

Materiały szkoleniowe nt. zagrożenia hałasem
infradźwiękowym i drganiami mechanicznymi na
stanowiskach pracy kierowców pojazdów



dr inż. Jan Radosz
© CIOP-PIB 2016

1. Spis treści

1.	Spis treści.....	0
2.	Wprowadzenie	2
3.	Wpływ hałasu i drgań mechanicznych na człowieka	3
3.1.	Hałas infradźwiękowy	3
3.2.	Drgania mechaniczne.....	5
3.3.	Łączne oddziaływanie hałasu i drgań mechanicznych	7
4.	Wartości dopuszczalne hałasu infradźwiękowego	9
5.	Wartości dopuszczalne drgań mechanicznych.....	9
6.	Hałas i drgania mechaniczne na stanowiskach pracy kierowców pojazdów	11
6.1.	Hałas	11
6.2.	Pomiary hałasu infradźwiękowego w autobusach miejskich.....	13
6.3.	Drgania mechaniczne.....	16
7.	Badania łącznego oddziaływania hałasu infradźwiękowego i drgań mechanicznych 20	
7.1.	Skala Grandjeana.....	20
7.2.	Testy reakcji	25
7.3.	Test koncentracji i uwagi	31
7.4.	Test antycypacji czasowo-ruchowej	33
7.5.	Wnioski z badań	35
8.	Bibliografia	36

2. Wprowadzenie

Statystyki pokazują, że rocznie na świecie w wypadkach drogowych ginie ok. 1,3 miliona osób, a rannych zostaje dodatkowo 20-50 milionów osób [92]. Koszty tych wypadków globalnie szacuje się na 518 miliardów dolarów (ok. 1-2% PKB w poszczególnych krajach) [92]. Transport i gospodarka magazynowa, od wielu lat znajduje się na 3 miejscu, za budownictwem i przetwórstwem przemysłowym, pod względem liczby śmiertelnych ofiar wypadków przy pracy [90]. Ostatnie statystyki WHO pokazują, że wśród krajów europejskich Polska znajduje się w czołówce pod względem wielkości współczynnika śmiertelnych ofiar wypadków drogowych. Współczynnik ten wynosi w Polsce 11,8, podczas gdy w innych krajach jest dużo mniejszy, np. W Niemczech 4,7 w Hiszpanii – 5,4, we Francji 6,4 [92]. Głównymi sprawcami wypadków drogowych są kierujący pojazdami. Z ich winy każdego roku dochodzi do około 80% wypadków. Wśród kierujących pojazdami sprawców wypadków drogowych grupa kierowców zawodowych (kierowcy samochodów ciężarowych, autobusów, tramwajów i trolejbusów) stanowi z reguły ok. 10%. Prewencja wypadków w transporcie drogowym powinna polegać m.in. na szeroko rozumianej optymalizacji warunków pracy kierowcy [51].

Do najważniejszych zagrożeń zawodowych na stanowisku kierowców zawodowych należą przede wszystkim wypadki drogowe. Zagrożeniem bywają też wypadki innego rodzaju, np. porażenie prądem na skutek posługiwania się uszkodzonym sprzętem elektrycznym lub nieodpowiedniej albo niesprawnej instalacji elektrycznej pojazdu [52]. Do istotnych zagrożeń zalicza się także obecne w środowisku pracy kierowcy czynniki fizyczne (hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne), czynniki chemiczne (materiały pędne i smary, spaliny, tlenek węgla), niewłaściwy mikroklimat w kabinie pojazdu, czynniki uciążliwe, wynikające ze sposobu wykonywania pracy i jej organizacji (wymuszona pozycja ciała, zmienne warunki klimatyczne, praca zmianowa) oraz awarie (np. pożar silnika pojazdu) [44].

Dane literaturowe [35, 36, 50, 25], wskazują, że hałas infradźwiękowy w pojazdach drogowych często przekracza wartości dopuszczalne ze względu na uciążliwość (PN-Z-01338:2010) [89]. W przypadku drgań mechanicznych ryzyko zawodowe kierowców ocenia się jako średnie (krotność NDN z reguły zawiera się w przedziale (0,5-0,6) [36,50]. Mimo, że wartości ww. czynników nie przekraczają wartości świadczących o szkodliwości ich oddziaływania stanowią one czynnik uciążliwy w środowisku pracy,

który może wpływać na funkcje psychofizyczne. Z doniesień literaturowych, zwłaszcza z ostatniego dziesięciolecia wynika, że skojarzone działanie na organizm człowieka dwóch lub więcej szkodliwych i uciążliwych czynników środowiska pracy potęguje niekorzystne skutki działania każdego z nich występującego oddzielnie [37, 38, 43, 50, 53].

1. Raporty Państwowej Inspekcji Pracy [90] wykazują, że wypadkom przy pracy ulegają najczęściej kierowcy pojazdów. Stanowią dominującą grupę ofiar wypadków śmiertelnych. Głównymi przyczynami wypadków są zachowania ludzi, w tym m.in. niedostateczna koncentracja uwagi i zmęczenie. Badania prowadzone na świecie pokazują, że zarówno hałas infradźwiękowy jak i drgania mechaniczne mogą powodować tzw. skutki funkcjonalne: wydłużenie czasu reakcji ruchowej, wydłużenie czasu reakcji wzrokowej, nadmierne zmęczenie, rozdrażnienie, osłabienie pamięci i koncentracji [43, 51, 58]. Co więcej dane statystyczne [90] pokazują, że wypadkom przy pracy (kierowcy zawodowi) ulegają najczęściej kierowcy autobusów i samochodów ciężarowych, gdzie odnotowuje się najwyższe wartości ww. czynników. Zagadnienie łącznego oddziaływania czynników szkodliwych/uciążliwych w środowisku pracy jest niezwykle istotne. W literaturze zwraca się uwagę na potrzebę badań w tym kierunku [43, 93]. W przypadku łącznego oddziaływania hałasu i drgań mechanicznych, prace badawcze prowadzone na świecie skoncentrowane są głównie na hałasie w zakresie słyszalnym.

3. Wpływ hałasu i drgań mechanicznych na człowieka

3.1. Hałas infradźwiękowy

Doniesienia literaturowe wskazują, że dominującym efektem oddziaływania infradźwięków i dźwięków o niskich częstotliwościach na organizm podczas ekspozycji zawodowej i poza zawodowej jest ich działanie uciążliwe, występujące już przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia [58]. Wpływ działania hałasu niskoczęstotliwościowego o częstotliwości 16 Hz o poziomie 10 dB powyżej progu słyszenia zaobserwował Landström i Byström [39]. Ekspozycja na hałas powodowała znużenie i zaburzenie w stanach czuwania. Podobne wyniki badań uzyskali Yamazaki, Tokita [76]. Według nich infradźwięki powodowały zmęczenie, depresję, stres i

senność. Inne badania Danielsson, Landström [6] przedstawiają wpływ dźwięków o częstotliwościach 6, 12 i 16 Hz o poziomach odpowiednio 95, 110 i 125 dB na układ krwionośny człowieka. Wykazano wzrost ciśnienia skurczowego i zmniejszenie ciśnienia rozkurczowego przy braku zmian częstości tętna. Największe objawy obserwowano dla częstotliwości 16 Hz i objawy te nasilały się pod wpływem zwiększenia poziomu dźwięku i całkowicie zanikały po zaprzestaniu ekspozycji.

Mahendra i Sridar [45] przeprowadzili badania wpływu hałasu infradźwiękowego na uciążliwość pracy w grupie 93 robotników. Badania wykazały bóle w karku oraz zmęczenie u osób eksponowanych na ten rodzaj hałasu. Hałas o niskich częstotliwościach może również oddziaływać na narząd równowagi. Według Evans i Tempest [13] ekspozycja na infradźwięki o częstotliwościach 2-20 Hz powodowała zaburzenia równowagi. Zjawisko to było największe dla infradźwięków o częstotliwości 7 Hz. Inne badania prowadzone w kraju i zagranicą, wskazujące na uciążliwe działanie hałasu infradźwiękowego i niskoczęstotliwościowego charakteryzujące się na ogół subiektywnie określonymi stanami nadmiernego zmęczenia, stresu, irytacji, dyskomfortu, senności, zaburzeniami równowagi, zostały opisane w następujących badaniach [2, 5, 7, 26, 27, 28, 62, 68, 72, 76]. Obiektywnym potwierdzeniem tych stanów są zmiany w ośrodkowym układzie nerwowym, charakterystyczne dla obniżenia stanu czuwania (co jest szczególnie niebezpieczne u kierowców pojazdów). Badania wykazują, że omówione symptomy mają charakter przejściowy ustępują po usunięciu źródła infradźwięków. Gdy poziomy ciśnienia akustycznego przekraczają wartości 140-150 dB, infradźwięki mogą powodować trwałe, szkodliwe zmiany w organizmie. Możliwe jest występowanie zjawiska rezonansu struktur narządów wewnętrznych organizmu.

Nadmierna długotrwała ekspozycja na infradźwięki i dźwięki o niskiej częstotliwości o dużej intensywności (o poziomach powyżej 90-110 dB i częstotliwościach z zakresu poniżej 500 Hz) może być przyczyną wielu dolegliwości, m.in. nieprawidłowej pracy układów: nerwowego, krążenia, oddechowego, pokarmowego, określanych przez niektórych badaczy mianem choroby wibroakustycznej (Vibroacoustic Disease - VAD) [54]. Choroba ta definiowana jest jako ogólnoustrojowa patologia, wiążąca się z nieprawidłowym rozrostem substancji pozakomórkowych (kolagenu i elastyny) przy braku stanów zapalnych. Efektem końcowym jest zagęszczenie struktur tkankowych, widoczne m. in. w naczyniach krwionośnych, osierdziu, tchawicy, płucach i nerkach

(obserwowane zarówno u zwierząt laboratoryjnych - szczurów oraz u pacjentów), a w konsekwencji zmiany w układzie sercowo-naczyniowym, oddechowym i nerwowym. Jak dotąd nie udało się określić zależności dawka - efekt. Niektóre wyniki badań wskazują na to, że infradźwięki o częstotliwości 2-20 Hz i poziomie ciśnienia akustycznego 115-120 dB mogą powodować wydłużenie o 30-40 % czasu reakcji u kierowców samochodów w teście sprawności psychomotorycznej oraz przyczyniać się do powstawania objawów senności [55].

Wg raportu z badań epidemiologicznych dot. kryteriów oceny szkodliwości i uciążliwości hałasu z dominującym udziałem infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego w ekspozycji zawodowej [55] (mimo braku wskazania na potrzebę ustalenia i ustanowienia NDN dla hałasu infradźwiękowego i niskoczęstotliwościowego) wynika konieczność kontynuowania badań w tym zakresie.

3.2. Drgania mechaniczne

Drgania mechaniczne przenoszone z układów mechanicznych do organizmu człowieka mogą działać szkodliwie bezpośrednio na tkanki i naczynia krwionośne; mogą także doprowadzić do wzbudzenia niebezpiecznych drgań rezonansowych narządów wewnętrznych lub struktur komórkowych. Długotrwałe narażenie człowieka na drgania może wywołać w organizmie silne zaburzenia, doprowadzając do trwałych, nieodwracalnych zmian chorobowych; rodzaj tych zmian zależy od sposobu oddziaływania drgań na pracownika [15, 16, 32, 34, 59].

Narażenie na drgania mechaniczne przenoszone do organizmu przez kończyny górne powoduje głównie zmiany chorobowe w układach: krążenia krwi (naczyniowym), nerwowym i kostno-stawowym. Zmiany te określane są jako zespół wibracyjny. W wielu krajach, w tym również w Polsce, zespół wibracyjny uznany został za chorobę zawodową [65]. Najczęściej rejestrowaną postacią zespołu wibracyjnego jest tzw. postać naczyniowa, charakteryzująca się napadowymi zaburzeniami krążenia krwi w palcach rąk. Występujące wówczas napadowe skurcze naczyń krwionośnych objawiają się blednięciem opuszki jednego lub kilku palców - „choroba białych palców” (HAVS). Inne postacie zespołu wibracyjnego to postać naczyniowa i postać kostno-stawowa, mogą wystąpić też postacie mieszane [15, 16, 32, 34, 59].

Zmiany w układzie nerwowym powstałe na skutek działania drgań miejscowych to głównie zaburzenia czucia: dotyku, wibracji, temperatury, a także dolegliwości w postaci drętwienia czy mrowienia palców i rąk. Narażenie na drgania działające przez ręce może także wywołać objawy tzw. zespołu cieśni nadgarstka (CTS), w którym zaburzenia związane są z uciskiem nerwu (pośrodkowego) przechodzącego przez kanał nadgarstka.

Zmiany w układzie kostno-stawowym ręki powstają głównie na skutek drgań miejscowych o częstotliwościach mniejszych od 30 Hz. Obserwuje się m.in. zniekształcenia szpar stawowych, zwapnienia torebek stawowych, zmiany okostnej, zmiany w utkaniu kostnym.

Długotrwałe działanie drgań miejscowych na organizm może być przyczyną osłabienia mięśni, ból w dłoniach i ramionach oraz obniżenie siły mięśniowej. Negatywne skutki zawodowej ekspozycji na drgania o działaniu ogólnym dotyczą zwłaszcza układu kostnego i narządów wewnętrznych. W układzie kostnym zmiany chorobowe powstają głównie w odcinku lędźwiowym kręgosłupa, rzadziej w odcinku szyjnym. Zespół bólowy kręgosłupa, podobnie jak zespół wibracyjny, został uznany w niektórych krajach (np. w Belgii i w Niemczech) za chorobę zawodową.

Zaburzenia funkcjonowania narządów wewnętrznych, pojawiające się na skutek działania drgań ogólnych, są głównie wynikiem pobudzenia poszczególnych narządów do drgań rezonansowych (częstotliwości drgań własnych większości narządów zawierają się w zakresie 2 - 18 Hz. Drgania rezonansowe mogą doprowadzić do pojawienia się krwotoków wewnętrznych i wybroczyn, w skrajnych przypadkach może dojść nawet do mechanicznego rozerwania narządów.

Najlepiej udokumentowane są niekorzystne zmiany w czynnościach narządów układu pokarmowego, w tym głównie żołądka i przełyku. Badania dużych grup narażonych zawodowo na drgania ogólne wskazują jednak, że zaburzenia występują również m.in. w narządzie przedślonkowo-ślimakowym, narządach układu rozrodczego kobiet, narządach klatki piersiowej, narządach jamy nosowo-gardłowej.

Drgania o działaniu ogólnym mogą wywoływać, oprócz uszkodzeń narządów wewnętrznych, wiele innych zaburzeń i schorzeń w organizmie, takich jak zaburzenia

narządu równowagi, zaburzenia czynności mięśni i ścięgien, uszkodzenia stawów, pogarszanie się ostrości wzroku, zaburzenia w układzie krwionośnym.

Opisanym skutkiem biologicznym działania drgań mechanicznych na organizm człowieka towarzyszą zazwyczaj tzw. skutki funkcjonalne [15, 32]. Zalicza się do nich m.in.: wydłużenie czasu reakcji ruchowej, wydłużenie czasu reakcji wzrokowej, zakłócenia w koordynacji ruchów, nadmierne zmęczenie, bezsenność, rozdrażnienie, osłabienie pamięci. Niekorzystne zmiany funkcjonalne prowadzą do obniżenia efektywności i jakości wykonywanej pracy, a czasami całkowicie ją uniemożliwiają. Mogą także być przyczyną wypadków.

