

Tadeusz Gromadowski¹⁾, Dariusz Więckowski²⁾

ANALIZA DRGAŃ PIONOWYCH ODDZIAŁYWUJĄCYCH NA DZIECKO W SAMOCHODZIE Z ZASTOSOWANIEM WYMUSZENIA SYGNAŁEM BIAŁEGO SZUMU

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 wymuszenia sygnałem białego szumu na specjalnym stanowisku badawczym. Przeprowadzono analizę w dziedzinie częstotliwości. W pracy zaprezentowano wnioski z przeprowadzonej analizy.

Słowa kluczowe: przewożenie dzieci w fotelikach, biały szum, drgania pionowe, analiza w dziedzinie częstotliwości.

WPROWADZENIE

Badania homologacyjne dotyczące fotelików dziecięcych skoncentrowane są głównie na ocenie zabezpieczenia przed szkodliwymi skutkami zderzeń [24]. Nie obejmują one wpływu drgań (występujących podczas jazdy) na organizm dziecka, które są źródłem zarówno dyskomfortu, jaki i negatywnego wpływu na zdrowie.

Należy zauważyć, że ze wszystkich rodzajów środków transportu największe zagrożenie ze względu na drgania występuje w transporcie samochodowym [6]. Na przełomie wieków zwiększył się (i dalej się zwiększa) czas, jaki ludzie spędzają w samochodach [4].

Obecnie zwiększyło się również zainteresowanie dziećmi przewożonymi w fotelikach samochodowych, nie tylko pod kątem bezpieczeństwa biernego, ale także oddziaływania drgań. Ze względu na oddziaływanie drgań na dzieci, szczególnie pionowych, bardzo istotne są przejazdy na długich dystansach – uwzględnienie aspektów medycznych: [5], [7], [8].

Opracowane liczne dokumenty normatywne świadczą o tym, że stosunkowo szeroko opisane jest zagadnienie wpływu drgań na organizm ludzi dorosłych: [12–23]. Natomiast w przypadku dzieci tematyka ta wciąż jest w początkowej fazie rozpo-

¹⁾ Przemysłowy Instytut Motoryzacji, ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, e-mail: t.gromadowski@pimot.org.pl

²⁾ j.w., e-mail: d.wieckowski@pimot.org.pl

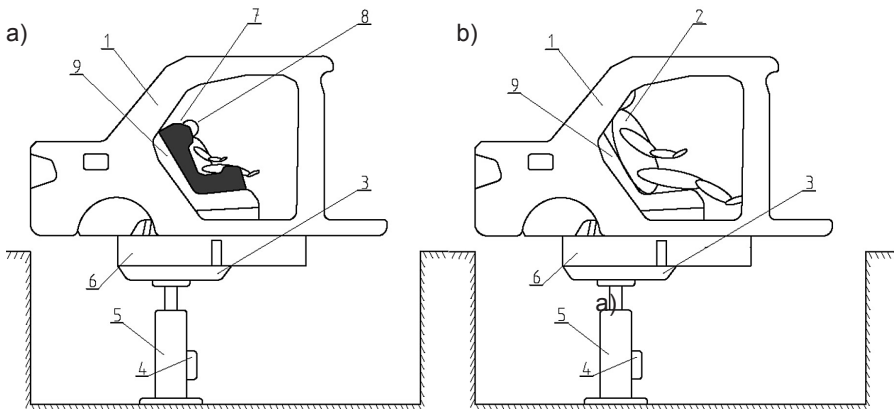
znania i nie ma opracowanych tego typu dokumentów normatywnych. Świadczy to o tym, że kwestią otwartą jest ocena oddziaływania drgań na dzieci, których cechy antropologiczne są inne niż osób dorosłych [2], [3].

W Przemysłowym Instytucie Motoryzacji od kilku lat prowadzone są badania związane z oddziaływaniem drgań na dzieci siedzące w fotelikach podczas jazdy. Wyniki z tych badań opisane np. w pracy [9] oraz w publikacjach [10] i [11] wykazały potrzebę prowadzenia badań eksperymentalnych związanych z oddziaływaniem drgań pionowych na organizm dziecka siedzącego w foteliku, podczas jazdy w samochodzie. Zwrócono uwagę na różnicę oddziaływania drgań pionowych podczas jazdy między dzieckiem, a osobą dorosłą, przy czym poziom oddziaływania tych drgań wcale nie jest korzystny dla dziecka. Stwierdzono także różnice w wynikach uzyskanych z oddziaływania drgań na dziecko w zależności od rodzaju zastosowanego fotelika. Podkreślono także fakt braku badań w tym zakresie.

