MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
5-M/2012
ZESZYT 10
ROK 109
ISSUE 10
YEAR 109

DARIUSZ WIĘCKOWSKI*

ANALIZA W DZIEDZINIE CZASU DRGAŃ PIONOWYCH ZE WZGLĘDU NA KOMFORT PODRÓŻOWANIA DZIECKA W SAMOCHODZIE

ANALYSIS DOMAIN OF THE TIME VERTICAL VIBRATION ON ACCOUNT COMFORT CHILD DURING RIDE IN THE CAR

Streszczenie

Artykuł dotyczy badań eksperymentalnych związanych z oddziaływaniem drgań pionowych na organizm dziecka siedzącego w foteliku podczas jazdy w samochodzie i porównaniu z oddziaływaniem takich drgań na człowieka dorosłego. Do badań wykorzystano manekiny dziecka i osoby dorosłej. Manekin dziecka był posadowiony na dwóch typach fotelików: konwencjonalnym i z systemem ISOFIX. Dokonano pomiarów przyśpieszeń w różnych punktach. Przeprowadzono analizę w dziedzinie czasu. Zaprezentowano wyniki przeprowadzonej analizy.

Słowa kluczowe: przewożenie dzieci w fotelikach, komfort jazdy, drgania pionowe, analiza w dziedzinie czasu

Abstract

Analysis of vertical vibration acting on child sitting in child car seat and comparison with vibration acting on adult measured during the same car drives has been done in the paper. Measurements were done using child and adult dummies. Dummy of child was seated in the two types of child car seat: with the ISOFIX system of fastening and typical standard fastening. Acceleration acting on dummies was measured in various selected points. Analysis domain of the time is presented in the paper.

Keywords: child car seat, drive comfort, vertical vibration, time analysis

* Dr inż. Dariusz Więckowski, Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa.

1. Wstęp

Ze wszystkich rodzajów środków transportu największe zagrożenie ze względu na drgania występuje w transporcie samochodowym [9]. Na przełomie wieków zwiększył się (i dalej się zwiększa) przedział czasu, jaki ludzie spędzają w samochodach [6].

W tym czasie również rozszerzono zainteresowanie na dzieci przewożone w fotelikach samochodowych, nie tylko pod kątem bezpieczeństwa biernego, ale także oddziaływania drgań. Ze względu na oddziaływanie na dzieci drgań, zwłaszcza pionowych, bardzo istotne są przejazdy na długich dystansach. W tym przypadku ważne jest uwzględnienie aspektów medycznych: [8, 10, 11].

Badania homologacyjne dotyczące fotelików dziecięcych skoncentrowane są głównie na ocenie zabezpieczenia przed szkodliwymi skutkami zderzeń [S14]. Nie obejmują one wpływu drgań (występujących podczas „normalnej" jazdy) na organizm dziecka, które są źródłem zarówno dyskomfortu, jak i negatywnego wpływu na zdrowie.

Opracowane liczne dokumenty normatywne świadczą o tym, że stosunkowo szeroko opisane jest zagadnienie wpływu drgań na organizm ludzi dorosłych [S1–S12]. Natomiast w przypadku dzieci tematyka ta wciąż jest w początkowej fazie rozpoznania i nie ma opracowanych tego typu dokumentów normatywnych. Świadczy to o tym, że kwestią otwartą jest ocena komfortu jazdy małych dzieci (ze względu na oddziaływanie drgań), których cechy antropologiczne są inne niż osób dorosłych [2, 3].

Ze zjawiskiem zagrożenia drganiami mechanicznymi wiąże się pojęcie komfortu. Nawet z pozoru gładka nawierzchnia drogi zawiera prawie niewidoczne małe nierówności i fale, które generują przyśpieszenia o szerokiej rozpiętości częstotliwości (4–80 Hz), które przenoszone są na nadwozie. Pasażerowie, także dzieci w fotelikach, odczuwają je jako drgania podłogi i pokryć foteli, a w efekcie drgań fotelika. Psychologicznie ludzie nie mają receptora komfortu, pomimo że mają zestaw receptorów bólu. Człowiek jednak potrafi definiować kryterium komfortu jako „nieobecność sygnałów dla receptorów czuciowych" [7]. Z kolei jak podaje M.J. Griffin w pracy [5], słownikowa definicja komfortu może oznaczać „świadomą błogość". Podobne ruchy mogą być źródłem przyjemności lub satysfakcji i w ten sposób oddawać odczucie błogości lub komfortu. Ale badanie relacji między drganiami a komfortem jest zwłaszcza interesujące w odniesieniu do określenia przykrości, antysatysfakcji i dyskomfortu.

Do innego określenia definicji komfortu można wykorzystać terminologię zaczerpniętą z [S13]: komfort – subiektywny stan dobrego samopoczucia lub brak zaburzeń mechanicznych w środowisku (drgań mechanicznych lub powtarzanych wstrząsów). Oznacza on nieobecność znacząco przeszkadzających zaburzeń lub niepożądanych czynników fizycznych. Jest to złożone subiektywne wrażenie, zależne od zsumowanego działania wszystkich czynników fizycznych występujących w środowisku, także takich czynników psychologicznych jak oczekiwania ludzi.

W Przemysłowym Instytucie Motoryzacji od kilku lat prowadzone są badania związane z oddziaływaniem drgań na dzieci posadowione w fotelikach podczas jazdy. Wyniki tych badań opisane np. w pracy [14] oraz w publikacjach [15, 16] wykazały potrzebę realizacji badań eksperymentalnych, związanych z oddziaływaniem drgań pionowych na organizm dziecka siedzącego w foteliku podczas jazdy w samochodzie. Zwrócono uwagę na różnicę w odczuciu komfortu jazdy między dzieckiem a osobą dorosłą, przy czym poziom komfortu wcale nie jest korzystny dla dziecka. Stwierdzono także rozbieżności wyników badań od-

działywania drgań na dziecko w zależności od rodzaju zastosowanego fotelika. Podkreślono także fakt braku badań w tym zakresie.

Celem artykułu jest przedstawienie wyników (w dziedzinie czasu) uzyskanych podczas badań związanych z oddziaływaniem drgań pionowych na dziecko posadowione w foteliku podczas jazdy w samochodzie. Zakres pracy obejmuje analizę w dziedzinie czasu sygnałów przyśpieszeń drgań pionowych zarejestrowanych przez czujniki umieszczone w głowie i tułowiu manekinów dziecka oraz człowieka dorosłego. W tym celu wykorzystano wskaźniki miar globalnych.

2. Badania eksperymentalne drogowe

Zrealizowane badania drogowe polegały na pomiarze oddziaływania drgań na osobę dorosłą i porównaniu otrzymanych wyników z oddziaływaniem takich drgań na dzieci siedzące w samochodowych fotelikach dziecięcych. Przygotowanie do badań obejmowało:

– na tylnej kanapie z lewej strony umieszczony był manekin HYBRID 2 o masie 75 kg, mocowany do siedziska samochodu za pomocą klasycznych 3-punktowych pasów bezpieczeństwa,
– z prawej strony tylnej kanapy zamocowany był fotelik dziecięcy, w którym posadowiony był manekin dziecka (dalej zwanym DZIECKO) o masie 15 kg.