3.3. Łączne oddziaływanie hałasu i drgań mechanicznych

Z doniesień literaturowych, zwłaszcza ostatniego dziesięciolecia, wynika, że skojarzone działanie na organizm człowieka dwóch lub więcej szkodliwych i uciążliwych czynników środowiska pracy potęguje niekorzystne skutki działania każdego z nich występującego oddzielnie [37, 43, 51]. Do stanowisk pracy, na których występują łącznie różne czynniki środowiska, należą niewątpliwie stanowiska obsługi wszelkiego rodzaju pojazdów.

Wyniki wielu badań dot. tego zagadnienia omówiono m.in. w [50]. W badaniach laboratoryjnych słuchu stwierdzono, że łączna ekspozycja prowadzi do zwiększonego ryzyka uszkodzenia słuchu w porównaniu z ekspozycją oddzielną. Przy stażu pracy przekraczającym 15 lat, u pracowników narażonych na łączne działanie hałasu i drgań, stwierdzono podwyższenie progu czucia wibracji oraz progu słuchu w porównaniu z osobami pracującymi w środowisku bez hałasu i drgań mechanicznych w zależności od poziomów przyspieszenia oraz hałasu, i od częstotliwości drgań. Badania stanowisk pracy kierowców autobusów miejskich wykazały obniżenie zdolności do wykonywania pracy przy łącznym oddziaływaniu drgań ogólnych oraz hałasu. Zaobserwowano zmiany w układzie równowagi, centralnym układzie nerwowym oraz mózgowym krążeniu krwi [16, 71]. Osoby narażone na drgania ogólne oraz hałas w granicach 87-107 dB narażone są na obniżenie prędkości reakcji wzrokowej i słuchowo-motorycznej oraz podwyższenie ciśnienia tętniczego [16,71]

W badaniach wpływu oddzielnego oraz łącznego działania drgań ogólnych oraz hałasu na ostrość wzroku oraz wyznaczenie punktu bliży wzrokowej [16] wykazano, że

działanie drgań ogólnych i hałasu wywołało podobne zachowanie się badanych funkcji narządu wzroku. Stwierdzono równoważność ubytków ostrości wzroku spowodowanych działaniem określonych poziomów dźwięków i wartości przyspieszeń. Spadek ostrości wzroku oraz oddalenie punktu bliży wzrokowej wywołane drganiami oraz hałasem zwiększało się z czasem oddziaływania. Pogorszenie sprawności funkcji narządu wzroku, wywołane oddzielnym i łącznym działaniem drgań ogólnych i hałasu, ma charakter czynnościowy. Po odjęciu zakłócenia, po upływie określonego czasu funkcje narządu wzroku powróciły do stanu pierwotnego [16].

Badania stanowiskowe, z wykorzystaniem źródła hałasu i hydraulicznego symulatora drgań wykazały, że już po 30-45 min (hałas o poziomie 88 dB oraz przyspieszenie odpowiadające małym nierównościom podczas jazdy samochodem) wystąpiło pogorszenie sprawności psychofizycznej. Po godzinie badań zwiększyła się liczba błędnych reakcji na zadaną barwę bodźca świetlnego, w przypadku wystąpienia łącznego oddziaływania drgań mechanicznych i hałasu, w porównaniu z oddziaływaniem samych drgań [71].

Z kolei badania prowadzone w Szwecji na symulatorze prowadzenia autobusu (3 godzinna symulacja jazdy po autostradzie) wykazały, że wysoki poziom hałasu i drgań mechanicznych pozytywnie (względem braku tych czynników) wpływa na kontrolę położenia pojazdu na drodze, utrzymywanie stałej prędkości oraz reakcję przy hamowaniu [62].

Mimo wykorzystywania w badaniach energii wibroakustycznej oraz modeli oddziaływania czynników fizycznych na organizm człowieka [12, 37, 50], co daje teoretyczną możliwość połączenia ekspozycji na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne, bardzo niewiele jest doniesień literaturowych na temat łącznego wpływu tych czynników na zdolności psychofizyczne kierowców w badaniach doświadczalnych, w szczególności przy wykorzystaniu standaryzowanych testów psychologicznych. W przypadku łącznego oddziaływania hałasu i drgań mechanicznych, prace badawcze prowadzone na świecie skoncentrowane są głównie na hałasie w zakresie słyszalnym.

4. Wartości dopuszczalne hałasu infradźwiękowego

Do oceny narażenia hałasem infradźwiękowym jako czynnikiem uciążliwym na wszystkich stanowiskach pracy (w tym kierowców zawodowych) stosuje się następujące kryterium oceny – dopuszczalny równoważny poziom dźwięku G odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy lub przeciętnego tygodniowego, $L_{Geq,8h}$ lub $L_{Geq,w}$ wynoszący **102 dB** [89].

Powyższe zalecane wartości dopuszczalne dla hałasu infradźwiękowego dla ogółu pracowników (wg PN-Z-01338 [89]) zostały przyjęte z uwzględnieniem stanu wiedzy na temat skutków oddziaływania infradźwięków na organizm człowieka, kryteriów oceny proponowanych w innych krajach (m. in. w Szwecji, Rosji, USA), zaleceń zawartych w normach międzynarodowych oraz wyników badań hałasu infradźwiękowego w środowisku pracy prowadzonych m.in. w CIOP - PIB i w IMP - Łódź.

5. Wartości dopuszczalne drgań mechanicznych

Obowiązujące obecnie wartości dla dziennej ekspozycji i ekspozycji krótkotrwałej określone jako dopuszczalne ze względu na ochronę zdrowia pracowników (NDN) podane są w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [78]. Zamieszczono je w

Tab. 1.

Tab. 1. Wartości dopuszczalne ekspozycji na drgania mechaniczne (NDN) [78].

Rodzaj drgań	Wartości dopuszczalne diennej ekspozycji na drgania mechaniczne (NDN)	Wartości dopuszczalne krótkotrwałych ekspozycji na drgania mechaniczne (NDN)
Drgania działające przez kończyny górne (drgania miejscowe)	$A(8)_{dop} = 2,8 \text{ m/s}^2$	$a_{hv,30\text{min},dop} = 11,2 \text{ m/s}^2$
Drgania o działaniu ogólnym (drgania ogólne)	$A(8)_{dop} = 0,8 \text{ m/s}^2$	$a_{w,30\text{min},dop} = 3,2 \text{ m/s}^2$

Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne [77] wprowadza, za dyrektywą 2002/44/WE, dodatkowe kryterium oceny dziennej ekspozycji na drgania - próg działania. Wartości progów działania zawiera Tab. 2.

Tab. 2. Wartości progów działania dla dziennej ekspozycji na drgania mechaniczne [77].

Rodzaj drgań	Wartości progów działania dla drgań mechanicznych
Drgania działające przez kończyny górne (miejscowe)	$A(8)_{dzialanie} = 2,5 \text{ m/s}^2$
Drgania o działaniu ogólnym (ogólne)	$A(8)_{dzialanie} = 0,5 \text{ m/s}^2$

Po przekroczeniu podanych w rozporządzeniu wartości pracodawca zobowiązany jest do podjęcia działań zmniejszających ryzyko zawodowe (ze względu na drgania).

6. Hałas i drgania mechaniczne na stanowiskach pracy kierowców pojazdów

6.1. Hałas

Doniesienia literaturowe [21, 33, 36, 50] dotyczące hałasu w pojazdach wskazują, że:

- równoważne poziomy dźwięku A w zależności od rodzaju pojazdu i prędkości jazdy wynoszą 60-76 dB (patrz Tab. 3),
- poziomy ekspozycji na hałas odniesione do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy w środkach komunikacji miejskiej nie przekraczają wartości dopuszczalnych NDN [78] (Rys. 1),
- równoważne poziomy dźwięku G w zależności od rodzaju pojazdu i prędkości jazdy zawierały się w zakresie od 92 do 114 dB (Tab 4.),
- najwyższą średnią równoważnego poziomu dźwięku G wśród poszczególnych grup pojazdów odnotowuje się dla grupy autobusów miejskich (Tab. 4)
- brak jest widocznych różnic wartości hałasu infradźwiękowego między różnymi typami autobusów miejskich (Rys. 2),
- hałas infradźwiękowy w autobusach zarówno miejskich jak i pozostałych przekracza wartości stanowiące kryterium uciążliwości ($L_{Geq}=102$ dB [89]) przy każdej z badanych prędkości poruszania się pojazdu,
- hałas infradźwiękowy wewnątrz pojazdu w istotny zależy od stanu nawierzchni, po której porusza się pojazd – zły stan nawierzchni może spowodować wzrost równoważnego poziomu dźwięku G nawet o 15 dB [25].

Tab. 3. Wyniki badań hałasu na stanowiskach pracy kierowców [21].

Kategoria pojazdu	Typ pojazdu	Równoważny poziom dźwięku G $L_{G_{eq,Te}}$ dB				Hałas niskoczęstotliwościowy $L_{Lin,10-250}$ dB				Równoważny poziom dźwięku A $L_{A_{eq,Te}}$ dB				
		Prędkość jazdy												
		50 km/h	70 km/h	90 km/h	100 km/h	50 km/h	70 km/h	90 km/h	100 km/h	50 km/h	70 km/h	90 km/h	100 km/h	
Autobusy M3 /	I	A1	107	110			100	103			63	67		
		A2	107	110			99	103			63	69		
		A3	107	111			102	105			69	73		
		A4	110	113			104	107			66	70		
		A5	108	111			102	105			66	71		
		A6	111	113			106	108			66	72		
		A7	110	111			106	106			69	73		
		A8	110	113			103	105			64	70		
	II	A9	105		110		100		105		67		75	
		A10	107		110		101		104		67		74	
	III	A11	105		111		99		106		60		69	
		A12	106		110		103		107		64		70	
Samochody ciężarowe N	N1, N2*	P1	99			104	95			101	65			76
		P2	103			110	97			104	63			73
		P3	106			111	99			105	63			74
		P4	109			114	102			107	70			75
		P5	109			114	103			108	71			74
		P6	100			104	96			99	65			72
	N3	P7	97		100		93		93		63		71	
		P8	103		105		97		99		67		71	
		P9	92		100		87		96		65		72	
		P10	97		101		91		96		63		71	
		P11	95		100		90		96		65		71	
		P12	92		95		91		93		62		69	

Oznaczenia:

A1-A8 – autobusy miejskie,

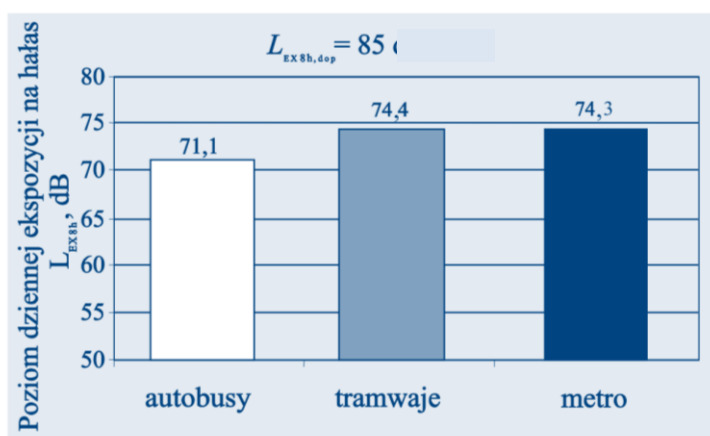
A9-A10 – autobusy międzymiastowe,

A11-A12 – dalekobieżne autobusy turystyczne,

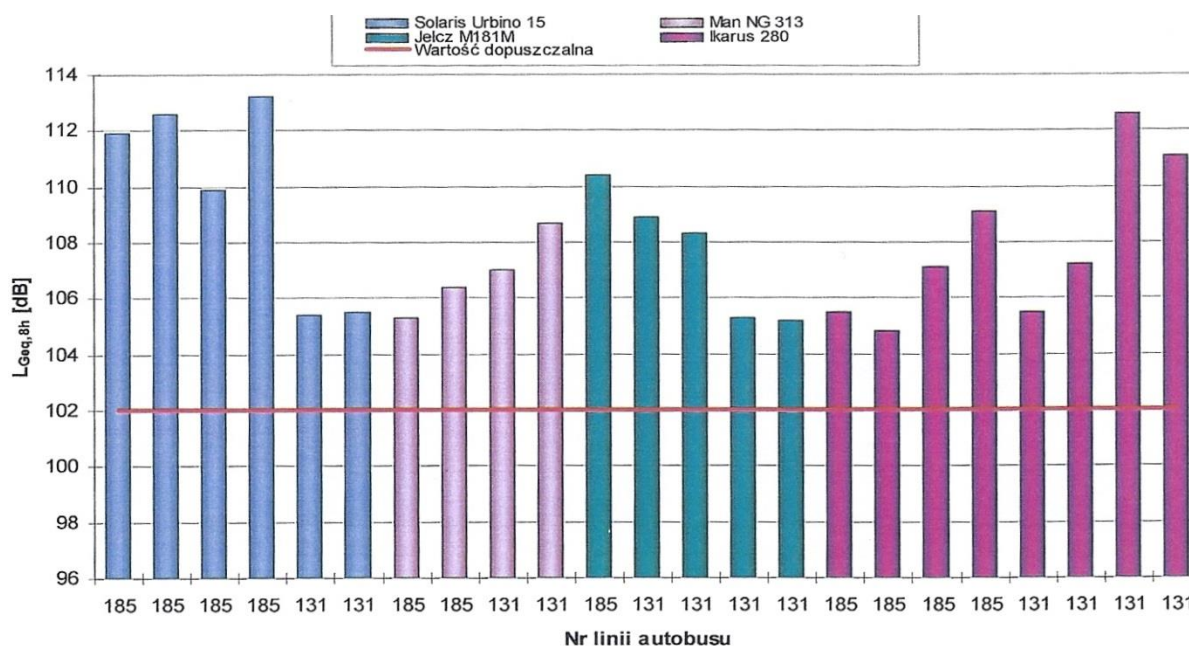
P1 – pojazd ciężarowy dostawczy o maksymalnej masie nie większej niż 3,5 tony,

P2-P6 – pojazdy ciężarowe o maksymalnej masie od 3,5 do 12 ton,

P7-P12 – pojazdy ciężarowe o masie powyżej 12 ton.



Rys. 1. Porównanie poziomu dziennej ekspozycji na hałas w środkach komunikacji miejskiej (wartości największe zarejestrowane podczas badań) [33].



Rys. 2. Porównanie poziomu hałasu infradźwiękowego dla różnych typów autobusów miejskich [33].

6.2. Pomiary hałasu infradźwiękowego w autobusach miejskich

Analiza danych literaturowych omówionych w pkt. 6.1 wykazała, że największe poziomy hałasu infradźwiękowego wśród pojazdów drogowych występują w autobusach miejskich. Dlatego też, w ramach I etapu zadania przeprowadzono badania, które miały na celu zarejestrowanie widma hałasu w rzeczywistych warunkach eksploatacji autobusów miejskich oraz odtworzenie tego hałasu w warunkach laboratoryjnych.