Celem tej pracy jest przedstawienie wyników (w dziedzinie częstotliwości) uzyskanych podczas badań drgań pionowych oddziałujących na dziecko posadowione w foteliku, z wykorzystaniem sygnału „białego szumu”.

OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

W Przemysłowym Instytucie Motoryzacji opracowano koncepcję, a następnie zbudowano stanowisko do badań oddziaływania drgań na pasażerów siedzących na tylnej kanapie samochodu (dziecko siedzące w foteliku oraz człowieka dorosłego) (rys. 1). Do przeprowadzenia testów wykorzystano manekiny: człowieka dorosłego – HYBRID II (H2) i DZIECKA (D).



Rys. 1. Schemat stanowiska: a) widok posadowionego manekina DZIECKO w foteliku, b) widok posadowionego manekina HYBRID II: 1 – nadwozie, 2 – manekin człowieka dorosłego, 3 – płyta pomiarowa, 4 – serwowawór elektrohydrauliczny siłownika, 5 – siłownik hydrauliczny, 6 – rama mocująca nadwozie, 7 – fotelik, 8 – manekin dziecka, 9 – kanapa tylna

Kompletna tylna część nadwozia samochodu (1) zamocowana jest przy pomocy ramy mocującej (6) do płyty pomiarowej (3) połączonej z siłownikiem hydraulicznym (5), który sterowany jest za pomocą serwozaworu elektrohydraulicznego (4). Nadwozie wyposażone jest w kanapę tylną (9) umożliwiającą posadowienie na siedzisku manekina dziecka (8) w foteliku (7) (rys. 6.1.a) oraz manekina osoby dorosłej (2) (rys. 6.1.b). Podstawowe zalety tak zbudowanego stanowiska to:

- możliwość zamontowania fotelików i posadowienia manekinów tak, jak to miało miejsce w badaniach drogowych,
- możliwość rozmieszczenia czujników pomiarowych w tych samych miejscach tak, jak w przypadku badań drogowych,
- zastosowanie kompletnego fragmentu nadwozia samochodu marki Daewoo typ Lanos, a więc takiego samego jak w badaniach drogowych.

W ten sposób uzyskano połączenie szczególnych cech stanowiska: odtworzenia warunków początkowych takich, jakie były w przypadku badań drogowych w rzeczywistym samochodzie i uzyskanie możliwości powtarzania testów w tych samych warunkach. Dzięki temu wyniki badań stanowiskowych są adekwatne do badań drogowych i można je wzajemnie odnosić.

Na tylnym siedzisku z lewej strony umieszczony był manekin HYBRID II (H2) o masie 75 kg, mocowany za pomocą klasycznych 3-punktowych pasów bezpieczeństwa. Z prawej strony siedziska kanapy tylnej zamocowany był fotelik dziecięcy, w którym posadowiony był manekin DZIECKO (D) o masie 15 kg. Do pomiarów wykorzystano 6 fotelików – 4 foteliki klasyczne typu STANDARD oraz dwa z systemem ISOFIX. W kolejnych seriach pomiarów manekin DZIECKO posadowiony był kolejno na każdym z fotelików. W tej pracy przedstawiono przykładowe wyniki z badań z zastosowaniem fotelika STANDARD (FS) i ISOFIX (FX).

Mocowanie manekina DZIECKO w fotelikach wykonano zgodnie z instrukcjami dołączonymi do tych fotelików. Na rysunkach 2 i 3 pokazano przykładowe



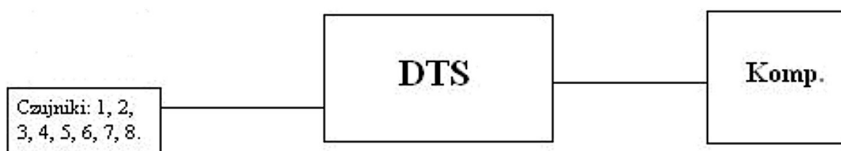
Rys. 2. Fotelik FS standard z manekinem DZIECKO (D) oraz manekin HYBRID II (H2) na stanowisku



Rys. 3. Fotelik FX typu ISOFIX z manekinem DZIECKO (D) oraz manekin HYBRID II (H2) na stanowisku

zamocowanie fotelików: konwencjonalnego (standard) i typu ISOFIX z manekinem DZIECKO oraz posadowionego manekina H2.

