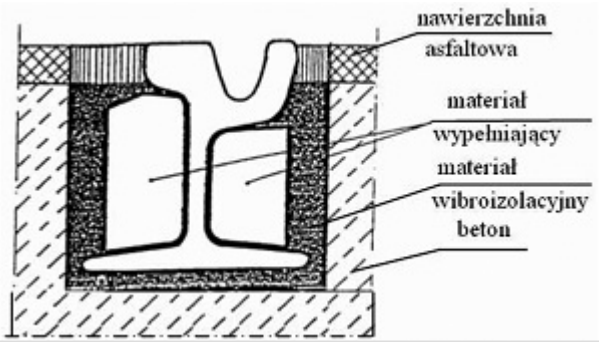
Rys. 10. Schemat zastosowania maty wibroizolacyjnej pod podkładami w podsypkowej konstrukcji nawierzchni torowej



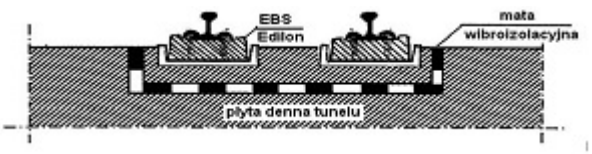
Rys. 11. Schemat zastosowania maty wibroizolacyjnej podtłuczniowej w podsypkowej konstrukcji nawierzchni torowej na szlaku

Wraz z rozwojem konstrukcji nawierzchni bezpodsypkowych, wibroizolacja stała się ich istotnym elementem, bowiem znacznie sztywniejsza od tradycyjnej konstrukcja nawierzchni bezpodsypkowej bez wprowadzenia sprężystych elementów tłumiących drgania, powodowałaby znacząco wyższy poziom generowanych przejazdami pociągów drgań w porównaniu z tradycyjną nawierzchnią podsypkową. Różne firmy oferują całą gamę rozwiązań: z jedną warstwą sprężystą albo z dwiema lub więcej, z lekką lub ciężką warstwą pośrednią między warstwami sprężystymi. Są to konstrukcje zróżnicowane także pod względem sposobu mocowania szyny (mocowanie ciągłe lub punktowe), sposobu podparcia szyny (niezależne bezpośrednie podparcie szyny, szyna ułożona na podkładach lub na płytach prefabrykowanych), sposobu połączenia podkładów z konstrukcją podtorza, sposobu budowania (od dołu do góry lub odwrotnie) itd. Do najczęściej stosowanych rozwiązań zaliczyć można:

- wibroizolację w miejscu mocowania szyny np. szyna w otulinie tzw. system ERS (embedded rail system, obniża zarówno poziom drgań jak i hałasu emitowanego na szyjce szyny – rys. 12), bloki w otulinie tzw. system EBS (embedded block system – rys. 13) itp.
- maty wibroizolacyjne pod płytą torową (rys. 13).



Rys. 12. Schemat konstrukcji szyny w otulinie (ERS)



Rys. 13. Schemat dwustopniowej wibroizolacji, tj. maty wibroizolacyjnej pod płytą torową i systemu EBS

Najlepszą skuteczność wibroizolacyjną uzyskuje się stosując dwustopniową wibroizolację, tj. łącząc wspomniane wyżej systemy z zastosowaniem mat wibroizolacyjnych pod płytą torową. Tego typu

wibroizolacje zostały zaprojektowane pod kierunkiem autora m.in. w kolejowym tunelu średnicowym w Warszawie oraz na bielańskim odcinku I linii metra w Warszawie (rys. 13).

Zastosowanie takich rozwiązań powinno być poprzedzone wykonaniem obliczeń symulacyjnych w celu takiego dobrania parametrów wibroizolacji, aby osiągnąć zakładany efekt. Najczęściej zakłada się obniżenie poziomu drgań poniżej progu ich odczuwalności przez ludzi w budynkach.

Niewielkie obniżenie poziomu drgań generowanych przez pojazdy szynowe można uzyskać niekiedy (nie zawsze) poprzez ograniczenie prędkości ich poruszania się. W przypadku konieczności ochrony pojedynczych istniejących budynków, można zastosować przegrodę wibroizolacyjną w gruncie (rys. 14), przy czym powinna być ona starannie zaprojektowana (usytuowanie, wymiary, materiał wypełniający itp.) tzn. należy sprawdzić jej skuteczność przeprowadzając obliczenia symulacyjne. Źle dobrana przegroda może być całkowicie nieskuteczna.

Rys. 14. Schemat przegrody wibroizolacyjnej w gruncie

W przypadku budynków projektowanych w strefie wpływu drgań transportowych należy wykonać analizę (prognozę) wpływu drgań na projektowany obiekt. Analiza ta powinna określić siły dynamiczne obciążające dodatkowo konstrukcję budynku oraz prognozowany wpływ drgań na ludzi w tym budynku. W razie potrzeby należy wprowadzić zmiany zwiększające odporność projektowanej konstrukcji na drgania lub zastosować wibroizolację odcinającą tę konstrukcję od drgań przekazywanych z podłoża (np. mata wibroizolacyjna pod płytą fundamentową i na styku ścian z gruntem).

