



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



Politechnika Świętokrzyska
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

Kierunek studiów:
Transport i Logistyka

Andrzej Zuska, Piotr Łagowski

Materiały dydaktyczne do przedmiotu

POMIARY WIBROAKUSTYCZNE W TRANSPORCIE

opracowane w ramach realizacji Projektu
**„Dostosowanie kształcenia
w Politechnice Świętokrzyskiej do potrzeb
współczesnej gospodarki”**
FERS.01.05-IP.08-0234/23

Kielce, 2024





Spis treści

1. Wibroakustyka – wprowadzenie	2
2. Ekspozycja człowieka na wibracje	5
3. Metody badań i oceny wpływu wibracji na organizm człowieka	8
4. Charakterystyki dynamiczne ciała człowieka – jako układu drgającego	13
5. Wpływ hałasu na organizm człowieka	15
6. Ekspozycja i poziom ekspozycji na hałas	17
7. Regulacje prawne dotyczące hałasu	19
8. Badania hałasu w pojazdach	21
9. Narzędzia do badania hałasu	23
10. Ochrona przed hałasem	23
11. Literatura	24



Materiały dydaktyczne objęte licencją Creative Commons BY 4.0.

Licencja dostępna pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1. Wibroakustyka – wprowadzenie

Obecny szybki rozwój techniki w tym środków transportu spowodował wzrost negatywnych skutków, których ilość oraz i nasilenie zaczyna zagrażać człowiekowi jak również środowisku. Do takich niekorzystnych zjawisk można zaliczyć zjawiska wibroakustyczne. Wibroakustyka jest to dziedzina łącząca wiele aspektów nauki, do których możemy zaliczyć akustykę, wibracje, psychoakustykę, testowanie, walidację, jakość czy same badania i rozwój. Same procesy wibroakustyczne to ogół zjawisk dynamicznych i mechanoakustycznych, jakie mają miejsce w maszynach, urządzeniach, specjalnych konstrukcjach czy w środkach szerokorozumianego transportu. Zjawiska te to drgania, hałas, dźwięk powietrzny i materiałowy oraz pulsacje medium w przestrzeniach, roboczych maszyn. Zachodzą one w szerokim zakresie częstotliwości, od bardzo niskich, prawie zerowych, do bardzo wysokich, rzędu megaherców (Cempel, 1978). Sama wibroakustyka zajmuje się metodami obniżania poziomu wibracji i hałasu maszyn i urządzeń.

Do istotnych zagadnień związanych z wibroakustyką możemy zaliczyć falę dźwiękową. Określa się ją jako formę transmisji energii przez ośrodek sprężysty (Kirpluk, 2014). Falę dźwiękową w powietrzu stanowi fala podłużna zmian ciśnienia atmosferycznego co przedstawiono na rysunku 1.

[Tekst alternatywny. Opis rysunku: rysunek przedstawia kierunek przenoszenia sygnału z jednego punktu do drugiego: od źródła dźwięku po lewej stronie do obserwatora, który zaznaczony jest niebieską strzałką. Czerwone przerywane linie układają się w kręgi i łuki, których średnica się zwiększa w miarę oddalania się od punktu określającego źródło dźwięku.]

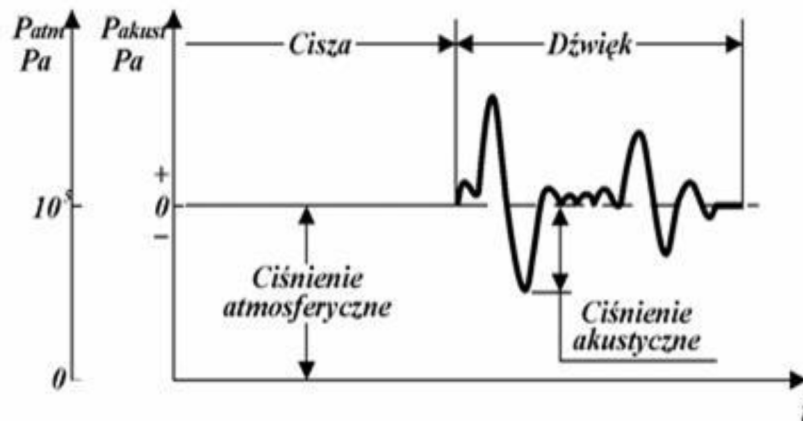


Rys. 1. Rozchodzenie się fali dźwiękowej (Kirpluk, 2014)



Dźwięk to wrażenie słuchowe wywołane drganiami akustycznymi lub drganiami akustyczne zdolne wytworzyć wrażenie słuchowe co przedstawiono na rysunku 2. (Osiński, Leszczyński).

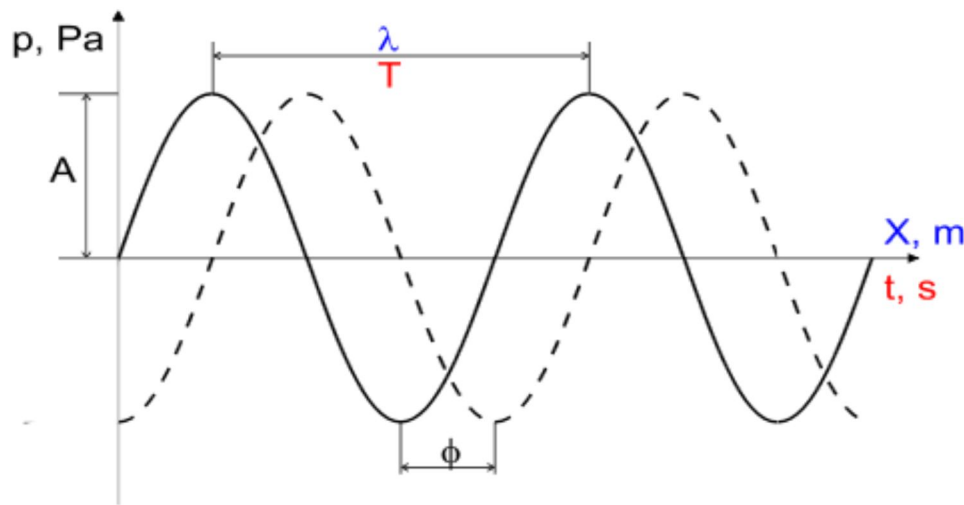
[Tekst alternatywny. Wykres dwuwymiarowy. Opis osi X: czas, opis osi Y – ciśnienie atmosferyczne i akustyczne. Na wykresie znajdują obszary ukazujące zakres ciszy oraz dźwięku w funkcji czasu]



Rys. 2. Porównanie dźwięku i ciszy (www.tremolo.pl)

Hałas traktuje się jak dźwięk niepożądany w danym miejscu i czasie, przez daną osobę. W przypadku fali dźwiękowej to jest ona opisywana wielkościami przedstawionymi na rysunku 3. (Kirpluk 2014).

[Tekst alternatywny. Wykres dwuwymiarowy. Opis osi X: prędkość rozchodzenia się fali m/s, opis osi Y – ciśnienie, Pa. Na wykresie znajdują się dwie krzywe w kształcie sinusoidy przesunięte względem siebie o wartość fazy drgań. Na wykresie zaznaczona jest amplituda A oraz okres drgań T].



Rys. 3. Opis fali akustycznej (Kirpluk, 2014).