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



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

Do pomiarów zastosowano jednoosiowe piezorezystywne czujniki przyspieszenia Brüel&Kjear typ 4574 umieszczone w następujących miejscach:

- czujnik nr 1 – podłoga samochodu (P),
- czujnik nr 2 – manekin HYBRID II głowa (H2G),
- czujnik nr 3 – manekin HYBRID II tors (H2T),
- czujnik nr 4 – manekin HYBRID II miednica (H2B),
- czujnik nr 5 – siedzisko kanap tylnej pod manekinem HYBRID II (K),
- czujnik nr 6 – manekin DZIECKO głowa (DG),
- czujnik nr 7 – manekin DZIECKO miednica (DT),
- czujnik nr 8 – pod fotelikiem manekina DZIECKO (Kf).

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

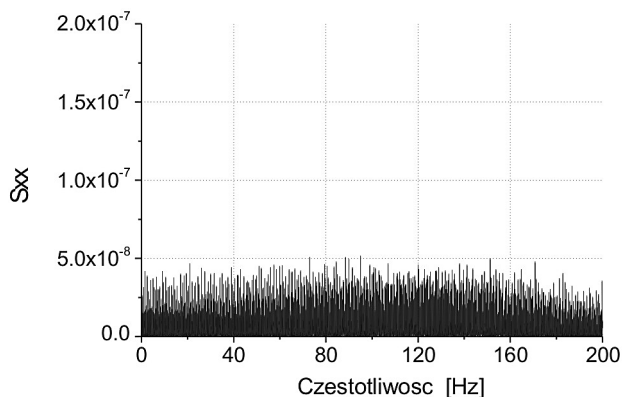
Do badań wykorzystano manekiny, chociaż ideałem byłoby wykonać badania na organizmach żywych, czyli w tym przypadku na osobie dorosłej i dziecku. Jednak jest

to trudne, jeśli nie niemożliwe, do zrealizowania. O ile można sobie wyobrazić udział osoby dorosłej w pewnych rodzajach testów, to udział dziecka w wieku około 3 lat (15 kg masy ciała) jest trudny do wyobrażenia. Ponieważ badania związane z oddziaływaniem drgań na organizm dziecka są obecnie w początkowej fazie rozwoju, a w przypadku dzieci przewożonych w fotelikach dopiero zaczyna dostrzegać się te kwestie, 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 [9]. Badania te były kontynuowane, a ich wyniki są opisane między innymi w [10] i [4]. Należy jeszcze raz podkreślić brak wyników badań dotyczących oddziaływania drgań na organizm dziecka pasadowionego 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.

ANALIZA W DZIEDZINIE CZĘSTOTLIWOŚCI – „BIAŁY SZUM”

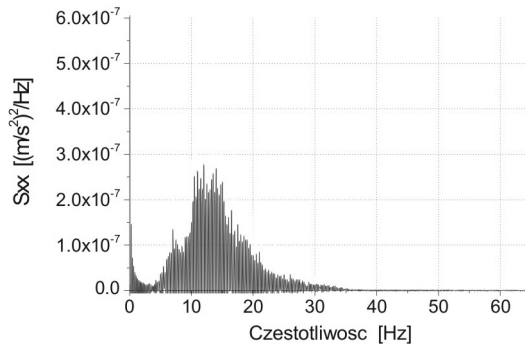
Wszystkie rzeczywiste układy dynamiczne mają skończoną szerokość pasma przenoszenia. Poddając takie układy wymuszeniom w postaci sygnałów losowych o płaskich widmach częstotliwości, których szerokość jest większa od szerokości pasma przenoszenia (biały szum) można dokonać specyficznych analiz.