Najczęstsze błędy

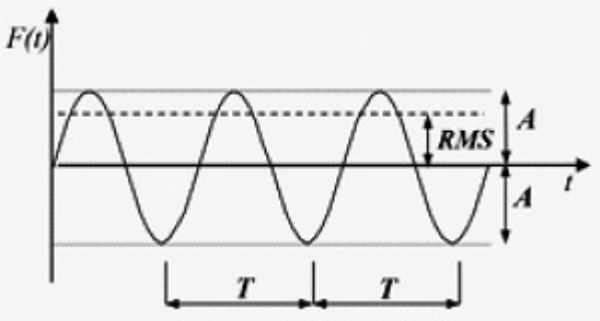
Pierwsze błędy mogą pojawić się na etapie przygotowania inwestycji transportowych. Problematyka drgań transportowych jest niekiedy pomijana lub niewłaściwie przedstawiana w dokumentach, dotyczących ochrony środowiska (raportach, ocenach oddziaływania, decyzjach środowiskowych). Pominięcie powoduje w następstwie brak w warunkach przetargowych wyszczególnienia prac dotyczących projektowania i wykonania zabezpieczeń przed drganiami. Dalej, wykonawca nie uwzględnia ich w kosztorysie, co następnie praktycznie uniemożliwia wykonanie tych prac.

Drugi rodzaj błędów polega na myleniu wibracji z hałasem lub posługiwaniu się błędnie wykonanymi ocenami wpływu drgań na środowisko.

Do podstawowych błędów, najczęściej popełnianych przy ocenach wpływu drgań na środowisko należą:

- stosowanie do pomiaru drgań aparatury przystosowanej do pomiarów akustycznych
- przy ocenie wpływu drgań na konstrukcję, stosowanie skal SWD do budynków, które nie podlegają ocenie przybliżonej:
  - do budynków o konstrukcji innej niż murowa np. szkieletowych, słupowo-płytowych, monolitycznych, stalowych itp.
  - do budynków murowanych o nietypowej konstrukcji, jak kościoły, hale przemysłowe itp.
  - do budynków murowanych o większej liczbie kondygnacji nadziemnych niż 5
- stosowanie skal SWD do oceny wpływu drgań pionowych
- stosowanie w ocenie (skale SWD) wartości skutecznych (RMS) przemieszczeń lub przyspieszeń drgań zamiast wartości szczytowych (rys. 15)

- pomiar drgań do oceny skalami SWD w niewłaściwych punktach konstrukcji
- przy ocenie wpływu drgań na ludzi niewłaściwe określenie czasu trwania drgań (rys. 7), który jest czasem uśredniania w obliczeniach wartości skutecznej (RMS) przyspieszeń lub prędkości drgań.



Rys. 15. Wartości szczytowe (A) i wartości skuteczne (RMS) drgań

Stąd istotne jest przestrzeganie art. 147a ustawy „Prawo ochrony środowiska”, który mówi m.in., że prowadzący instalację oraz użytkownik urządzenia są obowiązani zapewnić wykonanie pomiarów wielkości emisji lub innych warunków korzystania ze środowiska przez akredytowane laboratorium. Ponieważ w świetle tej ustawy do instalacji zalicza się drogi i linie transportu szynowego, a do emisji – hałas i wibracje, stąd to zobowiązanie do wykonywania pomiarów hałasu i drgań budynków oraz ludzi w budynkach przez akredytowane w tym zakresie laboratoria.

Zasadniczym błędem na etapie projektowania jest przyjmowanie wibroizolacji bez wykonania prognozy, jaki będzie wpływ drgań na budynki i na ludzi w budynkach po jej zastosowaniu, czyli bez sprawdzenia skuteczności przyjętego rozwiązania w konkretnych warunkach wymuszenia i konstrukcji chronionych budynków. Przykładowo ten sam typ wibroizolacji w postaci mat pod płytą torową może być bardziej lub mniej skuteczny (czasem nieskuteczny lub wręcz zwiększający poziom drgań) w zależności od parametrów zastosowanych mat (ich sztywności dynamicznej, grubości, właściwości tłumiących), które powinny być dobrane do warunków w jakich mają pracować.

prof. dr hab. inż. Krzysztof Stypuła
Politechnika Krakowska Instytut Mechaniki Budowli

Literatura

1. R. Ciesielski, E. Maciąg, *Drgania drogowe i ich wpływ na budynki*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1990.
2. R. Ciesielski, J. Kawecki, E. Maciąg, *Ocena wpływu wibracji na budynki i ludzi w budynkach (diagnostyka dynamiczna)*, ITB, Warszawa 1993.
3. Z. Engel, *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993.
4. J. Kawecki, K. Stypuła, *Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013.
5. K. Kozioł, K. Stypuła, *Obliczenia symulacyjne w projektowaniu wibroizolacji nawierzchni szynowych. Wybrane przykłady zastosowań*, DROGI Lądowe - Powietrzne - Wodne, str. 95-109, nr 10/2010 (29).
6. K. Stypuła, *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”, t. II, str. 395-420, Wisła 2009.
7. K. Stypuła, *Nowoczesne wibroizolacje*, Builder, str. 66-70, 10/2009.
8. PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
9. PN-88/B-02171 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.