Poniżej przedstawiono podstawowe cechy fali akustycznej:

- prędkość rozchodzenia się fali (prędkość dźwięku), c - prędkość rozchodzenia się zaburzenia ośrodka (sygnału):
 - w powietrzu (ok. 20°C) 340m/s (ok. 1220km/h = 1 Mach)
 - w wodzie (ok. 10°C) 1450m/s
 - w betonie 3800 m/s
 - w stali ok. 6000m/s
- faza drgania ϕ - wielkość wyznaczająca odchylenie w danym punkcie i w danym czasie od średniego położenia, albo: różnica w czasie lub w przestrzeni pomiędzy takim samym odchyleniem od średniego położenia,
- amplituda A - maksymalne odchylenie od położenia równowagi,
- okres drgań T - jest to najmniejszy przedział czasu, po którym powtarza się ten sam stan obserwowanego zjawiska (drgania lub zaburzenia),
- długość fali λ - odległość pomiędzy dwoma kolejnymi punktami wzdłuż kierunku propagacji zaburzenia, w których drgania mają tą samą fazę:

$$\lambda = c \cdot T \quad (1)$$

- częstotliwość f - liczba okresów drgań w jednostce czasu – dla 1s wyrażana w Hz:

$$f = \frac{1}{T} \quad \lambda \cdot f = c \quad (2)$$



- częstość ω - inaczej pulsacja, jest wielkością ściśle powiązaną z częstotliwością, wyrażana jest w rad/s i określana wzorem:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (3)$$

2. Ekspozycja człowieka na wibracje

Drgania mechaniczne oddziałujące na człowieka to drgania lub wstrząsy przekazywane do organizmu człowieka przez części ciała mające bezpośredni kontakt z drgającym obiektem. Jako czynnik szkodliwy dla zdrowia w środowisku pracy występują one w postaci drgań miejscowych albo drgań ogólnych (Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy, 2005).

Drgania miejscowe to drgania mechaniczne działające na organizm człowieka i przenoszone bezpośrednio przez kończyny górne, natomiast drgania ogólne to drgania mechaniczne o ogólnym działaniu na organizm człowieka, przekazywane do organizmu przez stopy lub części tułowia, w szczególności miednicę lub plecy.

Drgania o ogólnym działaniu na organizm człowieka

Negatywne skutki zawodowej ekspozycji na drgania o oddziaływaniu ogólnym dotyczą zwłaszcza:

- ✓ układu kostnego
- ✓ narządów wewnętrznych.

W układzie kostnym zmiany chorobowe powstają głównie w odcinku lędźwiowym kręgosłupa, rzadziej w odcinku szyjnym. Zespół bólowy kręgosłupa, będący następstwem zmian chorobowych i występujący u osób narażonych zawodowo na drgania ogólne, został uznany w niektórych krajach (np. w Belgii i w Niemczech) za chorobę zawodową, podobnie jak zespół wibracyjny będący następstwem działania drgań miejscowych.

Źródłami drgań o działaniu ogólnym są np.:

- ✓ podłogi, podesty, pomosty w halach produkcyjnych i innych pomieszczeniach, w których zlokalizowane są stanowiska pracy (pierwotnymi źródłami drgań są wtedy eksploatowane maszyny oraz urządzenia stacjonarne, przenośne lub przewoźne), podłoże, na którym stoi operator wprawiane w drgania przez te maszyny i urządzenia lub też przez ruch uliczny czy kolejowy,
- ✓ platformy,
- ✓ siedziska i podłogi środków transportu (samochodów, ciągników, autobusów, tramwajów, trolejbusów oraz pojazdów kolejowych, statków, samolotów itp.),



- ✓ siedziska i podłogi maszyn budowlanych (np. do robót ziemnych, fundamentowania, zagęszczania gruntów).

Drgania działające na organizm człowieka przez kończyny górne

Narażenie na drgania mechaniczne przenoszone do organizmu przez kończyny górne powoduje głównie zmiany chorobowe w układach:

- ✓ krążenia krwi (naczyniowym),
- ✓ nerwowym,
- ✓ kostno-stawowym.

Wyniki badań epidemiologicznych wskazują na silny wpływ narażenia na drgania mechaniczne na powstawanie zmian chorobowych w wymienionych układach. Zespół tych zmian, zwany zespołem wibracyjnym (Hand-arm vibration syndrome - HAVS), został uznany w wielu krajach, w tym również w Polsce, za chorobę zawodową.

Źródłami drgań działających na organizm człowieka przez kończyny górne (miejscowych) są głównie:

- ✓ ręczne narzędzia uderzeniowe o napędzie pneumatycznym, hydraulicznym, spalinowym lub elektrycznym (młoty, ubijaki mas formierskich i betonu, nitowniki, wiertarki udarowe, klucze udarowe itp.),
 - ✓ ręczne narzędzia obrotowe o napędzie elektrycznym, pneumatycznym, hydraulicznym lub spalinowym (wiertarki, szlifierki, itp.),
 - ✓ pilarki łańcuchowe,
 - ✓ ręczne narzędzia oscylacyjne o napędzie elektrycznym, spalinowym, hydraulicznym lub pneumatycznym (szlifierki, piły itp.),
 - ✓ dźwignie sterujące maszyn i pojazdów obsługiwane rękami,
 - ✓ źródła technologiczne (np. obrabiane elementy trzymane w dłoniach lub prowadzone ręką przy procesach szlifowania, gładzenia, polerowania itp.).
- (CIOP, 2024)

Szczególnie niebezpieczne dla organizmu człowieka są drgania o częstotliwościach wymuszeń odpowiadających częstotliwościom drgań własnych poszczególnych narządów człowieka. Wówczas nawet małe amplitudy drgań z otoczenia mogą wzbudzić znaczne drgania rezonansowe poszczególnych narządów, doprowadzając do zjawisk patologicznych, wpływających negatywnie na zdrowie człowieka i jego wydajność pracy. Przykładowo, częstotliwość drgań własnych głowy wynosi 4 i 25 Hz, szczęki 6-8 Hz, narządów wewnętrznych klatki piersiowej 5-8 Hz, kończyn górnych 3 Hz, narządów wewnętrznych jamy brzusznej 4,5-10 Hz, pęcherza moczowego 10-18 Hz, kończyn dolnych 5 Hz. Przy drganiach o częstotliwości mniejszej od 2 Hz ciało człowieka zachowuje się jak jednolita masa. Największą wrażliwością na drgania całego organizmu charakteryzuje się układ nerwowy i układ



krążenia. Charakterystykę drganiową ciała człowieka przedstawiono w tabeli 1 (prawo, 2024; Engel, 2001; Maciejewski, 2013).

Tabela 1. Częstości drgań własnych organów człowieka (Engel, 2001)

Nazwa organu	Częstotliwość rezonansowa fr, Hz
Głowa	4÷5 i 17÷25
Oczy	60÷90
Szczeka	6÷8
Krtąń, tchawica, oskrzela	12÷16
Narządy klatki piersiowej	5÷9
Kończyny górne	3
Kręgosłup	8
Narządy jamy brzusznej	4,5÷10
Wątroba	3÷4
Pęcherz moczowy	10÷18
Miednica	5÷9
Kończyny dolne	5
Człowiek siedząc	5÷12
Człowiek stojąc	4÷6

Biorąc pod uwagę skutki oddziaływania drgań na człowieka, bardzo ważnym celem przy projektowaniu samochodów jest obok dynamiki i bezpieczeństwa dobry komfort jazdy. Pojęcie komfortu jest jednak bardzo subiektywne. Coś co dla jednych jest komfortowe dla innych może nim nie być.

Mówiąc o komforcie należy mieć na myśli między innymi komfort:

- ✓ wibracyjny, który oprócz wygody siedziska zależy od poziomu drgań oddziałujących na kierowcę bądź pasażera,
- ✓ akustyczny, zależny od oddziaływania akustycznego na użytkownika pojazdu.

Źródłem drgań w tak złożonym układzie dynamicznym jakim jest pojazd samochodowy są:

- ✓ wymuszenia od nierówności nawierzchni,
- ✓ silnik oraz układ napędowy,
- ✓ proces przyspieszania, hamowania oraz zmiany kierunku ruchu.