Pomiary przeprowadzono zgodnie z normą PN-N-01338 [1] oraz PN EN-ISO 9612 [86]. Wykorzystano aparaturę pomiarową klasy 1 (miernik poziomu dźwięku SVAN 945A). Punkty pomiarowe znajdowały się w kabinie kierowcy. Czas trwania każdego z pomiarów wynosił ok. 30 min podczas standardowych przejazdów liniowych z pasażerami. W badaniach wykorzystano 10 pojazdów przedstawionych na Rys. 3 oraz w Tab. 5.



Rys. 3. Autobusy miejskie wykorzystane w badaniach.

Tab. 4. Wykaz autobusów miejskich wykorzystanych w badaniach.

L.p.	Oznaczenie pojazdu	Typ pojazdu (rok produkcji)
1.	A	Mercedes-Benz Evobus Typ O 530 (2008)
2.	B	Solaris Urbino 18.75 (2008)
3.	C	Mercedes-Benz Conecto Typ O 345 G (2007)
4.	D	Mercedes-Benz Evobus Typ Conecto G (2007)
5.	E	Solaris Urbino 18.75 (2011)
6.	F	Solaris Urbino 18.75 (2008)
7.	G	Volvo B10L C-330 (1999)
8.	H	Mercedes-Benz Evobus Citaro Typ O 530 (2008)
9.	I	Solaris Urbino 18.75 (2008)
10.	J	Solaris Urbino 18.75 (2011)

Wyniki pomiarów wykazały, że w widmie dominują częstotliwości z zakresu 10-25 Hz. W pasmach tercjowych tego zakresu poziomy ciśnienia akustycznego przyjmowały wartości od 90 dB do 101 dB.

W Tab. 6 przedstawiono wyniki równoważnego poziomu dźwięku A i G w czasie przejazdu. Równoważne poziomy dźwięku G wynosiły od 103,8 dB do 111,2 dB i zależały zarówno od typu pojazdu jak i od nawierzchni jezdni, po której się poruszały.

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły występowanie wysokich poziomów hałasu infradźwiękowego w autobusach miejskich i są zgodne z danymi literaturowymi przedstawionymi w pkt. 6.1.

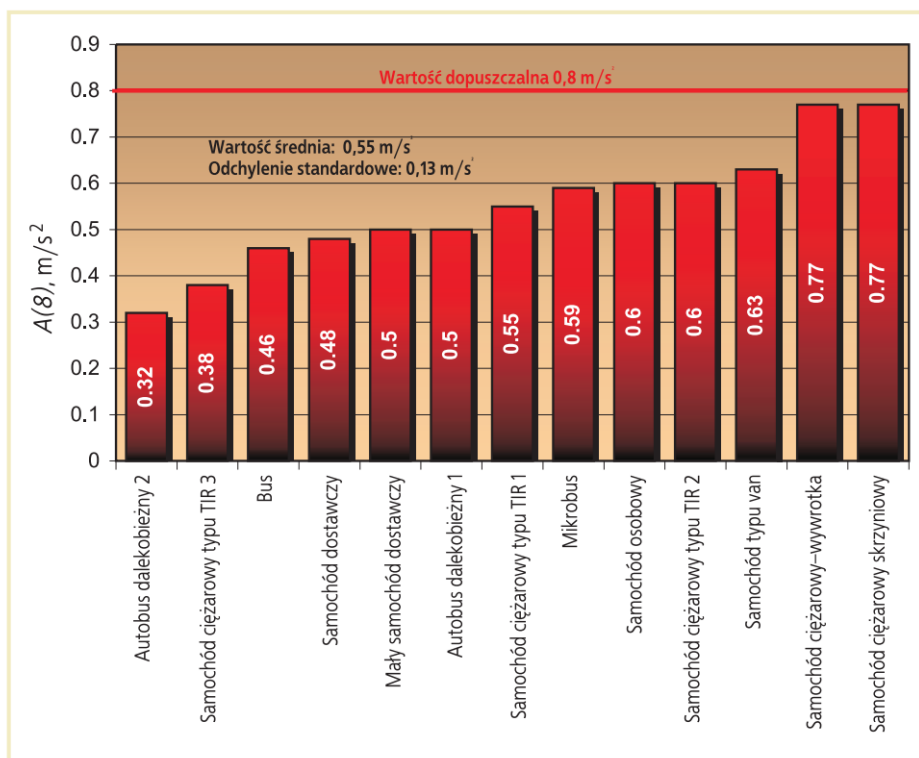
Tab. 5. Wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A i G w czasie przejazdu na stanowiskach pracy kierowców.

L.p.	Oznaczenie pojazdu	Hałas w zakresie słyszalnym w dB (A)	Hałas infradźwiękowy w dB (G)
1.	A	70,9	110,6
2.	B	68,7	103,8
3.	C	69,0	104,1
4.	D	68,8	109,4
5.	E	66,3	106,3
6.	F	68,5	110,1
7.	G	74,9	111,2
8.	H	70,5	107,1
9.	I	73,7	109,1
10.	J	70,5	107,1
Poziom uśredniony		70,9	108,5

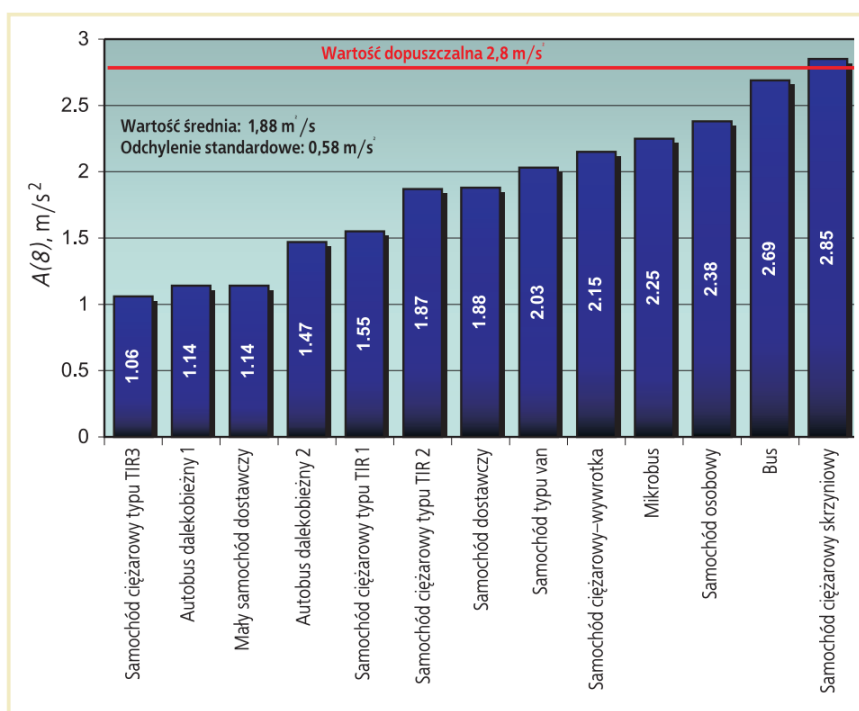
6.3. Drgania mechaniczne

Analizując doniesienia literaturowe dotyczące drgań mechanicznych w pojazdach [31, 33, 36, 50] można stwierdzić, że:

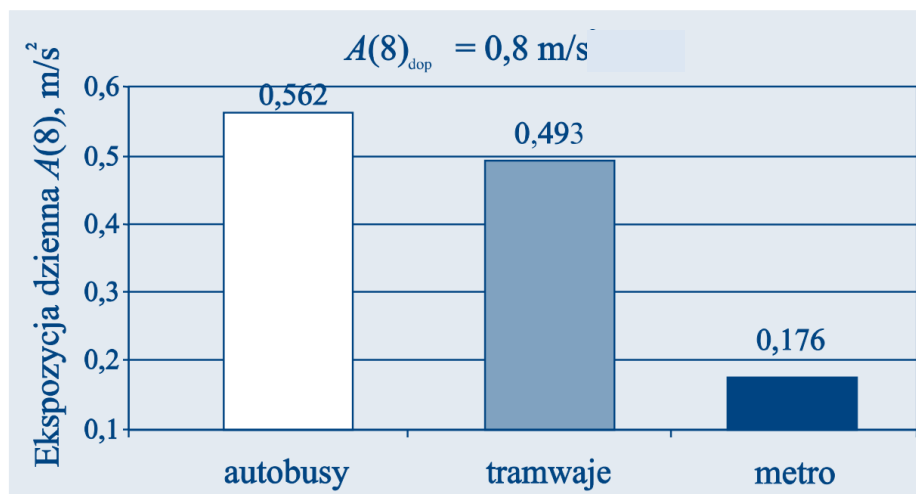
- wartości dziennej ekspozycji na drgania ogólne w pojazdach drogowych zawierają się w zakresie $0,32 - 0,77 \text{ m/s}^2$ w zależności od rodzaju pojazdu, przy czym najczęściej wartości te wahają się od $0,5$ do $0,6 \text{ m/s}^2$ (Rys. 4),
- wartości dziennych ekspozycji drgań działających przez kończyny górne w pojazdach drogowych są bardziej zróżnicowane w zależności od rodzaju pojazdu i zawierają się w zakresie od $1,06$ do $2,85 \text{ m/s}^2$ (Rys. 5),
- wśród środków komunikacji miejskiej najwyższe wartości dziennej ekspozycji na drgania ogólne odnotowuje się w autobusach miejskich (Rys. 6)
- brak jest widocznych różnic wartości hałasu infradźwiękowego między różnymi typami autobusów miejskich (Rys. 7),
- wartość dziennej ekspozycji na drgania ogólne i miejscowe w znacznie większym stopniu zależy od trasy przejazdu niż od rodzaju pojazdu [33],
- wartości dziennej ekspozycji na drgania ogólne i miejscowe w środkach komunikacji miejskiej nie przekraczają wartości dopuszczalnych NDN [33, 78]



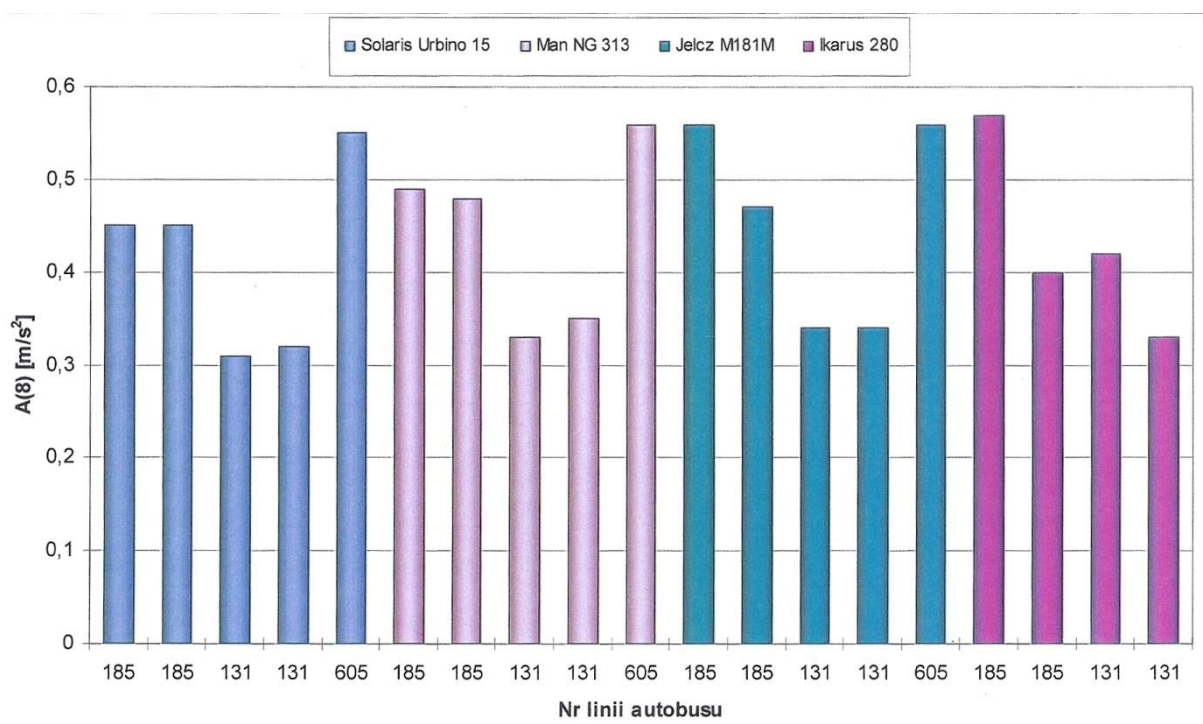
Rys. 4. Wartości dziennych ekspozycji drgań działających w sposób ogólny w pojazdach drogowych [31].



Rys. 5. Wartości dziennych ekspozycji drgań działających przez kończyny górne w pojazdach drogowych [31].



Rys. 6. Porównanie dziennej ekspozycji na drgania ogólne w środkach komunikacji miejskiej (wartości największe zarejestrowane podczas badań) [33].



Rys. 7. Porównanie dziennej ekspozycji na drgania ogólne w różnego typu autobusach miejskich [33].