Dlaczego do badań wykorzystano manekiny? Ideałem byłoby wykonać badania na organizmach żywych, czyli w tym przypadku na osobie dorosłej i dziecku. Jednak jest to trudne, jeśli nie niemożliwe, do zrealizowania. O ile można sobie wyobrazić udział osoby dorosłej w pewnych rodzajach testów, o tyle udział dziecka w wieku około 3 lat (15 kg masy ciała) jest trudny do wyobrażenia. Ponieważ badania związane z oddziaływaniem drgań na organizm dziecka znajdują się obecnie w początkowej fazie rozwoju, a w przypadku dzieci posadowionych w fotelikach dopiero zaczyna dostrzegać się tę kwestię, należy w badaniach eksperymentalnych bazować na tym, co jest dostępne. I tu mogą mieć zastosowanie manekiny [1]. Ponieważ w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji są one wykorzystywane do różnych testów, to również i w tych badaniach postanowiono je zastosować. Przydatność badań z wykorzystaniem manekinów (dziecka i osoby dorosłej) została sprawdzona i opisana w pracy [14]. Badania te były kontynuowane, a ich wyniki są opisane miedzy innymi w [15, 16], gdzie opisano stanowisko badawcze. Należy jeszcze raz podkreślić brak wyników badań dotyczących oddziaływania drgań na organizm dziecka posadowionego w foteliku podczas jazdy w samochodzie. Dlatego każde zrealizowane badania, które mogą doprowadzić do postępu w tym temacie, to jest uzyskania jakiś konkretnych wyników, pozyskaniu informacji czy danych – tym samym stają się pomocne do rozpoznania takiego oddziaływania drgań na żywy organizm dziecka. Jest to wystarczające uzasadnienie do wykorzystania w badaniach manekinów.

Do pomiarów wykorzystano 6 typów fotelików dziecięcych przedstawionych na rys. 1 (na rysunku pokazano 7 fotelików, ponieważ istnieją dwa egzemplarze jednego typu fotelika). Foteliki dobrane były w sposób losowy z typów dostępnych na rynku, a kryterium doboru był różny stopień zaawansowania technologicznego.

Rys. 1. Widok ogólny fotelików wykorzystanych do badań

Fig. 1. General view child car seat use in tests

W kolejnych seriach pomiarów manekin DZIECKO posadowiony był kolejno na każdym z fotelików. Najpierw na czterech konwencjonalnych fotelikach dziecięcych mocowany za pomocą 3-punktowych pasów bezpieczeństwa (rys. 2). Te foteliki symbolicznie nazwano „STANDARD" i oznaczono odpowiednio: F1S, F2S, F3S i F4S. Następnie manekin DZIECKO posadowiono na dwóch fotelikach dziecięcych posiadających nowoczesny system mocowania typu ISOFIX (rys. 3) i oznaczono odpowiednio F5X i F6X.

Rys. 2. Przykład fotelika FS z manekinem DZIECKO zamontowanego w samochodzie

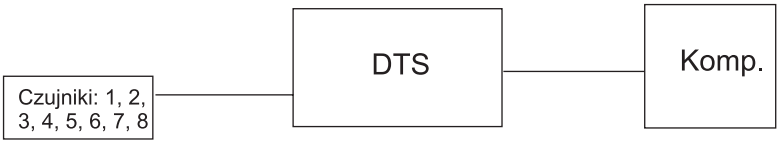
Fig. 2. Example child car seat FS with dummy CHILD in car

Rys. 3. Przykład Fotelika FX z manekinem DZIECKO zamontowanego w samochodzie

Fig. 3. Example child car seat FX with dummy CHILD in car

2.1. Tor pomiarowy

Podczas badań sygnały pomiarowe rejestrowano za pomocą zbudowanego toru pomiarowego, schematycznie przedstawionego na rys. 4.



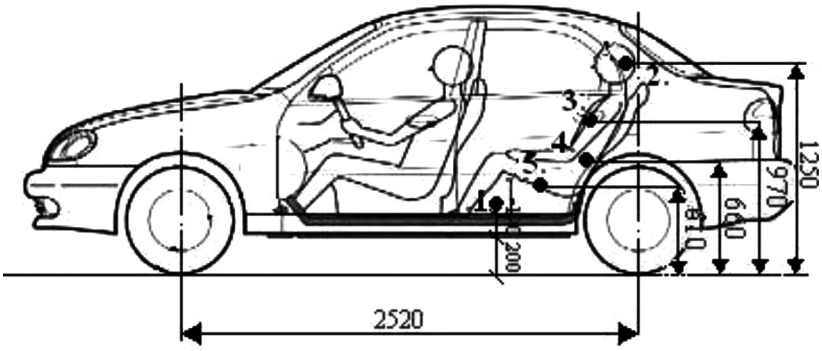
Rys. 4. Schemat toru pomiarowego (DTS – rejestrator cyfrowy)

Fig. 4. Diagram of measuring track (DTS – digital technology system)

Do pomiarów zastosowano jednoosiowe piezorezystywne czujniki opóźnienia Brül&Kjear typ 4574, umieszczone w następujących miejscach:
- czujnik nr 1 – podłoga samochodu,
- czujnik nr 2 – manekin HYBRID II głowa,
- czujnik nr 3 – manekin HYBRID II klatka piersiowa (tułów),
- czujnik nr 4 – manekin HYBRID II miednica,
- czujnik nr 5 – siedzisko kanapy tylnej pod manekinem HYBRID II,
- czujnik nr 6 – manekin DZIECKO głowa,
- czujnik nr 7 – manekin DZIECKO miednica,
- czujnik nr 8 – pod fotelikiem manekina DZIECKO.

Do rejestracji sygnałów użyto rejestratora cyfrowego TDAS DTS Pro Lab. Częstotliwość próbkowania 500 Hz.

Schemat obrazujący położenie i współrzędne miejsc mocowania czujników pomiarowych przedstawione są na rys. 5. Wszystkie czujniki były tak ustawione, aby mierzyły przyśpieszenia w kierunku pionowym, tj. kierunku, w którym występują największe amplitudy drgań podczas jazdy.



Rys. 5. Rozmieszczenie czujników. Widok od strony posadowienia manekina HYBRID II

Fig. 5. Location of sensors. View side the dummy HYBRID II

Testy pomiarowe wykonano w trakcie przejazdów po trzech rodzajach drogi: nawierzchnia „gładka” asfaltowa (rys. 6) – przejazd z prędkością 60 km/h, nawierzchnia ze znacznymi nierównościami przejazd z prędkością 60 km/h (rys. 7), przejazd przez „garb” – prędkość 40 km/h (rys. 8).

