

PRZEGLĄD MANEKINÓW ANTROPODYNAMICZNYCH WYKORZYSTYWANYCH DO OCENY ODDZIAŁYWANIA DRGAŃ NA SIEDZĄCEGO CZŁOWIEKA (KIEROWCĘ)

ANDRZEJ ZUSKA¹, TOMASZ LECH STAŃCZYK²

Politechnika Świętokrzyska

Streszczenie

W pracy przedstawiono manekiny antropodynamiczne ciała człowieka w pozycji siedzącej, wykorzystywane do analizy komfortu wibracyjnego w pojazdach samochodowych. W pierwszej części pracy dokonano przeglądu struktur, parametrów i rozwiązań konstrukcyjnych wybranych manekinów antropodynamicznych. Zwrócono uwagę na warunki badań, w jakich manekiny mogą być wykorzystywane (zakresy częstotliwości, rodzaje wymuszeń) oraz możliwości regulacji ich parametrów masowych, sprężystych i tłumiących.

W części drugiej przedstawiono wyniki symulacyjnych badań eksperymentalnych przeprowadzonych dla zbudowanego w Katedrze Pojazdów Samochodowych i Transportu manekina KPST w zestawieniu z przebiegami transmitancji przyspieszeń osoby o strukturze masowej, zbliżonej do struktury masowej manekina.

Słowa kluczowe: manekin antropodynamiczny, komfort wibracyjny

1. Wstęp

Prawidłowa konstrukcja fotela samochodowego powinna zapewniać potencjalnym użytkownikom między innymi komfort wibracyjny.

Ocena przenoszenia wibracji przez fotel może być prowadzona z wykorzystaniem metod: badań w warunkach rzeczywistych (droga, poligon) lub symulacji fizycznej (na stanowiskach).

Na podstawie przeglądu literatury i przeprowadzonych w Katedrze Pojazdów Samochodowych i Transportu badań mających na celu ocenę rozprzestrzeniania się drgań

¹ Politechnika Świętokrzyska, Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: a.zuska@tu.kielce.pl

² Politechnika Świętokrzyska, Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: stanczyk@tu.kielce.pl

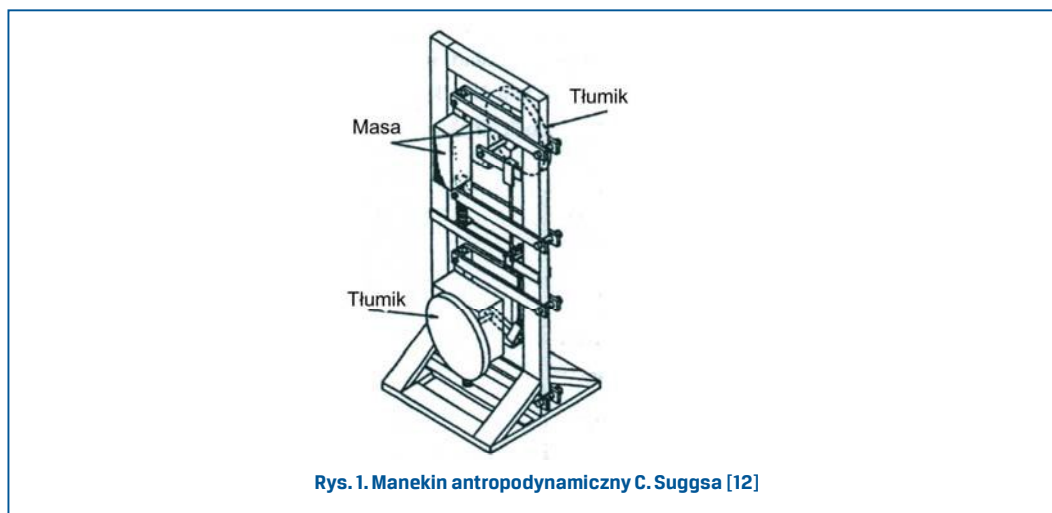
w organizmie siedzącego człowieka, stwierdzono, iż prowadzenie badań komfortu wibracyjnego z udziałem ludzi stwarza problemy z powtarzalnością uzyskiwanych wyników. Pierwszą tego przyczyną jest bardzo duże zróżnicowanie cech dynamicznych poszczególnych ludzi, nawet z bardzo wąskiego przedziału wiekowego[14]. Drugą przyczyną – to zmieniana w trakcie badań postawa badanych osób (swobodna, napięta, wyprostowana itd.), w wyniku znużenia lub zmęczenia fizycznego.