7. Badania łącznego oddziaływania hałasu infradźwiękowego i drgań mechanicznych

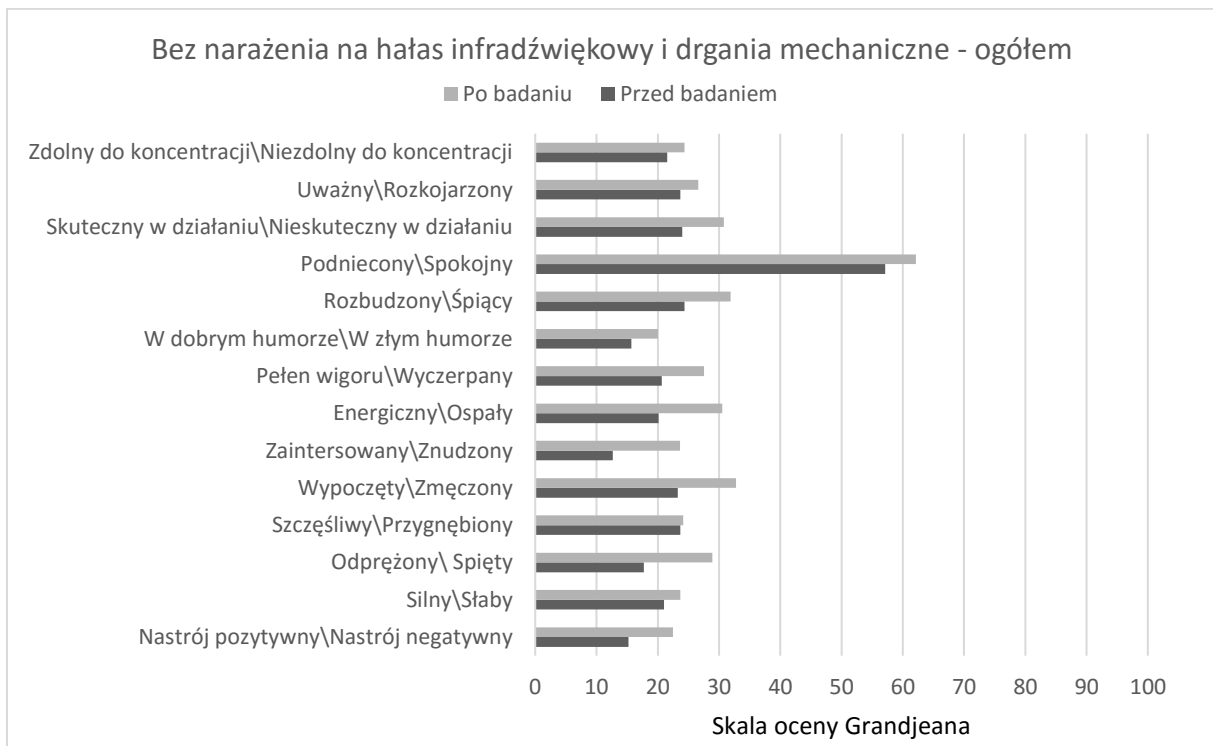
7.1. Skala Grandjeana

Do analizy subiektywnie odczuwanego zmęczenia psychicznego zastosowano skalę Grandjeana. Na 14 odcinkach o długości 10 cm – opisanych na krańcach określeniami oznaczającymi przeciwstawne odczucia – uczestnicy przed jak i po przeprowadzonym badaniu zaznaczali poziom swoich aktualnych odczuć odnoszących się do:

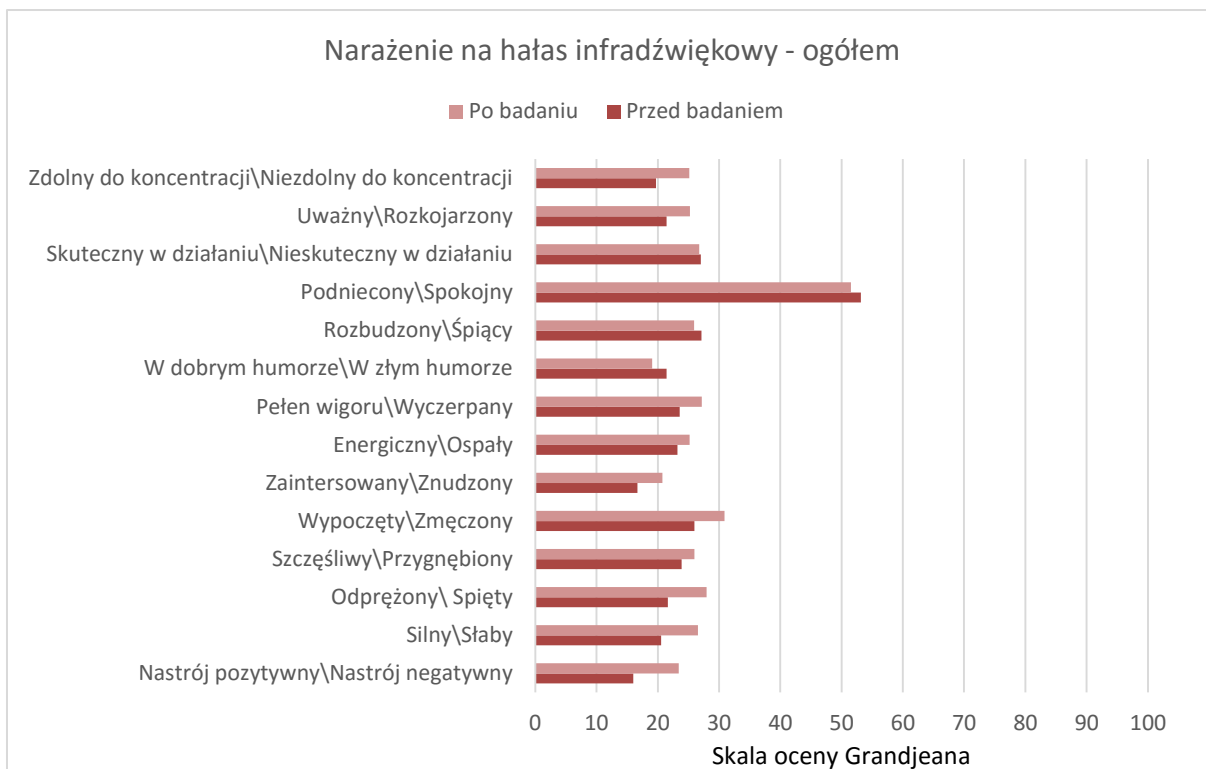
- nastroju: nastrój pozytywny – nastrój negatywny, odprężony – spięty, szczęśliwy – przygnębiony, energiczny – ospały, w dobrym humorze – w złym humorze, podniecony – uspokojony;
- zmęczenia: silny – słaby, wypoczęty – zmęczony, zainteresowany – znudzony, pełen wigoru – wyczerpany, rozbudzony – śpiący, skuteczny w działaniu - nieskuteczny w działaniu, uważny – rozkojarzony, zdolny do koncentracji – niezdolny do koncentracji.

Wyniki testu (uśrednione wartości) dla czterech wariantów narażenia przedstawiono na Rys.9 – Rys.15. Wyższymi wartościami na skali oceny przyporządkowane są bardziej negatywne odczucia badanych. W przypadku badania bez narażenia na rozpatrywane czynniki różnice w odczuciach ogółu badanych, przed i po badaniu (Rys. 9), nie przekraczały 11 punktów skali oceny (odnoszących się zarówno do nastroju, jak i dotyczących zmęczenia). Jeszcze mniejsze wartości różnic odnotowano w przypadku badania z narażeniem na hałas infradźwiękowy. Wartości te nie przekraczały 7 punktów skali oceny. Większe różnice zaobserwowano natomiast w przypadku badania z narażeniem na drgania mechaniczne. W większości ocenianych odczuć różnice przekraczały 10 punktów skali oceny. Największe różnice (13 punktów skali oceny) dotyczyły odczuć „energiczny – ospały” oraz „zdolny i nie zdolny do koncentracji”. Największe różnice wartości na skali oceny przed i po badaniu zaobserwowano w przypadku badania z łącznym narażeniem na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne. Uczestnicy wskazywali w szczególności na większą senność (różnica 16 punktów), większe znużenie (różnica 16 punktów), rozkojarzenie (różnica 15 punktów) oraz mniejszą zdolność do koncentracji (różnica 15 punktów) występujące po badaniu.

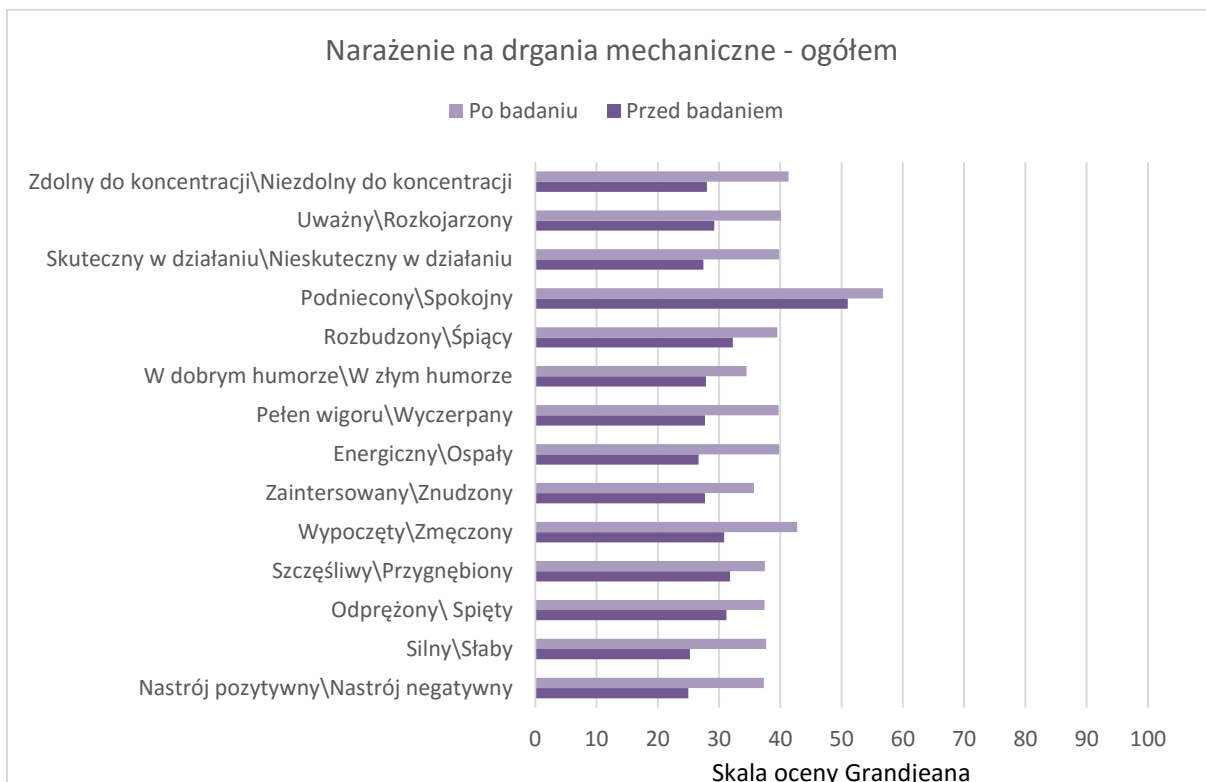
Rozpatrując dwie grupy – kierowców amatorów oraz kierowców zawodowych – można zaobserwować różnice między tymi grupami w wynikach testu. W przypadku kierowców zawodowych dla wszystkich wariantów narażenia różnice wartości na skali oceny przed i po badaniu w większości przypadków nie przekraczały 10 punktów. Dużo większe różnice zaobserwowano dla kierowców amatorów, w szczególności dla badania z narażeniem na drgania mechaniczne oraz łącznego narażenia na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne. W tej grupie wskazywano na większą senność (różnica 35 punktów dla łącznego narażenia), większe znużenie (28 punktów dla łącznego narażenia), zmęczenie (26 punktów dla łącznego narażenia), większe wyczerpanie (26 punktów dla łącznego narażenia) czy mniejszą zdolność do koncentracji (różnica 26 punktów dla narażenia na drgania) występujące po badaniu.



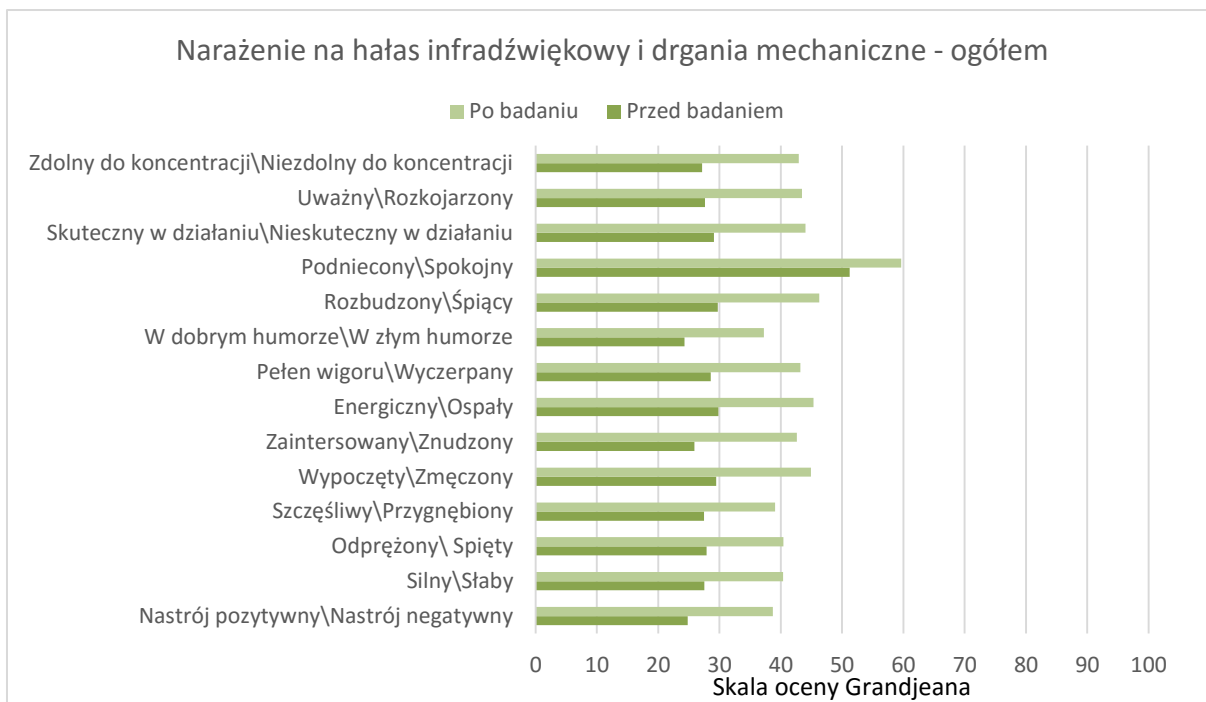
Rys. 8. Wyniki testu skala Grandjeana przed i po badaniu – uśrednione wartości dla badania bez narażenia na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne (ogół badanych).



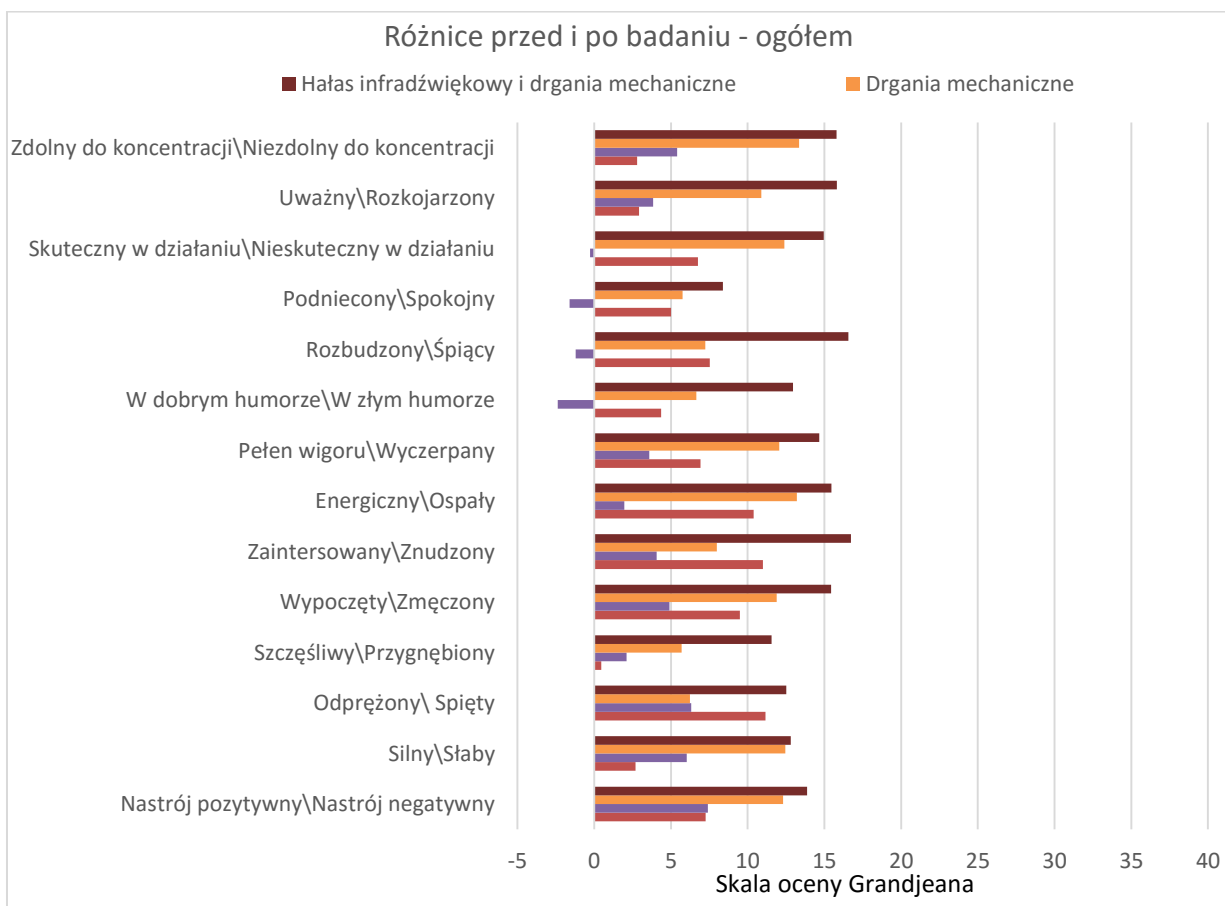
Rys. 9. Wyniki testu skala Grandjeana przed i po badaniu – uśrednione wartości dla badania z narażeniem na hałas infradźwiękowy (ogół badanych).