Do opisu wyników badań przyjęto następujące oznaczenia:

A – nawierzchnia równa asfaltowa,
B – czujnik umieszczony w miednicy manekina,
Br – nawierzchnia z dużymi nierównościami,
D – manekin DZIECKO,
FS – fotelik STANDARD,
FX – fotelik z mocowaniem typu ISOFIX,
G – głowa manekina,
Gb – przejazd przez garb,
H2 – manekin HYBRID II,
K – czujnik umieszczony na powierzchni fotela między siedziskiem, a manekinem H2,
Kf – czujnik umieszczony pod fotelikiem manekina DZIECKO,
P – czujnik umieszczony na podłodze samochodu,
T – czujnik umieszczony w klatce piersiowej (tułów).

Przykłady oznaczenia:

FSDGBr – fotelik STANDARD (FS), manekin DZIECKO (D), czujnik w głowie manekina (G), nawierzchnia z dużymi nierównościami (Br).

FXH2BGb – fotelik ISOFIX (FX), manekin HYBRID II (H2), czujnik w biodrze manekina (B), przejazd przez garb (Gb).

Rys. 6. Odcinek pomiarowy z nawierzchnią „gładką” (asfalt)

Fig. 6. Road surface „smoof” (asphalt)

Rys. 7. Odcinek pomiarowy z nierównościami

Fig. 7. Road surface full of holes

Rys. 8. Odcinek pomiarowy z umieszczonym „garbem”

Fig. 8. Road surface with hump

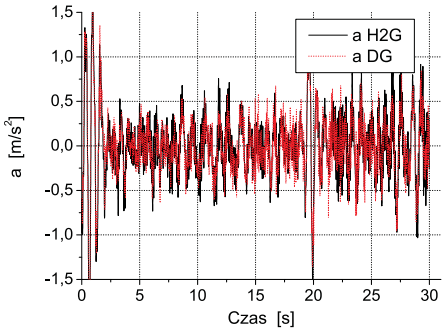
2.2. Analiza w dziedzinie czasu

We wcześniejszych badaniach wykonanych w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji [10] wykazano, że spośród sygnałów przyśpieszeń pionowych, zarejestrowanych na wysokości miednicy manekina H2 (H2B) i w klatce piersiowej (H2T), do analizy wystarczające jest przyjęcie sygnału zarejestrowanego przez jeden z tych czujników, np. umieszczony na wysokości miednicy (H2B).

W tej pracy autor przedstawił analizę w dziedzinie czasu sygnałów przyśpieszeń pionowych, zarejestrowanych przez czujniki umieszczone w głowie i tułowiu (miednica) manekinów HYBRID II i DZIECKO: H2B, H2G, DT, DG.

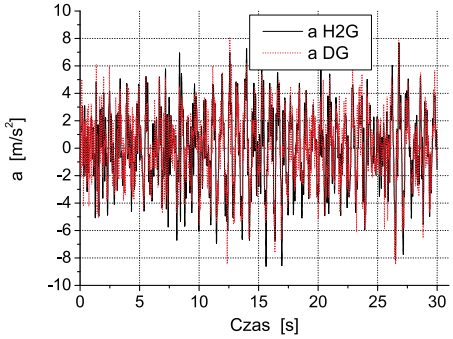
Na rys. 9–14 przedstawiono przykładowe przebiegi przyśpieszeń, zarejestrowanych w głowach manekinów D i H2 (DG i H2G) podczas prób drogowych w trakcie przejazdów po trzech różnych nawierzchniach z wykorzystaniem fotelików STANDARD i ISOFIX. Na wykresach dokonano porównania przebiegów DG z H2G. Zarejestrowane przebiegi są mało czytelne i trudne do analizy. Na ich podstawie można sformułować tylko pewne ogólne uwagi.

Na rys. 9–11 przedstawiono przykładowe przebiegi przyśpieszeń, zarejestrowanych z wykorzystaniem fotelika typu FS. Z przedstawionych wykresów wynika, że porównując przebiegi przyśpieszeń dla H2 i D, można stwierdzić, że podczas przejazdów po nawierzchni A i Br wartości zarejestrowanych sygnałów są większe o około 10% dla H2 w stosunku do D. Natomiast podczas przejazdu przez garb stwierdzono większe wartości dla D o około 25% w stosunku do H2.



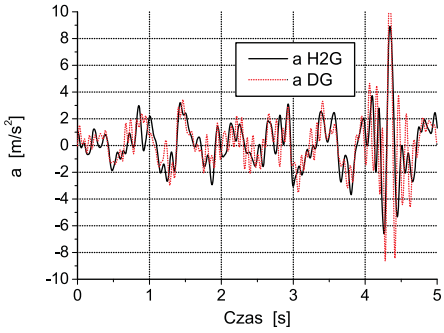
Rys. 9. Przebiegi czasowe przyśpieszeń głowy – asfalt: FSA H2B z DT

Fig. 9. Measured acceleration in time of a head – asphalt: FSA H2B z DT



Rys. 10. Przebiegi czasowe przyśpieszeń głowy – bruk: FSBr H2G z DG

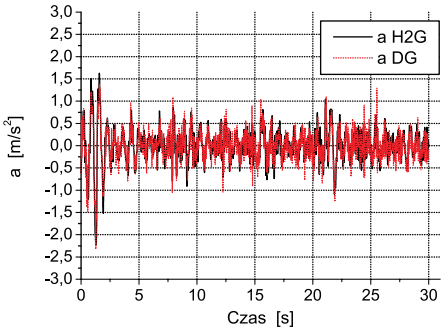
Fig. 10. Measured acceleration in time of a head – rough road: FSBr H2G z DG



Rys. 11. Przebiegi czasowe przyśpieszeń głowy – garb: FSGb H2G z DG

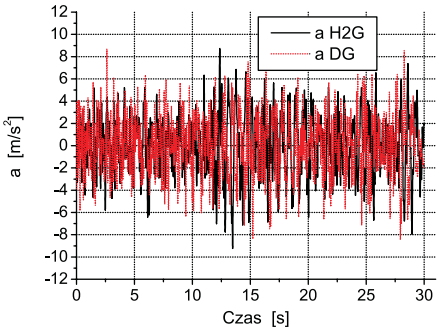
Fig. 11. Measured acceleration in time of a head – hump: FSGb H2G z DG

Z kolei na rys. 12–14 przedstawiono przykładowe przebiegi przyśpieszeń, zarejestrowanych podczas prób drogowych z wykorzystaniem fotelika typu FX. Porównując przebiegi przyśpieszeń dla H2 i D, można stwierdzić, że dla H2G i DG podczas przejazdów po nawierzchni A i Br wartości zarejestrowanych sygnałów są większe o około 20% dla D. W przypadku przejazdu przez garb dla DG i H2G przebiegi sygnałów wydają się zbliżone.



