

WPŁYW DRGAŃ FOTELIKA SAMOCHODOWEGO NA KOMFORT PODRÓŻOWANIA DZIECKA W SAMOCHODZIE

INFLUENCE OF VIBRATIONS OF THE CHILD SEAT ON THE COMFORT OF CHILD'S RIDE IN A CAR

Wartykuł przedstawia zjawiska związane z przenoszeniem drgań pionowych działających na osobę dorosłą i dziecko podczas jazdy samochodem. Analizę wykonano ze względu na szkodliwość drgań i wygodę jazdy. W przypadku dzieci tematyka ta wciąż jest w początkowej fazie rozpoznania. Wykorzystano pomiary drgań samochodu z manekinami reprezentującymi osobę dorosłą i dziecko siedzące w foteliku z systemem mocowania „standardowym” oraz ISOFIX. Pomiary przyspieszeń wykonano w wybranych punktach samochodu i manekinach. Do analizy wykorzystano wskaźniki opisujące oddziaływanie drgań na człowieka.

Słowa kluczowe: drgania, dzieci, foteliki samochodowe, komfort.

The phenomena related to the transmission of vertical vibrations to an adult and a child when riding a car have been presented in this paper. The analysis was focused on the adverse effects of the vibrations and on the ride comfort. For children, the studies on these issues are still at an early stage. The work was done with the making use of vehicle vibration measurements with test dummies representing an adult and a child riding in a STANDARD seat and a seat provided with the ISOFIX fixing system. The accelerations were measured at selected points of the car and the dummies. For the analysis, indices describing the human exposure to vibrations were used.

Keywords: vibrations, children, child safety seats, comfort.

1. Wprowadzenie

Największe zagrożenia dla człowieka, wywołane oddziaływaniem drgań związanych z ruchem pojazdów występują w transporcie samochodowym [13]. Kierowca i pasażer samochodu oceniają dyskomfort jazdy na podstawie oddziaływujących na nich przyspieszeń. Szkodliwe dla człowieka oddziaływanie drgań generowanych przez wszystkie środki transportu zależy głównie od amplitud i częstości drgań. Miarą zagrożenia jest najczęściej fakt przekroczenia pewnego wyznaczonego doświadczalnie dopuszczalnego poziomu. Istotny jest też czas trwania tego zjawiska, szczególnie w sytuacji, gdy zwiększa się ilość czasu, jaki ludzie spędzają podróżując samochodami. Dlatego bardzo ważna dla użytkowników pojazdów jest jakość foteli samochodowych.

Drgania podczas jazdy mogą być przyczyną powstawania u ludzi licznych objawów patologicznych ze strony układu pokarmowego, bólów okolicy lędźwiowo-krzyżowej i odcinka szyjnego kręgosłupa, występowania kifozy i lordozy¹ kręgosłupa, bólów stawowych i mięśniowych, objawów błędnikowych (choroba lokomocyjna), bólów głowy. Mogą również przyczyniać się do ograniczenia sprawności ruchowej, zdolności widzenia, swobodnego porozumiewania się, osłabienia procesów pamięciowych, postrzegania [14]. Stosunkowo szeroko opisane jest zagadnienie wpływu drgań na organizm ludzi dorosłych, o czym świadczą liczne akty normatywne [S1–S12]. Natomiast w przypadku dzieci tematyka ta wciąż jest w początkowej fazie rozpoznania.

¹ **Kifoza** – wygięcie kręgosłupa skierowane wypukłością łuku w stronę grzbietową (do tyłu). Występuje fizjologicznie w odcinku piersiowym i krzyżowym. **Lordoza** – łukowate wygięcie kręgosłupa w stronę brzuszную (do przodu) w linii strzałkowej. Występuje fizjologicznie w odcinku szyjnym i lędźwiowym.

Introduction

The biggest dangers arising from human exposure to vibrations caused by vehicle movement occur in automotive transport [13]. The driver and passenger of a car assess the ride discomfort on the grounds of the accelerations to which they are exposed. The harmful effects of vibrations generated by any transport facilities on the human body chiefly depend on the vibration amplitude and frequency. In most cases, a measure of the danger is based on the fact whether the vibration volume exceeds a specific limit that is determined experimentally. Important is also the duration of exposure, especially in the situation of increasing amount of time spent by people when riding cars. For these reasons, the quality of car seats is very important for car users.

The vibrations experienced during vehicle ride may cause a variety of pathological symptoms arising in people such as alimentary system disorders, pains in the lumbosacral region and in the cervical spine section, or the occurrence of kyphosis and lordosis,¹ joint and muscular pains, labyrinth disorders (travel sickness), or headaches. The adverse health effects may also include reduced motion control, blurred vision, or impairment of the ability of free communication, memory processes, or perception [14]. The issue of the influence of vibrations on adult people's bodies has been relatively well described, which is reflected in numerous normative acts [S1–S12]. For children, however, the studies on these issues are still at an early stage.

¹ **Kyphosis:** Abnormal curvature of the vertebral column with the convexity being directed towards the dorsum (backwards). Normally, such a curvature is present in the thoracic and sacral sections of the spine. **Lordosis:** Abnormal arched curvature of the vertebral column towards the ventral part of the body (forwards). Normally, such a curvature is present in the cervical and lumbar sections of the spine.

Najbezpieczniejszym sposobem podróżowania dzieci w samochodach jest ich przewożenie w fotelikach samochodowych, które powinny być dopasowane zarówno do ciężaru jak i wymiarów dziecka. Wymiary fotelika są bardzo ważne, ponieważ szybkie antropometryczne zmiany wymiarów ciała małych dzieci wymagają dobrego dopasowania. Niestety system klasyfikacji fotelików odnosi się jedynie do wieku i ciężaru dziecka, a nie do wymiarów.

