

Jan Targosz, Jacek Wiederek

# Drgania w transporcie drogowym i ich oddziaływanie

*W artykule omówione zostały drgania w aglomeracjach miejskich oraz ich podział ze względu na stopień szkodliwości, wymagania normowe dotyczące oceny wpływu drgań na budynki, ludzi i urządzenia w budynkach, diagnostyka wpływu drgań na budynki i ludzi w budynkach, oraz rozwiązania techniczne chroniące przed drganiami.*

## Wstęp

Analizując oddziaływanie wpływające negatywnie na otoczenie człowieka, można stwierdzić, że zdecydowanie jednym z bardziej negatywnych skutków szeroko rozumianego transportu i stałego rozbudowywania miejskiej infrastruktury, niszczącym środowisko naturalne w sposób ogromny, są drgania. Do drgań zaliczamy działania dynamiczne oddziałujące na budynki. Poza wpływami środowiskowymi takimi jak np. porywy wiatru, są to również drgania przekazywane przez podłoże. Źródłami takich drgań mogą być prowadzone w pobliżu istniejącego budynku prace budowlane (np. wbijanie pali i ścianek szczelnych, praca walców wibracyjnych i wibromłotów), praca maszyn usytuowanych na własnych fundamentach ale przede wszystkim spowodowane przejazdami pojazdów kołowych i szynowych wpływy komunikacyjne. Stały rozwój transportu zarówno w sensie komunikacji samochodowej, jak i szynowej, poprzez podział terenu, wywoływanie hałasu i drgań oddziałują negatywnie nie tylko na środowisko ale na całe społeczeństwo. Niekorzystnie wpływają na zdrowie, efektywny wypoczynek, skuteczną regenerację sił czy koncentrację i wydajność pracy. W związku z powyższym niezmiernie ważne jest wykonywanie dokładnych pomiarów, przestrzeganie norm dotyczących drgań a także wdrażanie innowacyjnych rozwiązań technicznych w celu ochrony przed drganiami.

## 1. Informacje ogólne

### Drgania w aglomeracjach miejskich

Przejazd ciężkiego pojazdu, którego masa rzeczywista wynosi od kilkunastu do kilkudziesięciu ton poza emisją hałasu (niepożądanego dźwięku) będącego wynikiem pracującego silnika, toczących się po jezdni lub szynach kół, czy wylotu spalin, wywołuje również drgania jezdni, podtorza i gruntu. Oba te zjawiska, hałas i drgania, występujące jednocześnie noszą znamiona oddziaływań wibroakustycznych. Istotnym jest iż są one fizycznie nierozzerwalne, tzn. oba zjawiska występują w tym samym czasie pomimo, że źródła tych zjawisk mogą być różne.

Na drgania narażone są w szczególności budynki mieszczące się w pobliżu ciągów komunikacyjnych o natężonym ruchu z udziałem autobusów, samochodów ciężarowych, oraz innych ciężkich pojazdów, a także budynki znajdujące się w pobliżu ulic z liniami tramwajowymi oraz usytuowane w pobliżu linii kolejowych. Dodatkowym źródłem drgań w dużych aglomeracjach miejskich dla pobliskich budynków jest metro.

Drgania można podzielić na pięć stref szkodliwości:

- strefa I - drgania nieodczuwalne przez budynek;
- strefa II - drgania odczuwalne przez budynek, ale nieszkodliwe dla jego konstrukcji;

- strefa III - drgania szkodliwe dla budynku, powodujące zarysowania i spękania;
- strefa IV - drgania o dużej szkodliwości dla budynku, zagrażające bezpieczeństwu ludzi;
- strefa V - drgania powodujące awarię budynku, budynek nie może być użytkowany.

Podstawą oceny wpływu drgań jest norma PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki. O ile zachodzi potrzeba dotyczy ona również oceny wpływu drgań znajdujące się w budynku urządzenia.