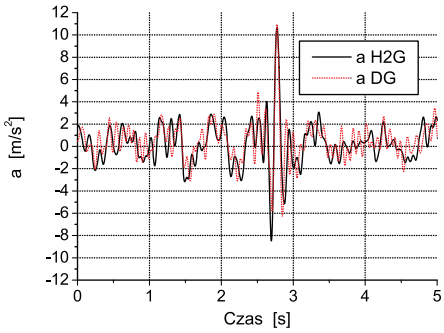
Rys. 12. Przebiegi czasowe przyśpieszeń głowy – asfalt: FXSA H2G z DG

Fig. 12. Measured acceleration in time of a head – asphalt: FXSA H2G z DG



Rys. 13. Przebiegi czasowe przyśpieszeń głowy – bruk: FXBr H2G z DG

Fig. 13. Measured acceleration in time of a head – rough road: FXBr H2G z DG



Rys. 14. Przebiegi czasowe przyśpieszeń głowy – garb: FXGb H2G z DG

Fig. 14. Measured acceleration in time of a head – hump: FXGb H2G z DG

2.2.1. Miary globalne opisujące oddziaływanie drgań na człowieka

Jak już zasygnalizowano powyżej, zarejestrowane przebiegi są mało czytelne i trudne do analizy i jednoznacznej interpretacji. W związku z tym należy użyć innych metod w dziedzinie czasu do oceny zarejestrowanych przebiegów przyśpieszeń.

Drgania są zjawiskiem złożonym, nie ma jednej wielkości czy jednej miary, która opisywałaby je w zupełności. W przypadku drgań harmonicznych amplituda i częstotliwość drgań opisują je w pełni. Natomiast w przypadku drgań poliharmonicznych czy losowych sprawa

nie jest prosta, gdyż amplituda i częstotliwość nie są wystarczające do pełnego opisu takich drgań. W związku z tym należy szukać takich wielkości (estymatorów), które umożliwią opisanie „wielkości" drgań, uwzględniających ich złożony charakter.

Na podstawie wieloletnich badań eksperymentalnych zostały opracowane miary oceniające odczuwanie drgań przez człowieka. Mając do czynienia ze zmierzonymi bezpośrednio przyśpieszeniami drgań, do oceny ich wpływu wykorzystuje się wskaźniki, tzw. miary globalne (inne określenie to wskaźniki komfortu).

International Standards Organisation ISO 2631-1 [S2] i British Standards BS 6841 [S3] opisują podobne podejście dotyczące określenia poziomu dyskomfortu z wykorzystaniem pomiarów przyśpieszeń drgań (siedziska, oparcia siedzenia itp.). Przewidują następujące miary do oceny wpływu pionowych drgań na człowieka w pozycji siedzącej:

Wartość skuteczna rms (root mean square) (1)

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

gdzie:

$a(t)$ – jest zarejestrowanym jako funkcja czasu t przebiegiem wartości przyśpieszenia w m/s^2 działającego w kierunku pionowym.

W tabeli 1 pokazane są stopnie dyskomfortu sugerowane przez normy ISO 2631-1 [S2] oraz BS 6841 [S3] i wyznaczone wartości rms przyśpieszenia pionowego.

Tabela 1

Granice dyskomfortu [S2], [S3]

Przyspieszenie rms [m/s^2]	Odczucie
Mniej niż 0,315	nie występuje odczucie dyskomfortu
0,315–0,63	lekki dyskomfort
0,5–1,0	umiarkowany dyskomfort
0,8–1,6	dyskomfort
1,25–2,5	silny dyskomfort
Powyżej 2	ekstremalny dyskomfort

Vibration Dose Value (VDV) (2)

$$\mathrm{VDV} = \left[\int_0^T a^4(t)dt \right]^{\frac{1}{4}} \tag{2}$$

gdzie:

$a(t)$ – jest zarejestrowanym jako funkcja czasu t przebiegiem wartości przyśpieszenia w m/s^2 działającego w kierunku pionowym.

Wielkości rms i VDV nie są skorelowane wzajemnie, ponieważ różnie akcentują amplitudy zmierzonego przyśpieszenia. Jednocześnie oba wskaźniki nie doszacowują chwilowych wstrząsów (chwilowych gwałtownych wzrostów amplitudy), przez co ich interpretacja nie uwzględnia wpływu chwilowych wstrząsów (impulsów) działających na człowieka [5].

Aby zapewnić większy udział we wskaźniku przyśpieszeń o wyższych wartościach amplitud wprowadzony został wskaźnik **rmq (root mean quad)** (3), podany przez Griffina [5], opisany w British Standards BS 6841 [S3].

$$rmq = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a^4(t)dt \right]^{\frac{1}{4}} \tag{3}$$

gdzie:

$a(t)$ – jest zarejestrowanym jako funkcja czasu t przebiegiem wartości przyśpieszenia w m/s^2 działającego w kierunku pionowym.

Zależność (3) jest bardziej wrażliwa na szarpnięcia i impulsy przyśpieszeń. Czwarta potęga przyśpieszenia $a(t)$ dobrze skorelowana jest z subiektywnym odczuwaniem drgań przez organizm człowieka [5].

Na pierwszy rzut oka wskaźniki te wydają się bardzo podobne, a różnice między nimi w zapisie matematycznym nieznaczne. Jednak w rzeczywistości te z pozoru „drobne" różnice są bardzo istotne.

Uzyskane wartości rms i rmq przebiegu przyśpieszeń są wartościami uśrednionymi dla odcinka czasu [0-T]. W przypadku przebiegów będących realizacją stacjonarnego procesu stochastycznego wartości te powinny być niezmienne. Badania pokazują jednak, że wraz ze wzrostem czasu ekspozycji wartości tych wskaźników nie są stałe – wykazują tendencję do zmniejszania się, gdy czas ekspozycji wydłuża się, co oznacza, że proces losowy nie jest stacjonarny. Dlatego pojawiają się trudności w zdefiniowaniu początku i końca czasu ekspozycji do obliczenia rms czy rmq. W tym przypadku przydatny jest wskaźnik VDV (Vibration Dose Value). Jak wynika z definicji (2), nie występuje tu człon dzielenia przez czas ekspozycji T. Dlatego VDV jest uznawany (czy też może być uznawany) jako „lepszy" wskaźnik do oceny komfortu niż rms [4].

Standardy ISO 2631-1 [S2] i BS 6841 [S3] przewidują także możliwość wykorzystania **estymatora VDV (Estimated Vibration Dose Value – eVDV)** (4), zdefiniowanego w następujący sposób:

$$eVDV = 1{,}4 \cdot rms \cdot t^{0{,}25} \tag{4}$$

Wskaźnik ten jest traktowany jako alternatywa miar oceny komfortu, która może być wykorzystana do porównania oceny dyskomfortu w różnych środowiskach.