Badania homologacyjne dotyczące fotelików dziecięcych skoncentrowane są głównie na ocenie zabezpieczenia przed szkodliwymi skutkami zderzeń [S12]. Niestety nie obejmują one badań dotyczących wpływu drgań, szczególnie występujących podczas „normalnej” jazdy, na organizm dziecka. Jest to szczególnie ważne z uwagi na fakt, że organizm dziecka jest znacznie mniej odporny na szkodliwe oddziaływania w porównaniu z organizmem człowieka dorosłego. Występuje to głównie podczas długiej podróży, w której biorą udział również dzieci siedzące wiele godzin w foteliku samochodowym.

W ostatnim okresie, co raz bardziej zwraca się uwagę na przewożenie dzieci w fotelikach samochodowych. Dotyczy to szczególnie przejazdów na długich dystansach. Jednocześnie, coraz częściej nawiązuje się do aspektów medycznych związanych z przewożeniem dzieci w samochodach [12, 16, 18]. W pracy [16] wykazano alarmujący trend dotyczący posadowienia dzieci w samochodzie. Okazało się, że 80% dzieci podczas wykonywania badań, było nieprawidłowo zapięta. Zwrócono uwagę na złożony aspekt problemu: szybkość „mocowania” dziecka w samochodzie, a prawidłowe użycie zapięcia. Z kolei w pracy [18] stwierdzono, że tylko około 6% dzieci (w odpowiednim wieku) jest właściwie zapoznana w zakresie prawidłowego korzystania z nakładki na siedzenie. Podobne spostrzeżenia dotyczące nieprawidłowego posadowienia dzieci w samochodzie zawarte są w pracy [12]. Zwrócono tu szczególną uwagę na te kwestie nieprawidłowego posadowienia dziecka w samochodzie jako ewentualnej przyczyny przypadków śmiertelnych.

Wiele uwagi poświęca się zagadnieniu „ulepszania” charakterystyk foteli samochodowych skutecznie podnoszących komfort jazdy [7, 9]. Również dotyczy to fotelików dziecięcych [1, 15, 19]. I tak w pracy [1] autor w oparciu o wykonane badania eksperymentalne zasugerował, że dziecko ma inne częstotliwości rezonansowe ciała w porównaniu z człowiekiem dorosłym. W pracach [15] i [19] zaprezentowano pewne szczególne spojrzenie na foteliki. Autor pracy [15] opisuje porównanie dwóch typów fotelików (ISOFIX i Standard) pod kątem zmniejszenia potencjalnych uszkodzeń bezpośrednich dzieci przewożonych w fotelikach. Z kolei w pracy [19] autor opisuje kwestie ulepszenia konstrukcji fotelików z punktu widzenia ochrony dziecka przed skutkami wypadku drogowego.

W projektowaniu fotelików dziecięcych najwięcej uwagi poświęcono zapewnieniu bezpieczeństwa podczas zderzenia, ponieważ jest to ich główna funkcja [2, 3]. Na tym zagadnieniu skoncentrowane są również badania homologacyjne fotelików dziecięcych. Brak jest procedur związanych z badaniem drgań

Wpływ szkodliwego oddziaływania drgań i ocena komfortu jazdy małych dzieci, których cechy antropologiczne są inne niż osób dorosłych są podejmowane przez nieliczne ośrodki badawcze. Jednym z nich jest zespół prowadzący badania na Wydziale Mechanicznym Uniwersytetu w Sheffield w Anglii kierowany przez J. Giacomina, np.: [5-8]. W ramach wykonywanych prac opisano zagadnienia dotyczące „ulepszania” charakterystyk foteli samochodowych podnoszących komfort

For a child to travel in the safest way, the child should be transported in a safety seat that should be properly fitted to both the child's weight and dimensions. The seat dimensions are particularly important because quick anthropometric changes of small children's body dimensions require that the seat should always be carefully fitted to the specific child to be transported.

Alas, the seat classification system merely refers to child's age and weight rather than dimensions.

The type approval tests of child safety seats are chiefly focused on the evaluation of protection from harmful collision effects [S12]. Regrettably, they do not include tests to determine the influence of vibrations, especially those occurring during “normal” ride, on the child's body. This is particularly important because the child's body is much more susceptible to harmful impacts in comparison with the body of an adult. The problem chiefly occurs during long travels with participation of children spending many hours in safety seats.

Recently, increasing attention has been paid to the transportation of children in safety seats. This particularly applies to long-distance travels. Simultaneously, more and more often reference is made to the medical aspects related to the transportation of children in cars [12, 16, 18]. An alarming trend in the seating of children in cars was shown in [16]. It was found during the tests that 80% of the children were improperly restrained. Attention was drawn to the complex nature of the issue of quick “fixing” of a child in a car vs. correct use of the fastener system. In turn, it was revealed in [18] that as little as about 6% of children (appropriately aged) were adequately acquainted with the correct method of using the booster seat. Similar findings regarding the incorrect seating of children in cars were presented in [12]. Particular attention was directed there to the fact that incorrect seating of a child in a car may become a reason for fatal injuries during accidents.

Much attention was devoted to the issue of the “improving” of characteristics of car seats for the ride comfort level to be effectively raised ([7, 9]). This also applies to child safety seats ([1, 15, 19]). So, the author of [1] suggested, based on experiments carried out, that the body resonance frequencies of children differ from those of adults. In [15] and [19], some special look at child safety seats was presented. The author of [15] compared two types of the seats (ISOFIX and STANDARD) in terms of reduction of the possibility of direct bodily injuries to children transported in safety seats. In [19], on the other hand, the author covered the issues related to improvements to the design of safety seats from the point of view of child protection from the effects of a road accident.

In the field of design of child safety seats, most effort was made to ensure safety during a collision because this is the main function of such seats ([2, 3]). This is also the main focus of the type approval tests of child safety seats. Meanwhile, there are no procedures dedicated to vibration testing.