Norma PN-88/B-02171 (zgodna ze standardami ISO) natomiast dotyczy wpływu drgań na przebywających w budynkach ludzi. Norma ta reguluje dopuszczalne wartości drgań mechanicznych, celem zagwarantowania wymaganego komfortu dla ludzi przebywających w danych pomieszczeniach uzależnione od:

- ❖ przeznaczenia pomieszczenia (mieszkalne, biura, warsztaty pracy, szpitale, laboratoria, itp.);
- ❖ pory występowania drgań (dzień, tj. w godzinach 6:00-22:00 lub noc, tj. w godzinach 22:00-6:00);
- ❖ charakteru i powtarzalności drgań;
- ❖ kierunku działania drgań (poziome lub pionowe) i pozycji człowieka podczas odbioru drgań (pozycja stojąca lub leżąca).

Drgania generowane przez źródło (np. pojazd ciężki) dochodzą do podłoża, wzbudzając go do drgań rozchodzących się we wszystkich kierunkach (tworząc fale), fale w podłożu dochodzą do obiektu odbierającego drgania „odbiornika” (np. fundamentu budynku) i rozprzestrzeniają się poprzez fundament na cały budynek, powodując jego drgania. Podczas propagacji drgań (zależnej od ośrodka) następuje wiele zjawisk mających wpływ na kształt fali oraz na jej energię. Zalicza się do nich:

- ❖ dyssypację energii (stratę energii) spowodowaną absorpcją i tłumieniem drgań w danym ośrodku,
- ❖ dyssypację energii (stratę energii) w miejscach kontaktowych spowodowaną zmianami gęstości ośrodka (np. przy przejściu ze źródła do ośrodka propagacji oraz przejście z ośrodka propagacji na odbiornik),
- ❖ dyssypację energii (stratę energii) spowodowaną przejściem przez naturalne lub sztuczne przeszkody.

Występujące w pomieszczeniach wartości poziomów ciśnienia akustycznego oraz przyspieszeń (lub prędkości drgań) na przegrodach budowlanych ulegają zmniejszeniu w stosunku do wartości źródłowych (generowanych przez przejeżdżający pojazd). Zmniejszenie poziomu dźwięku na drodze źródło pomieszczenie zależy w szczególności od tego jaka jest odległość budynku od źródła, w jakich warunkach rozprzestrzenia się dźwięk na odcinku między budynkiem a źródłem, a także od konstrukcji budynku, szczególnie od izolacyjności akustycznej ściany zewnętrznej.

## 2. Wymagania normowe

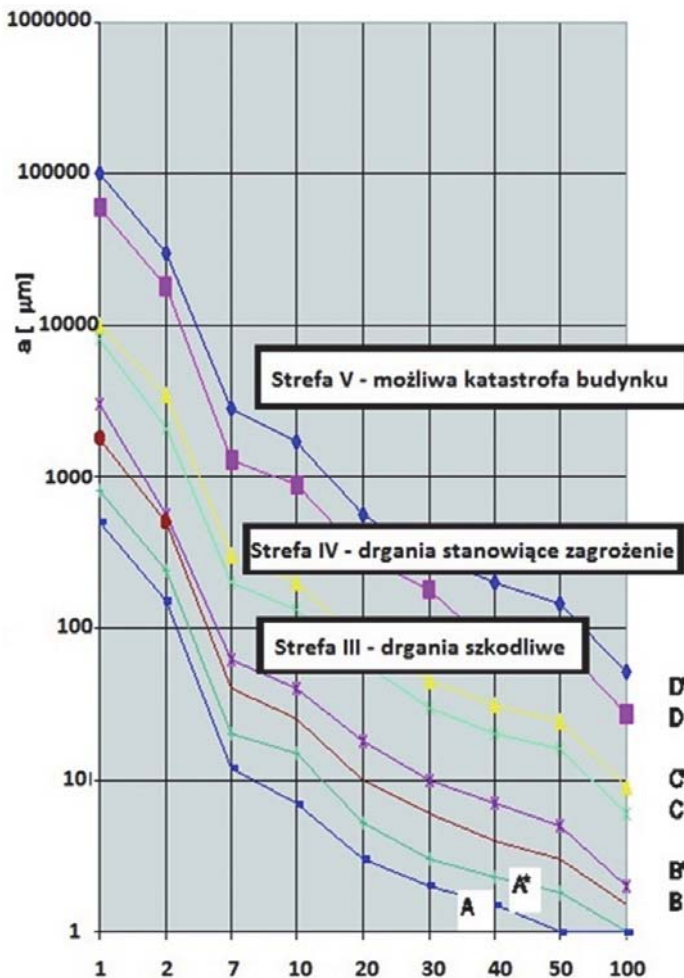
### Wymagania normowe dotyczące oceny wpływu drgań na budynki, ludzi i urządzenia w budynkach