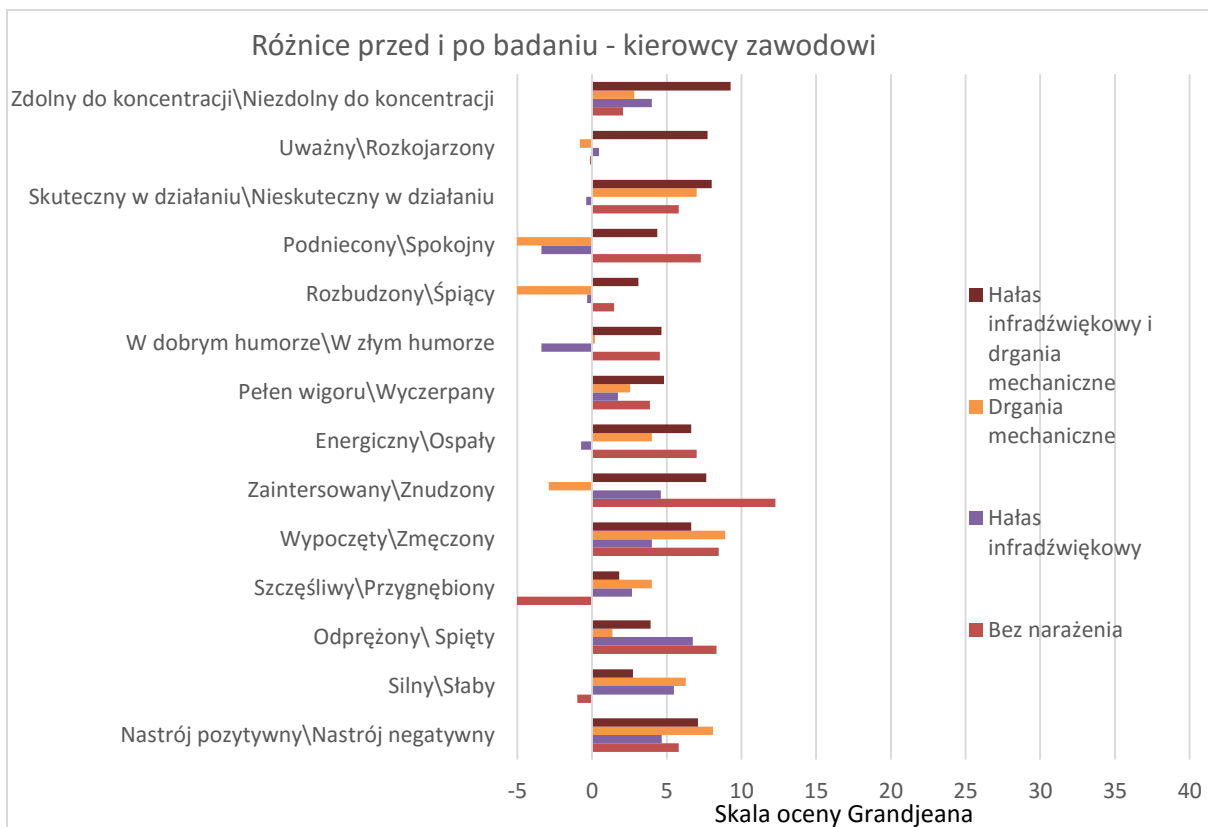
Rys. 10. Wyniki testu skala Grandjeana przed i po badaniu – uśrednione wartości dla badania z narażeniem na drgania mechaniczne (ogół badanych).



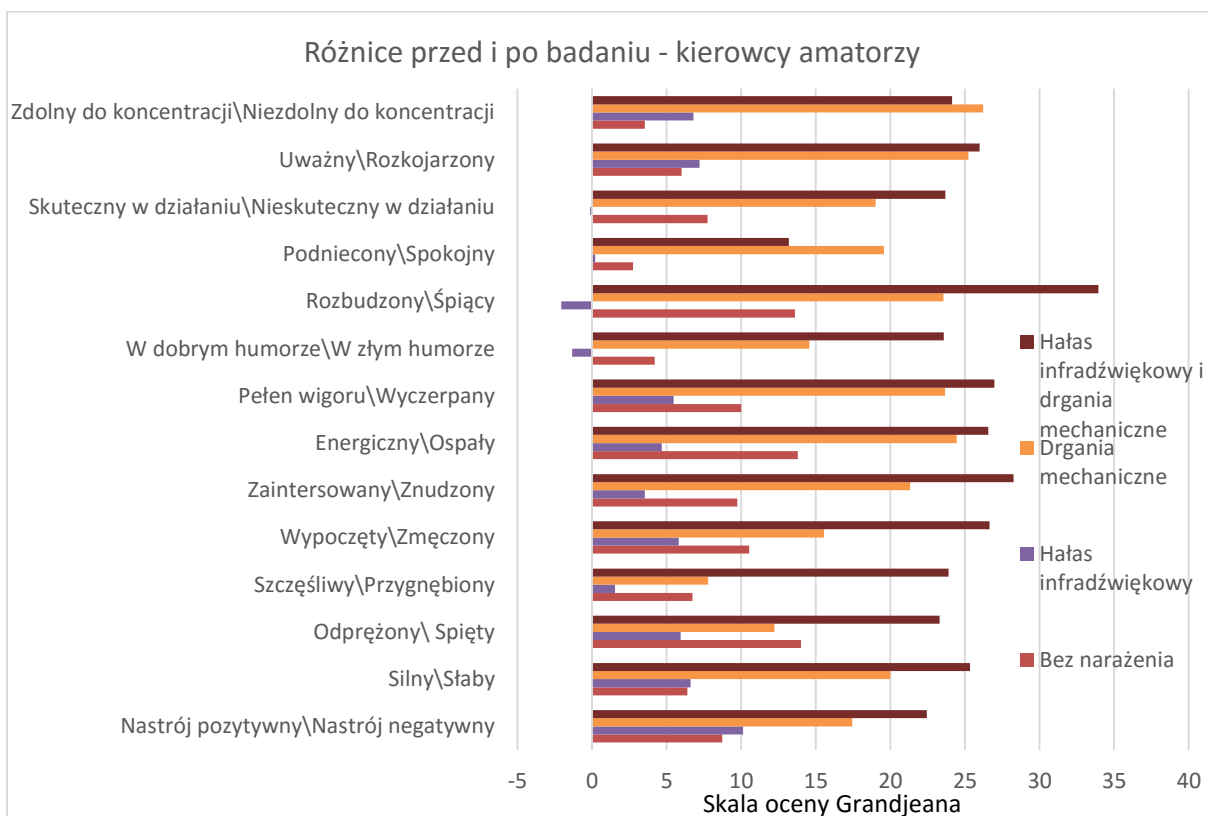
Rys. 11. Wyniki testu skala Grandjeana przed i po badaniu – uśrednione wartości dla badania z narażeniem na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne (ogół badanych).



Rys. 12. Wyniki testu skala Grandjeana – różnice wartości przed i po badaniu dla rozpatrywanych wariantów narażenia (ogół badanych).



Rys. 13. Wyniki testu skala Grandjeana – różnice wartości przed i po badaniu dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy zawodowi).



Rys. 14. Wyniki testu skala Grandjeana – różnice wartości przed i po badaniu dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy amatorzy).

7.2. Testy reakcji

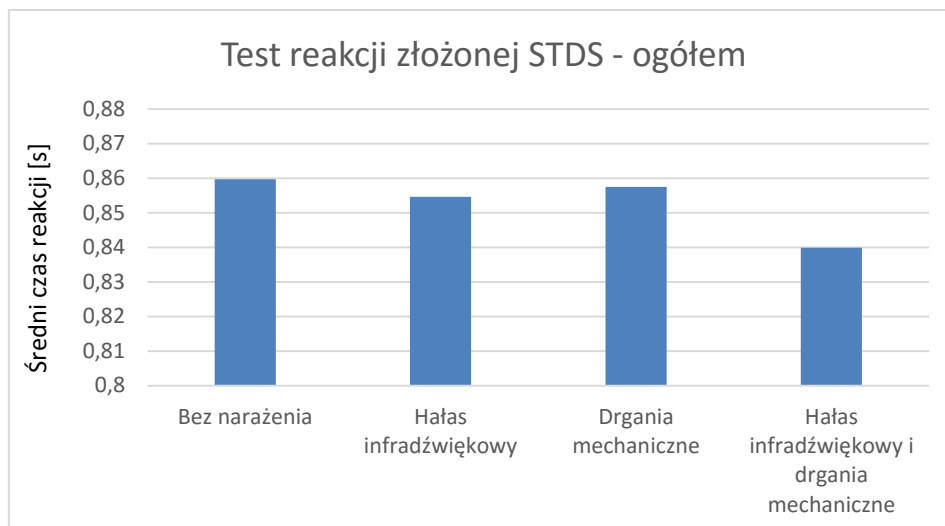
Jedną z wielu cech charakteryzujących działanie kierowcy w sytuacji zagrożenia wypadkowego na drodze, jest tak zwany czas reakcji. W skrócie można go zdefiniować jako okres od chwili pojawienia się zagrożenia do chwili, gdy kierowca podejmie określone działania na elementach sterowania samochodem w celu uniknięcia wypadku. Parametr ten ma bezpośredni wpływ na przebieg sytuacji wypadkowej, a tym samym na bezpieczeństwo ruchu drogowego.

Test reakcji złożonej

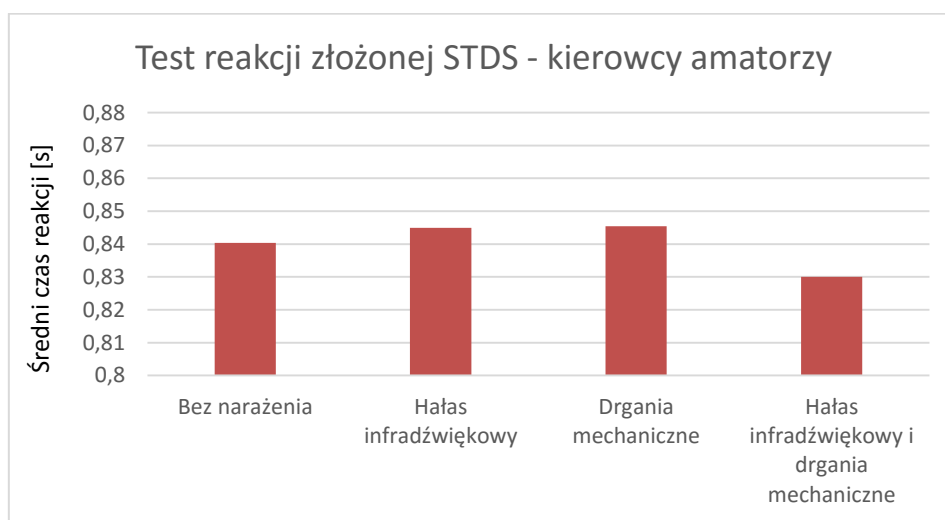
Zadaniem uczestników było prowadzenie pojazdu na symulatorze oraz hamowanie pojazdem w sytuacji pojawiającego się zdarzenia (wtargnięcie pieszych, rowerzystów lub zwierząt). Do oceny wyników badań wykorzystano średni czas reakcji (rozumiany jako czas reakcji podczas hamowania, wyznaczany od momentu pojawienia się przeszkody do dociśnięcia pedału hamulca symulatora) na zdarzenie z sześciu przejazdów (30 pomiarów czasu reakcji).

W przypadku badań z narażeniem na hałas infradźwiękowy oraz drgania mechaniczne zaobserwowano nieznaczne skrócenie (odpowiednio o 0,6% i o 0,3%) przeciętnego czasu reakcji względem badania bez narażenia. W przypadku badania z łącznym narażeniem na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne zaobserwowano skrócenie przeciętnego czasu reakcji o 2,3% względem badania bez narażenia (Rys. 17).

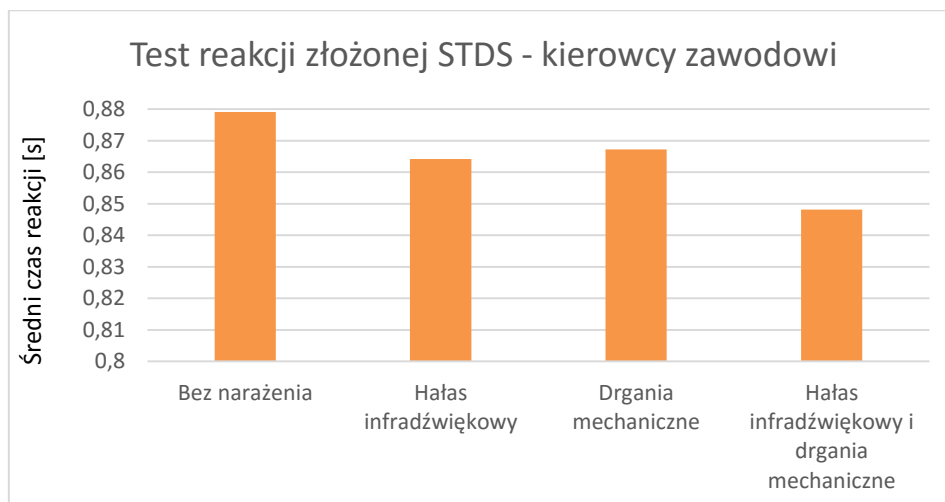
Rozpatrując dwie grupy – kierowców amatorów oraz kierowców zawodowych – można zaobserwować, że w grupie pierwszej przeciętne czasy reakcji w przypadku badań z narażeniem na hałas infradźwiękowy oraz drgania mechaniczne nieznacznie się wydłużyły (odpowiednio o 0,5% i o 0,6%) względem badania bez narażenia (Rys. 18). W obu grupach, w przypadku badania z łącznym narażeniem na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne, zaobserwowano skrócenie przeciętnego czasu reakcji odpowiednio o 1,2% i o 3,5% względem badania bez narażenia. W grupie kierowców zawodowych przeciętne czasy reakcji były najdłuższe w przypadku badania bez narażenia (Rys. 19). We wszystkich wariantach narażenia kierowcy zawodowi uzyskiwali dłuższe czasy reakcji niż kierowcy amatorzy (od 2,1% do 4,4%).