Studies on the adverse effects of vibrations and on the evaluation of ride comfort with respect to small children whose anthropological characteristics differ from those of adults are undertaken by very few research centres. One of them is a team carrying out research work at the Department of Mechanical Engineering of the University of Sheffield and headed by J. Giacomina ([5-8]). Within the work done by that team, some issues related to the “improving” of characteristics of car seats in order to raise the level of ride comfort were described [7]. Paper [6] provides description of the first research work

jazdy [7]. Natomiast w pracy [6] omówiono pierwsze badania dziecka siedzącego, oparte na pomiarze drgań powierzchni siedziska, na którym posadowione jest to dziecko. W pracy [8] autorzy opisali wykorzystanie niektórych globalnych miar (opartych na przebiegu przyspieszenia w funkcji czasu) do oceny komfortu jazdy. Na podstawie przeprowadzonych badań wskazują, że dla częstotliwości drgań ograniczonych krzywą W_d [S1, S2] występuje dobra korelacja między VDV (Vibration Dose Value) (2) i odczuciami subiektywnymi ludzi, a dla wartości skutecznej rms (root mean square) (1) występuje słaba korelacja z subiektywnymi odczuciami. Jednocześnie autorzy sugerują, że dla niskich częstości drgań wskaźniki rms i VDV będą przeszacowywać subiektywne odczucia dyskomfortu ludzi. Z kolei w pracy [5] autor zwraca uwagę, że nie było jeszcze prezentowane zagadnienie mocy pochłaniania drgań (absorber power) dla grup innych niż ludzie dorośli. Stwierdzono też, że średnia częstość drgań mocy pochłanianej dla dzieci wynosi około 7,4 Hz, w odróżnieniu dla dorosłych (4-5) Hz.

Uzyskane przez J. Giacomina i jego zespół wyniki badań potwierdzają, że ocena oddziaływania drgań i komfortu jazdy małych dzieci przewożonych w fotelikach samochodowych jest nadal sprawą otwartą.

Podjęcie problematyki oddziaływania drgań na organizm dziecka podczas jazdy samochodem jest głęboko uzasadnione zarówno z punktu widzenia naukowego rozpoznania tej tematyki, jak i praktycznych skutków oddziaływania. Zapewnienie możliwie małego obciążenia wywołanego drganiami jest ważnym zadaniem dla konstruktorów pojazdów i fotelików dziecięcych. Przy czym należy mieć na uwadze, że zbudowanie pojazdu „dobrego” pod kątem komfortu jazdy w zakresie drgań nie zapewnia równocześnie „optymalnych” własności jezdnych w zakresie bezpieczeństwa [17].

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących oddziaływania drgań pionowych (jako głównego kierunku działania drgań) na dziecko przenoszonych przez fotelik podczas jazdy samochodem. Badania przeprowadzone były w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji (PIMOT).

2. Cel badań

Głównym Celem badań było wykonanie pomiarów i analiza drgań działających na dziecko siedzące w foteliku samochodowym i na osobę dorosłą.

Miary dopuszczalnych wartości drgań działających na dorosłego człowieka były intensywnie badane i opublikowane w normach International Standards Organization ISO 2631-1 [S2] and British Standards BS 6841 [S1]. Niestety nie ma odpowiednich norm dla dzieci. Dlatego oceny były przeprowadzone poprzez porównanie wskaźników drgań działających na dziecko i dorosłego człowieka.

W eksperymentach był użyty manekin HYBRID 3 reprezentujący osobę dorosłą i manekin 3-letniego dziecka (15 kg) zwany dalej DZIECKO (rys. 1a).

Dla manekina DZIECKO były użyte dwa rodzaje fotelików: standardowy oraz fotelik z systemem mocowania ISO-FIX² (rys. 1b).

on a child in the sitting position, based on vibration measurements at the seat surface on which the child is seated. In [8], the authors described the use of some global measures (based on acceleration time histories) for the evaluation of ride comfort. Based on tests carried out, they indicated that for the vibration frequencies limited by curve W_d ([S1], [S2]), good correlation could be observed between VDV (Vibration Dose Value) [2] and subjective people's feelings while the correlation between rms (root mean square) [1] and the subjective feelings was weak. Simultaneously, the authors suggested that for low vibration frequencies, both the rms and VDV indices would cause overestimation of the subjective people's feeling of discomfort. On the other hand, the author of [5] pointed out that the issue of absorbed power of vibrations had not been presented until then for groups other than the adults. In addition to this, the mean vibration frequency of the absorbed power was found to be about 7.4 Hz for children as against 4-5 Hz for adults.

The investigation results obtained by J. Giacomini and his co-workers confirm that the evaluation of the effects of vibrations on small children transported by car in safety seats and on the ride comfort of such children still remains an open issue.

The undertaking of the issue of the influence of vibrations on the child's body during a car ride is very reasonable from the point of view of both scientific research into this topic and the obtaining of knowledge about the practical effects of this influence. It is an important task for designers of cars and child safety seats to minimize the loads caused by vibrations to the child's body. However, we should remember at the same time that the construction of a vehicle that would be "good" in terms of ride comfort related to vibrations would not simultaneously ensure "optimum" characteristics in terms of driving safety [17].

This paper presents the results of investigation of the influence of vertical vibrations (taken as the main constituent of the actual vibrations) that are transmitted to a child's body through a child safety seat during a car ride. The investigation was carried out at Przemysłowy Instytut Motoryzacji (PIMOT, Automotive Industry Institute).

2. Objective of the Investigation

The main objective of the investigation was to measure and analyse the vibrations transmitted to the body of a child sitting in a safety seat and an adult.

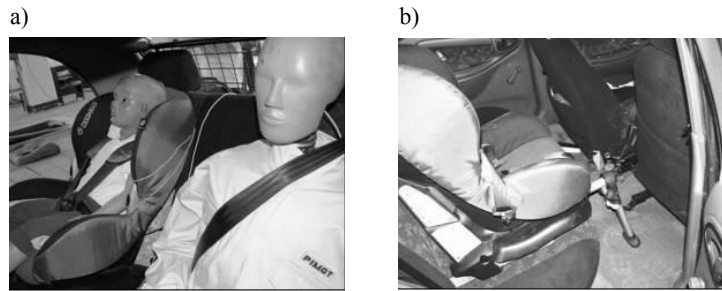
Intensive research work was carried out on the measures of the limiting values for exposure of adults to vibration, which resulted in the measures thus determined having been published by the International Standard Organization and the British Standards Institution in their standard specifications ISO 2631-1 [S2] and BS 6841 [S1], respectively. Regrettably, there are no corresponding standards applicable to children. Therefore, the evaluations were carried out through comparison of the values of the vibrations to which a child and an adult were exposed.