Alternatywną propozycją w badaniach nad oceną komfortu wibracyjnego foteli jest zastąpienie człowieka manekinem antropodynamicznym. Eliminowane są wówczas wyżej wymienione przyczyny problemów z powtarzalnością wyników. W niniejszym opracowaniu przedstawiono możliwości wykorzystania manekinów antropodynamicznych w ocenie oddziaływania drgań na siedzącego człowieka.

2. Manekiny antropodynamiczne siedzącego człowieka

2.1. Antropodynamiczny manekin C. Suggsa

Zasadniczymi elementami tego manekina, przedstawionego na rysunku 1, są dwie połączone masy umieszczone po przeciwnych stronach ramy. Podstawą manekina jest płyta, odwzorowująca pośladki, która jednocześnie zapewnia prawidłowe umieszczenie manekina na fotelu. Badania foteli z wykorzystaniem tego manekina prowadzono przy sinusoidalnym wymuszeniu o amplitudzie 4,8 mm, częstotliwości od 2 do 10 Hz., co odpowiada przyspieszeniu 0,75 – 18,8 m/s² działającym na podstawę fotela [12].



Rys. 1. Manekin antropodynamiczny C. Suggsa [12]

2.2. Antropodynamiczny manekin J. Kinne'a i R. Melzig-Thiel'a

Zasadniczymi elementami manekina zbudowanego przez Kinne'a i Melzig-Thiel'a (rys. 2) były: tłumik o zmiennym współczynniku tłumienia, sprężyna o odpowiedniej sztywności

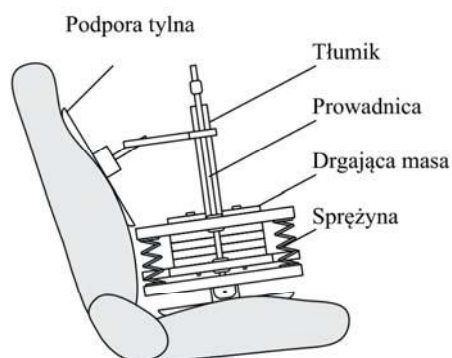
i wahacz redukujący drgania głównej masy tylko do kierunku pionowego. Konstrukcja manekina umożliwia ponadto skokową regulację jego masy odpowiednio do 55 kg, 75 kg i 98 kg [10], [11]. Statystyczny rozrzut wyników jakie uzyskano w badaniach, w trakcie których na fotelu siedział człowiek, wyniosły 20% i zmniejszyły się do 10%, gdy człowieka zastąpiono opracowanym manekinem.



Rys. 2. Badanie fotela samochodowego z wykorzystaniem manekina [4]

2.3. Antropodynamiczny manekin N. Mansfielda, M. Gryffina

Manekin antropodynamiczny zbudowano w oparciu o model o jednym stopniu swobody, odwzorowujący pionowe przyspieszenia działające na siedzącego człowieka. Składa się on z pary precyzyjnie wykonanych stalowych wałków (prowadnic), po których porusza się pionowo 46- ściokilogramowa masa. Drgająca masa połączona jest z ramą manekina tłumikiem. Pomiedzy drgającą masą a aluminiową płytą umieszczono cztery sprężyny o łącznej sztywności 50176 N/m. Tylna podpora dopasowana do kształtu oparcia fotela zabezpiecza manekina przed wzdłużną utratą stateczności [7].

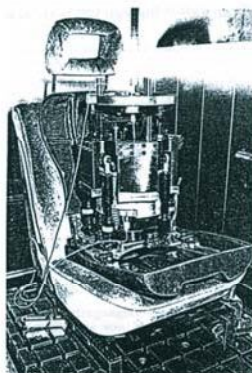


Rys. 3. Manekin antropodynamiczny opracowany przez N. Mansfielda i M. Griffina [7]

2.4. Antropodynamiczne manekiny Memosik

W budowie tego manekina wykorzystano informację o impedancji zmierzonej pod pośladkami siedzącej osoby oraz transmitancji przyspieszeń głowa – siedzisko. Na podstawie tych charakterystyk, wyznaczono częstotliwości drgań własnych, jak również odpowiadające im modalne stopnie tłumienia.