Wykonano analizę widmową w oparciu o sygnał „białego szumu” (rys. 5) w zakresie częstotliwości 0-200 Hz. W zasadzie jest to quasi „biały szum”. Jako przykładowe zaprezentowano wyniki uzyskane dla fotelika STANDARD - FS i ISOFIX - FX.

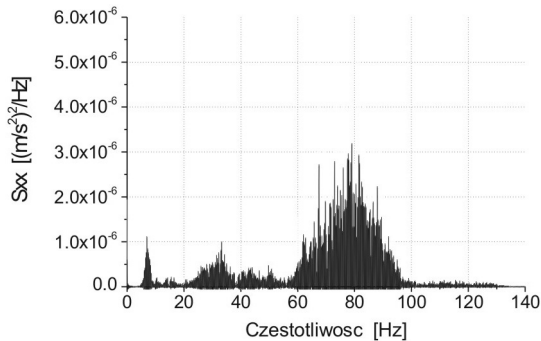


Rys. 5. Zastosowany sygnał „biały szum”

Na rysunku 6 przedstawiono wartości gęstości widmowych mocy (S_{xx}) przyspieszenia pionowego zarejestrowanego na podłodze samochodu P jako odpowiedź na biały szum. Podobnie na rys. 7 pokazano wartości gęstości widmowych mocy (S_{xx}) przyspieszenia pionowego zarejestrowanego na powierzchni siedziska kanapy K. W przypadku podłogi samochodu największe wartości S_{xx} przypadają dla częstotliwości w przedziale 10 do 15 Hz, a powyżej 35 Hz wartości te zanikają. Natomiast dla siedziska kanapy największe wartości S_{xx} przypadają dla częstotliwości w przedziale 75 do 85 Hz. Lokalne wzrosty wartości S_{xx} można zaobserwować dla częstotliwości około 7 Hz i w przedziale 25 do 35 Hz. Powyżej 130 Hz następuje zanikanie wartości S_{xx} . Należy zwrócić uwagę, że wartości S_{xx} dla K są o rząd wielkości większe stosunku do P.

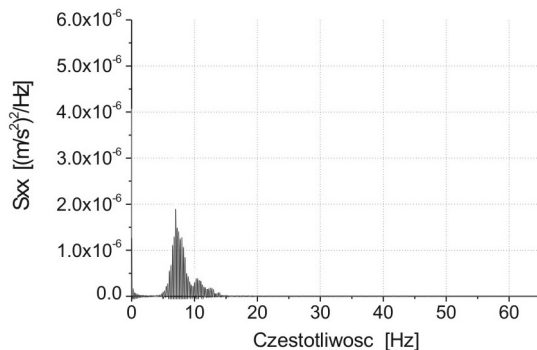


Rys. 6. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku podłogi P

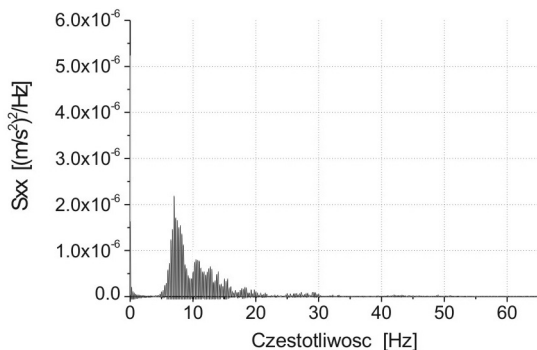


Rys. 7. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku siedziska K

W przypadku H2B i H2G (rys. 8 i 9) największe wartości gęstości widmowych zarejestrowano w przedziale częstotliwości 6 do 8 Hz, przy czym należy zauważyć, że wartości S_{xx} dla H2G zanikają powyżej 14 Hz, dla H2B zaczynają zanikać powyżej 20 Hz.



Rys. 8. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku głowy manekina H2G



Rys. 9. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku biodra manekina H2B

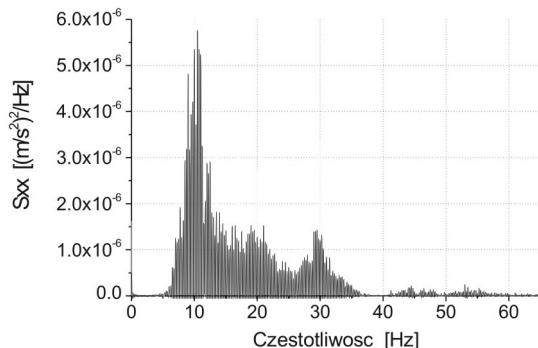
Fotelik FS – „biały szum”

Na rysunkach od 10 do 12 przedstawiono porównanie wartości gęstości widmowych mocy (S_{xx}) przyspieszenia pionowego zarejestrowanych odpowiedzi na „biały szum”: DT, DG i Kf, dla przykładowego testu z fotelikiem FS.