Rys. 15. Wyniki testu reakcji złożonej (STDS) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (ogół badanych).



Rys. 16. Wyniki testu reakcji złożonej (STDS) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy amatorzy).



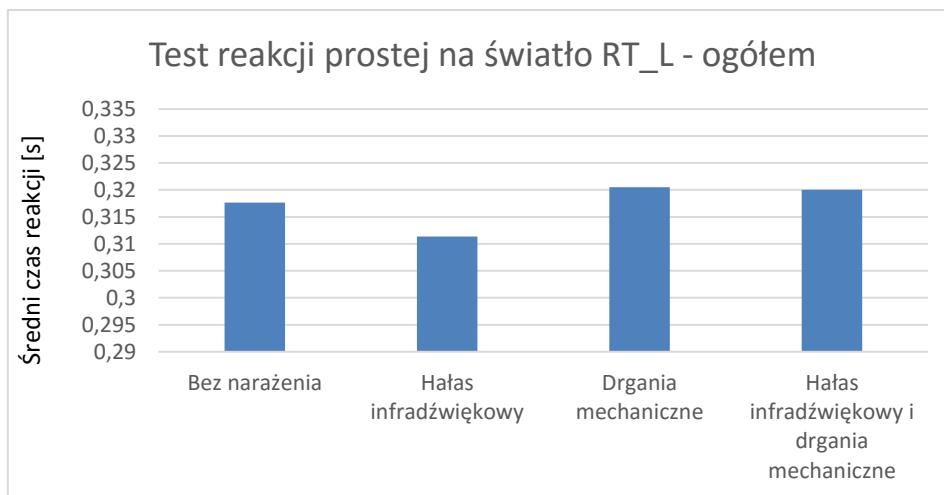
Rys. 17. Wyniki testu reakcji złożonej (STDS) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy zawodowi).

Test reakcji prostej na światło

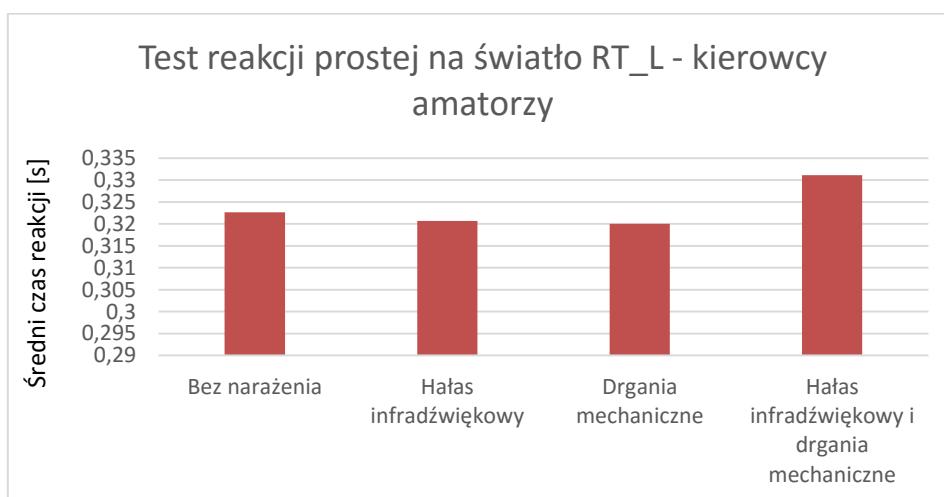
Ocena czasu reakcji prostej na światło jest jednym z testów wykonywanych w pracowniach psychologicznych do ogólnej oceny zdolności badanego do prowadzenia pojazdów mechanicznych. Ocenia się czas reakcji jako okres od pojawienia się zadanego bodźca świetlnego do naciśnięcia odpowiedniego pedału będącego elementem stanowiska badawczego. Do oceny wyników badań wykorzystano średni czas reakcji z wszystkich bodźców świetlnych.

W przypadku badań z narażeniem na drgania mechaniczne oraz z łącznym narażeniem na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne zaobserwowano niewielkie wydłużenie przeciętnego czasu reakcji (odpowiednio o 0,9% i o 0,7%) względem badania bez narażenia (Rys. 20). Skróceniu o 2% (względem braku narażenia) uległ przeciętny czas reakcji w czasie narażenia na hałas infradźwiękowy.

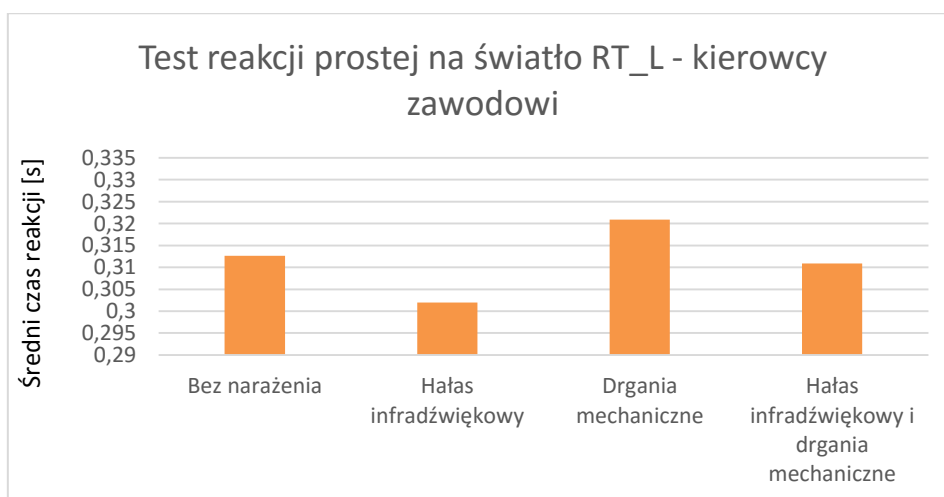
Rozpatrując wyniki w dwóch grupach można zauważyć, że wśród kierowców zawodowych najdłuższe przeciętne czasy reakcji odnotowano dla badania z narażeniem na drgania mechaniczne (Rys. 22), a wśród kierowców amatorów dla badania z łącznym narażeniem na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne – w obu grupach o 2,6% dłuższe niż w badaniu bez narażenia (Rys. 21). Zarówno wśród kierowców amatorów, jak i kierowców zawodowych, przeciętne czasy reakcji dla badania z hałasem infradźwiękowym były krótsze (odpowiednio o 0,6% i o 3,4%) niż dla badania bez narażenia.



Rys. 18. Wyniki testu reakcji prostej na światło (RT_L) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (ogół badanych).



Rys. 19. Wyniki testu reakcji prostej na światło (RT_L) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy amatorzy).

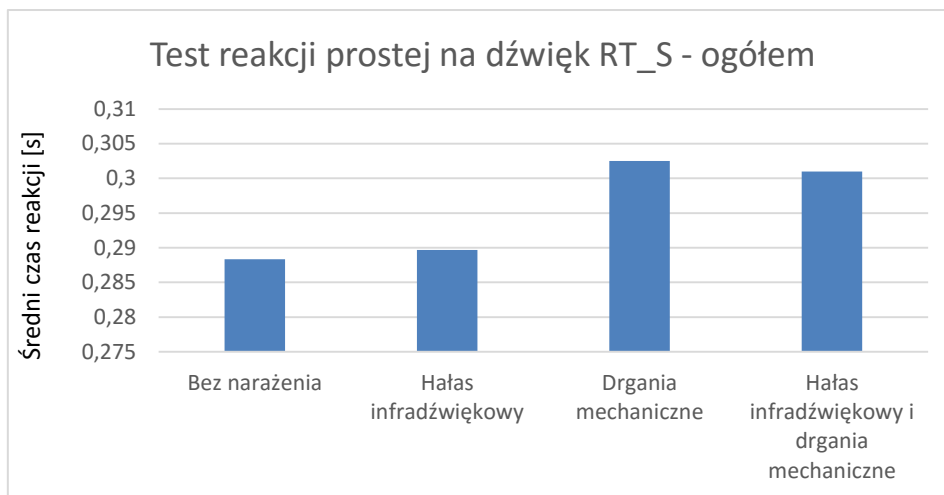


Rys. 20. Wyniki testu reakcji prostej na STDS – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy amatorzy).

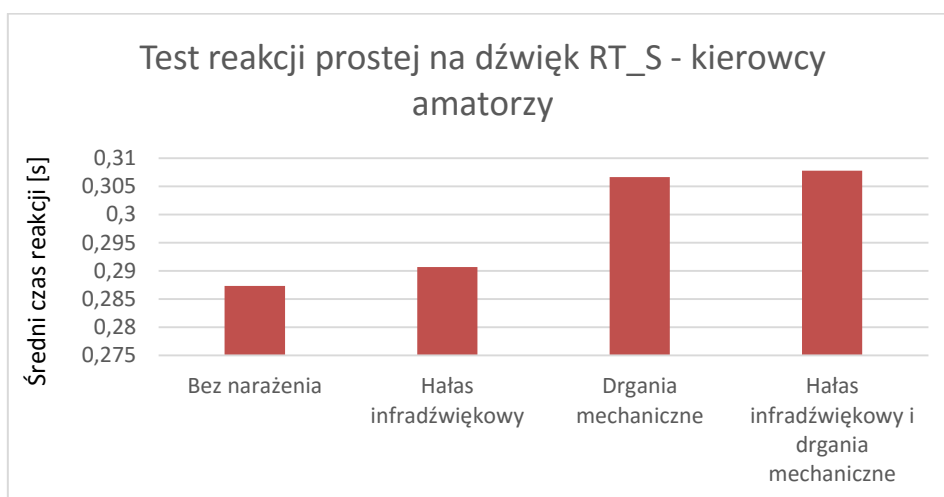
Test reakcji prostej na dźwięk

Ocena czasu reakcji prostej na dźwięk, podobnie jak reakcji na światło, jest jednym z testów wykonywanych w pracowniach psychologicznych do ogólnej oceny zdolności badanego do prowadzenia pojazdów mechanicznych. Ocenia się czas reakcji jako okres od pojawienia się zadanego bodźca dźwiękowego do naciśnięcia odpowiedniego pedału będącego elementem stanowiska badawczego. Do oceny wyników badań wykorzystano średni czas reakcji z wszystkich bodźców dźwiękowych.

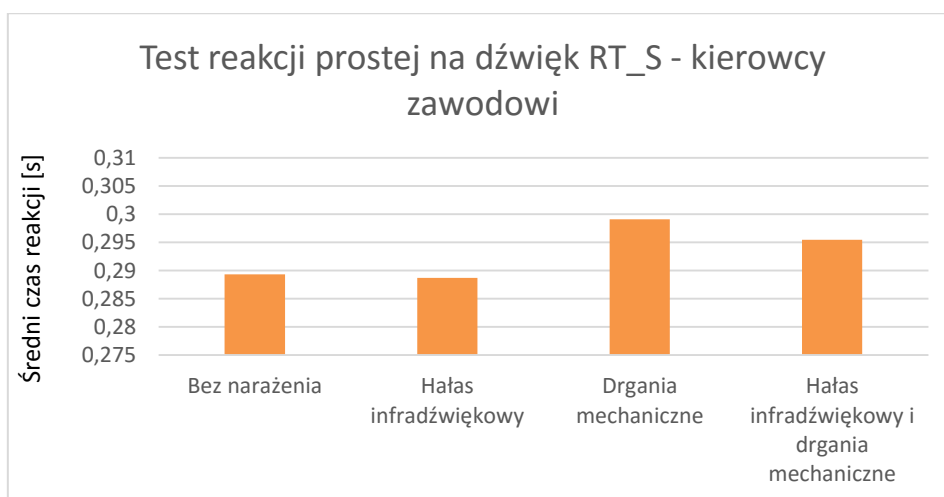
W przypadku badań z narażeniem na drgania mechaniczne oraz z łącznym narażeniem na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne zaobserwowano wydłużenie przeciętnego czasu reakcji (odpowiednio o 4,9% i o 4,4%) względem badania bez narażenia (Rys. 23). Było to jeszcze bardziej widoczne wśród kierowców amatorów, gdzie czasy reakcji wydłużyły się odpowiednio o 6,7% i o 7,1% (Rys. 24). Dla badania z hałasem infradźwiękowym wśród ogółu kierowców odnotowano niewielkie wydłużenie czasu reakcji (o 1,2%). Przeciętne czasy reakcji były najdłuższe w grupie kierowców zawodowych w przypadku badania z narażeniem na drgania mechaniczne (Rys. 25), natomiast w grupie kierowców amatorów dla badania z łącznym narażeniem na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne (Rys. 24). We wszystkich przypadkach narażenia na rozpatrywane czynniki fizyczne zaobserwowano krótsze przeciętne czasy reakcji na dźwięk wśród kierowców zawodowych (do 4,2%) niż wśród kierowców amatorów.



Rys. 21. Wyniki testu reakcji prostej na dźwięk (RT_S) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (ogół badanych).



Rys. 22. Wyniki testu reakcji prostej na dźwięk (RT_S) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy amatorzy).

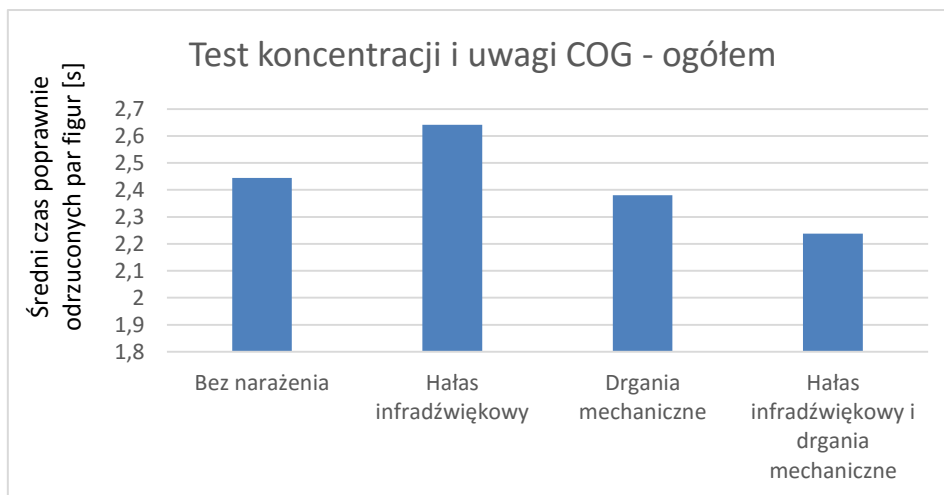


Rys. 23. Wyniki testu reakcji prostej na dźwięk (RT_S) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy zawodowi).