The experiments were carried out with the use of a test dummy HYBRID 3 representing an adult and a test dummy representing a 3-year-old child (15 kg), hereinafter referred to as a CHILD (fig. 1a).

For the experiments with the CHILD dummy, two child seat types were used, i.e. a STANDARD seat and one with the ISO-FIX² fixing system (fig. 1b).

² ISO-FIX oznacza „International Standards Organisation FIX”. Jest to nowy standard dla fotelików dziecięcych do samochodów.

² ISO-FIX means “International Standards Organisation FIX”. This is a new standard for child safety seats for automotive vehicles.



Rys. 1. Manekiny użyte w eksperymencie (a) i fotelik dziecięcy z systemem ISOFIX (b)
 Fig. 1. Test dummies used at the experiment (a) and child seat with the ISOFIX system (b)

3. Wskaźniki opisujące oddziaływanie drgań na człowieka

Do wyznaczenia wartości wskaźników komfortu jazdy, opisanych w normach International Standards Organisation ISO 2631-1 [S2] i British Standards BS 6841 [S1], wykorzystano pomiary przyspieszeń drgań.

Podstawową ocenę wpływu drgań na komfort jazdy jest wartość skuteczna (rms) przyspieszeń działających w kierunku pionowym

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

gdzie: $a(t)$ jest zarejestrowanym (jako funkcja czasu t) przebiegiem wartości przyspieszenia w m/s^2 działającego w kierunku pionowym. T – oznacza odcinek czasu trwania pomiaru w s.

Dla przyspieszenia $a(t)$, rejestrowanego jako stacjonarna realizacja procesu stochastycznego, wartość rms jest najczęściej wskaźnikiem oceny komfortu jazdy.

Ponadto wykorzystuje się wskaźnik VDV (Vibration Dose Value) specjalnie opracowany do analizy drganiowej całego ciała [6, 7]:

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

Wielkości rms i VDV nie są skorelowane wzajemnie, ponieważ różnie akcentują amplitudy zmierzonego przyspieszenia. Jednocześnie oba wskaźniki nie doszacowują oddziaływania chwilowych wstrząsów (chwilowych gwałtownych wzrostów amplitudy), przez co ich interpretacja nie uwzględnia wpływu chwilowych wstrząsów działających na człowieka. Dlatego wprowadzono nowy wskaźnik rmq (root mean quad) opisany w British Standards BS 6841 [S1], zaproponowany przez M. J. Griffina [10], zdefiniowany w następujący sposób:

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

Uzyskane wartości rms jak i rmq przebiegu przyspieszeń są wartościami uśrednionymi dla odcinka czasu $[0-T]$. W przypadku przebiegów będących realizacją stacjonarnego procesu stochastycznego wartości te powinny być niezmiennie. Badania pokazują jednak, że ze wzrostem czasu ekspozycji wartości tych wskaźników nie są stałe; wykazują tendencję do zmniejszenia

3. Indices Describing the Human Exposure to Vibrations

The ride comfort indices defined in standards of the International Standard Organization (ISO 2631-1 [S2]) and the British Standards Institution (BS 6841 [S1]) were determined by measuring vibration accelerations.

The influence of vibrations on the vehicle ride comfort is primarily evaluated on the grounds of the rms value of vertical accelerations of the vibrations.

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

where: $a(t)$ is the time history of the vertical acceleration recorded as a function of time (t) and expressed in m/s^2 ; and T is the duration of the measurement in seconds.

For the acceleration $a(t)$ recorded as a stationary realization of a stochastic process, the rms value is in most cases taken as a ride comfort index.

As another option, VDV (Vibration Dose Value) is also used, which has been specially developed as an index for the analysis of whole-body vibrations [6, 7].

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

The rms and VDV values do not correlate with each other, because they differently emphasize the amplitudes of the accelerations measured. Simultaneously, both of them underestimate the effects of transient shocks (instantaneous sudden amplitude growths), due to which neither of these methods makes it possible to take into account the impact of such shocks on the human body. Therefore, a new index referred to as rmq (rot mean quad) has been introduced, which was proposed by M. J. Griffin [10], described in British Standard BS 6841 [S1], and defined as follows:

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

Both the rms and rmq acceleration values have been averaged for the $[0-T]$ time interval. For the time histories that are realizations of a stationary stochastic process, these values should be constant. The experiments show, however, that the values of these indices vary along with changes in the exposure time. More precisely, they show a tendency to decline with the

szania 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 dla obliczenia *rms* czy *rmq*. W tym przypadku przydatny jest wskaźnik *VDV*. Jak wynika z definicji (2) nie występuje tu człon dzielenia przez czas ekspozycji *T*. Dlatego *VDV* jest uznawany jako „lepszy” wskaźnik do oceny komfortu niż *rms* [10]. Jednocześnie normy ISO 2631-1 [S2] i BS 6841 [S1] przewidują, możliwość wykorzystania estymatora *eVDV* (Estimated Vibration Dose Value) zdefiniowanego w następujący sposób:

$$eVDV = 1,4 \cdot rms \cdot t^{0,25} \quad (4)$$

Jest to alternatywna miarę oceny komfortu jazdy, która może być wykorzystana do porównania oceny dyskomfortu w różnych środowiskach.