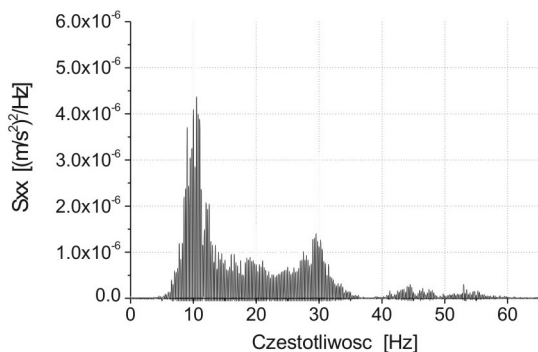
Dla DG i DT największe wartości S_{xx} przypadają dla częstotliwości w przedziale 10-11 Hz. Lokalne wzrosty wartości S_{xx} można zaobserwować dla częstotliwości w przedziale 18-20 Hz i około 30 Hz. Należy zauważyć, że większe wartości S_{xx} zarejestrowano dla DG.

Wyniki pomiarów dla manekina DZIECKO i manekina HYBRID II pokazują, że dla D w stosunku do H2 większe wartości S_{xx} występują dla większych wartości częstotliwości. Świadczy to o tym, że inna jest odpowiedź na biały szum D w stosunku do H2. Również można zauważyć, że w stosunku do P wartości S_{xx} są większe dla H2 i D.

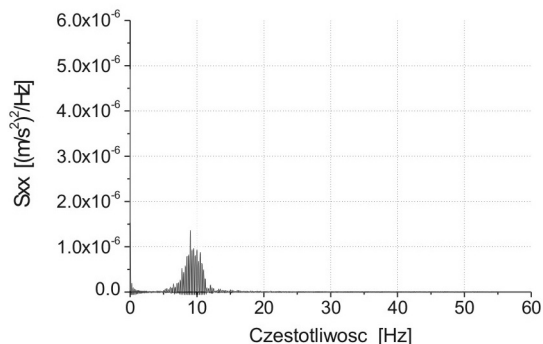
W przypadku sygnału zarejestrowanego dla Kf największe wartości gęstości widmowych występują w przedziale częstotliwości 9 do 11 Hz, przy czym należy



Rys. 10. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku głowy manekina DG dla fotelika FS



Rys. 11. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku tułowia manekina DT dla fotelika FS

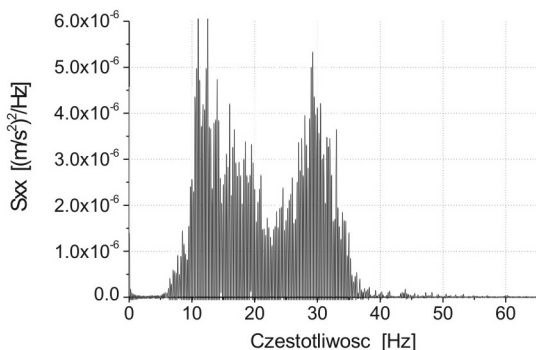


Rys. 12. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku siedziska pod fotelikiem Kf dla fotelika FS

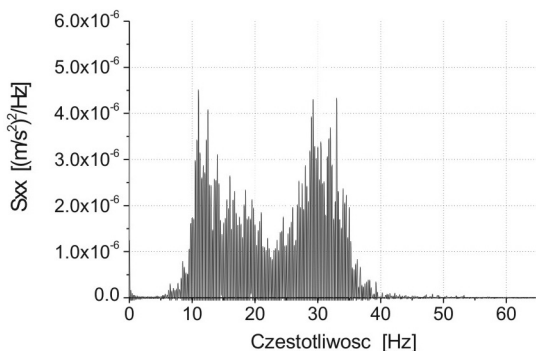
zauważyć, że wartości S_{xx} zaczynają zanikać powyżej 12 Hz. W stosunku do K występują różnice ilościowe i jakościowe. Świadczy to o tym, że inna jest odpowiedź na „biały szum” na powierzchni siedziska w stosunku do powierzchni pod fotelikiem.