Obliczenia projektowe oraz diagnostyka budowli powinny uwzględniać rodzaje działań dynamicznych, którym mogą być poddawane obiekty budowlane oraz ludzie. Przy uwzględnieniu

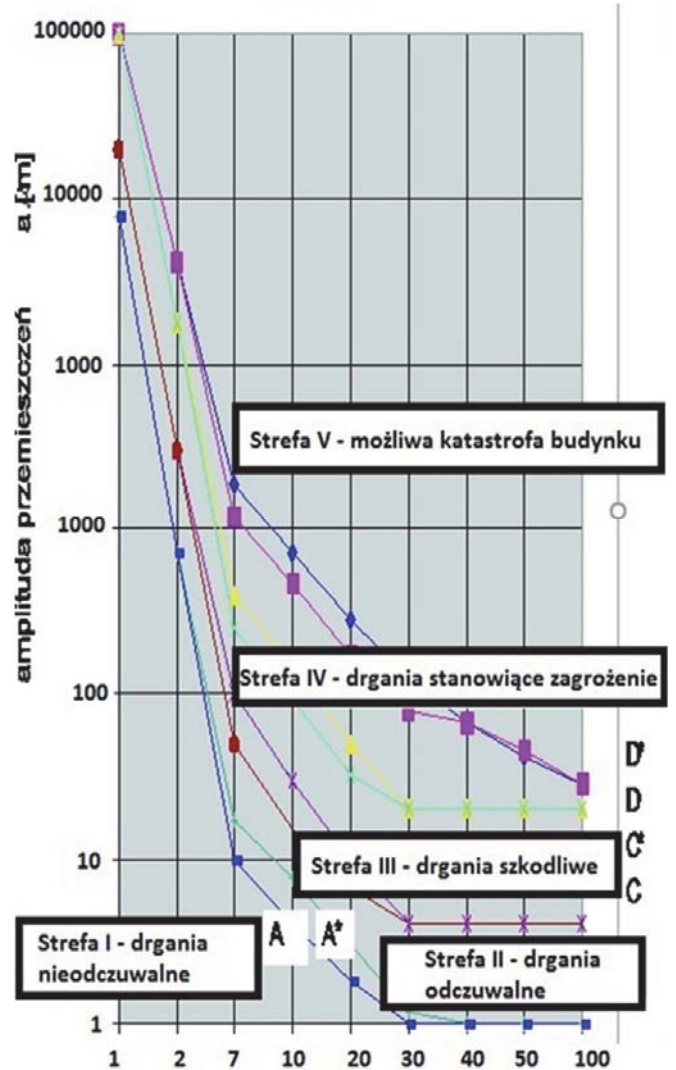
biernego sposobu odbierania drgań przez ludzi znajdujących się w budynkach a także bezpośredni (źródła drgań budynku) i pośredni (drgania przekazywane przez podłoże) sposób w jaki drgania są przekazywane na budynek, można stwierdzić, że zasadnicze polskie dokumenty normatywne regulujące te kwestie to:

- PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki,
- PN-88/B-02171 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach,
- PN-80/B-03040 Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyny.