Jako dodatkową wielkość charakteryzującą drgania M. J. Griffin wprowadził przyspieszenie drugiego stopnia – udar (jerk), definiowany, jako trzecia pochodna względem czasu [11]

$$j = \frac{d\ddot{x}}{dt} = \frac{d^2\dot{x}}{dt^2} = \frac{d^3x}{dt^3} \quad (5)$$

Inną, często używaną miarą do oceny wibroizolacji siedzisk jest bezwymiarowy wskaźnik *SEAT* (Seat Effective Amplitude Transmissibility), który jest zdefiniowany w następujący sposób:

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

gdzie: G_{ssF} – gęstość widmowa mocy przyspieszenia zmierzonego na fotelu, G_{ssp} – gęstość widmowa mocy przyspieszenia zmierzonego na podłodze, W – krzywa wagowa dostrzegalnych zaburzeń przez człowieka [S2]

Jeżeli sygnał jest opisany przez krzywą wagową W , to wskaźnik *SEAT* może być określony przez:

$$SEAT = \frac{VDV_F}{VDV_P} \quad (7)$$

gdzie: *VDV* - wskaźnik zdefiniowany wzorem (3), VDV_F - wartość Vibration Dose Value wyznaczona dla fotela VDV_P - wartość Vibration Dose Value wyznaczona dla powierzchni, do której przymocowany jest fotel (np. podłoga samochodu).

Można również używać procentowych ocen przyspieszeń drgań. W przypadku wartości skutecznej przyspieszeń (*rms*) wykorzystuje się porównanie drgań działających w różnych miejscach (siedzisko fotela, oparcie fotela, podłoga pojazdu itp.). Przykładowo może to być wartość *rms* siedziska fotela odniesiona do wartości *rms* podłogi pojazdu:

$$rms [\%] = \frac{r.m.s._F}{r.m.s._P} \cdot 100 \quad (8)$$

Podobnie można wykonać porównanie dla wartości wskaźnika *rmq*:

$$rmq[\%] = \frac{rmq_F}{rmq_P} \cdot 100 \quad (9)$$

W tym przypadku takie porównanie pozwala ocenić skuteczność pochłaniania drgań przenoszonych na człowieka.

exposure time growing longer. This means that the stochastic process cannot be considered stationary. Therefore, difficulties arise in the defining of the beginning and end of the exposure period for the calculation of rms or rmq. In this case, the VDV index becomes useful. According to definition (2), this value is determined without the operation of division by the exposure time *T*. For this reason, VDV is considered as an index “better” than rms for the evaluation of comfort [10]. At the same time, the standard specifications ISO 2631-1 [S2] and BS 6841 [S1] offer a possibility to use an estimator referred to as eVDV (Estimated Vibration Dose Value) and defined as follows:

$$eVDV = 1,4 \cdot rms \cdot t^{0,25} \quad (4)$$

This is an alternative measure of ride comfort, usable when comparing the results of evaluation of comfort in various environments.

M. J. Griffin introduced an additional quantity that would help to describe vibrations, i.e. acceleration of the second degree, referred to as “jerk” and defined as the third time derivative of position [11]:

$$j = \frac{d\ddot{x}}{dt} = \frac{d^2\dot{x}}{dt^2} = \frac{d^3x}{dt^3} \quad (5)$$

Another vibration measure, commonly used to evaluate the seat vibration isolation performance, is the Seat Effective Amplitude Transmissibility (*SEAT*) index defined as follows:

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

where: G_{ssp} is the acceleration power spectral density measured at the seat pad; G_{ssF} is the acceleration power spectral density measured on the floor; and W is the human perceived disturbance weighting curve [S2].

If the signal is weighted by the weighting curve W , then the *SEAT* index may be defined by the following formula:

$$SEAT = \frac{VDV_F}{VDV_P} \quad (7)$$

where: *VDV* is the index defined by formula (2); VDV_{sp} is the Vibration Dose Value determined for the seat pad; and VDV_F is the Vibration Dose Value determined for the seat mounting surface (e.g. car floor)

The use of percentage measures of vibration accelerations is also possible. If reference is made to the root-mean-square (*rms*) acceleration values, comparisons may be made between vibrations occurring at different places (seat pad, backrest, vehicle floor, etc.). As an example, the ratio of the rms value for the seat pad to the rms value for the vehicle floor may be analysed:

$$rms [\%] = \frac{r.m.s._F}{r.m.s._P} \cdot 100 \quad (8)$$

A similar comparison may be made for the *rmq* index:

$$rmq[\%] = \frac{rmq_F}{rmq_P} \cdot 100 \quad (9)$$

In this case, the comparison provides a possibility to evaluate the effectiveness of absorption of vibrations transmitted to the human body.

Jeszcze inną metodą służącą do określania komfortu związanego z drganiami jest wykorzystanie miary będącej sumą wektorowych wartości kwadratowych (lub średniokwadratowych) ważonych przyspieszeń dla poszczególnych kierunków (składowych) drgań, pod pierwiastkiem. Takie metody opisane są min. w [S10], [S11], [S13]. Jako przykładową zależność można podać [S10]:

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

gdzie: $(a_{w, \text{sr}})_{\text{wek}}$ - suma wektorowa średniokwadratowych wartości ważonych przyspieszenia, $(a_{w, \text{sr}})_{x, y, z}$ - średniokwadratowa wartość ważona przyspieszenia dla poszczególnych kierunków (składowych) wzdłuż osi x,y,z).

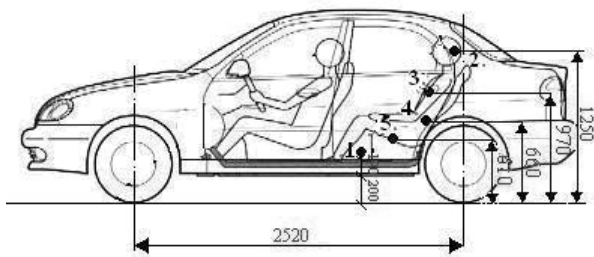
4. Program przeprowadzonych eksperymentów

Foteliki dziecięce zajmowały prawe tylne siedzenie pasażerskie i były mocowane do pojazdu za pomocą pasów samochodowych zgodnie z załączoną do fotelika dokumentacją.

Położenie czujników pomiarowych jest pokazane na rys. 2. Przyspieszeniomierze były tak zainstalowane, aby jak najdokładniej mierzyć sygnały w kierunku pionowym samochodu. Jest to kierunek, w którym występują największe amplitudy drgań nadwozia samochodu.

