

Jerzy Merkisz<sup>1)</sup>, Sławomir Tarkowski<sup>2)</sup>

## CZYNNIKI DYNAMICZNE I ICH WPŁYW NA SUBIEKTYWNE POCZUCIE KOMFORTU W AUTOBUSACH MIEJSKICH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wybrane aspekty wykorzystania pokładowych urządzeń rejestrujących do oceny komfortu jazdy pasażerów autobusów miejskich. Przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w pojazdach komunikacji miejskiej w Lublinie, podczas ich normalnej pracy. Badania polegały na pomiarach wartości przyspieszenia odczuwalnego przez pasażerów i określeniu ich wpływu na subiektywne poczucie komfortu jazdy.

**Słowa kluczowe:** komfort dynamiczny, przyspieszenie, zryw, rejestrator pokładowy.

### WPROWADZENIE

Komunikacja samochodowa jest jedną z najbardziej popularnych gałęzi transportu. Wynika to z wielu zalet, które wpływają na taki wybór wśród pasażerów i przewoźników; są to m.in.: dostępność, rozbudowana infrastruktura, stosunkowo niskie koszty (podróży i eksploatacji tego środka transportu), czyli najkorzystniejsze możliwości realizacji usług transportowych określane jako „od drzwi do drzwi”. Paradoksalnie sytuacja ta wpływa na ograniczenie konkurencyjności transportu samochodowego: wzrost liczby pojazdów wpływa na ograniczenie przepustowości infrastruktury, a to powoduje wydłużenie czasu realizacji usług. Zwiększająca się liczba pojazdów ma negatywny wpływ na środowisko naturalne i zużycie zasobów ropy naftowej, ale wpływa również na obniżenie jakości życia ludzi, ograniczenie ich mobilności i zwiększenie poziomu stresu. Wzrastająca liczba pojazdów poruszających się po drogach jest więc problemem, który należy dostrzec i podejmować działania zmierzające ku jego wyeliminowaniu. Rozwiązaniem może być rozbudowa infrastruktury drogowej, co jest przedsięwzięciem kosztownym i negatywnie wpływającym na środowisko naturalne. Zasadnym wydaje się popularyzacja transportu publicznego, i częściowe „wypieranie” z dróg środków transportu indywidualnego. Kluczowym zagadnieniem wydaje się być stworzenie popytu na taki rodzaj środka komunikacji i przekonanie do niego osób korzystających codziennie z własnych pojazdów. Działania w tym kierunku są już podejmowane przez władze niektórych, dużych aglomeracji miejskich w Polsce. Przedsiębiorstwa komunikacyjne działają również w kierunku zapewnienia pasażerom wysokiego poziomu komfortu, m.in.

<sup>1)</sup> Politechnika Poznańska, e-mail: jerzy.merkisz@put.poznan.pl

<sup>2)</sup> Politechnika Lubelska, e-mail: s.tarkowski@pollub.pl

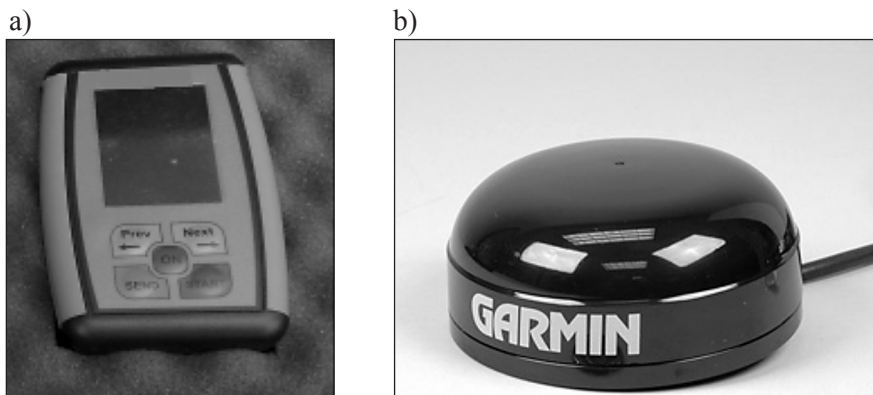
poprzez inwestycję w nowoczesny tabor. Komfort podróży zależy także od zachowania się kierowcy i jego umiejętności, oraz doświadczenia podczas wykonywania manewrów w warunkach ruchu po drodze. W tym ujęciu, na poziom komfortu decydujący wpływ ma wartość przyspieszenia generowanego podczas jazdy i oddziałującego na pasażera – można mówić o „dynamicznym komforcie podróży”.

Analiza przedmiotowej literatury pozwala na stwierdzenie, że zagadnieniem „dynamicznego komfortu podróży” nie był szeroko podejmowany. Istnieją dokumenty normatywne, na podstawie których można określać poziom komfortu dynamicznego w środkach transportu szynowego [1, 2, 3]. Nieliczne ośrodki naukowe zajmowały się tymi zagadnieniami w odniesieniu do środków transportu samochodowego [4, 5, 6, 7]. Problematyka ta jest istotna z punktu widzenia działań związanych z popularyzacją zbiorowych środków komunikacji w transporcie drogowym. W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań polegających na porównaniu zarejestrowanych dynamicznych parametrów ruchu pojazdów komunikacji miejskiej z subiektywną oceną poziomu komfortu dynamicznego, określonego przez „przeszkolonych” pasażerów. Analizowano wartość skuteczną przyspieszenia oraz wartość skuteczną jego zmian w czasie. Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano definicję wskaźnika, który może być wykorzystany do obiektywnego określenia poziomu komfortu dynamicznego w pojazdach komunikacji miejskiej. Opracowana metoda może być wykorzystana podczas szkolenia kierowców, lub do rozpatrywania skarg pasażerów.