Fotelik FX – „biały szum”

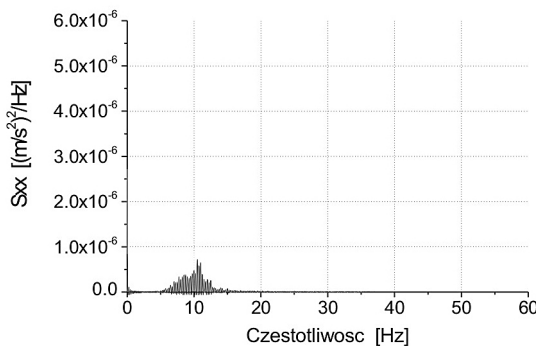
Na rysunkach od 13 do 15 przedstawiono porównanie gęstości widmowych (S_{xx}) przyspieszenia pionowego zarejestrowanych odpowiedzi na biały szum: DT, DG i Kf, dla przykładowego testu z fotelikiem FX.



Rys. 13. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku głowy manekina DG dla fotelika FX



Rys. 14. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku tułowia manekina DT dla fotelika FX



Rys. 15. Charakterystyki odpowiedzi na „biały szum” w przypadku siedziska pod fotelikiem D (Kf) dla fotelika FX

W przypadku DG i DT największe wartości S_{xx} przypadają dla częstotliwości w przedziale 11-12 Hz. Lokalne wzrosty wartości S_{xx} można zaobserwować dla częstotliwości w przedziale 17-18 Hz i w przedziale 29-31 Hz. Należy zauważyć, że większe wartości S_{xx} zarejestrowano dla DG. Porównując dziecko z dorosłym można stwierdzić, że dla D w stosunku do H2 większe wartości S_{xx} występują dla wyższych wartości częstotliwości. Świadczy to o tym, że inna jest odpowiedź na biały szum D w stosunku do H2. Również można zauważyć, że w stosunku do podłogi (P) wartości S_{xx} są większe dla H2 i D. Również jest to zbieżne ze spostrzeżeniami z testów drogowych i wcześniej opisanych wynikami badań stanowiskowych.

W przypadku sygnału zarejestrowanego dla Kf największe wartości gęstości widmowych występują przy częstotliwości 11 Hz, przy czym należy zauważyć, że wartości S_{xx} zaczynają zanikać powyżej 12 Hz. W stosunku do K występują różnice ilościowe i jakościowe. Świadczy to o tym, że inna jest odpowiedź na „biały szum” na powierzchni siedziska w stosunku do fotelika.

PODSUMOWANIE

W dziedzinie częstotliwości dokonano porównań wartości gęstości widmowych mocy S_{xx} sygnałów zarejestrowanych przez czujniki umieszczone w manekinach człowieka dorosłego HYBRID II (H2) oraz DZIECKA (D): H2B (miednica), H2G (głowa), DT (miednica), DG (głowa) oraz na podłodze samochodu (P). Wykonano bezpośrednie porównanie wartości gęstości widmowych mocy, przy czym odniesieniem były:

- podłoga samochodu (P) dla porównań z D i H2,
- manekin H2 do porównań z manekinem D,
- siedzisko kanapy tylnej (K) i powierzchnia pod fotelikiem (Kf) dla porównań z H2 i D.

W wyniku oddziaływania sygnału „białego szumu” na fotelik typu STANDARD (FS) i ISOFIX (FX) można zauważyć, że:

1. Występują różnice jakościowe i ilościowe odpowiedzi na „biały szum” między fotelikami typu FS i FX. Świadczy to o tym, że mamy do czynienia z różnymi układami dynamicznymi. Ponad dwukrotnie większe wartości S_{xx} zarejestrowano dla fotelika typu FX w stosunku do FS, zarówno dla DT, jak i DG.
2. Występują różnice jakościowe i ilościowe odpowiedzi na „biały szum” manekinów D w fotelikach w stosunku do manekina H2. Jednocześnie należy zwrócić uwagę na szerokość pasma przenoszenia: dla H2B 4-30 Hz, dla H2G 4-14 Hz, dla DT 4-60 Hz, dla DG 4-50 Hz. Ma to bezpośredni wpływ na potencjalne zagrożenie związane z absorbowaniem drgań przez dzieci.