W samochodzie były dwie osoby (kierowca i operator systemu pomiarowego), na tylnym siedzeniu manekin HYBRID 3 oraz manekin reprezentujący DZIECKO o wadze 15 kg. W pierwszej serii pomiarów manekin DZIECKO posadowiony był w foteliku STANDARD z klasycznym systemem mocowania, w drugiej – w foteliku z systemem mocowania ISOFIX.

Badania wykonano na drodze z nierówną nawierzchnią i garbem (rys. 3) oraz na drodze z nawierzchnią asfaltową. Wszystkie przejazdy po nierównej nawierzchni z garbem były wykonane ze stałą prędkością 20 km/h i 40 km/h. Przejazdy po drodze nawierzchnią asfaltową były wykonane z prędkością 60 km/h i 70 km/h.



Rys. 2. Rozmieszczenie czujników pomiarowych
Fig. 2. Location of measuring sensors

5. Dyskusja i konkluzje

Stwierdzono, że wszystkie wartości skuteczne przyspieszeń działających na fotelik dziecka zawarte są w przedziale $(0,6-3,24)\text{m/s}^2$.

Zgodnie z wykresami przedstawionymi na rys. 4 [4] dolna wartość osiąga granicę dyskomfortu po 0,5 h jazdy, górna –

One more method of determining the vibration discomfort is the use of a measure defined as the vector sum of weighted squared (or rms) acceleration values for particular vibration axes (components), with extracting the root thereof. The methods of this type are described *inter alia* in [S10], [S11], or [S13]. An example of this may be the following equation [S10]:

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

where: $(a_{w, \text{sr}})_{\text{wek}}$ is the vector sum of weighted rms acceleration values; and $(a_{w, \text{sr}})_{x, y, z}$ represent the weighted rms acceleration values for specific vibration components (along axes x, w, and z)

4. Program of the Experiments

The child safety seats under tests were placed on the right backseat and they were fastened to the vehicle by means of car safety belts in accordance with the specifications submitted with the child seats.

The location of measuring sensors is shown in fig. 2. The accelerometers were positioned to obtain the best accuracy of measurements of the accelerations along the vertical axis of the car, i.e. the axis where the biggest vehicle body vibration amplitudes occur.

During the experiments, there were two test personnel members (driver and measuring system operator) on the front seats and the test dummies HYBRID 3 (representing an adult) and CHILD (representing a 3-year-old child of 15 kg weight) on the backseat of the test car. The first series of tests was carried out with the CHILD dummy placed in a STANDARD safety seat with a conventional fixing system; for the second series, the STANDARD seat was replaced with one with the ISOFIX fixing system.

The tests were carried out on a road with rough surface and a hump (fig. 3) and on a road with even asphalt pavement. All the test drives on the road with rough surface and a hump were carried out at constant speeds of 20 km/h and 40 km/h; on the road with asphalt pavement, the car was driven with speeds of 60 km/h and 70 km/h.



Rys. 3. Droga z nierówną nawierzchnią. Przejazd samochodu przez garb
Fig. 3. Road with uneven surface; the crossing of a hump

5. Discussion and findings

All the rms values of the child safety seat accelerations were found to be within the range of $0.6-3.24\text{m/s}^2$.

According to the curves shown in fig. 4 [4], the lower limit of this range reaches the discomfort threshold after 0.5 h ride; the upper limit generally exceeds the nuisance threshold. This

granicę uciążliwości. Oznacza to, że jazda dziecka w takich warunkach jest szkodliwa.

Stwierdzono również, że wartości skuteczne przyspieszeń zmierzonych dla manekina HYBRID 3 zmieniają się w przedziale (0,5–2,25) m/s², zatem warunki komfortu jazdy są lepsze dla osoby dorosłej niż dla dziecka.

Średnia zmierzonych wartości skutecznych przyspieszeń działających na fotelik dziecka podczas przejazdu po nawierzchni z dużymi nierównościami wynosiła 2,85 m/s² dla fotelika z systemem ISOFIX. Wg ISO 2631-1 [S2] oraz BS 6841 [S1] (tab. 1) oznaczało ekstremalny dyskomfort jazdy.

Wartości skuteczne przyspieszeń zmierzonych za pomocą czujnika umieszczonego w klatce piersiowej (B) manekina DZIECKO (D) pokazują (rys. 5a), że są one większe w przypadku fotelika ISOFIX (I) w porównaniu z fotelikiem STANDARD (S).

Mocowanie za pomocą systemu typu ISOFIX zostało tak zaprojektowane, aby maksymalnie chronić dziecko podczas zderzenia. Dlatego fotelik z takim mocowaniem jest bardzo sztywny w kierunku poziomym, co dobrze zabezpiecza dzie-

ci, że oznacza to, że jazda dziecka w takich warunkach jest szkodliwa.

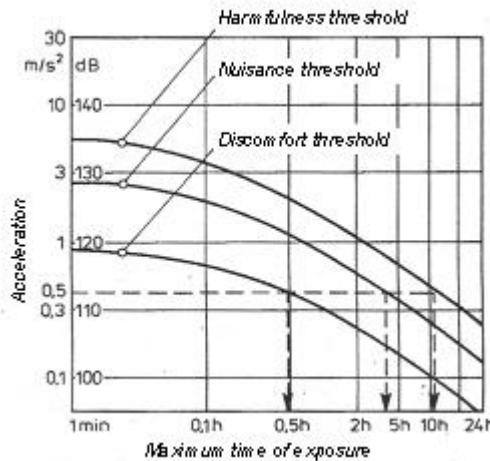
Furthermore, the rms acceleration values measured for the HYBRID 3 dummy were found to vary within the range from 0.5 to 2.25 m/s²; this means that the ride comfort conditions were better for the adult as against those for the child.

The average of the rms acceleration values measured on the child safety seat during the test drives on the uneven surface was 2.85 m/s² for the child seat with the ISOFIX system. According to ISO 2631-1 [S2] and BS 6841 [S1] (Table 1), this meant the ride to be extremely uncomfortable.

The rms acceleration values measured by a sensor placed at the hip (B) of the CHILD dummy (D) show (fig. 5a) that for the ISOFIX (I) seat

they were higher than those determined for the one referred to as STANDARD (S).