Drgania pochodzące od silnika jego osprzętu oraz układu napędowego w samochodach nowej generacji w znacznym stopniu są ograniczone. W związku z tym głównym źródłem drgań oddziałujących na umieszczony w pojeździe fotel są



nierówności nawierzchni oraz procesy przyspieszania, hamowania i zmiany kierunku jazdy, generujące wibracje poziome wzdłużne i poprzeczne.

Pierwszym krokiem mającym na celu redukcję drgań działających na kierowcę a zatem wpływających również na jego bezpieczeństwo czynne było wprowadzenie do zawieszenia siedziska układu sprężysto – tłumiącego.

Układ sprężysto-tłumiący siedziska kierowcy, jak i pasażerów powinien posiadać charakterystykę dopasowaną do układu resorowania pojazdu i kabiny. W związku z tym bardziej komfortowe zawieszenie kabiny i pojazdu wymaga precyzyjniejszego zawieszenia siedziska.

3. Metody badań i oceny wpływu wibracji na organizm człowieka

Podstawą ustalenia najwyższych dopuszczalnych wartości czynnika szkodliwego są:

- ✓ badania doświadczalne prowadzone w laboratoriach z udziałem wolontariuszy, w kontrolowanych warunkach narażenia na czynnik;
- ✓ badania prowadzone w warunkach rzeczywistych (na stanowiskach pracy);
- ✓ badania epidemiologiczne nad skutkami zdrowotnymi narażonej populacji;
- ✓ badania doświadczalne na zwierzętach.

Zebrane wyniki takich badań w odniesieniu do drgań mechanicznych działających na człowieka przez kończyny górne oraz o działaniu ogólnym były podstawą do ustalenia najwyższych dopuszczalnych natężeń czynnika szkodliwego w środowisku pracy (Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018).

Podstawowym parametrem służącym do przeprowadzenia oceny narażenia na drgania zarówno miejscowe jak i ogólne są skuteczne skorygowane wartości przyspieszeń drgań zmierzone dla kierunków x, y i z na stanowisku pracy przy wykonywaniu każdej z wyodrębnionych (*i*-tej) czynności.

Dla drgań miejscowych:

- ✓ ekspozycja dzienna - wyrażana jest w postaci równoważnej energetycznie dla 8 godzin działania sumy wektorowej skutecznych, skorygowanych częstotliwościowo przyspieszeń drgań, wyznaczonych dla trzech składowych kierunkowych (a_{hwx} , a_{hwy} , a_{hwz}),

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{hvi}^2 \cdot t_i} \quad (4)$$

$$a_{hvi} = \sqrt{a_{hwxRMS_i}^2 + a_{hwyRMS_i}^2 + a_{hwzRMS_i}^2} \quad (5)$$



a_{hv_i} - skorygowana częstotliwościowo skuteczna wartość sumy wektorowej przyspieszenia drgań określona dla przedziału czasu t_i , m/s^2

a_{hwXRMS_i} , a_{hwYRMS_i} , a_{hwZRMS_i} - skorygowane częstotliwościowo, skuteczne wartości przyspieszenia drgań w kierunkach x, y, z, określone dla przedziału czasu t_i , m/s^2

T - czas odniesienia równy 8h (480 min = 28800 s).

- ✓ ekspozycja krótkotrwała - wyrażana jest w postaci sumy wektorowej skutecznych, ważonych częstotliwościowo przyspieszeń drgań, wyznaczonych dla trzech składowych kierunkowych (a_{hwX} , a_{hwY} , a_{hwZ}),

$$a_{hv \max} = \max\{a_{hv_i}\} \quad (6)$$

Dla drgań ogólnych:

- ✓ ekspozycja dzienna - wyrażana jest w postaci równoważnego energetycznie dla 8 godzin działania skutecznego, skorygowanego częstotliwościowo przyspieszenia drgań, dominującego wśród przyspieszeń drgań wyznaczonych dla trzech składowych kierunkowych z uwzględnieniem właściwych współczynników ($1,4a_{wX}$, $1,4a_{wY}$, a_{wZ}),

$$A(8) = \max\{A_x(8), A_y(8), A_z(8)\} \quad (7)$$

$$A_x(8) = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{wX RMS_i}^2 \cdot t_i} \quad (8)$$

$$A_y(8) = 1,4 \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{wY RMS_i}^2 \cdot t_i} \quad (9)$$

$$A_z(8) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n a_{wZ RMS_i}^2 \cdot t_i} \quad (10)$$

- ✓ ekspozycja krótkotrwała - wyrażana jest w postaci skutecznego, ważonego częstotliwościowo przyspieszenia drgań, dominującego wśród przyspieszeń drgań wyznaczonych dla trzech składowych kierunkowych z uwzględnieniem właściwych współczynników ($1,4a_{wX}$, $1,4a_{wY}$, a_{wZ}),



$$a_{w \max} = \max\{1,4 \cdot a_{wx_i}, 1,4 \cdot a_{wy_i}, a_{wz_i}\} \quad (11)$$

Zestawienie wielkości mierzonych charakteryzujących drgania mechaniczne oraz wielkości wyznaczonych na podstawie dokonanych pomiarów, a podlegających ocenie w świetle uregulowań polskich zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Wielkości charakteryzujące drgania mechaniczne podlegających ocenie (Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018)

Rodzaj drgań	Wielkości mierzone na stanowisku pracy	Wielkości wyznaczane podlegające ocenie
Drgania działające przez kończyny górne	a_{hwXRMS_i} a_{hwYRMS_i} a_{hwzRMS_i} t_i	Wielkości pośrednie a_{hv_i}
		Wielkości finalna
		$A(8)$
		$a_{hv \max}$
Drgania o działaniu ogólnym	a_{wxRMS_i} a_{wyRMS_i} a_{wzRMS_i} t_i	Wielkości pośrednie $A_x(8)$ $A_y(8)$ $A_z(8)$
		Wielkości finalne
		$A(8)$
		$a_{w \max}$

Dopuszczalne wartości ekspozycji dziennej i krótkoterminowej dla drgań o charakterze ogólnym i miejscowym przedstawiono w tabeli 3.



Tabela 3. Dopuszczalne wartości ekspozycji dziennej i krótkoterminowej dla drgań o charakterze ogólnym i miejscowym (Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej, 2018)

Rodzaj drgań		Wartość dopuszczalne, m/s ²
Drgania działające przez kończyny górne	Dzienna ekspozycja na drgania mechaniczne, (A(8) _{dop})	2,8
	Krótkotrwała ekspozycja na drgania mechaniczne, (a _{h30mindop})	11,2
	Próg działania, (A(8) _{działania})	2,5
Drgania o działaniu ogólnym	Dzienna ekspozycja na drgania mechaniczne, (A(8) _{dop})	0,8
	Krótkotrwała ekspozycja na drgania mechaniczne, (a _{h30mindop})	3,2
	Próg działania, (A(8) _{działania})	0,5

Szczegółowo metodykę badań i pomiarów drgań mechanicznych, zgodnie z którą powinny być one przeprowadzane, określają następujące normy:

- ✓ PN – EN ISO 5349-1:2004 Drgania mechaniczne. Pomiar i wyznaczenie ekspozycji człowieka na drgania przenoszone przez kończyny górne. Część 1: Wymagania ogólne,
- ✓ PN – EN ISO 5349-2:2004 Drgania mechaniczne. Pomiar i wyznaczenie ekspozycji człowieka na drgania przenoszone przez kończyny górne. Część 2: Praktyczne wytyczne do wykonywania pomiarów na stanowisku pracy,
- ✓ PN – EN ISO 14253:2006 Drgania mechaniczne. Pomiar i obliczanie zawodowej ekspozycji na drgania o ogólnym działaniu na organizm człowieka dla potrzeb ochrony zdrowia.