Przedmiotem normy PN-85/B-02170 jest ocena szkodliwości drgań przekazywanych na budynki traktowane jako całość oraz na urządzenia i aparaturę umieszczoną w budynkach. Drgania przekazywane są na budynki przez podłoże, a źródłami tych drgań są źródła parasejsmiczne. Normę ta stosowana jest przy diagnostyce szkodliwości drgań na istniejące budynki przy znanym lub prognozowanym narażeniu wibracyjnym oraz przy projektowaniu budynków, w przypadku gdy przewiduje się, że będą one narażone na drgania przekazywane przez podłoże, W normie pomija się wpływ drgań przekazywanych przez oceniany obiekt na podłoże. Do oceny szkodliwości drgań stosuje się skale wpływów dynamicznych (SWD) określające tzw. strefy wpływów dynamicznych (należy zwrócić uwagę że zostały przyjęte dla budynku murowanego i nie dotyczą innych konstrukcji budynków).



Rys. 1. Skala SWD II



Rys. 2. Skala SWD I

PN-88/B-02171 dotyczy metod oceny wpływu drgań na ludzi znajdujących się w budynkach oraz dopuszczalne wartości parametrów tych drgań. Ocenie podlegają drgania w paśmie od 1 Hz do 80 Hz. Norma określa dopuszczalne wartości parametrów drgań mechanicznych oddziałujących na ludzi, którzy odbierają drgania w sposób bierny, w celu zapewnienia ludziom wymaganego komfortu w różnych warunkach ich przebywania w pomieszczeniach mieszkalnych, biurach, warsztatach pracy oraz w pomieszczeniach o charakterze specjalnym (szpitalach, precyzyjnych laboratoriach).

PN-80/B-03040 dotyczy zasad posadowienia maszyn, które mogą być źródłem drgań w budynkach na fundamentach lub konstrukcjach wsporczych, zasad wyznaczania obciążeń dynamicznych maszyn oraz wymagań dotyczących ustawiania maszyn na stropach budynków przemysłowych.

Rysunek 1 odnosi się do skali SWD I, dot. budynków zwartych, o małych wymiarach rzutu poziomego, jednej lub dwóch kondygnacjach oraz wysokości nie przekraczającej żadnego z wymiarów rzutu poziomego. Rysunek 2 odnosi się do skali SWD II, dot. budynków kilkukondygnacyjnych (do 5 kondygnacji), o konstrukcji murowanej lub mieszanej, w których  $h/b_{min}$  jest mniejsze bądź równe 2 ( $h$  - wysokość budynku,  $b_{min}$  - jego najmniejsza szerokość).

## Wymagania normowe dotyczące oceny hałasu oddziałującego na ludzi w budynkach

Zasadniczymi polskimi dokumentami normatywnymi określającymi sposób pomiaru hałasu w mieszkaniach, pochodzącego z zewnętrznych źródeł (m.in. od ruchu komunikacyjnego), są;

- PN-81/N-01306 Hałas. Metody pomiaru. Wymagania ogólne,
- PN-87/B-02156 Metody pomiaru dźwięku w budynkach,
- PN-87/B-02151/02 Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.

Przedmiotem PN-81/N-01306 są wymagania ogólne w zakresie metod pomiaru parametrów akustycznych charakteryzujących hałas maszyn i urządzeń technologicznych oraz metod pomiaru hałasu w miejscach przebywania ludzi i na stanowiskach pracy wewnątrz i na zewnątrz budynków. Norma ustanawia wielkości mierzone, które są niezbędne do uzyskania wiadomości o hałasie, do oceny tego hałasu i do przedsięwzięcia środków w celu jego zmniejszenia.

Przedmiotem PN-87/B-02156 są metody pomiaru i oceny dźwięku w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi: w budynkach mieszkalnych, obiektach zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.