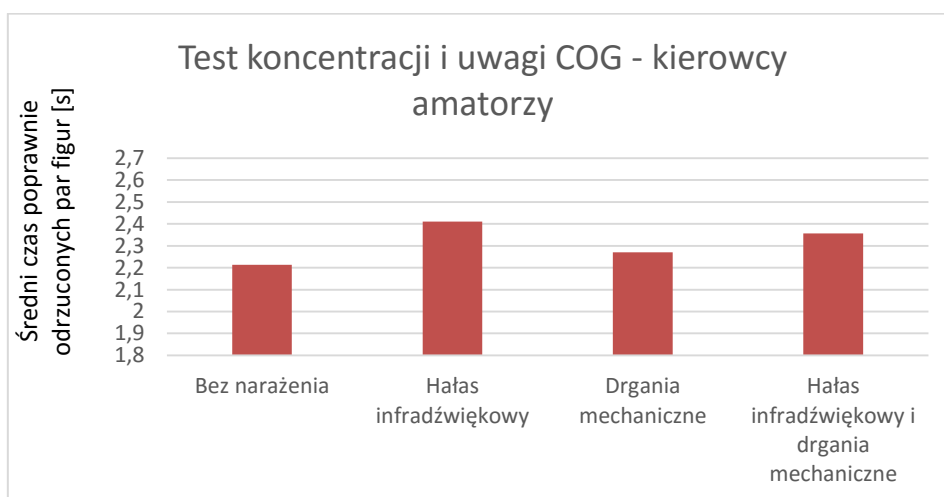
7.3. Test koncentracji i uwagi

Test badający uwagę i koncentrację oraz mierzący ogólną zdolność do "bycia uważnym", używany w psychologii klinicznej i stosowanej. Respondenci porównują figurę geometryczną z innymi figurami geometrycznymi. Następnie stwierdzają, czy porównywana figura jest identyczna (pokrywająca się) z jedną z pozostałych czterech figur geometrycznych wyświetlanych na ekranie. Porównywanie odbywa się za pomocą dwóch przycisków – do akceptacji i do odrzucenia pary figur. Do oceny wykorzystano średni czas poprawnie odrzuconych par figur.

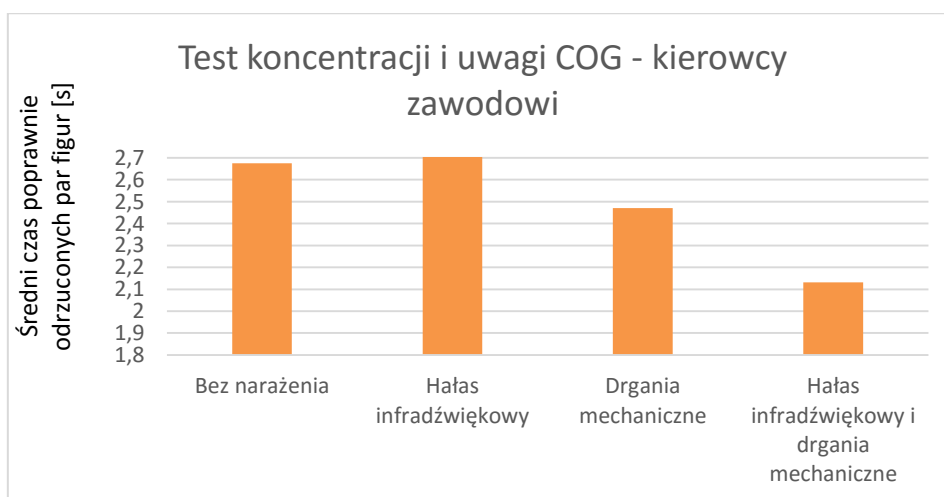
Najwyższe przeciętne czasy poprawnie odrzuconych par figur odnotowano dla badania z narażeniem na hałas infradźwiękowy – zarówno dla ogółu badanych (Rys. 26) jak i dla poszczególnych grup kierowców (Rys. 27 i Rys. 28). Względem badania bez narażenia wydłużenia przeciętnych czasów wynosiły 8,1% dla ogółu, 8,9% dla kierowców amatorów i 7,4% dla kierowców zawodowych. W większości wariantów narażenia na rozpatrywane czynniki fizyczne kierowcy zawodowi uzyskiwali dłuższe przeciętne czasy poprawnie odrzucanych par niż kierowcy amatorzy. Różnice między grupami wynosiły 17,3% dla badania bez narażenia, 16,1% dla badania z narażeniem na hałas infradźwiękowy i 8,1% dla badania z narażeniem na drgania mechaniczne. Niemniej jednak najkrótsze przeciętne czasy uzyskali kierowcy zawodowi dla badania z łącznym narażeniem na hałas infradźwiękowy i drgania mechaniczne (20,3% względem badania bez narażenia).



Rys. 24. Wyniki testu koncentracji i uwagi (COG) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (ogół badanych).



Rys. 25. Wyniki testu koncentracji i uwagi (COG) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy amatorzy).

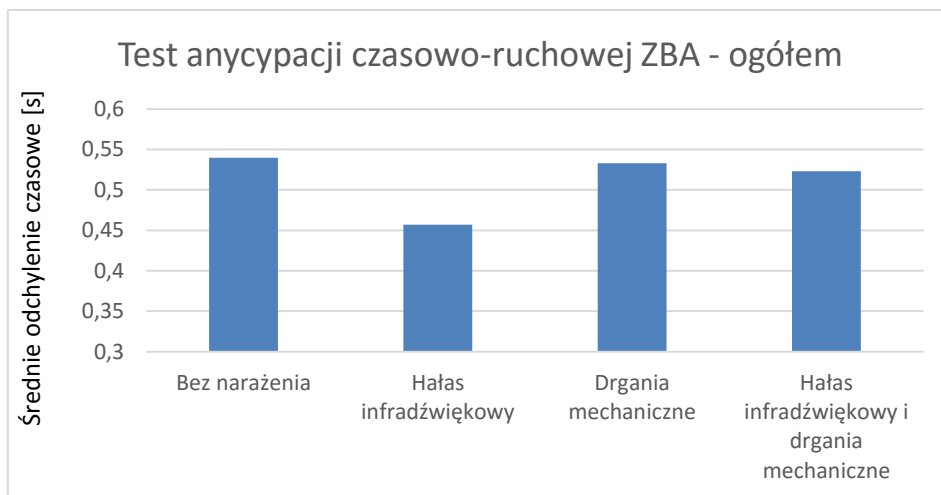


Rys. 26. Wyniki testu koncentracji i uwagi (COG) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy zawodowi).

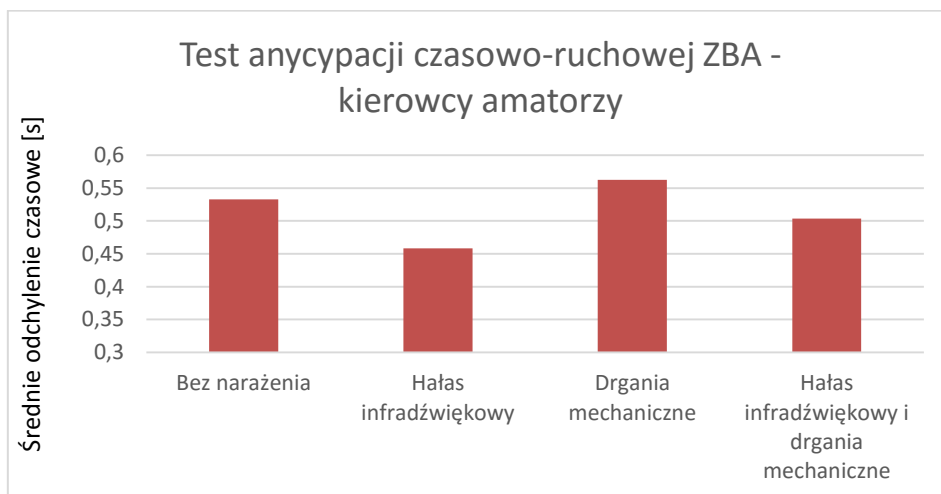
7.4. Test antycypacji czasowo-ruchowej

Test do oceny szybkości i trajektorii poruszania obiektów oraz oceny odległości. Zadaniem osoby biorącej udział w badaniu było obserwowanie na ekranie poruszającego się obiektu, oraz przewidywanie czasu dotarcia do określonego położenia po jego zniknięciu. Do oceny wykorzystano średnie odchylenie czasowe od rzeczywistego momentu dotarcia poruszającego się obiektu do określonego położenia.

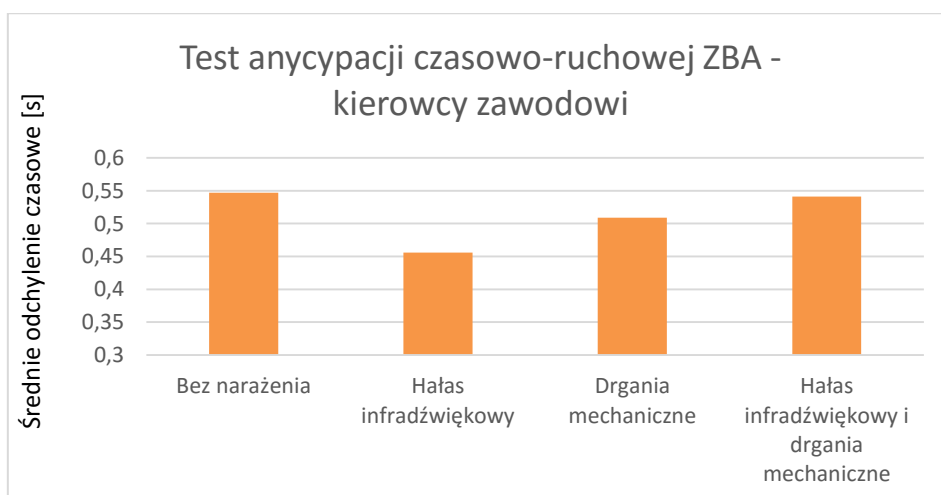
Najniższe średnie odchylenia czasowe zaobserwowano dla badania z hałasem infradźwiękowym zarówno dla ogółu jak i dla poszczególnych grup kierowców (Rys.29-Rys.31). Względem badania bez narażenia różnice te wynosiły 15,3% dla ogółu badanych, 14% dla kierowców amatorów oraz 16,6% dla kierowców zawodowych. Wśród ogółu badanych odnotowano również, że najdłuższe przeciętne odchylenia czasowe wystąpiły dla badania bez narażenia. Wydłużenie przeciętnego odchylenia czasowego względem badania bez narażenia zaobserwowano tylko w jednym przypadku – badania z narażeniem na drgania mechaniczne wśród grupy kierowców amatorów (o 5,5%).



Rys. 27. Wyniki testu antycypacji czasowo-ruchowej (ZBA) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (ogół badanych).



Rys. 28. Wyniki testu antycypacji czasowo-ruchowej (ZBA) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy amatorzy).



Rys. 29. Wyniki testu antycypacji czasowo-ruchowej (ZBA) – uśrednione wartości dla rozpatrywanych wariantów narażenia (kierowcy zawodowi).

7.5. Wnioski z badań

- Badania przeprowadzono w grupie 30 kierowców w dwóch podgrupach: kierowców amatorów (15 osób) i kierowców zawodowych (15 osób). Scenariusz badań obejmował cztery rodzaje badań: brak ekspozycji na hałas infradźwiękowy i drgania o działaniu ogólnym, ekspozycja na hałas infradźwiękowy, ekspozycja na drgania o działaniu ogólnym oraz ekspozycja na hałas infradźwiękowy i drgania o działaniu ogólnym.
- Wyniki testu Skali Grandjeana wykazały, że badania w których występowały drgania mechaniczne bardziej nasilały negatywne odczucia wśród badanych niż badania bez drgań. Rozpatrując dwie grupy – kierowców amatorów oraz kierowców zawodowych – można było zaobserwować dużo większe różnice w wynikach testu dla kierowców amatorów. W tej grupie wskazywano na większą senność, większe znużenie, zmęczenie, większe wyczerpanie czy mniejszą zdolność do koncentracji występujące po badaniu.
- Wyniki testów czasu reakcji (zarówno prostej, jak i złożonej) nie wykazały jednoznacznego skrócenia czy wydłużenia przeciętnych czasów reakcji w wyniku narażenia na rozpatrywane czynniki fizyczne. Różnice względem badania bez narażenia sięgały maksymalnie 2,3% (skrócenie czasu reakcji) dla testu reakcji złożonej, 2% (skrócenie czasu reakcji) dla testu reakcji prostej na światło i 4,9% (wydłużenie czasu reakcji) w przypadku reakcji prostej na dźwięk. We wszystkich wariantach narażenia kierowcy uzyskiwali dłuższe czasy reakcji złożonej niż kierowcy amatorzy.
- Wyniki testu koncentracji i uwagi wykazały, że najwyższe przeciętne czasy poprawnie odrzuconych par figur występowały dla badania z narażeniem na hałas infradźwiękowy zarówno dla ogółu badanych, jak i dla poszczególnych grup kierowców. W większości wariantów narażenia na rozpatrywane czynniki fizyczne kierowcy zawodowi uzyskiwali dłuższe przeciętne czasy poprawnie odrzucanych par niż kierowcy amatorzy.
- Wyniki testu antycypacji czasowo-ruchowej wykazały, że najniższe średnie odchylenia czasowe występowały dla badania z hałasem infradźwiękowym zarówno dla ogółu jak i dla poszczególnych grup kierowców. Wśród ogółu badanych odnotowano również, że najdłuższe przeciętne odchylenia czasowe wystąpiły dla badania bez narażenia.

- Mimo trzykrotnego zwiększenia liczebności próby i dwukrotnego zwiększenia czasu narażenia na rozpatrywane czynniki względem badań pilotażowych nie zaobserwowano jednoznacznych tendencji w wynikach testów mogących świadczyć o pogarszaniu się sprawności psychofizycznej (Rys. 34) w wyniku oddziaływania (również i łącznego) hałasu infradźwiękowego i drgań mechanicznych.