Wskaźniki opisujące oddziaływanie drgań na człowieka

Norma ISO 2631 została opublikowana przez Międzynarodową Organizację Standaryzacji (ISO) w Genewie. Stosuje się ją dla drgań przekazywanych do ciała ludzkiego za pośrednictwem:

- ✓ stóp stojącej osoby,
- ✓ pośladków,
- ✓ pleców i stóp siedzącej osoby,



- ✓ powierzchni oparcia leżącej osoby.

Taki typ przenoszenia drgań występuje w pojazdach, maszynach, budynkach i w pobliżu pracujących maszyn. Miejsca poboru sygnałów (drgań) powinny się znajdować jak najbliżej miejsc przekazywania drgań.

Podstawową ocenę wpływu drgań na komfort wibracyjny podczas jazdy jest wartość skuteczna (rms) przyspieszeń działających w kierunku pionowym (12). Dla przyspieszeń $a(t)$ zarejestrowanych jako występująca stacjonarna realizacja procesu stochastycznego rms jest najczęściej wskaźnikiem oceny komfortu wibracyjnego (Zuska, Frej, Jackowski, Żmuda, 2021).

$$\text{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

gdzie:

$a(t)$ – zarejestrowana, jako funkcja czasu t , wartości przyspieszenia działającego w kierunku pionowym, m/s^2

T – odcinek czasu trwania pomiaru, s.

Ponadto w ocenie komfortu wibracyjnego wykorzystuje się również wskaźnik VDV (Vibration Dose Value) (13). Wskaźnik ten został specjalnie opracowany do analizy drganiowej całego ciała człowieka. Wielkości rms oraz VDS względem siebie nie są skorelowane, ponieważ w różny sposób odbierają amplitudy zmierzonego przyspieszenia. Oba wskaźniki nie oszacowują oddziaływania chwilowych wstrząsów (Kowalska-Koczwara, 2019).

$$\text{VDV} = \left[\int_0^T a^4(t) dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (13)$$

W celu oszacowania poprawnie chwilowych wstrząsów został opracowany wskaźnik oceny komfortu wibracyjnego rmq (14) opracowany przez M.J. Griffina oraz opisywany przez British Standard BS 6841 (Frej, Zuska, Cadge 2019).

$$\text{rmq} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^4(t) dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad (14)$$

Skuteczność tłumienia drgań przenoszonych z nadwozia samochodu osobowego do siedziska fotela samochodu można wyrazić za pomocą wskaźnika SEAT (Seat Effective Amplitude Transmissibility). Ten bezwymiarowy współczynnik zależy od widma drgań, przenikalności drgań przez materiał fotela oraz od wielkości i



częstotliwości przyspieszeń pochodzących od nawierzchni drogi. Pokazuje to zdolność siedziska fotela do tłumienia drgań generowanych w pojeździe w taki sposób aby chronić kierowcę i pasażerów przed nadmiernymi wibracjami. Wartość SEAT (15) jest używana do opisu wibroizolacji drgań przez fotel samochodowy (Frej, Zuska, Cadge 2019).

$$SEAT = \frac{V \cdot D \cdot V_F}{V \cdot D \cdot V_P} \quad (15)$$

gdzie:

$V \cdot D \cdot V_F$ – Vibration Dose Value determined for the car seat

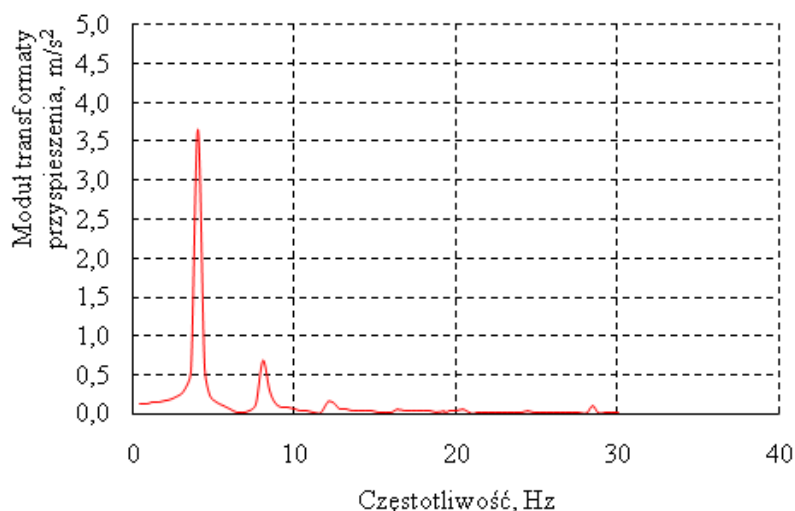
$V \cdot D \cdot V_P$ – Vibration Dose Value determined for the surface to which the car seat is attached

4. Charakterystyki dynamiczne ciała człowieka – jako układu drgającego

Rozprzestrzenianie się drgań mechanicznych w organizmie jest funkcją wielu zmiennych charakteryzujących: źródło drgań, układ źródła drgań - człowiek oraz sam ustrój człowieka. Dominującą rolę w rozprzestrzenianiu się drgań odgrywa pozycja ciała człowieka, która wpływa na: powierzchnię kontaktu człowieka z płaszczyzną drgającą, na położenie kręgosłupa, stopień napięcia różnych grup mięśniowych tułowia i kończyn dolnych. Sposób ułożenia ciała wpływa również na sprężyste i tłumienne własności ustroju i decyduje o wzajemnym położeniu mas w jego obrębie. Prowadzi to nie tylko do zmiany częstotliwości drgań własnych, ale także do istotnej zmiany przeniesienia drgań w poszczególnych pasmach częstotliwości.

Podczas badań eksperymentalnych mających na celu wyznaczenie charakterystyk amplitudowo częstotliwościowych w układzie człowiek – środek transportu wielkościami mierzonymi są przyspieszenia na fotelu oraz w wybranych obszarach ciała badanych osób. Dla każdego z zarejestrowanych sygnałów przyspieszeń wyznacza się charakterystykę amplitudowo – częstotliwościową, której przykład zademonstrowano na rysunku 4. Do wyznaczenia widma przyspieszeń należy użyć jednego z programów komputerowych dających możliwość analizy FFT (szyba transformata Fouriera) (Nader, 2001).

[Tekst alternatywny. Wykres dwuwymiarowy. Opis osi X - Częstotliwość 0-40 Hz, opis osi Y – Moduł transformaty przyspieszenia 0 – 5 m/s². Na wykresie znajduje się czerwona linia, której odległość od osi X pokazuje jak zmieniają się składowe widmowe zarejestrowanych przyspieszeń w zależności od ich częstotliwości.]



Rys. 4. Charakterystyka amplitudowo – częstotliwościowa przyspieszeń zarejestrowanych w wybranym obszarze ciała człowieka.