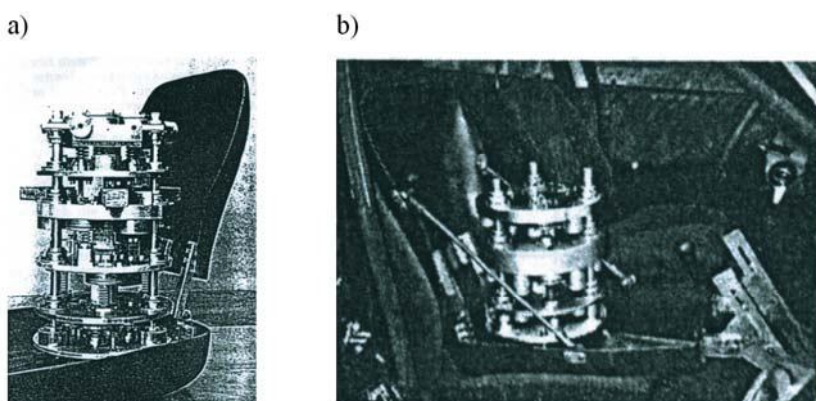
Manekin **Memosik I** (rys. 4) może być umieszczany na fotelu bez stosowania jakichkolwiek dodatkowych uchwytów, gdyż niskie położenie jego środka ciężkości i odpowiednio ukształtowana podstawa zabezpieczają go przed utratą stateczności. Konstrukcja zapewnia łatwy dostęp do wszystkich mas, tłumików i sprężyn, co z kolei umożliwia łatwą ich regulację. Manekin ten pracował bez zarzutu przy częstotliwości wymuszającej od 1 do 50 Hz [5].



Rys. 4. Manekin antropodynamiczny Memosik I[5]

Ponieważ pomiar komfortu jazdy w samochodach osobowych jest przeprowadzany w znacznie mniejszym zakresie częstotliwości, na bazie manekina Memosik I zbudowano manekina **Memosik II** (rys. 5a), w którym zastosowano inny rodzaj tłumików. Memosik II jest manekinem przeznaczonym do badań w zakresie częstotliwości od 0,5 do 30 Hz [6]. Kolejnym krokiem w rozwoju manekina (Memosik III) było ograniczenie jego liczby drgających mas z 5 do 3 (rys. 5b).

Podstawowym elementem antropodynamicznego manekina **Memosik IV** (rys. 6) jest aluminiowa płyta do której przymocowane są za pomocą specjalnych uchwytów trzy pionowe prowadnice i moduł tłumiący drgania. W masach: głównej oraz w drugiej dodatkowej, umieszczone są łożyska liniowe, które umożliwiają prawidłowe przesuwanie się drgającej masy po prowadnicach. Pomiędzy główną masą a aluminiową płytą zamocowano sprężyny śrubowe. Dla odwzorowania 50-cio i 95-cio centylowej osoby służą dwie dodatkowe masy. Dwa sworznie łączące przegubowo aluminiową płytę z podstawą manekina dają możliwość kątowej regulacji zespołu drgającego [1], [2].



Rys. 5. Manekin antropodynamiczny: a) Memosik II [6], b) Memosik III [3]



Rys. 6. Aktywny manekin antropodynamiczny (Memosik IV) umieszczony na fotelu [13]

Kolejny model **Memosik V** (rys. 7) jest manekinem aktywnym, który został zbudowany na bazie modelu biernego poprzez rozbudowanie go o system sterujący. Odpowiednio ukształtowana pod względem anatomicznym podstawa i oparcie zapewniają prawidłowe usytuowanie manekina na fotelu samochodowym. Memosik V umożliwia przeprowadzenie powtarzalnych pomiarów drgań w trzech kierunkach: x, y i z. W tylnym oparciu manekina zamocowano tzw. sztuczny kręgosłup, który odwzorowuje sztywność ludzkiego kręgosłupa. Dostosowanie manekina do trzech standardowych masowych percentyli (F05 – 5%, M50 – 50% i M95-95%) następuje poprzez dodawanie lub odejmowanie odpowiednich obciążników [8].