8. Bibliografia

1. ACGIH (2011) Threshold limit values for chemical substances and physical agents TLV's and BEI's, 116.
2. Alves-Pereira M., Castelo Branco N Vibroacoustic disease: biological effects of infrasound and low frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling Progress in Biophysics and Molecular Biology 2007 93, 256-279
3. Augustyńska D. Wartości graniczne ekspozycji na infradźwięki – przegląd piśmiennictwa PiMOŚP nr 2(60), 2009,5 – 15
4. Augustyńska D., Engel Z, Kaczmarska A. i inni (1999): Ochrona przed hałasem i drganiami w środowisku pracy. Red. D. Augustyńska, W. M. Zawieska, Warszawa, CIOP 1999,
5. Bilski B., Audible and infrasonic noise levels in the cabins of modern agricultural tractors - Does the risk of adverse, exposure-dependent effects still exist? International Journal Of Occupational Medicine And Environmental Health, 26 (3): 488-493, 2013
6. Danielsson A., Landström U. (1985) Blood pressure changes in man during infrasonic exposure. An experimental study. Acta Medica Scandinavica, 217, 531-535,
7. Damijan, Z. Kowalczyk – Hauser M., Panuszka R. (1996): Ocena wpływu energii infradźwiękowej na organizmy żywe, ZN AGH Mechanika, nr 3, s. 263 – 274,
8. Elliot S. J., A review of active noise and vibration control in road vehicles, ISVR Technical Memorandum No 981, University of Southampton, 2008,
9. Engel Z.(2001): Ochrona przed drganiami i hałasem, Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 2001,

10. Engel Z., Kowalski P., Investigation of the influence of simultaneous vibroacoustic exposures on the operator, *Journal Of Theoretical And Applied Mechanics* 46, 4, pp. 799-811, Warsaw 2008
11. Engel Z., Makarewicz G., Morzyński L., Zawieska W.M (2001): *Metody Aktywne Redukcji Hałasu*, CIOP Warszawa 2001,
12. Engel Z., Kaczmarska A., Augustyńska D., (2005): *Badanie wpływu nadmiernej ekspozycji na hałas niskoczęstotliwościowy - choroba wibroakustyczna*, *Bezpieczeństwo Pracy* nr 11,
13. Evans M.J., Tempest W. (1972) Some effects of infrasonic noise in transportation. *J. Sound and Vibration* 22(1), 19-24,
14. Fohr, F. et al., Active exhaust line for truck diesel engine, *Proceedings of the 2002 International Symposium on Active Control of Sound and Vibration*, Southampton, 15-17 July, United Kingdom, 2002,
15. Griffin M. J.: *Handbook of Human Vibration*. London, Academic Press 1990.
16. Harazin B.: *Hałas i wibracje ogólne występujące jednocześnie w środowisku pracy. Analiza skutków zdrowotnych narażonych pracowników i zalecenia profilaktyczne*, Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Sosnowiec 1997.
17. Harazin B.: *Zagrożenie zdrowia wywołane działaniem drgań mechanicznych*, Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego, Sosnowiec 2000.
18. Kaczmarska A., Augustyńska D.(1999): *Ograniczenie hałasu niskoczęstotliwościowego w kabinach przemysłowych*, CIOP, Warszawa,
19. Kaczmarska A., Augustyńska D., Engel Z.(2000): *Ustroje rezonatorowe obniżające hałas niskoczęstotliwościowy w kabinach przemysłowych*, *Bezpieczeństwo Pracy* 11 s. 14-16,
20. Kaczmarska A., Augustyńska D., Engel Z., Górski P. (2001): *Przemysłowe zabezpieczenia przed hałasem infradźwiękowym i niskoczęstotliwościowym*, CIOP, Warszawa,
21. Kaczmarska A., Wierzejski A., *Hałas Infradźwiękowy na stanowiskach pracy kierowców w warunkach eksperymentalnych*, *Bezpieczeństwo Pracy* 7-8/2007, CIOP-PIB, Warszawa, str. 12-15
22. Kaczmarska A., Augustyńska D. (2005-2007): *Badania i ocena ryzyka zawodowego związanego z narażeniem kierowców środków transportu drogowego na hałas infradźwiękowy*, Program wieloletni pn” Dostosowanie

- warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej, Część B: Program realizacji zadań w zakresie służb państwowych,
23. Kaczmarek A., Engel Z., Sikora J. (2005): Dobór warstwowych zabezpieczeń przeciwhałasowych – wytyczne dla projektantów *Bezpieczeństwo Pracy* 6, s. 10-1613,
 24. Kaczmarek A., Mikulski W. (2009): Zespół chorego budynku ocena parametrów środowiska pracy, Rozdz. Hałas słyszalny i infradźwiękowy praca zbiorowa pod redakcją E. Jankowskiej i M. Pośniak, Warszawa CIOP-PIB, 82-94,
 25. Kaczmarek A., i inni, Zagrożenie hałasem niskoczęstotliwościowym kierowców środków transportu drogowego, ZUS, Warszawa 2010
 26. Kasprzak C., The Influence of Infrasonics on the Electrocardiograph Patterns in Humans, *Acta Physica Polonica A*, 118 (1): 87-90, 2010,
 27. Kasprzak C., Influence of Infrasound on the Alpha Rhythm of EEG Signal, *Acta Physica Polonica A*, 121 (1A): A61-A64, 2012
 28. Kolesnik A.G., Pobachenko S.V., Solov'yov A.V., Estimation of contingency of parameters of human EEG and background infrasonic vibrations of pressure revealed in monitoring studies, *Izvestiya Atmospheric And Oceanic Physics*, 49 (8): 812-818 2013
 29. Konarska M. (2004) Projekt badawczy zamawiany-wniosek: Zapobieganie obniżeniu sprawności psychofizycznej kierowców CIOP, Warszawa,
 30. Koradecka D., Augustyńska D., Pośniak M. i inni (2003) Opracowanie zasad monitorowania stanu narażenia na czynniki szkodliwe i uciążliwe w środowisku pracy spełniających standardy obowiązujące w krajach UE w ramach działalności Europejskiej Fundacji Poprawy Warunków Życia i Pracy zadanie 6.4/PW, etap II
 31. Kowalski P., Drgania i hałas w pojazdach drogowych, *Bezpieczeństwo Pracy* 5/2007, CIOP-PIB, Warszawa str. 10-13
 32. Koradecka D., Lipowczan A.: Drgania mechaniczne (wibracje). [W:] *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*. Red. D. Koradecka. T.1. Warszawa, CIOP 1999, s. 323-372.
 33. Koton J., Majewski A., Drgania i hałas na stanowiskach pracy w rodkach komunikacji miejskiej – badania dozymetryczne, *Bezpieczeństwo Pracy* 7-8/2004, CIOP-PIB, Warszawa, str. 12-15

34. Koton J., Harazin B.: Skutki zdrowotne zawodowego narażenia na drgania miejscowe. Warszawa, CIOP 2000.
35. Kowal E. i inni (2004): Hałas infradźwiękowy i niskoczęstotliwościowy w komunikacji samochodowej. Materiały XXXII Szkoły Zimowej Zwalczenia Zagrożeń Wibroakustycznych Ustroń 2004, s.73-79,
36. Kowalski P., Drgania i hałas w pojazdach drogowych, Bezpieczeństwo Pracy - nauka i praktyka, 5/2007, str. 10-13.
37. Kowalski P., Badanie metodą energetyczną równoczesnego działania drgań i hałasu na kierowców środków transportu drogowego - Raport Końcowy, Program Wieloletni - Nr: 1.A.01, CIOP-PIB, Warszawa, 2004
38. Khan I.A., Mallick Z., Khan Z.A., A study on the combined effect of noise and vibration on operators' performance of a readability task in a mobile driving environment, Int J Occup Saf Ergon, 13(2):127-36, 2007.
39. Landström U., Byström M. (1984) Infrasonic threshold levels of physiological effects. J. Low. Freq. Noise Vibr. 3(4) 167-173,
40. Landström U., Byström M. (1992): Infrasonic threshold levels of physiological effects. (Journal of Low Frequency Noise & Vibration, 11, 42,
41. Landström U., Pelmer P.(1993) Infrasound a Short Review, Journal of Low Frequency & Vibration, Vol 12, , No. 2, s.72-74,
42. Leventhall H.G.(1995) The role of low frequency noise and infrasound quality. Inter-Noise 95, Newport Beach 1995,
43. Ljunberg J.K., Parmentier F.B.R, Psychological effects of combined noise and whole-body vibration: a review and avenues for future research, Proc. IMechE Vol. 224 Part D: J. Automobile Engineering, 2010
44. Łuczak A., Najmiec A., Badania sprawności psychofizycznej kierowców wypadkowych i bezwypadkowych w aspekcie prewencji wypadkowej i zwiększania kultury bezpieczeństwa w transporcie drogowym, ZUS, Warszawa 2009
45. Mahendra K., Sridar V. (2008) The relationship between noise frequency components and physical, physiological and psychological effects of industrial workers. Noise and Health 10, 90-98,
46. Mirowska M. i inni (1998) Badania hałasów o częstotliwościach 2-125 Hz w budownictwie w celu opracowania kryteriów ich oceny oraz stopnia ich uciążliwości Projekt badawczy ITB nr 7T07B043 cz. I-III,

47. Mitraszewska I., Sytuacja w Polsce, Materiały konferencyjne IRU Academy, Gdynia, 14 września 2012.
48. Morzyński L. Aktywna redukcja hałasu niskoczęstotliwościowego w dźwiękoizolacyjnych kabinach przemysłowych, Bezpieczeństwo Pracy nr 1, 2005 r.,
49. Nader M., Eksperymentalne metody badania drgań środków transportu w aspekcie ich oddziaływania na organizm ludzki Prace naukowe Transport z.44, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2000
50. Nader M., Modelowanie i symulacja oddziaływania drgań pojazdów na organizm człowieka, Prace naukowe Transport z.46, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2013
51. Nader M., Kruszewski M., Wykorzystanie zaawansowanych symulatorów jazdy w badaniach zachowania i umiejętności kierowców, Prace naukowe Transport z.46, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2013
52. Najmiec A., Psychospołeczne warunki pracy kierowcy autobusu komunikacji miejskiej, Bezpieczeństwo Pracy 11/2012, CIOP-PIB, Warszawa
53. Paulsen R., Kastka J., Effects of combined noise and vibration, Journal of sound and vibration, Vol. 181, 2, p. 295-314, 1995
54. Pawlas K. (2013), Przegląd kryteriów oceny infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego w środowisku zawodowym i pozazawodowym, Medycyna Środowiskowa 2013, nr 1, s. 82-89.
55. Pawlas K. (2013), Opracowanie propozycji kryteriów oceny szkodliwości i uciążliwości hałasu z dominującym udziałem infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego w ekspozycji zawodowej, Program Wieloletni (PBR) - Nr: II.B.09, CIOP-PIB, Warszawa 2013
56. Pawlas K. (2009), Wpływ infradźwięków i hałasu o niskich częstotliwościach na człowieka PiMOŚP nr 2(60), 2009, s.27-64,
57. Pawlaczyk – Łuszczynska M, i inni (2001) Dokumentacja proponowanych wartości dopuszczalnych poziomów narażenia zawodowego. Wydawnictwo Międzyresortowej Komisji ds. NDS i NDN pt. Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy Rok XVII zeszyt nr 2(28),

58. Pawlaczyk-Łuszczynska (2010) Ocena uciążliwości Hałasu niskoczęstotliwościowego w środowisku pracy oraz jego wpływ na funkcje umysłowe- rozprawa habilitacyjne IMP Łódź 2010
59. Pelmeur P. L., Taylor W., Wasserman D. E.: *Hand-Arm Vibration*. New York, Van Nostrand Reinhold 1992.
60. Podstawy prewencji wypadkowej. CIOP-PIB 2003. ISBN83-7373-145-8
61. Puzyra Cz.(1981): Ochrona środowiska pracy przed hałasem t.I, Warszawa WNT 1981,
62. Sandberg U.(1993) Combined effect of noise, infrasound and vibration on driver performance. Proceedings of the Inter Noise 93,
63. Sandberg U.(1999) Low noise road surfaces – A state-of-the-art review The Journal of the Acoustical Society of Japan , Vol.20, No 1, s.1-17,
64. Stolarski B.(1990) Opracowanie metody obniżenia hałasu niskoczęstotliwościowego w kabinach maszyn roboczych. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska,
65. Szeszenia-Dąbrowska N., Wilczyńska U., Sobala W., Choroby zawodowe w Polsce w 2011 r. Instytut Medycyny Pracy im. Prof. J. Nofera, Centralny Rejestr Chorób Zawodowych, Łódź, 2012.
66. Takahashi Y., Harada N. (2007) A consideration of an evaluation index for high – level low-frequency noise by taking into account the effect of human body vibration. J. Low. Freq. Noise Vibration & Active Control 26(1), 15-27,
67. Takahashi Y., Harada N. (2007) A consideration of an evaluation index for high – level low-frequency noise by taking into account the effect of human body vibration. J. Low. Freq. Noise Vibration & Active Control 26(1), 15-27,
68. Takahashi Y. i in. (2005) A study of relationship between subjective unpleasantness and body surface vibration induced by high-level low-frequency pure ton. Industrial Health 4, 580-587.
69. Tempest W. (1976) Infrasound and low frequency vibration. London, Academic Press.
70. Tsukernikov E., Nekrasov I.,A. (2005): To infrasound assessment as harmful physical factor Proceedings of Twelfth International Congress on Sound and Vibration, Lisbon 2005,

71. Tutak, T., Wpływ charakteru wibracji stochastycznej na działalność operatorską w układzie kierowca-pojazd mechaniczny, Rozprawa doktorska, Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii im. gen. K. Kaczkowskiego, tom 23, Warszawa 1985
72. Vallet M.(1987): Vibration and Low frequency noise in Motor Vehicles and Their Effects on Vigilance and Road Safety – A Literature Review Journal of low Frequency Noise and Vibration Vol. 6 No 3, s.104-114,
73. Vercammen M.,L.,S. (1989): Setting Limits for Low Frequency Noise, Journal of Low frequency noise and vibration, vol.8, no 4,
74. Vercammen M.,L.,S. (1992): Low-Frequency noise limits, Journal of Low frequency noise and vibration, vol.11, no 1,
75. Vercammen M.,L.,S. (2007): Criteria for Low Frequency noise Proceedings of 19th International Congress on Acoustics Madrid,
76. Yamazaki K., Tokita Y. (1984) Effects of infra and low frequency sound on sleep stage. Proceedings of Internoise 929-932,
77. 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. Nr 157, poz. 1318,
78. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. 2014 poz. 817
79. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy Dz.U. 2011 nr 33 poz. 166
80. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 lipca 2002 zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych kobietom, Dz. U. Nr 127 z dnia 10 sierpnia 2002 poz. 1092,
81. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 maja 2006 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wykazu prac wzbronionych młodocianym i warunków ich zatrudniania przy niektórych z tych prac, Dz.U. 2006 nr 107 poz. 724
82. Rozporządzenie (WE) Nr 561/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 marca 2006 o czasie pracy kierowców,
83. ISO 5128-1980: 1980 Acoustics – Measurement of noise inside motor vehicles,

- 84.PN-90/S-04052:1990 Samochody. Dopuszczalny poziom hałasu wewnątrz pojazdu. Wymagania i badania,
- 85.PN-ISO 7196:2002 Akustyka. Charakterystyka częstotliwościowa filtru do pomiarów infradźwięków,
- 86.PN-ISO 9612:2011 Akustyka - Zasady pomiaru i oceny ekspozycji na hałas w środowisku pracy,
- 87.PN-EN ISO 15667 :2002 Akustyka .Wytyczne dotyczące ograniczenia hałasu przez obudowy i kabiny,
- 88.PN-N-01307:1994. Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów,
- 89.PN-N-01338: 2010 Akustyka. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowiskach pracy.
- 90.Sprawozdania Głównego Inspektora Pracy z działalności Państwowej Inspekcji Pracy, PIP, Warszawa 2013
- 91.Wypadki przy pracy w 2013 r., GUS, Warszawa, 2013.
- 92.Global status report on road safety 2013 - Supporting a decade of action, World health organization 2013
- 93.FACTS 67 PL, Europejska Agencja Zdrowia i Bezpieczeństwa Pracy, <https://osha.europa.eu/>