Na podstawie wyznaczonych charakterystyk amplitudowo – częstotliwościowych dla różnych układów wejście – wyjście: siedzisko – głowa, siedzisko – klatka piersiowa, siedzisko – brzuch, wyznacza się funkcję modułu transmitancji widmowej badanego układu:

$$H(f) = \frac{|F_{wyj}(f)|}{|F_{wej}(f)|} \quad (16)$$

gdzie:

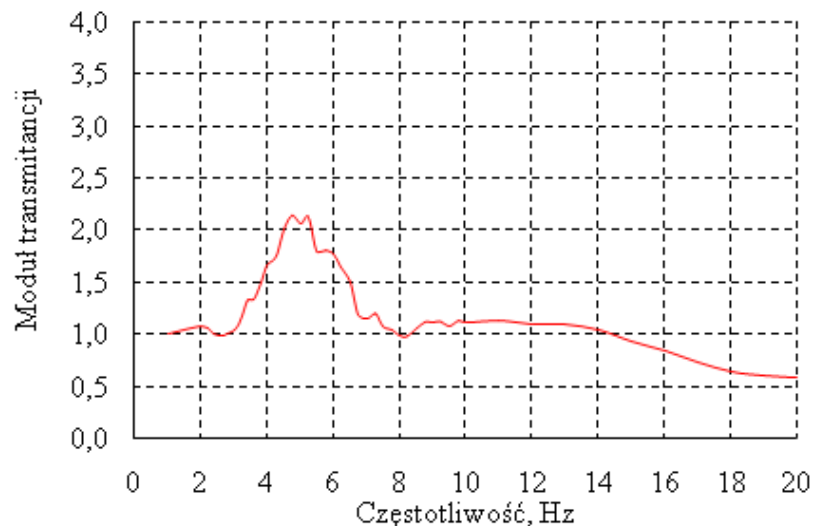
$F_{wej}(f)$ - transformata Fouriera sygnału wejściowego,

$F_{wyj}(f)$ - transformata Fouriera sygnału wyjściowego.

Przykład otrzymanej w ramach eksperymentu charakterystyki transmitancyjnej dla wybranego układu przedstawiono na rysunku 5.



[Tekst alternatywny. Wykres dwuwymiarowy. Opis osi X - Częstotliwość 0-20 Hz, opis osi Y – Moduł transmitancji 0 – 4. Na wykresie znajduje się czerwona linia, której odległość od osi X pokazuje jak układ wzmacnia lub tłumi określone składowe widmowe przyspieszeń w zależności od ich częstotliwości.]



Rys. 5. Wykres transmitancji w układzie siedzisko - wytypowany do badań obszar ciała człowieka

5. Wpływ hałasu na organizm człowieka

Hałas oraz wibracje, które oddziałują na człowieka, oraz ich skutki, są związane są z fizyką ich powstawania i propagacji. W wyniku zaburzenia równowagi w pewnym punkcie ośrodka sprężystego jego cząstki, pobudzone do drgań, będą je przekazywać kolejnym cząstkom. Po pewnym czasie zaburzenie to dotrze do każdego punktu ośrodka. Jest to możliwe dzięki wzajemnemu przekazywaniu energii ruchu sąsiednim cząstkom. Zjawisko to nosi nazwę ruchu falowego, a procesy z tym związane nazywane są procesami wibroakustycznymi. Proces ten zachodzi także pomiędzy cząstkami różnych ośrodków. Drgania układów mechanicznych pobudzają do drgań cząstki otaczającego je powietrza, w którym rozchodzą się w postaci dźwięku. Możliwy jest też proces odwrotny, w którym dźwięk pobudza do drgań ciała stałe.

Skutki wpływu hałasu i drgań mechanicznych na organizm człowieka są zależne od ilości energii, z jaką określony proces oddziałuje. Zależą również od struktury



częstotliwościowej składowych procesów wibroakustycznych (wynika stąd potrzeba stosowania filtrów korekcyjnych przy analizie wpływu hałasu na organizm człowieka). Nadmierny hałas oddziałujący na ciało człowieka wpływa na stan jego zdrowia, funkcje poszczególnych narządów i układów, a zwłaszcza wpływa na narząd słuchu. Hałas oddziałuje nie tylko na organ słuchu, lecz poprzez centralny układ nerwowy na inne organy. Ważne znaczenie ma wpływ hałasu na stan psychiczny, sprawność umysłową, efektywność i jakość pracy.

Szkodliwość oddziaływania hałasu zależy od poziomu ciśnienia akustycznego i czasu trwania narażenia, czyli tak zwanej dawki hałasu. Im poziom ciśnienia akustycznego jest wyższy a czas narażenia na hałas dłuższy, tym jest on bardziej szkodliwy. Negatywny wpływ hałasu na organizm człowieka jest utożsamiany przede wszystkim z bezpośrednim oddziaływaniem na narząd słuchu. Reakcją obronną organizmu na nadmierny hałas jest czasowe przesunięcie progu słyszenia, które ustępuje po upływie określonego czasu. Trwałe przesunięcie progu słyszenia jest nieodwracalne i wynika z wywołanych hałasem zmian w uchu środkowym i wewnętrznym, które są narządami krytycznymi. Uszkodzenie słuchu (upośledzenie sprawności słuchu, uszkodzenia anatomiczne) powoduje postępujący niedosłuch. Z tego względu hałas został uznany za czynnik szkodliwy. Działanie hałasu nie ogranicza się tylko do narządu słuchu, obejmuje także inne skutki zdrowotne.

Reakcja organizmu na hałas zależy od wielu czynników: pory doby (w nocy hałas o natężeniu 50–60 dB wywołuje taką samą reakcję, jak w ciągu dnia hałas 80–90 dB), częstotliwości (dźwięki o wysokiej częstotliwości są gorzej tolerowane), stanu organizmu (wypoczęty/zmęczony), współistnienia innych czynników szkodliwych lub uciążliwych, cech psychologicznych. Doświadczalnie dowiedziono, że uchwytne zaburzenia funkcji fizjologicznych występują już przy poziomie hałasu 75 dB(A). Przy poziomie hałasu 110–120 dB(A) mogą wystąpić silne reakcje, to jest zaburzenia wzroku, równowagi, czucia. Hałas zaburza funkcjonowanie wielu układów: układu krążenia (zwążenie drobnych obwodowych naczyń krwionośnych, zmniejszenie objętości wyrzutowej i minutowej serca, wzrost ciśnienia tętniczego (nadciśnienie tętnicze), układu pokarmowego (sprzyja rozwojowi choroby wrzodowej), układu wewnątrzwydzielniczego (ilościowe zmiany hormonalne), układu nerwowego (Bortkiewicz, Czaja, 2018). Hałas wpływa też na psychikę; stwierdzono, że zaburzenia psychiczne występowały częściej u osób mieszkających wzdłuż ruchliwej arterii komunikacyjnej, w porównaniu z mieszkańcami innych rejonów miasta. Hałas powoduje też wcześniejsze starzenie się organizmu. (Dziurdź, 2011)



6. Ekspozycja i poziom ekspozycji na hałas

Szkodliwy efekt oddziaływania hałasu na słuch zależy od wielkości energii akustycznej docierającej do uszu pracownika, a zatem od poziomu ciśnienia akustycznego hałasu i czasu jego oddziaływania. Do oceny szkodliwego oddziaływania na organ słuchu zmieniającego się w czasie hałasu wprowadzono wielkość zwaną ekspozycją na hałas oraz odpowiadający jej i częściej stosowany w praktyce poziom ekspozycji na hałas (CIOP, 2024).

Poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy ($L_{EX,8h}$) lub tygodnia pracy ($L_{EX,w}$) definiowany jest jako równoważny poziom dźwięku A, wyznaczony dla czasu ekspozycji na hałas równemu znormalizowanemu czasowi pracy i określony wzorem:

$$L_{EX,8h} = L_{EAeq,Te} + 10 \lg \frac{T_e}{T_0} \quad (17)$$

$$L_{EX,w} = 10 \lg \left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{EX,8h})_i} \right] \quad (18)$$

gdzie:

$L_{Aeq,Te}$ - równoważny poziom dźwięku A wyznaczony dla czasu ekspozycji T_e ,

T_0 - czas odniesienia = 8h,

i - kolejny dzień roboczy w tygodniu,

n - liczba dni roboczych w tygodniu (może być różna od 5).