W normie PN-87/B-02151/02 podane są dopuszczalne wartości równoważnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach (przy zamkniętych oknach i drzwiach), w zależności od przeznaczenia pomieszczenia i pory (diennej i nocnej), w której hałas występuje. Zgodnie z tą normą dopuszczalny równoważny poziom dźwięku  $L_{aeq}$  hałasu przenikającego ze wszystkich źródeł zewnętrznych łącznie, określany:

- ♦ w przypadku najbardziej niekorzystnych 8 godzin w ciągu dnia (od godz. 6:00 do 22:00) nie powinien przekraczać wartości:
  - $L_{aeq} = 40$  dB - w pokojach,
  - $L_{aeq} = 45$  dB - w kuchniach;

- ♦ w przypadku najbardziej niekorzystnej 0,5 godziny w ciągu nocy (od godz. 22:00 do 6:00) nie powinien przekraczać wartości;

- $L_{aeq} = 30$  dB - w pokojach,
- $L_{aeq} = 40$  dB - w kuchniach.

W stosunku do innych pomieszczeń nie stawiane są żadne wymagania.

Przedstawione tu polskie akty normatywne nie w pełni uwzględniają charakter hałasu pochodzącego od ruchu komunikacyjnego.

## 3. Diagnostyka

### 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)
- ❖ 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.

**Tab. 1.** Przyspieszenia odpowiadające progowi odczuwalności drgań przez człowieka (wg PN-88/B-02171) przy wartości przyspieszenia  $a_i$  [ $ms^{-2}$ ]

Częstotliwość środkowa pasma $f_i$ [Hz]	Wartość przyspieszenia $a_i$ [ $ms^{-2}$ ] przy odbiorze drgań przez człowieka z kierunku	
	z	x i y
1,0	0,0100	0,0036
1,25	0,0089	0,0036
1,6	0,0080	0,0036
2,0	0,0070	0,0036
2,5	0,0063	0,0044
3,16	0,0057	0,0056
4,0	0,0050	0,0072
5,0	0,0050	0,0090
6,3	0,0050	0,0114
8,0	0,0050	0,0144
10,0	0,0062	0,0180
12,5	0,0078	0,0225
16,0	0,0100	0,0289
20,0	0,0125	0,0361
25,0	0,0156	0,0451
31,6	0,0197	0,0568
40,0	0,0250	0,0721
50,0	0,0313	0,0902
63,0	0,0394	0,1140
80,0	0,0500	0,1440

**Tab. 2.** Prędkości odpowiadające progowi odczuwalności drgań przez człowieka (wg PN-88/B-02171) przy wartości prędkości  $v_i$  [ $ms^{-1}$ ]

Częstotliwość środkowa pasma $f_i$ [Hz]	Wartość prędkości $v_i$ [ $ms^{-1}$ ] przy odbiorze drgań przez człowieka z kierunku	
	z	z
1,0	0,00159	0,0036
1,25	0,00113	0,0036
1,6	0,00079	0,00079
2,0	0,00056	0,00056
2,5	0,00040	0,00040
3,16	0,00020	0,00020
4,0	0,00020	0,00020
5,0	0,00016	0,00016
6,3	0,00013	0,00013
8,0	0,00010	0,00010
10,0	0,00010	0,00010
12,5	0,00010	0,00010
16,0	0,00010	0,00010
20,0	0,00010	0,00010
25,0	0,00010	0,00010
31,6	0,00010	0,00010
40,0	0,00010	0,00010
50,0	0,00010	0,00010
63,0	0,00010	0,00010
80,0	0,00010	0,00010



## 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.

## 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 oktaawowych polega na porównaniu zmierzonych wartości RMS przyspieszenia drgań (a) lub prędkości drgań (v) w pasmach 1/3 oktaawowych dla analizowanego kierunku drgań z odpowiednimi wartościami dopuszczalnymi ( $a_{dop}$  lub  $v_{dop}$ ):

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

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

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

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 i tabela 2).

$n$  – współczynnik przyjmowany w zależności od przeznaczenia pomieszczenia, pory występowania oraz charakteru drgań i ich powtarzalności.

Wartość współczynnika  $n$  dotyczy czasu, w którym w salach operacyjnych odbywają się precyzyjne pomiary.

Wartość współczynnika  $n$  może być podwojona, jeżeli dotyczy drgań sporadycznych uprzednio zapowiedzianych, np. sygnałami ostrzegawczymi, komunikatami.