2.5. Antropodynamiczne manekiny KPST

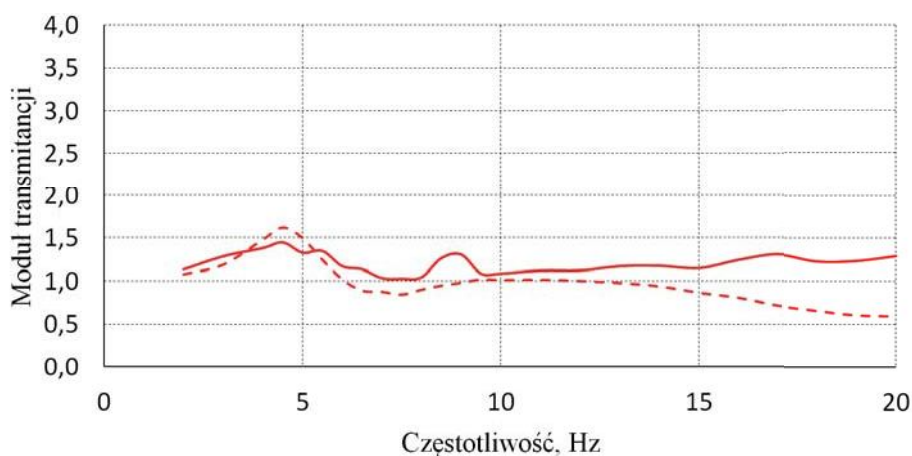
Manekin antropodynamiczny KPST został zbudowany w Katedrze Pojazdów Samochodowych i Transportu Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach [14]. Przedstawiony na rysunku 8 manekin antropodynamiczny zbudowano na podstawie modelu o czterech stopniach swobody, który odwzorowuje rozprzestrzenianie się pionowych drgań do trzech zasadniczych obszarów ciała siedzącego człowieka.

W manekinie, za pomocą czterech mas, odwzorowano cztery wyodrębnione obszary ciała człowieka: masa m_1 odpowiada masie głowy, masa m_2 odpowiada masie obręczy barkowej wraz z klatką piersiową i jej narządami wewnętrznymi oraz ramionami, masa m_3 odpowiada masie narządów wewnętrznych jamy brzusznej wraz z przeponą i powłoką jamy brzusznej, masa m_4 odpowiada masie kręgosłupa wraz z miednicą i udami oraz przedramionami i rękami.



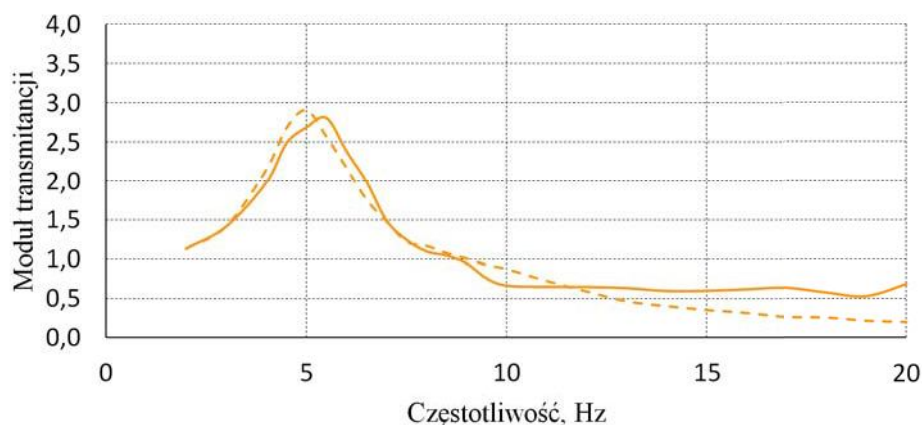
3. Ocena oddziaływania drgań na organizm siedzącego człowieka z użyciem manekina antropodynamicznego KPST

Wyniki symulacyjnych badań eksperymentalnych z wykorzystaniem zbudowanego manekina porównano z przebiegami median transmitancji przyspieszeń 80 osób o średniej masie odpowiadającej masie manekina (79 kg) (rys. 9, 10, 11).