Warto zauważyć, że w chwili gdy czas ekspozycji T_e równy jest czasowi odniesienia T_0 czyli 8-godzinnemu dobowemu czasowi pracy, to poziom ekspozycji na hałas $L_{EX,8h}$ odpowiada równoważnemu poziomowi dźwięku A, $L_{Aeq,Te}$:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,Te} \text{ dla } T_e = 8h \quad (19)$$

Odpowiednikiem poziomu ekspozycji na hałas, odniesionego do dnia lub tygodnia pracy, jest tzw. dzienna lub tygodniowa ekspozycja na hałas $E_{A,Te}$ określana również jako "dawka hałasu" i wyrażana w $Pa^2 \cdot s$. Poziom ekspozycji na hałas i dzienną ekspozycję na hałas wiąże następująca zależność:

$$E_{A,Td} = 1,15 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{0,1 L_{EX,8h}} \quad (20)$$



Hałas drogowy jest najpowszechniejszym typem hałasu, który dotyka mieszkańców UE. Zgodnie z danymi UE ok. 75 milionów obywateli jest narażonych na ten typ hałasu, który osiąga wartości w decybelach mogące wywoływać już pierwsze negatywne efekty (m.in. rozdrażnienie i stres), tj. 55 dBA. Podobnie jak większość źródeł, również te można rozbić na dwa obszary działania: obszary miejskie i obszary pozamiejskie. Na obszarach miejskich hałas drogowy jest związany z siecią ulic, zwłaszcza głównych. Poza miastami, hałas drogowy jest obecny przede wszystkim wzdłuż najważniejszych dróg (w Polsce są to autostrady i drogi ekspresowe oraz drogi krajowe, niektóre wojewódzkie).

Natura powstawania hałasu wywoływanego przez samochody jest złożona. Można wyróżnić kilka źródeł i mechanizmów, które są za niego odpowiedzialne: silnik, tzw. hałas toczenia (powstający w wyniku styku opon z podłożem) oraz hałas aerodynamiczny (wynikający z turbulentnych przepływów powietrza wokół karoserii samochodu). W przypadku pojazdów ciężkich, dochodzą czasem jeszcze wibracje niektórych elementów (np. chwilowe, impulsowe drgania naczepy/kontenerów na przyczepie wywołane jazdą po nierównościach).

Hałas silnika w ogólnym hałasie drogowym ma znaczenie tylko przy niskich prędkościach. Przy prędkościach wyższych, tych najczęściej obserwowanych, najważniejszy w generacji hałasu jest hałas toczenia – podczas gdy dla prędkości bardzo wysokich dochodzi jeszcze wpływ hałasu aerodynamicznego.

Ponieważ oba mechanizmy – i hałas toczenia, i aerodynamiczny – zależą od prędkości, prowadzi to do wniosku, że im szybciej samochód się przemieszcza, tym również wyższe poziomy hałasu będzie generował.

W analizach dotyczących ruchu wyróżnia się najczęściej dwie kategorie pojazdów: pojazdy lekkie (samochody osobowe i małe samochody dostawcze) oraz pojazdy ciężkie (duże pojazdy dostawcze, ciężarówki, autobusy itd.). Znaczna różnica w masie pomiędzy nimi powoduje, że zarówno parametry akustyczne poszczególnych kategorii jak i ich postrzeganie przez ludzi są różne. Osobną kwestią są też jednoślady – przede wszystkim motocykle i skutery. Ich mniejsze silniki (zwłaszcza w przypadku skuterów) generują inne dźwięki, co również powoduje, że są łatwo rozróżnialne od innych drogowych źródeł hałasu.

W warunkach miejskich, wpływ na poziom hałasu drogowego ma też geometria ulicy. Najgorszym przypadkiem są tzw. „miejskie kaniony”, to jest ulice o gęstej zabudowie z obu stron, których przekrój przypomina literę „U”. Elewacje budynków z twardych materiałów i asfalt jezdni mają wysoki współczynnik odbicia dźwięku. W efekcie, dźwięk generowany przez auta wielokrotnie odbija się od budynków i drogi – prowadząc do wzrostu natężenia dźwięku, co jednak nie zawsze przekłada się na większą postrzeganą przez mieszkańców dokuczliwość. Drugim w kolejności najbardziej dokuczliwym hałasem dla obywateli Unii Europejskiej jest hałas szynowy.



Podobnie jak w przypadku hałasu drogowego, również ten można podzielić ze względu na miejsce występowania i rodzaj.

W przypadku miast, zwłaszcza polskich, hałas szynowy jest najczęściej reprezentowany nie przez kolej a przez tramwaje. Istnieje wiele badań dotyczących hałasu kolejowego w wielkich aglomeracjach miejskich, jak np. Hongkong, jednak w takich miejscach funkcjonuje silnie rozwinięta sieć kolei aglomeracyjnej, kursującej nierzadko co kilka minut. W ostatnich latach hałas kolejowy w polskich miastach zmniejszył się, głównie za sprawą inwestycji w modernizację infrastruktury bądź montaż ekranów akustycznych. W przypadku hałasu tramwajowego należy zauważyć, że główne jego źródła to silnik (w mniejszym stopniu) oraz hałas toczenia kół po szynach (w większym stopniu) (CIOP, 2024).

7. Regulacje prawne dotyczące hałasu

Pierwsze regulacje wspólnotowe dotyczące hałasu miały początkowo na celu ochronę wspólnego rynku przed ograniczeniami wynikającymi z ustanowienia przez państwa członkowskie niejednakowych wymagań co do dopuszczalnego poziomu hałasu pojazdów (samochody, autobusy i ciężarówki, motocykle, traktory).

Początkowo ustanawiane standardy obowiązywały tylko dla wyrobów przeznaczonych na rynek UE, dopiero z czasem zaczęto wprowadzać w przepisach wspólnotowych wiążące producentów standardy emisji hałasu jako jeden z istotnych elementów ochrony środowiska. Obecnie wszystkie produkowane na terenie Unii Europejskiej pojazdy muszą spełniać obowiązujące normy, bez względu na to gdzie będą sprzedawane.

Dyrektywy wprowadzały różne instrumenty ochrony przed hałasem pochodzącym z różnych źródeł. Dyrektywa 86/594/EWG z 1986 r. w sprawie hałasu emitowanego przez urządzenia gospodarstwa domowego nakazywała producentom umieszczanie informacji na produktach o emitowanym hałasie, określając dodatkowo metody pomiaru tego hałasu. Natomiast Dyrektywa 2000/14/WE z 2000 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do emisji hałasu do środowiska przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń ustanowiła między innymi standardy dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu emitowanego przez urządzenia takie jak: różnego rodzaju sprzęt budowlany, kosiarki, wózki podnośnikowe, agregaty prądotwórcze itp., które mają się przyczynić do sprawnego funkcjonowania rynku wewnętrznego przy równoczesnej ochronie zdrowia i dobrobytu ludzi. Ochrona przed hałasem, którego źródłem jest komunikacja lotnicza została unormowana w aktach prawa międzynarodowego, przede wszystkim Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym z 1944 r. Dlatego też przepisy prawa unijnego, przede wszystkim rozporządzenie 1592/2002 z 2002 r. w sprawie



wspólnych zasad w zakresie lotnictwa cywilnego i utworzenia Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Transportu Lotniczego, jako cel stawiają sobie pomoc państwom członkowskim w wypełnianiu zobowiązań Konwencji, poprzez ustanowienie wspólnej interpretacji i jednolitej implementacji jej przepisów. Dyrektywa 2002/30/WE w sprawie ustanowienia zasad i procedur w odniesieniu do wprowadzenia ograniczeń odnoszących się do poziomu hałasu w portach lotniczych ma za zadanie ograniczenie szkodliwego oddziaływania na ludzi hałasu pochodzącego z lotnisk, poprzez wprowadzenie jednolitych reguł ułatwiających ustanowienie przez państwa członkowskie ograniczeń w funkcjonowaniu portów lotniczych mających na celu zmniejszenie hałasu. Zasadniczym aktem prawnym wyznaczającym w UE kierunek walki z hałasem jest dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku. Jako że osiągnięcie wysokiego poziomu zdrowia i ochrony środowiska jest częścią polityki wspólnotowej, a ochrona przed hałasem w środowisku jest jednym z jej celów, Parlament Europejski i Rada UE przyjęły tę dyrektywę, która ma za zadanie zdefiniowanie wspólnego podejścia do unikania, zapobiegania lub zmniejszania szkodliwych skutków narażania na działanie hałasu, w tym jego dokuczliwości, na podstawie ustalonych priorytetów. W tym celu zobowiązano państwa członkowskie do przeprowadzenia wyznaczonych działań (Marczak, 2012).