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

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. 3), czyli w tak ustalonym czasie powinny być określane wartości RMS

## 4. Ochrona przed drganiami

### Rozwiązania techniczne – wibroizolacja elementów dróg samochodowych

W celu najlepszej ochrony przed drganiami należy ograniczać ich emisję i samego źródła drgań. Odnosząc się do przykładu pojazdów szynowych, od typu pojazdu uzależniony jest poziom generowanych drgań np. od typu tramwaju: inną dynamiczność (spektrum drgań) mają tramwaje typu 105N, a inną NGT6. Bardzo ważną rolę odgrywa stan torów oraz stan kół wagonów. Deformacje kół (bicie promieniowe, owalizacja, spłaszczenia itd.) oraz szyn (falistość, złuszczenia, ugięcia itp.) wzrastające w czasie eksploatacji taboru są w stanie spowodować wzrost poziomu drgań wytwarzanych przez pojazdy szynowe nawet kilkunastokrotnie.

Głównym sposobem ograniczenia emisji drgań (poza dbałością o stan kół i szyn) jest zastosowanie w konstrukcji nawierzchni szynowej wibroizolacji. Do tej pory przez lata w stosowanych nawierzchniach podsypkowych skupiano się przede wszystkim na właściwościach tłumiących warstwy tłuczni oraz drewnianych podkładów. Na chwilę obecną tłumiące właściwości nawierzchni podsypkowych polepsza się wprowadzając elementy wibroizolacji: przekładki wibroizolujące w węzłach mocujących oraz maty wibroizolacyjne pod podkładami lub maty podtłuczniowe.

Wraz z rozwojem konstrukcji nawierzchni bezpodszypkowych, wibroizolacja stała się ich istotnym elementem, bowiem znacznie sztywniejsza od tradycyjnej konstrukcja nawierzchni bezpodszypkowej 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. Do najczęściej stosowanych rozwiązań zaliczyć można:

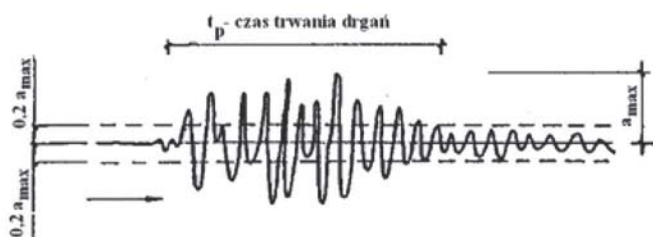
- wibroizolację w miejscu mocowania szyny np. szyna w otulinie tzw. system ERS (embedded rail system, obniża zarówno poziom drgań jak i hałasu emitowanego na szycie szyny), bloki w otulinie tzw. system EBS (embedded block system) itp.
- maty wibroizolacyjne pod płytą torową.

W celu osiągnięcia najlepszej skuteczności wibroizolacyjnej stosuje się dwustopniową wibroizolację, tj. łączy się wspomniane powyżej systemy przy zastosowaniu mat wibroizolacyjnych pod płytą torową. Stosowanie wyżej wymienionych rozwiązań poprzedzać powinno wykonanie obliczeń symulacyjnych w celu takiego dobrania parametrów wibroizolacji, aby osiągnąć zakładany efekt. Najczęściej zakładane jest obniżenie poziomu drgań poniżej progu ich odczuwalności przez ludzi w budynkach. Niewielkie obniżenie poziomu drgań generowanych przez pojazdy można uzyskać niekiedy (nie zawsze) poprzez ograniczenie prędkości ich poruszania się.

W przypadku gdy zachodzi konieczność ochrony pojedynczych, istniejących już budynków, można zastosować przegrodę wibroizolacyjną w gruncie, przy czym powinno się ją starannie

Tab. 3. 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 pomieszczenia podobnego przeznaczenia <sup>1)</sup>	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 <sup>2)</sup>
	noc	1,4	4,0
Biura, urzędy, szkoły i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień, noc	4,0	64,0 <sup>2)</sup>
Warsztaty pracy i pomieszczenia podobnego przeznaczenia	dzień, noc	8,0 <sup>3)</sup>	128,0



Rys. 3. Ustalanie czasu trwania drgań zgodnie z normami PN-85/B-02170 oraz PN-88/B-02171

zaprojektować (począwszy od usytuowania, przez wymiary, po materiał wypełniający itp.) tzn. należy sprawdzić jej skuteczność przeprowadzając obliczenia symulacyjne. Źle dobrana przegroda może być całkowicie nieskuteczna.