Jako dodatkową wielkość charakteryzującą drgania Griffin wprowadził [5] przyśpieszenie drugiego stopnia – **udar (jerk)**, definiowane jako trzecia pochodna przemieszczenia względem czasu (5).

$$j = \frac{d\dddot{x}}{dt} = \frac{d^2\dot{x}}{dt^2} = \frac{d^3x}{dt^3} \tag{5}$$

Inną, często używaną miarą (zarówno do oceny komfortu, jak i do oceny wibroizolacji siedzisk) jest bezwymiarowy wskaźnik **SEAT (Seat Effective Amplitude Transmissibility)** (6), który może być zdefiniowany w dziedzinie częstotliwości z wykorzystaniem gęstości widmowej mocy (PSD – Power Spectral Density) [12]:

$$SEAT[\%] = 100 \frac{\sqrt{\int G_{ssF}(f) \cdot W^2(f) df}}{\sqrt{\int G_{ssP}(f) \cdot W^2(f) df}} \tag{6}$$

gdzie:

G_{ssF} – gęstość widmowa mocy przyśpieszenia zmierzonego na fotelu,
G_{ssP} – gęstość widmowa mocy przyśpieszenia zmierzonego na podłodze,
W – krzywa wagowa ludzkich dostrzegalnych zaburzeń [S2].

Jest to wskaźnik używany do oceny komfortu zarówno podczas jazdy, jak i na stanowisku w laboratorium [12–13]. Wskaźnik SEAT może być określony np. przez stosunek drgań na siedzeniu fotela i na podłodze (7). W ten sposób może być używany do opisu wibroizolacji drgań przez fotel [13].

$$SEAT = \frac{VDV_F}{VDV_P} \tag{7}$$

gdzie:

VDV_F – wartość Vibration Dose Value wyznaczoną dla fotela,
VDV_P – wartość Vibration Dose Value wyznaczoną dla powierzchni, do której przymocowany jest fotel (np. podłoga samochodu).

Do oceny odruchów wymiotnych BS 6841 [S3] definiuje wskaźnik „**wielkość dawki odruchu wymiotnego" MSDV (Motion Sickness Dose Value)**, jako:

$$MSDV = \sqrt{a_w^2 \cdot t} \tag{8}$$

gdzie:

a_w – rms przyśpieszenia,
t – czas ekspozycji.

Interpretacją MSDV jest ocena procentowa, określająca prawdopodobieństwo wymiotów (9):

$$\% \text{ wymiotów} = 1/3 \text{ MSDV} \tag{9}$$

Wskaźnik MSDV jest rekomendowany wyłącznie dla pionowych oddziaływań i jest przeznaczony do zastosowania w stosunku do pasażerów promów. Jakkolwiek może być użyty w innych formach transportu do przewidywania zakresu niedomagań chorobowych, jeśli ruchy wymuszające są zbliżone w naturze do tych występujących na promach [7].

Jeszcze inną metodą, służącą do określania komfortu związanego z drganiami, jest wykorzystanie miary będącej sumą wektorowych wartości kwadratowych (lub średniokwadratowych) ważonych przyśpieszeń dla poszczególnych kierunków (składowych) drgań, pod pierwiastkiem. Takie metody opisane są m.in. w [S12, S10, S16]. Jako przykładową zależność można podać [S12] (10):

$$(a_{w,śr})_{wek} = \sqrt{[1,4(a_{w,śr})_x]^2 + [1,4(a_{w,śr})_y]^2 + [(a_{w,śr})_z]^2} \tag{10}$$

gdzie:

$(a_{w,śr})_{wek}$ – suma wektorowa średniokwadratowych wartości ważonych przyśpieszenia,
$(a_{w,śr})_{x,\ y,\ z}$ – średniokwadratowa wartość ważona przyśpieszenia dla poszczególnych kierunków (składowych).

Szczególną metodą oceny drgań jest ocena dozymetryczna. W tym przypadku (dla zmierzonego przyśpieszenia bezwzględnego) porównuje się zmierzoną równoważną wartość skorygowanego (częstotliwościowo ważonego) przyśpieszenia drgań a_w z dopuszczalną skorygowaną wartością przyśpieszenia drgań a_{wdop} według [S12]. Wartość a_w wyznacza się z zależności:

$$a_w = \sqrt{\frac{D}{T}} \tag{11}$$

gdzie:

D – dawka drgań, zmierzona dozymetrem lub obliczona według (12) [S10],
T – czas oddziaływania drgań (w ciągu zmiany roboczej).

$$D = \sum_{j=1}^{n} (a_{w,zm})_i^2 \cdot t_i \tag{12}$$

gdzie:

$(a_{w,zm})_i$ – wartość ważona przyśpieszenia drgań zmierzona jako i-ta próbka dla składowych X(x), Y(y) lub Z(z),
t_i – czas upływający kolejnymi odczytami wartości $a_{w,zm}$,
n – liczba i-tych próbek.

Metoda oceny dozymetrycznej stosowana jest do oceny narażenia człowieka na drgania na stanowiskach pracy w ciągu całej zmiany roboczej w takich warunkach, jakie występują w normalnej eksploatacji.

Miar (wskaźników) opisujących drgania jest więcej, a w tej pracy przedstawiono i zdefiniowano te najważniejsze z punktu widzenia rozpatrywanych zagadnień. Tym nie mniej widać, że wybór uwarunkowany jest pytaniem: co chcemy wiedzieć, jakie informacje chcemy pozyskać, opisując drgania? I aczkolwiek miary globalne zostały opracowane z myślą dokonania oceny odczuwania drgań przez człowieka dorosłego, tym niemniej można wykorzystać je, a przynajmniej niektóre, do oceny oddziaływania drgań na dzieci posadowione w fotelikach podczas jazdy w samochodzie. Realizując porównania między drganiami oddziałującymi na dziecko w foteliku a działającymi na dorosłego człowieka do analizy tych porównań w tej pracy zaproponowano następujące miary globalne.

Wskaźnik rms

Wartości określone miarą rms zestawiono w tabeli 2. Przedstawiono porównanie wartości rms dla głowy i tułowia manekinów H2 i D.

Tabela 2

Wartości rms dla fotelików FS i FX oraz rodzajów nawierzchni

Oznaczenie fotelika, nawierzchni, wartości rms [m/s²]												
	Asfalt				Nawierzchnia nierówna				Garb			
	H2BA	H2GA	DTA	DGA	H2BBr	H2GBr	DTBr	DGBr	H2BGb	H2GGb	DTGb	DGGb
FS	0,374	0,410	0,315	0,368	2,411	2,703	2,144	2,514	2,568	2,760	2,796	3,116
FX	0,335	0,383	0,286	0,373	2,381	2,713	1,953	2,519	2,774	2,981	2,337	2,683

Z wartości rms zarejestrowanych dla manekina D wynika, że największe przyśpieszenia działają na głowę dziecka. Dotyczy to przejazdów po trzech rodzajach nawierzchni (A, Br i Gb), przy czym w przypadku przejazdu po nawierzchni Br wartości rms są około 6 razy większe w porównaniu z przejazdem po powierzchni asfaltowej, a w przypadku przejazdu przez garb ponad 4 razy większe. Porównując te wartości (rms) do wartości zawartych w tabeli 1 można przedstawić następujące spostrzeżenia. Dla przejazdów po nawierzchni asfaltowej w przypadku fotelików typu FS i FX wartości rms świadczą o „lekkim dyskomforcie". Dla przejazdu przez garb w przypadku fotelików FS i FX wartości rms świadczą o „silnym dyskomforcie", a nawet „ekstremalnym dyskomforcie". Na podstawie wartości podanych w tabeli 2 warto zwrócić uwagę na fakt, że komfort jazdy dziecka siedzącego w foteliku ISOFIX nie jest lepszy w porównaniu z komfortem jazdy dziecka siedzącego w foteliku STANDARD.