- ustalenie stopnia narażenia na hałas w środowisku poprzez sporządzenie map hałasu przy zastosowaniu wspólnych metod oceny tak, by wyniki były porównywalne na obszarze całej UE;
- przyjęcie przez Państwa Członkowskie planów działania na podstawie map akustycznych, zmierzających do zapobiegania powstawaniu hałasu w środowisku, obniżania jego poziomu na obszarach gdzie jest za wysoki i zachowania jakości klimatu akustycznego środowiska w miejscach gdzie jest ono właściwe.
- zapewnienie społeczeństwu dostępu do informacji dotyczących hałasu w środowisku.

W Dyrektywie określono wskaźniki hałasu i ich stosowanie, metody oceny wskaźników. Zobowiązano również Państwa Członkowskie do sporządzania na swym terytorium strategicznych map hałasu dla miast o liczbie mieszkańców ponad 250 tysięcy i dla wszystkich głównych dróg o obciążeniu ruchem ponad 6 milionów przejazdów rocznie, głównych linii kolejowych o obciążeniu ruchem ponad 60 tysięcy składów pociągów rocznie i głównych lotnisk. Równocześnie nałożono obowiązek sporządzenia planów działania, w szczególności dla obszarów, w których zostały przekroczone wartości graniczne. Dyrektywa reguluje również kwestie informowania społeczeństwa, gromadzenia i publikowania danych przez Państwa Członkowskie i Komisję oraz sprawozdawczość i opracowania analiz.



W prawie krajowym ochronę środowiska przed hałasem regulują przepisy ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska. Ustawa ma na celu zapewnienie jak najlepszego stanu akustycznego środowiska, w szczególności poprzez utrzymanie poziomu hałasu poniżej dopuszczalnego lub co najmniej na tym poziomie oraz gdy nie jest on utrzymany – zmniejszenia poziomu hałasu co najmniej do dopuszczalnego. Warunki te powinny być uwzględniane zarówno przy wydawaniu indywidualnych aktów administracyjnych, stanowiących podstawę korzystania ze środowiska – np. decyzji o dopuszczalnym poziomie hałasu, jak i w procesie tworzenia aktów prawa miejscowego – np. planów zagospodarowania przestrzennego. Podstawą procesu ograniczania nadmiernego hałasu jest najpierw jego pomiar, szczególnie w miejscach gdzie jest dokuczliwy i następnie opracowanie wyników dla całego kraju określane jako stan akustyczny środowiska często nazywany klimatem akustycznym środowiska (Marczak, 2012).

8. Badania hałasu w pojazdach

Badanie hałasu w pojazdach jest kluczowym procesem w zapewnieniu komfortu podróży oraz poprawy jakości użytkowania pojazdu. Hałas w samochodzie może być generowany przez różne czynniki, takie jak silnik, opony, wiatr czy ruch powietrza. Dlatego też istotne jest przeprowadzenie kompleksowej oceny, aby zidentyfikować, zrozumieć i zminimalizować potencjalne źródła hałasu. Również określenie dopuszczalnego poziomu hałasu zewnętrznego, który może być wywoływany przez pojazd, jest istotnym zagadnieniem z punktu widzenia regulacji dotyczącej ochrony środowiska oraz komfortu życia mieszkańców. Istnieją różne normy i przepisy określające maksymalne poziomy hałasu dla pojazdów, które są ustalane na poziomie krajowym lub międzynarodowym. W praktyce producenci samochodów muszą spełniać określone normy dotyczące emisji hałasu, a także podejmować działania mające na celu zmniejszenie poziomu hałasu generowanego przez swoje produkty, aby zapewnić zgodność z obowiązującymi przepisami oraz poprawić komfort użytkowania pojazdów.

Procedura badania hałasu w samochodzie obejmuje zazwyczaj kilka kroków. Pierwszym z nich jest pomiar hałasu, w trakcie którego inżynierowie używają precyzyjnych mikrofonów i analizatorów dźwięku do pomiaru hałasu w różnych punktach wewnątrz i na zewnątrz samochodu. Te pomiary pozwalają określić poziom hałasu w różnych warunkach i przy różnych prędkościach. Kolejnym krokiem jest analiza źródeł hałasu, to znaczy po dokonaniu pomiarów specjaliści analizują wyniki, aby zidentyfikować główne źródła hałasu w samochodzie. Mogą to być silnik, układ wydechowy, opony, układ zawieszenia, czy nawet wentylacja. W dalszej kolejności następuje ocena skuteczności izolacji akustycznej.



Pomiar poziomu hałasu zewnętrznego dokonuje się miernikiem poziomu dźwięku na krzywej korekcyjnej A i dla stałej czasowej miernika F (Fast - szybko). Pomiaru hałasu zewnętrznego pojazdu nie powinno się dokonywać w warunkach atmosferycznych niekorzystnych w stopniu mogącym wpływać na wynik pomiaru. W celu ograniczenia szumów przepływu wiatru i ochrony przed kurzem i spalinami jest wskazane stosowanie osłony przeciwwietrznej mikrofonu. Poziom hałasu otoczenia, przy uwzględnieniu wpływu wiatru i innych zakłóceń akustycznych na mikrofon, powinien być mniejszy co najmniej o 10 dB od zmierzonego poziomu hałasu zewnętrznego wytwarzanego przez pojazd. Sam poziom hałasu otoczenia powinien być zmierzony przed rozpoczęciem pomiarów i sprawdzony w czasie ich wykonywania przy wyłączonym silniku. Pojazd podczas badania nie powinien być obciążony, z tym że motocykl (motorower) powinien być obciążony tylko kierującym. Podczas badania pojazd powinien być odłączony od przyczepy (naczepy); nie dotyczy to pojazdów nierozłączalnych. Przed badaniem silnik pojazdu powinien być doprowadzony do normalnej temperatury pracy. Jeżeli układ chłodzenia pojazdu jest wyposażony w dmuchawę o napędzie włączanym samoczynnie, w czasie pomiarów układ ten powinien pracować normalnie (Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej, 2012).

Badany pojazd należy umieścić w środkowej części obszaru pomiarowego z układem napędowym w pozycji neutralnej, wyłączonym sprzęgłem i włączonym hamulcem postojowym. Mikrofon powinien być ustawiony tak, aby:

- jego wysokość nad powierzchnią obszaru pomiarowego była równa wysokości końcówki wylotu rury wydechowej pojazdu, jednak nie mniejsza niż 0,2 m;
- był skierowany w stronę końcówki wylotu rury wydechowej i odległy od niej o $0,5 \pm 0,01$ m;
- oś jego maksymalnej czułości była równoległa do powierzchni obszaru pomiarowego i tworzyła kąt $45 \pm 10^\circ$, z płaszczyzną pionową przechodzącą przez oś kierunku wylotu wydechu.

W wypadku układu wydechowego o dwu lub więcej wylotach umieszczonych w odległości mniejszej niż 0,3 m od siebie i połączonych z tym samym tłumikiem należy wykonać pomiar tylko przy ustawieniu mikrofonu w pobliżu końcówki wylotu znajdującego się bliżej zewnętrznej strony pojazdu.