The ISOFIX seat fixing system has been designed to provide maximum safety for the child during a collision. For this reason, the safety seat with such a fixing system is very rigid in the horizontal plane, thanks to which the child is well protected. However, the test results show that, in the cases under investi-

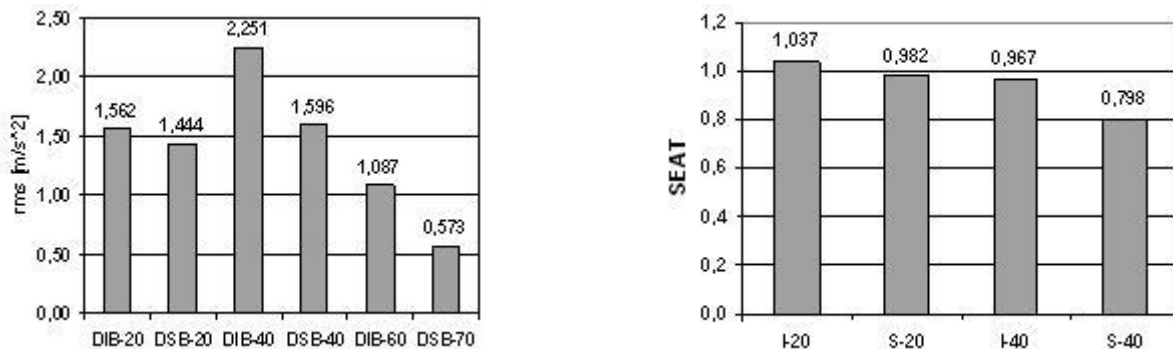


Rys. 4. Dopuszczalne rms przyspieszenia w zależności od czasu ekspozycji [4]

Fig. 4. Maximum acceptable rms acceleration values vs. time of exposure [4]

Tab. 1. Granice dyskomfortu
Tab. 1. Levels of discomfort for different vibration magnitudes

Przyspieszenie m/s ² Acceleration [m/s ²]	Odczucie / Discomfort scale
Mniej niż 0,315 / Less than 0.315	Nie występuje odczucie dyskomfortu / Not uncomfortable
0,315 – 0,63	Lekki dyskomfort / A little uncomfortable
0,5 – 1,0	Umiarkowany dyskomfort / Fairly uncomfortable
0,8 – 1,6	Dyskomfort / Uncomfortable
1,25 – 2,5	Silny dyskomfort / Very uncomfortable
Powyżej 2 / Greater than 2	Ekstremalny dyskomfort / Extremely uncomfortable



Rys. 5. Wartości r.m.s. (a) i SEAT (b) otrzymane w badaniach. Oznakowanie: B – czujnik biodro, D – manekin DZIECKO, I – fotelik z mocowaniem typu ISOFIX, S – fotelik standardowy. Pomiary przeprowadzono dla nawierzchni nierównej z garbem przy prędkościach 20 km/h i 40 km/h oraz na nawierzchni asfaltowej przy prędkościach 60 km/h i 70 km/h

Fig. 5. The rms (a) and SEAT (b) values as obtained from the experiments. Legend: B = sensor location at the hip; D = the CHILD dummy; I = child seat with the ISOFIX system; S = STANDARD child seat. The measurements were carried out on an uneven road with a hump at speeds of 20 km/h and 40 km/h and on a road with asphalt pavement at speeds of 60 km/h and 70 km/h

ko. Wyniki pomiarów pokazują jednak, że w analizowanych przypadkach przyspieszenia drgań w kierunku pionowym były większe dla fotelika z mocowaniem ISOFIX w porównaniu do wartości przyspieszeń zarejestrowanych w takich samych warunkach dla fotelika STANDARD, co świadczy o mniej korzystnych własnościach systemu ISOFIX.

Wartości współczynnika SEAT przedstawione na rys.5b są nieco większe dla fotelika ISOFIX (I) w porównaniu z fotelikiem STANDARD (S), co oznacza również gorsze właściwości systemu ISOFIX dla przypadku drgań pionowych.

6. Podsumowanie

W wyniku realizacji pracy wykorzystano pomiary drgań samochodu z manekinami reprezentującymi osobę dorosłą (HYBRID 3) i dziecko, z wykorzystaniem dwóch fotelików: ISOFIX i „STANDARD”. Wykonano pomiary przyspieszeń w wybranych punktach samochodu i manekinach, i wyznaczono wartości miar globalnych według określonych standardów.

Przedstawione wyniki badań eksperymentalnych pozwalają na sformułowanie następujących spostrzeżeń:

1. Dla prób wykonywanych na złej nawierzchni:
 - sposób mocowania fotelika ma wpływ na drgania w kierunku pionowym,
 - do oceny wpływu drgań na organizm dziecka celowy jest pomiar zarówno na połączeniu fotela z fotelikiem dziecięcym ISOFIX jak też bezpośrednio w okolicy bioder manekina,
 - analiza wyników przeprowadzonych pomiarów wskazuje na to, że w badanych przypadkach komfort jazdy dziecka siedzącego w foteliku z mocowaniem ISOFIX jest gorszy w stosunku do komfortu jazdy dziecka siedzącego w foteliku STANDARD
2. Dla prób wykonywanych na dobrej nawierzchni:
 - podczas przejazdu z prędkością 70km/h po asfalcie komfort jazdy dziecka siedzącego w foteliku ISOFIX i STANDARD jest zbliżony, ale w obu przypadkach jest gorszy (o ponad 10%) w stosunku do komfortu jazdy osoby dorosłej.

Badania empiryczne potwierdzają potrzebę kontynuacji tego typu badań z jednoczesnym rozszerzeniem ich zakresu. Oprócz badań drogowych powinny być prowadzone badania symulacyjne na specjalnym, przygotowanym do tego celu, stanowisku.