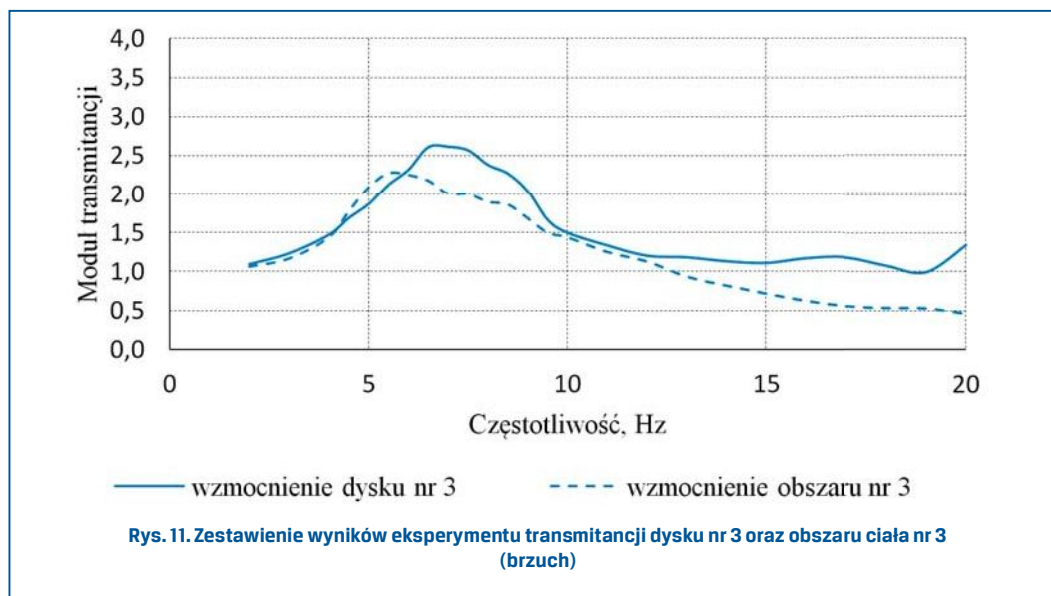
— wzmacnienie dysku nr 1 - - - wzmacnienie obszaru nr 1

Rys. 9. Zestawienie wyników eksperymentu transmitancji dysku nr 1 oraz obszaru ciała nr 1 (głowa)



— wzmacnienie dysku nr 2 - - - wzmacnienie obszaru nr 2

Rys. 10. Zestawienie wyników eksperymentu transmitancji dysku nr 2 oraz obszaru ciała nr 2 (klatka piersiowa)



Największą zgodność zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym wykazują przebiegi transmitancji przyspieszeń masy m_2 i dysku nr 2. Z przebiegów tych transmitancji widać, że największe wzmocnienie przyspieszeń występuje odpowiednio w częstotliwości 5,5 Hz i 5,0 Hz. Różnica wartości maksymalnych wzmocnień dla tych charakterystyk wynosi 3,3%.

Z przebiegów transmitancji obszaru nr 1 i dysku nr 1 wynika, że największe wzmocnienie dla obydwu przebiegów występuje dla tej samej częstotliwości rezonansowej wynoszącej 4,5 Hz. Różnica wartości wzmocnień dla tej częstotliwości wynosi 10,6%. W tym przypadku charakterystyki mają zbliżone przebiegi w przedziale od 3 do około 12 Hz. Powyżej tej częstotliwości charakterystyki zaczynają się coraz bardziej różnić.

Najmniejszą zgodność wykazują przebiegi transmitancji obszaru nr 3 i dysku nr 3. Największe wzmocnienie dla obydwu przebiegów występuje w różnych częstotliwościach rezonansowych przesuniętych względem siebie o 1,5 Hz. Natomiast różnica między maksymalnymi wartościami wzmocnień wynosi 15%. W tym przypadku charakterystyki wykazują największą zgodność w dwóch przedziałach od 1 do 6 Hz oraz w przedziale od 9 do 12,5 Hz.

4. Podsumowanie

Struktura manekinów antropodynamicznych służących do badania komfortu wibracyjnego powinna odpowiadać strukturze człowieka siedzącego, z uwzględnieniem analizowanych obszarów ciała, dla których prowadzone będą badania eksperymentalne.