Sam pomiar polega na odczytaniu wartości poziomu hałasu w dB w krótkim okresie pracy silnika przy ustalonej prędkości obrotowej, odpowiadającej 75 % prędkości obrotowej mocy maksymalnej (dla motocykli, których prędkość obrotowa mocy maksymalnej jest większa od 5.000 min^{-1} , należy do pomiarów przyjmować 50 % prędkości obrotowej mocy maksymalnej) oraz w czasie jej zmniejszania do prędkości obrotowej biegu jałowego (po szybkim zwolnieniu pedału przyspieszenia).

Należy wykonać co najmniej trzy pomiary następujące po sobie. Pod uwagę bierze się tylko te zmierzone wartości, które zostały uzyskane z trzech następujących po sobie pomiarów, nieróżniących się od siebie o więcej niż 2 dB. Pomiary należy prowadzić aż do uzyskania trzech wartości spełniających powyższy warunek.



9. Narzędzia do badania hałasu

Kalibratory są urządzeniami przenośnymi, kompatybilnymi z innymi przenośnymi i laboratoryjnymi miernikami dźwięku, wyposażonymi w mikrofon zgodny ze specyfikacją urządzenia. Narzędzia do badania hałasu środowiskowego to zwykle stacje monitorujące, które do zarządzania wymagają specjalnego oprogramowania. Przed czynnikami atmosferycznymi chroni je obudowa, nazywana również szafką. Oprócz tego narzędzia te wyposażone są także w panel kontrolny, modem 3G oraz antenę GSM. Mogą być używane z powodzeniem na placach budowy, w przemyśle, transporcie. Służą do badania hałasu miejskiego, lotniskowego czy atmosferycznego. Do pomiaru natężenia dźwięku i wibracji wykorzystuje się sonometry i wibrometry. Sonometry to lekkie urządzenia elektroniczne, których zadaniem jest zbadanie natężenia dźwięku i określenie poziomu zmian hałasu. Charakteryzują się dużą dokładnością pomiarową, ale mają także szerokie zastosowanie, np. w pomiarach natężenia dźwięku urządzeń produkcyjnych. Wibrometry z kolei to inaczej analizatory wibracji – urządzenia do badania widma w pasmach oktaowych i tercjowych. Ich zadaniem jest pomiar wibracji, ich parametrów związanych z ochroną pracowników przed drganiami przenoszonymi na ręce i ciało. Ale mogą być także wykorzystywane do pomiaru drgań na budynki położone w pobliżu dróg czy drgań powstałych na skutek wyburzeń (test-therm, 2014).

10. Ochrona przed hałasem

Zmniejszenia poziomu hałasu można dokonać poprzez ograniczenie samej emisji ze źródła np. stosując nowe rozwiązania techniczne lub nowe technologie. W przypadku hałasu komunikacyjnego wysiłek jest skierowany na wyciszenie pojazdu poprzez zmniejszenie hałasu pracy silnika i całego układu napędowego oraz na opracowanie odpowiednich powierzchni bieżników opon. Prowadzone są również prace badawcze nad odpowiednimi właściwościami warstw wierzchnich dróg, które zredukują hałas jaki powstaje podczas jazdy samochodu po nawierzchni drogi. Skala redukcji hałasu przy odpowiednio dobranych nawierzchniach zawiera się w przedziale poniżej 1 dB do 3 dB, chociaż są prace, w których pokazuje się redukcję rzędu 7-10 dB. Równocześnie najbardziej skutecznym sposobem jest planowanie głównych ciągów komunikacyjnych w odpowiedniej odległości od terenów chronionych przed hałasem, a w stosunku do istniejącej zabudowy budowanie obwodnic wyprowadzających ruch pojazdów poza tereny gęstej zabudowy. Innym rozwiązaniem jest izolowanie źródła hałasu m. in. poprzez stawianie tłumiących dźwięki, ekranów lub tuneli i półtuneli akustycznych wzdłuż szlaków komunikacyjnych. Budowane obecnie w nowych technologiach domy mają lepsze wskaźniki izolacji akustycznej. W starych



budynkach usytuowanych przy uciążliwych trasach komunikacyjnych wymienia się okna na nowe, o lepszych właściwościach izolacyjnych (Marczak, 2012).

11. Literatura

- [1] Bortkiewicz, A., Czaja, N. (2018). Pozasłuchowe skutki działania hałasu ze szczególnym uwzględnieniem chorób układu krążenia, *Via Medica* ISSN 1897–3590.
- [2] Cempel, C. (1978). *Wibroakustyka stosowana*, PWN, 1978
- [3] Dziurdź, J. (2011). Zagrożenia człowieka w środowisku pracy. Drgania i hałas. Materiały dydaktyczne dla słuchaczy Studiów Podyplomowych dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych. Politechnika Warszawska.
- [4] Engel, Z. (2001). *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [5] Frej, D. P., Zuska, A., & Cadge, K. (2019). Analysis of vertical vibrations affecting a child transported in a child seat during a car passing over the release speed bump. *Archiwum Motoryzacji*, 86(4).
- [6] Kirpluk, M. (2014). *Podstawy akustyki*.
- [7] Kowalska-Koczvara, A. (2019). Wpływ drgań transportowych na ludzi przebywających w budynkach w aspekcie wybranych kryteriów ewaluacyjnych.
- [8] Maciejewski, I. (2013). Ocena oddziaływania drgań mechanicznych na operatorów maszyn roboczych. *TTS Technika Transportu Szynowego*, 20.
- [9] Marczak, P. (2012). *Zagrożenie hałasem Wybrane zagadnienia*. Kancelaria Senatu.
- [10] Nader, M. (2001). Modelowanie i symulacja oddziaływania drgań pojazdów na organizm człowieka. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*, 3-172.
- [11] Osiński, P., Leszczyński, K. Jednostki akustyczne, budowa aparatury kontrolno-pomiarowej stosowanej w badaniach akustycznych, pomiary podstawowych wielkości akustycznych, budowa sonometru, budowa



mikrofonów. Laboratorium Wibroakustyczne Diagnostowanie Maszyn i Urządzeń.

- [12] Szydło, K., Longwic, R., & Lotko, W. (2017). Przegląd metod oceny komfortu wibracyjnego w środkach transportu. Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 18.
- [13] Zuska, A., Frej, D., Jackowski, J., & Żmuda, M. (2021). Research and analysis of the propagation of vertical vibrations in the arrangement of a vehicle seat—A child's seat. *Sensors*, 21(24), 8230.
- [14] CIOP. Pobrane z <https://www.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl> (19.12.2024).
- [15] Prawo. Pobrane z <https://www.prawo.pl/kadry/wplyw-wibracji-na-organizm-zlowieka,193046.html>, (19.12.2024).
- [16] Akustyka pobrane ze strony <https://www.tremolo.pl/Artykuly/Akustyka/Dobor-materialow,na,wygluszenia.html>. (20.12.2024).
- [17] Pobrane ze strony https://m.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/mobi?_nfpb=true&_pageLabel=P424002461497875434734&html_tresc_root_id=300007402&html_tresc_id=300007392&html_klucz=300007402&html_klucz_spis= (21.12.2024).
- [18] Pobrane ze strony: <https://www.testtherm.pl/katalog-produktow/5halas-i-wibracje>. (20.12.2024).
- [19] ISO 2631:1997 Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole –body vibration. Part 1: General requirements..
- [20] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne, Dz.U. 2005 nr 157 poz. 1318.
- [21] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. 2018 poz. 1286.
- [22] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa I Gospodarki Morskiej z dnia 26 czerwca 2012 r. w sprawie zakresu i sposobu przeprowadzania badań technicznych pojazdów oraz wzorów dokumentów stosowanych przy tych badaniach.