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).

## Wnioski

W celu wyeliminowania niekorzystnego wpływu jaki niosą za sobą drgania generowane przez komunikację drogową, szynową, czy podziemną kluczowe znaczenie ma wykonanie przed realizacją tego typu inwestycji odpowiedniej prognozy tego wpływu, korzystając w tym celu z odpowiednich baz danych pomiarowych. W przypadku gdy wynik prognozy obliguje do zastosowania wibroizolacji, powinno się ją zaprojektować stosując modelowanie konstrukcji oraz obliczenia symulacyjne. Wykonanie obliczeń (przeprowadzenie badań), które potwierdzą skuteczność wibroizolacji w konkretnym przypadku jej zastosowania jest konieczna i wynika z uzależnienia efektów wibroizolacyjnych od bardzo wielu czynników, takich jak m.in. od: sztywności i właściwości tłumiących materiału wibroizolacyjnego (maty, masy

zalewowe, itp.) a także wymiarów zastosowanych elementów, takich jak np. rozstaw podpór (dla przykładu rozstaw podpór blokowych i wynikające z niego ugięcia szyny, konstrukcji oraz wymiarów (masy) płyt podtorowych, grubości mat wibroizolacyjnych, sztywności podbudowy, różnego spektrum częstotliwości drgań w przypadku różnych rodzajów pojazdów (samochód, tramwaj, metro, wagon kolejowy), warunków gruntowo-wodnych na drodze propagacji od toru do budynku, konstrukcji i stanu technicznego budynku odbierającego drgania. Źle dobrana wibroizolacja może nie tylko nie przynieść spodziewanych efektów, ale wręcz spowodować wzrost poziomu generowanych drgań.

Ze względu na coraz wyższe wymagania należy podjąć działania mające na celu nowelizację normy PN-85/B-02170 pt. Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki, gdyż nie spełnia ona w pełni swoich założeń (ustanowiona 31 stycznia 1985 roku przez ówczesny Polski Komitet Normalizacji, Miar i Jakości, zaczęła obowiązywać 1 stycznia 1986 roku). Współczesne budownictwo musi dysponować obiektywnym narzędziem oceny i prognozowania wpływu źródeł drgań na obiekty budowlane. Istotne jest ono zarówno w projektowaniu, jak też w diagnostyce budowli poddanych działaniom parasejsmicznym. Zgodnie z definicją norma techniczna to: „dokument określający właściwości lub wymagania ilościowe, którym powinien odpowiadać dany przedmiot lub obiekt” - czyli w przypadku drgań liczba. Stąd też norma winna się opierać na diagnostyce (pomiarach drgań) oraz na współczynnikach charakteryzujących właściwości oraz wymagania ilościowe dla poszczególnych klas konstrukcji wszelkich obiektów architektonicznych i uwzględniać rodzaj i typ wymuszenia.

## Bibliografia

- Adamczyk J., Bednarz J., Targosz J., *Monitorowanie wpływu drgań od pojazdów szynowych na konstrukcje inżynierskie*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2013, nr 3.
- Bąk G., Gosk W., *Sztywność podłoża piaszczystego w procesach obciążenia i odciążenia wywołanych udarem*, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007 r.
- Ciesielski R. i in., *Komentarz do normy PN-85/B-02170 „Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki”*, COBPBO-Warszawa, Warszawa 1988 r.

4. Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., *Ocena wpływu wibracji na budowle i ludzi w budynkach (diagnostyka dynamiczna)*, Wyd. Instytut Techniki Budowlanej, 1993 r.
5. Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E., Stypuła K., *Ocena diagnostyczna skutków wpływów drgań na budynki i ludzi w budynkach*, „Inżynieria i Budownictwo” 1993, nr 9.
6. Ciesielski R., Kawecki J., Stypuła K., Tomana A., *Obliczanie obudowy tunelu metra w obszarach sejsmicznych*, „Inżynieria i Budownictwo” 1990, nr 8-9.
7. Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993 r.
8. Kawecki J., *Diagnostyka dynamiczna konstrukcji zagłębionych w gruncie*, XX Ogólnopolska konferencja warsztat pracy projektanta konstrukcji Wisła-Ustroń, marzec 2005 r.
9. Kawecki J., *Konstrukcje zagłębione w gruncie. Diagnostyka dynamiczna*, XXIV Ogólnopolskie warsztaty pracy projektanta konstrukcji Wisła, marzec 2009 r.
10. Kawecki J., Stypuła K., *Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013 r.
11. Kozioł K., Stypuła K., *Obliczenia symulacyjne w projektowaniu wibroizolacji nawierzchni szynowych. Wybrane przykłady zastosowań*, „Drogi Łądowe – Powietrzne – Wodne” 2010, nr 10.
12. Misiak J., *Mechanika ogólna*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1993.
13. Niemas M., *Ciężki ruch kołowy i jego wpływ na klimat wibroakustyczny w budynkach mieszkalnych*, Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik nr 2 (130) 2004 r.
14. Niemas M., *Ocena wpływu jednoczesnego występowania hałasu i drgań od ruchu komunikacyjnego na warunki akustyczne w budynkach mieszkalnych*, Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik, 1 (109), 1999 r.
15. Niemas M., Sadowski J., *Methods of evaluating the influence of vibrations on sound pressure levels in buildings*, Materiały konferencji „Internoise 2000”, Nicea 2000 r.
16. Niemas M., Sadowski J., *Wpływ drgań od ciężkiego ruchu kołowego na poziom ciśnienia akustycznego w mieszkaniach*, Materiały konferencji „Wpływ wibracji na otoczenie”, Janowice, wrzesień 1998 r.
17. PN-80/B-03040 *Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyny*.
18. PN-81/N-01306 *Hałas. Metody pomiaru. Wymagania ogólne*.
19. PN-85/B-02170 *Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki*.
20. PN-87/B-02151/02 *Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach*.
21. PN-87/B-02156 *Metody pomiaru dźwięku w budynkach*.
22. PN-88/B-02171 *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach*.
23. Sadowski J., Szudrowicz B., *Inżynieria środowiska w kształtowaniu klimatu akustycznego środowiska i jego ochronie przed hałasem i drganiami*, I Kongres Inżynierii Środowiska, Lublin 2002 r.
24. Stypuła K., *Drgania generowane w podłożu przez transport szynowy i ich wpływ na budynki i ludzi w budynkach*, XXIV Ogólnopolskie warsztaty pracy projektanta konstrukcji, Wisła, 2009.
25. Stypuła K., *Nowoczesne wibroizolacje*, „Builder” 2009, nr 10.
26. Szcześniak Z., *Modelowanie zachowania dynamicznego konstrukcji podziemnych w warunkach działania powietrznej fali uderzeniowej*, Wyd. WAT, Warszawa 1999 r.
27. Targosz J., *Ograniczenie oddziaływań dynamicznych od dróg kolejowych i samochodowych*, KRiDM AGH, Kraków 2004.
28. Targosz J., *Wpływ wibroizolacji podtorzy tramwajowych na drgania w Filharmonii Krakowskiej*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2016, nr 12.

## Autorzy:

dr hab. inż. **Jan Targosz** – Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Katedra Robotyki i Mechatroniki  
mgr inż. **Jacek Wiederek** – doktorant Wydziału Transportu i Elektrotechniki Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

## Vibration in road transport and their impactt

The article discusses about the vibrations in urban areas and their division because of the degree of harm, the standard requirements for assessing the effect of vibrations of buildings, people and equipment in the buildings, diagnostics of vibrations impact on buildings and people in buildings, and technical solutions to protect against vibration.