3. Inny zakres częstotliwości zarejestrowano dla największych wartości S_{xx} . Dla FS jest to 10-11 Hz (dla DT i DG), a w przypadku FX jest to 11-12 Hz. Podobna tendencja występuje przy lokalnych wzrostach wartości S_{xx} .

Wynika z tego, że występują różnice między fotelikami typu STANDARD i ISOFIX w zakresie odpowiedzi na sygnał białego szumu, a zatem przenoszenia na dziecko amplitud drgań (o określonych częstotliwościach), w tym przypadku o największych wartościach S_{xx} .

LITERATURA

1. Bonnet V. i inni. A structurally optimal control model for predicting and analyzing human postural-coordination. *Journal of Biomechanics*, Vol. 44, 2011, pp. 2123-2128.
2. Giacomini J. Absorbed power of small children. *Clinical Biomechanics* 20, 2005, pp. 372–380.
3. Giacomini J. Some observations regarding the vibrational environment in child safety seats. *Applied Ergonomics*, No 31, 2000, pp. 207-215.
4. Biała księga. Europejska polityka transportowa w horyzoncie do 2010 r.: czas wyborów. Bruksela, 12/09/2001-10-08 COM(2001) 370 (http://www.polloco.pl/pdf/biala_ksiega_pl.pdf).
5. Murphy J. Child Passenger Safety. *Journal of Pediatric Health Care*. Vol. 12, No. 3, 1998, pp. 130-138.
6. Nader M. Modelowanie i symulacja oddziaływania drgań pojazdów na organizm człowieka. *Prace Naukowe Transport, Oficyna Wydawnicza Politechniki warszawskiej*. Warszawa 2001.
7. Rangel S.J. i inni. 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, pp. 200-207.
8. Starr N.B. Kids and Car Safety: Beyond Car Seats and Seat Belts, *Journal of Pediatric Health Care*, Vol. 15 No. 5, 2001, pp. 257-259.
9. 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*.
10. Więckowski D., Wicher J. Bezpieczeństwo i komfort dzieci przewożonych w fotelikach samochodowych, *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 1(77)*, 2010, Politechnika Warszawska, Warszawa 2010, pp.: 77-93.
11. Więckowski D., Wicher J. Wpływ drgań fotelika na komfort podróży dziecka w samochodzie. *Eksploatacja i Niezawodność* 4(48), 2010, pp.: 102-110.
12. ISO 2631 1974 Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration.
13. ISO 2631-1: 1997 Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole – body vibration. Part 1: General requirements.
14. BS 6841; 1987 Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock.

15. ISO 5982: 2001 Mechanical vibration and Shock – Range of idealized values to characterize seated-body biodynamic response under vertical vibration.
16. ISO 7962:1987 Mechanical vibration and Shock – Mechanical transmissibility of the human body in the direction
17. PN-EN 30326-1 2000 Drgania mechaniczne. Laboratoryjna metoda oceny drgań siedzi-ska w pojeździe. Wymagania podstawowe.
18. 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.
19. 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.
20. PN-S-04100: 1991 Drgania. Metody badań i oceny drgań mechanicznych na stanowiskach pracy w pojazdach.
21. PN-N-01352: 1991 Drgania. Zasady wykonywania pomiarów na stanowiskach pracy.
22. PN-N-01353: 1991 Drgania. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań na organizm człowieka przez kończyny górne i metody oceny narażenia.
23. PN-N-01354: 1991 Drgania. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka i metody oceny narażenia.
24. Regulation No. 44, Uniform provisions concerning the approval of restraining devices for child occupants of power-driven vehicles (“child restraint system”).

ANALYSIS OF VERTICAL VIBRATION AFFECTING THE CHILD IN A CAR WITH THE USE OF THE WITE NOISE SIGNAL INPUT

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. Input function as white noise was used on special stand Analysis and conclusion domain of the frequency is presented in the paper.

Key words: child car seat, drive comfort, vertical vibration, white noise.