Wskaźnik VDV

Wartości wyrażone miarą VDV zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Wartości VDV dla fotelików FS i FX oraz rodzajów nawierzchni

Oznaczenie fotelika, nawierzchni, wartości VDV [m/s]												
	Asfalt				Nawierzchnia nierówna				Garb			
	H2BA	H2GA	DTA	DGA	H2BBr	H2GBr	DTBr	DGBr	H2BGb	H2GGb	DTGb	DGGb
FS	6,67	7,46	5,77	6,84	34,6	38,8	30,8	36,3	19,4	20,9	22,8	25,2
FX	6,28	7,21	4,88	6,60	34,5	39,3	27,9	36,3	22,7	24,2	19,8	22,8

Największe wartości VDV zarejestrowano podczas przejazdu po nawierzchni o dużych nierównościach (Br), a najmniejsze podczas przejazdu po nawierzchni asfaltowej (A). Z wartości VDV wyznaczonych dla manekina D wynika, że największe przyśpieszenia działają na głowę dziecka (DG). Dotyczy to przejazdów po wszystkich rodzajach nawierzchni, przy czym w przypadku nawierzchni Br wartości VDV są około 5 razy większe w porównaniu z przejazdem po nawierzchni asfaltowej, a dla przejazdu przez garb są około 4 razy większe.

Jest to spostrzeżenie podobne, jak w przypadku wskaźnika rms. Również podobna jest obserwacja dotycząca komfortu jazdy dziecka siedzącego w foteliku ISOFIX. Nie jest on lepszy w stosunku do komfortu jazdy dziecka siedzącego w foteliku STANDARD.

Wskaźnik rmq

Wartości wyrażone miarą rmq zestawiono w tabeli 4.

Największe wartości rmq zarejestrowano podczas przejazdu przez „garb". W przypadku manekina D największe wartości rmq występują dla głowy (DG). Dotyczy to przejazdów po wszystkich rodzajach nawierzchni. Najmniejsze wartości rmq są dla nawierzchni A i w stosunku do Br są mniejsze o 4-5 razy, a w stosunku do Gb około 8 razy.

Tabela 4

Wartości rmq dla fotelików FS i FX oraz rodzajów nawierzchni

Oznaczenie fotelika, nawierzchni, wartości rmq [m/s^2]												
	Asfalt				Nawierzchnia nierówna				Garb			
	H2BA	H2GA	DTA	DGA	H2BBr	H2GBr	DTBr	DGBr	H2BGb	H2GGb	DTGb	DGGb
FS	0,603	0,674	0,521	0,618	3,123	3,505	2,786	3,278	3,701	3,994	4,358	4,812
FX	0,568	0,652	0,441	0,596	3,113	3,553	2,525	3,277	4,328	4,616	3,789	4,364

Należy zwrócić uwagę na fakt, że według tego wskaźnika komfort jazdy dziecka siedzącego w foteliku ISOFIX nie jest lepszy w porównaniu do komfortu jazdy dziecka siedzącego w foteliku STANDARD.

Wskaźnik eVDV

Wartości wyrażone miarą eVDV zestawiono w tabeli 5. Największe wartości eVDV zarejestrowano podczas przejazdu po nawierzchni o dużych nierównościach (Br), a najmniejsze podczas przejazdu po nawierzchni asfaltowej. Z wartości eVDV zarejestrowanych dla manekina D wynika, że największe przyśpieszenia działają na głowę dziecka (DG). Dotyczy to przejazdów po wszystkich rodzajach nawierzchni, przy czym dla nawierzchni Br wartości VDV są około 7 razy większe w porównaniu z przejazdem po powierzchni asfaltowej, a w przypadku przejazdu przez garb są około 3 razy większe.

Tabela 5

Wartości eVDV dla fotelików FS i FX oraz rodzajów nawierzchni

Oznaczenie fotelika, nawierzchni, wartości eVDV [m/s^{1,75}]												
	Asfalt				Nawierzchnia nierówna				Garb			
	H2BA	H2GA	DTA	DGA	H2BBr	H2GBr	DTBr	DGBr	H2BGb	H2GGb	DTGb	DGGb
FS	1,225	1,336	1,033	1,205	7,890	8,856	7,024	8,236	3,980	4,277	4,334	4,829
FX	1,096	1,254	0,936	1,224	7,800	8,888	6,397	8,252	4,300	4,620	3,623	4,158

Według tego wskaźnika komfort jazdy dziecka siedzącego w foteliku ISOFIX nie jest lepszy w stosunku do komfortu jazdy dziecka siedzącego w foteliku STANDARD.

Miara SEAT

Wartości określone miarą SEAT zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6

Wartości SEAT dla poszczególnych fotelików i rodzajów nawierzchni

Oznaczenie nawierzchni	Oznaczenie fotelika wartości SEAT	
	FS	FX
DG/H2G_A	0.9167	0.9146
DG/H2G_Br	0.9351	0.9224
DG/H2G_Gb	1.2048	0.9453

W ramach tego wskaźnika zaprezentowano przykładowe porównania wartości VDV między DG i H2G. Analizując wartości SEAT, można przedstawić następujące spostrzeżenia. W przypadku nawierzchni typu A wartości SEAT dla DG i H2G są zbliżone dla fotelika FS w porównaniu do FX. W przypadku nawierzchni typu Br wartości SEAT dla DG i H2G są nieznacznie większe dla fotelika FS w porównaniu do FX.

Porównując DG i H2G w przypadku przejazdu przez garb (Gb), widać, że wartości SEAT są większe dla fotelika FS w stosunku do FX o ponad 20%.

Miara MSDV

W rozdziale 2.2 opisano wskaźnik MSDV jako „wielkość dawki odruchu wymiotnego". Wskaźnik ten jest rekomendowany wyłącznie dla pionowych oddziaływań i jest przeznaczony do zastosowania w stosunku do pasażerów promów. Może być użyty w innych formach transportu do przewidywania zakresu niedomagań chorobowych, jeśli ruchy wymuszające są zbliżone w naturze do tych występujących na promach. Interpretacją MSDV jest ocena procentowa określająca prawdopodobieństwo wymiotów (tabela 7).