Wyniki przeprowadzonych badań eksperymentalnych wskazują, iż w manekinie należy wyróżnić przynajmniej trzy obszary ciała człowieka, gdyż każdy z nich charakteryzuje się inną częstotliwością rezonansową oraz różnymi poziomami wzmocnienia przyspieszeń. Sugeruje to, że zadawalająco dobre odwzorowanie dynamicznej reakcji ciała człowieka zapewni manekin o czterech stopniach swobody, w którym wyodrębnione zostaną: głowa, klatka piersiowa oraz brzuch. Strukturę taką, która uwzględnia te obszary ciała, posiada MEMOSIK II oraz manekin KPST. Należy pamiętać, że liczba stopni swobody manekina musi być kompromisem między chęcią jak najdokładniejszego odwzorowania struktury ciała człowieka a silnymi ograniczeniami konstrukcyjnymi, pojawiającymi się przy budowie manekina.

Kierowanie pojazdem zwykle wymusza różne postawy (opieranie się o oparcie, pozycja siedząca wyprostowana lub zgarbiona). Wykorzystanie manekinów, w których nie uwzględniono wyżej wymienionych warunków do badań układu fotel – kierowca, jest wątpliwe.

Powyższe manekiny, poza nielicznymi wyjątkami, dają możliwość korygowania (dostosowywania) struktury masowej oraz parametrów sprężystych i tłumiących. Odpowiednie zestawy obciążników, elementów tłumiących i sprężystych umożliwiają odwzorowanie przez manekina antropodynamicznego pionowej dynamiki osób o różnej budowie ciała.

Literatura

- [1] CULLMANN, A., WÖLFEL L. H. P.: *Design of an active vibration dummy of sitting man*. Clinical Biomechanics 16 Suppl. No. 1, 2001.
- [2] CULLMANN A.: *Ein aktiver Schwingungsdummy des sitzender Menschen*. Fortschritt – Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 492, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2002.
- [3] CULLMANN A.; WÖLFEL, H. P.: *Komfortbewertung und Sitzprüfung mittel des Schwingungsdummys MEMOSIK*. Fachtagung, Haus der Technik, Essen, 1998.
- [4] FISCHER S.: *Dynamic dummy for the testing of drivers' seats*. No. 0224, Focus on BGIA's Work, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA; im Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften – HVBG, Augustin, Germany, 2005.
- [5] KNOBLAUCH J.: *Entwicklung und Bau eines physikalischen Schwingungsmodells des sitzenden Menschen*. Dissertation, Shaker Verlag, 1992.
- [6] KNOBLAUCH J., WÖLFEL H. P., BUCK P.: *Ein Schwingungsdummy des sitzenden Menschen*. ATZ 97, Nr. 10, 1995.
- [7] MANSFIELD N. J., GRIFFIN, M. J.: *Vehicle seat dynamics measured with an anthropodynamic dummy and human subjects*. Proceedings of Inter-noise 96, Liverpool UK, 1996.
- [8] MOZZAFFARIN A., PANKOKE S., WÖLFEL H. P.: *MEMOSIK V – An active dummy for determining three-directional transfer functions of vehicle seats and vibration exposure ratings for the seated occupant*. International Journal of Industrial Ergonomics 38, 2008.
- [9] MOZZAFFARIN A., PANKOKE S.: *MEMOSIK V: Development and application of an active three-dimensional dummy for measuring vibration comfort on vehicle seats*. American Conference on Human Vibration, Proceedings, June 4–6, 2008.
- [10] RICHTER B., WERDIN S.: *Überarbeitung der Konstruktion und Bau von mechanischen Schwingungsmodellen des sitzenden Menschen*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Abschlußbericht F 1687, 1998.
- [11] RIEDEL S.: *Erprobung neuentwickelter Schwingungsmodelle des sitzenden Menschen mittels Round – Robin – Test*. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Forschung.

- [12] SUGGS C. W., STIKELEATHER L. F.: *Application of a Dynamic Simulator in Seat Testing*. American Society of Agricultural Engineers, 1969.
- [13] WÖLFEL H. P.: *Numerical models and hardware dummies for simulating whole body vibration of human – an overview*. Proceedings of the First American Conference on Human Vibration, West Virginia, U.S.A., DHHS (NIOSH) Publication No. 2006-140, June, 2006.
- [14] ZUSKA A.: *Modelowanie i analiza dynamiki układu fotel-kierowca*. Rozprawa doktorska. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2012.