7. Literatura

1. Bell R, Burleigh D, Czernakowski W. ISOFIX: The potential of a universal vehicle/child restraint interface for misuse reduction and performance enhancement. 942220 SAE Transactions Journal of Passenger Cars 1994: 1786-1795.
2. Bourdet N, Willinger R. Coupled head-neck-torso and seat model for car seat optimization under rear-end impact. Journal of Sound and Vibration 2008; No 313: 891-907.
3. Diupero T, Stasiak P. Możliwości ochronne urządzeń zabezpieczających dla dzieci w świetle badań. Materiały X Konferencji: „Problemy Rekonstrukcji Wypadków Drogowych”. Szczyrk, 2006.
4. Engel Z. Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Warszawa: PWN, 1993.
5. Giacomini J. Absorbed power of small children, Clinical Biomechanics 2005; 20: 372-380
6. Giacomini J. Some observations regarding the vibration environment in child safety seats. Applied Ergonomics. The University of Sheffield. 2000; 31: 207-215.
7. Giacomini J, Bracco R. An experimental approach for the vibration optimisation of automotive seats. ATA Third International Conference on Vehicle Comfort and Ergonomics. Bologna. Italy. 1995; March: 199-208.
8. Giacomini J, Hacaambwa T.M. Performance of ISO2631 and BS6841 Comfort Criteria for Evaluating Automobile Road Vibrations. Department of Mechanical Engineering. The University of Sheffield.

gation, the vertical vibration accelerations were higher for the ISOFIX seat as against those recorded in identical conditions for the STANDARD seat. Thus, the characteristics of the ISOFIX system proved to be inferior in this respect.

The SEAT values presented in fig. 5b are somewhat higher for the ISOFIX seat (I) in comparison with those of the STANDARD seat model (S), which again indicates inferior performance of the ISOFIX system in respect of vertical vibrations.

6. Recapitulation and Conclusions

The work carried out was based on measurements of vibrations of a car with test dummies representing an adult (HYBRID 3) and a child and with the use of two child safety seats, i.e. ISOFIX and STANDARD. Accelerations were measured at selected points of the car and the dummies and values of global measures were determined according to predefined standards.

The presented experiment results provide grounds for the following findings to be formulated.

1. For tests carried out on a road with poor pavement:
 - The child seat fixing method has an influence of vertical vibrations;
 - To evaluate the influence of vibrations on the child's body, it would be reasonable to measure vibrations at both the connection of the ISOFIX child seat with car seat and directly at the hip of the test dummy;
 - An analysis of results of the measurements carried out has shown that, in the cases under investigation, the ride comfort of a child in a seat with the ISOFIX system is inferior to that of a child in a STANDARD seat.
2. For tests carried out on a road with good pavement:
 - During a ride at a speed of 70 km/h on an asphalt road, the child's ride comfort provided by the ISOFIX safety seat is close to that offered by the STANDARD one; in both cases, however, this comfort is inferior (by more than 10%) to the comfort of an adult.

Empirical investigations confirm the need to continue the research work in this field with simultaneous widening of its scope. Apart from road tests, simulation tests should be carried out on a special test stand specifically adapted for this purpose.

9. Giuliano, F., Ugo, A. Experimental assessment of ride comfort: a statistical approach. ATA Second International Conference on Vehicle Comfort. Bologna. Italy: 1992.
10. Griffin M J. Discomfort from feeling vehicle vibration. *Vehicle System Dynamics* 2007; Vol. 45 Nos. 7-8: 679-698.
11. Griffin M J. *Handbook of human vibration*, Academic Press. London: 1990.
12. Murphy J. Child Passenger Safety. *Journal of Pediatric Health Care* 1998; May/June: 130-138.
13. Nader M. Modelowanie i symulacja oddziaływania drgań pojazdów na organizm człowieka. *Prace Naukowe Transport*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2001.
14. Nałęcz M. I inni. *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000*. Warszawa: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, 2004.
15. Pedder J, Legaut F. et al. Development of the CANFIX Infant and Child Restraint/Vehicle Interface System. 942221 SAE Transactions Journal of Passenger Cars 1994: 1796-1805.
16. Rangel S J. et al. 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* 2008; 43: 200-207.
17. Reimpell J, Betzler J. *Podwozia samochodów. Podstawy konstrukcji*. Warszawa: WKŁ, 2004.
18. Starr N B. Kids and Car Safety: Beyond Car Seats and Seat Belts. *Journal of Pediatric Health Care* 2001; Sept/Oct: 257-259.
19. Stasiak P. Nowa koncepcja samochodowych fotelików dla dzieci w związku z zastosowaniem systemu bezpieczeństwa uczestników ruchu drogowego. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2008; 4: 42-48.

Dokumenty normatywne

- S1. BS 6841: 1987 Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock.
- S2. ISO 2631-1: 1997 Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole –body vibration. Part 1: General requirements.
- S3. 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-guide way transport system.
- S4. 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.
- S5. ISO 5982: 2001 Mechanical vibration and Shock – Range of idealized values to characterize seated-body biodynamic response under vertical vibration.
- S6. ISO 7962:1987 Mechanical vibration and Shock – Mechanical transmissibility of the human body in the direction
- S7. PN-EN 30326-1 2000 Drgania mechaniczne. Laboratoryjna metoda oceny drgań siedziska w pojeździe. Wymagania podstawowe.
- S8. PN-91 N-01352 Drgania. Zasady wykonywania pomiarów na stanowiskach pracy.
- S9. PN-91 N-01353 Drgania. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań na organizm człowieka przez kończyny górne i metody oceny narażenia.
- S10. PN-91 N-01354 Drgania. Dopuszczalne wartości przyspieszenia drgań o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka i metody oceny narażenia.
- S11. PN-91 S-04100 Drgania. Metody badań i oceny drgań mechanicznych na stanowiskach pracy w pojazdach.
- S12. Regulation No. 44. Uniform provisions concerning the approval of restraining devices for child occupants of power-driven vehicles (“child restraint system”).
- S13. CEN ENV 12299 (1999, 2006), Railway applications – Ride comfort for passengers – Measurements and evaluation. Draft. Brussels.

Prof. dr hab. inż. Jerzy WICHER

Dr inż. Dariusz WIĘCKOWSKI

Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Ul. Jagiellońska 55, 03-301 Warszawa, Polska

e-mail: d.wieckowski@pimot.org.pl