Tabela 7

Wartości $^{1}/_{3}$ MSDV dla fotelików FS i FX oraz rodzajów nawierzchni

Oznaczenie fotelika, nawierzchni, wartości 1/3 MSDV = % wymiotów												
	Asfalt				Nawierzchnia nierówna				Garb			
	H2BA	H2GA	DTA	DGA	H2BBr	H2GBr	DTBr	DGBr	H2BGb	H2GGb	DTGb	DGGb
FS	0,683	0,744	0,576	0,672	4,401	4,935	3,914	4,589	3,147	3,328	3,427	3,819
FX	0,611	0,699	0,522	0,682	4,346	4,952	3565	4,598	3,400	3,653	2,865	3,288

Wartości wskaźnika $^1/_3$ MSDV zawarte w tabeli 7 świadczą o tym, że może on być zastosowany jedynie w przypadku przejazdów po nawierzchni gładkiej asfaltowej. Porównując wartości dla DG, można stwierdzić, że większe prawdopodobieństwo wymiotów w przypadku dziecka występuje dla fotelika FS w stosunku do FX. W stosunku do H2 wartość tego wskaźnika jest mniejsza dla D zarówno przy FS, jak i FX.

Jednocześnie należy zauważyć, że występuje większe prawdopodobieństwo wymiotów dla głowy manekina (DG) w stosunku do tułowia DT dla FS i FX.

Jeszcze raz należy podkreślić, że wskaźnik MSDV jest rekomendowany wyłącznie do pionowych oddziaływań i jest przeznaczony do zastosowania w stosunku do pasażerów promów. Wyniki dla nawierzchni nierównej (Br) i przejazdu przez garb (Gb), aczkolwiek matematycznie poprawne, nie mają znaczenia fizycznego i nie mogą być wykorzystane do analizy.

Wyznaczone i poddane analizie wskaźniki (miary globalne) wybrano adekwatnie do rozpatrywanych porównań. W oparciu o wartości tych wskaźników można stwierdzić, iż:

1) Poszczególne wskaźniki przyjmują różne wartości w przypadku głowy i tułowia dla FS i FX. Powoduje to, że miary te nie są „wygodne" do jednoznacznej interpretacji, a więc oceny poziomu komfortu jazdy.
2) Poszczególne wskaźniki są podobnie wartościowo wrażliwe na zmianę warunków jazdy, tj. rodzaju nawierzchni drogi.
3) Wartości rms wskazują, że wygoda jazdy dziecka siedzącego w fotelikach ISOFIX (FX) nie jest lepsza w porównaniu do wygody jazdy dziecka siedzącego w fotelikach STANDARD (FS). W porównaniu do manekina HYBRID II (H2) w zależności od fotelika komfort jazdy dziecka jest lepszy lub gorszy. Przejazd po nawierzchni asfaltowej w przypadku fotelików typu FS i FX wartości rms świadczy o „lekkim dyskomforcie". Dla nawierzchni z nierównościami (Br) w przypadku fotelików typu FS i FX wartości rms świadczą o „ekstremalnym dyskomforcie". Dla przejazdu przez „garb" w przypadku fotelików typu FS i FX wartości rms świadczą o „silnym dyskomforcie", a nawet „ekstremalnym dyskomforcie".
4) Wartości VDV wskazują, że komfort jazdy dziecka siedzącego w foteliku ISOFIX nie jest lepszy w stosunku do komfortu jazdy dziecka siedzącego w foteliku STANDARD. Dotyczy to różnych nawierzchni. Również w stosunku do osoby dorosłej (H2) w zależności od fotelika komfort jazdy dziecka jest lepszy lub gorszy.
5) Wartości rmq (szczególnie akcentują impuls) podobnie wskazują, że komfort jazdy dziecka siedzącego w foteliku ISOFIX nie jest lepszy w stosunku do komfortu jazdy dziecka siedzącego w foteliku STANDARD. Dotyczy to różnych nawierzchni. Również w stosunku do osoby dorosłej (H2) w zależności od fotelika komfort jazdy dziecka jest lepszy lub gorszy.
6) Wartości eVDV podobnie wskazują, że komfort jazdy dziecka siedzącego w foteliku ISOFIX nie jest lepszy w stosunku do komfortu jazdy dziecka siedzącego w foteliku STANDARD. Dotyczy to różnych nawierzchni. Również w stosunku do osoby dorosłej (H2) w zależności od fotelika komfort jazdy dziecka jest lepszy lub gorszy.
7) Wartości $^1/_3$ MSDV świadczą o tym, że może on być zastosowany jedynie dla przejazdów po nawierzchni „gładkiej" asfaltowej. W przypadku fotelików typu FX prawdopodobieństwo jest dość wysokie w stosunku do fotelików typu FS. W odniesieniu do manekina H2 w zależności od fotelika prawdopodobieństwo wymiotów jest większe lub mniejsze.

8) Większe wartości wskaźników występują w przypadku głowy (w stosunku do tułowia) dla H2 i D.
9) W odniesieniu do fotelików STANDARD i ISOFIX można zauważyć, że nie występują jednoznacznie wyraźne różnice jakościowe i ilościowe między tymi grupami. Wartości wskaźników nie faworyzują żadnej z grup fotelików. W związku z tym w oparciu o te wskaźniki nie można dokonać jednoznacznej oceny komfortu ze wskazaniem na konkretne rozwiązanie techniczne fotelików.

3. Podsumowanie analizy w dziedzinie czasu

W artykule przedstawiono problematykę związaną z oddziaływaniem drgań pionowych na dziecko posadowione w foteliku podczas jazdy w samochodzie i porównaniu otrzymanych wyników z oddziaływaniem takich drgań na osobę dorosłą. Przeprowadzono badania eksperymentalne drogowe z wykorzystaniem manekinów HYBRID II (H2) i DZIECKO (D) przy użyciu fotelików klasycznych typu STANDARD (FS) oraz typu ISOFIX (FX). Podkreślono brak badań w tym zakresie. Na podstawie własnych badań eksperymentalnych wykonano analizę w dziedzinie czasu.

Rozpoznanie zagadnienia, czy raczej zagadnień związanych z oddziaływaniem drgań pionowych na dziecko posadowione w foteliku podczas jazdy w samochodzie jest działaniem o tyle istotnym, że wiąże się ono bezpośrednio ze zdrowiem dzieci, a więc ich bezpieczeństwem, oraz przyczynia się do poprawy poziomu komfortu jazdy.

Na podstawie analizy przeprowadzonej w dziedzinie czasu można przedstawić następujące spostrzeżenia.

Analiza przebiegów sygnałów przyśpieszeń.

1) W zależności od rodzaju nawierzchni i rodzaju fotelika wartości sygnałów przyśpieszeń przyjmują różne wartości dla manekinów HYBRID II (H2) i DZIECKO (D), a więc (w oparciu o te przebiegi) różny jest poziom komfortu jazdy dla H2 i D. Ogólnie można zauważyć, że przebiegi przyśpieszeń dla poszczególnych fotelików są zbliżone jakościowo. Natomiast szczegółowa analiza jest trudna do przeprowadzenia ze względu na złożone przebiegi sygnałów przyśpieszeń. W związku z tym analiza przebiegów sygnałów przyśpieszeń w czasie jest niewystarczająca do oceny komfortu jazdy.

Miary globalne:

1) Poszczególne wskaźniki przyjmują różne wartości dla głowy i tułowia. Powoduje to, że miary te nie są „wygodne" do jednoznacznej interpretacji, a więc oceny komfortu jazdy.
2) Poszczególne wskaźniki są podobnie wrażliwe na zmianę warunków jazdy – rodzaj nawierzchni.
3) Bardzo wrażliwe na zmianę typu fotelika są wskaźniki VDV i eVDV. Z kolei wskaźnik $^{1}/_{3}$MSDV jest najmniej wrażliwy (spośród omówionych wskaźników) na zmianę fotelika.
4) Większe wartości wskaźników występują w odniesieniu do głowy (w stosunku do tułowia) dla H2 i D.
5) W odniesieniu do fotelików STANDARD i ISOFIX można zauważyć, że wartości wskaźników nie faworyzują żadnej z grup fotelików. W związku z tym, w oparciu o te wskaźniki nie można dokonać jednoznacznej oceny komfortu ze wskazaniem na konkretne

rozwiązanie techniczne fotelików. Oczywiście należy mieć na uwadze, czy możliwa jest jednoznaczna ocena dotycząca danego rozwiązania technicznego fotelików.

Ogólnie należy zauważyć, że zaprezentowane wartości wskaźników (miar globalnych) potwierdzają brak możliwości jednoznacznego wskazania, który typ fotelików jest lepszy w zakresie komfortu jazdy posadowionego dziecka. Również porównanie komfortu jazdy D z H2 wskazuje na zróżnicowanie w zależności od typu fotelika i rodzaju nawierzchni drogi. Absolutnie nie można stwierdzić, że komfort jazdy jest lepszy dla dziecka w stosunku do dorosłego, a raczej przeciwnie. Nawet dla nawierzchni asfaltowej wartości rms określają osiągnięcie „lekkiego dyskomfortu" dla fotelików FS i FX. W związku z tym należy zwrócić uwagę na brak możliwości uzyskania jednoznacznej oceny fotelików w aspekcie komfortu jazdy, gdyż jest to zbyt złożone zagadnienie, jednoznacznie nieopisane, a jednocześnie wrażliwe na odczucia subiektywne.

Trzeba stwierdzić, że rozpatrując zagadnienia komfortu jazdy, należy przeprowadzić analizę w dziedzinie częstotliwości.

Literatura

[1] Bonnet V. i in., *A structurally optimal control model for predicting and analyzing human postural coordination*, Journal of Biomechanics, Vol. 44, 2011, 2123-2128.

[2] Giacomin J., *Absorbed power of small children*, Clinical Biomechanics 20, 2005, 372–380.

[3] Giacomin J., *Some observations regarding the vibrational environment in child safety seats*, Applied Ergonomics No 31, 2000, 207-215.

[4] Griffin M.J., *Discomfort from feeling vehicle vibration*, Vehicle System Dynamics, Vol. 45, No. 7–8, July–August 2007, 679-698.

[5] Griffin M.J., *Handbook of human vibration*, Academic Press, London 1990.

[6] http://www.polloco.pl/pdf/biala_ksiega_pl.pdf *Biała księga, Europejska polityka transportowa w horyzoncie do 2010 r.: czas wyborów*, Bruksela, 12/09/2001-10-08 COM(2001) 370.

[7] Mansfield N.J., *Human response to vibration*, CRC Press, London 2005.

[8] Murphy J., *Child Passenger Safety*, Journal of Pediatric Health Care, Vol. 12, No. 3, 1998, 130-138.

[9] Nader M., *Modelowanie i symulacja oddziaływania drgań pojazdów na organizm człowieka*, Prace Naukowe Transport, Oficyna Wydawnicza Politechniki warszawskiej, Warszawa 2001.

[10] Rangel S. J. i in., *Alarming trends in the improper use of motor vehicle restraints in children: implication for public policy and the development of race-based strategies for improving compliance*, Journal of Pediatric Surgery 43, 2008, 200-207.

[11] Starr N.B., *Kids and Car Safety: Beyond Car Seats and Seat Belts,* Journal of Pediatric Health Care, Vol. 15, No. 5, 2001, 257-259.

[12] Westhuizen v. A., Niekerk v. J.L., *Verification of seat effective amplitude transmissibility (SEAT) value as a reliable metric to predict dynamic seat comfort*, Journal of Sound and Vibration 295, 2006, 1060-1075.

[13] Niekerk v. J.L., Pielemeier W.J., Greenberg J.A., *The use of seat effective amplitude transmissibility (SEAT) value to predict dynamic seat comfort*, Journal of Sound and Vibration 260, 2003, 867-888.
[14] Wicher J., Diupero T., Więckowski D., *Wpływ drgań fotelika na komfort jazdy dziecka w samochodzie*, Opracowanie Problemowe BLY.001.09N, Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Warszawa 2009.
[15] Więckowski D., Wicher J., *Bezpieczeństwo i komfort dzieci przewożonych w fotelikach samochodowych*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 1(77)/2010, Politechnika Warszawska, Warszawa 2010, 77-93.
[16] Więckowski D., Wicher J., *Wpływ drgań fotelika na komfort podróżowania dziecka w samochodzie*, Eksploatacja i Niezawodność 4(48)/2010, 102-110.

Dokumenty normatywne

[S1] ISO 2631: 1974 Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration.
[S2] ISO 2631-1: 1997 Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1: General requirements.

[S3] BS 6841: 1987 Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole--body mechanical vibration and repeated shock.
[S4] ISO 5982: 2001 Mechanical vibration and Shock – Range of idealized values to characterize seated-body biodynamic response under vertical vibration.
[S5] ISO 7962: 1987 Mechanical vibration and Shock – Mechanical transmissibility of the human body in the direction
[S6] PN-EN 30326-1 2000 Drgania mechaniczne. Laboratoryjna metoda oceny drgań siedziska w pojeździe. Wymagania podstawowe.
[S7] ISO 2631-4: 2001 Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport system.
[S8] ISO 2631-5: 2004 Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shock.
[S9] PN-S-04100: 1991 Drgania. Metody badań i oceny drgań mechanicznych na stanowiskach pracy w pojazdach.
[S10] PN-N-01352: 1991 Drgania. Zasady wykonywania pomiarów na stanowiskach pracy.
[S11] PN-N-01353: 1991 Drgania. Dopuszczalne wartości przyśpieszenia drgań na organizm człowieka przez kończyny górne i metody oceny narażenia.
[S12] PN-N-01354: 1991 Drgania. Dopuszczalne wartości przyśpieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka i metody oceny narażenia.
[S13] Polska Norma PN-ISO 5805 grudzień 2002. Drgania i wstrząsy mechaniczne. Ekspozycja człowieka. Terminologia.
[S14] Regulation No. 44, Uniform provisions concerning the approval of restraining devices for child occupants of power-driven vehicles (“child restraint system”).