## SZCZEGÓŁY TECHNICZNE DOTYCZĄCE BADAŃ

W badaniach wykorzystano urządzenie MEREX, które jest mikroprocesorowym rejestratorem służącym do pomiaru wartości chwilowych przyspieszenia. Zabudowane w urządzeniu czujniki umożliwiają jego rejestrację w trzech osiach: wzdłużnej, poprzecznej i pionowej. Urządzenie zaprogramowane zostało do rejestrowania danych z częstotliwością 10 Hz, a dane z pomiarów umieszczano w pamięci. Odczyt tych danych możliwy jest (w zależności od wersji wyposażenia) bezpośrednio na ciekłokrystalicznym wyświetlaczu, lub na ekranie komputera. Dodatkowo do zestawu pomiarowego dołączono odbiornik GPS firmy Garmin. Wyposażenie takie pozwala na określenie współrzędnych pojazdu w każdej sekundzie trwania pomiaru, oraz wyznaczenie jego prędkości chwilowej. Na rysunku 1 przedstawiono widok urządzenia Merex z wbudowanym wyświetlaczem ciekłokrystalicznym, oraz odbiornik GPS.

Rejestrację parametrów ruchu pojazdów komunikacji miejskiej przeprowadzono w autobusach i trolejbusach w warunkach rzeczywistego ruchu, tj. podczas wykonywania zadań transportowych. Osoby kierujące pojazdami w których dokonano pomiarów nie były poinformowane o ich przeprowadzaniu. Pomiaru wyko-



Rys. 1. Widok rejestratora MEREX (a) i odbiornika GPS (b)

nano w Lublinie na wybranych odcinkach trasy linii autobusowej nr 18, oraz trasy linii trolejbusowej nr 160. Eksperyment obejmował łącznie po 35 przejazdów w obu kierunkach dla każdej z linii, w rzeczywistych warunkach eksploatacji, przez pojazdy różnych marek, które były kierowane przez kierowców-pracowników Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacyjnego w Lublinie. Pomiary dla poszczególnych linii prowadzono zawsze na tym samym odcinku trasy przejazdu. Przejazd odbywał się na trasie składającej się z czterech przystanków. W dalszej części artykułu odcinki między przystankami określane one będą jako „odcinki pomiarowe”. Oceny subiektywnego, dynamicznego komfortu jazdy dokonywała grupa osób, która została przeszkolona przed rozpoczęciem badań. Zgodnie z wytycznymi z pracy [8], wykorzystanie w badaniach tego typu wyszkolonej grupy oceniających pozwoliło na zwiększenie wiarygodności tych ocen. Przyznana ocena odnosiła się do każdego odcinka pomiarowego – łącznie ocenionych zostało 280 odcinków pomiarowych. Pogoda podczas prowadzenia pomiarów była dobra, nie występowały opady atmosferyczne. Warunki atmosferyczne nie miały istotnego wpływu na wyniki pomiarów, ani nie stanowiły utrudnień w ruchu drogowym. Na badanych odcinkach pomiarowych nie przeprowadzano robót drogowych, poprzez które przejazd byłby utrudniony. Trasa odcinków pomiarowych przebiegała przez centrum miasta, w związku z czym pojazdy poruszały się ruchem wymuszonym, rzadko swobodnym. Na trasie nie znajdowały się specjalnie wyznaczone pasy ruchu dla pojazdów komunikacji zbiorowej.

Pod pojęciem dynamicznego komfortu podróży należy uznać taki stan, w którym podczas podróży pasażer nie jest narażony na działanie żadnych czynników dynamicznych z wyjątkiem przyspieszenia ziemskiego, a każdy występujący bodziec dynamiczny powoduje jego zmniejszenie. W świetle tak określonej definicji można uznać, że dynamiczny komfort podróży może być zapewniony jedynie podczas postoju pojazdu, lub podczas jazdy ze stałą prędkością w ruchu prostoliniowym.

W rzeczywistości, podczas jazdy, nie wszystkie występujące bodźce dynamiczne są przez pasażerów zauważalne i odczuwalne, przez co poczucie komfortu nie zawsze zostaje obniżone – mimo tego, że na pasażera oddziałują czynniki dynamiczne. Do potencjalnego obniżenia poczucia komfortu dynamicznego dochodzi w sytuacji, gdy dany bodziec jest dla niego na tyle wyraźny i „uciążliwy”, że zostanie zauważony, lub jest na tyle silny, że uwaga pasażera zostanie odwrócona od aktualnie wykonywanej przez niego czynności. Wystąpienie takiej, nawet jednostkowej (w skali całej trasy przejazdu) sytuacji, wpływa na to, że cała podróż może zostać oceniona przez pasażera negatywnie. Ocen subiektywnych dokonywano na specjalnie przygotowanej ankiecie, według trzystopniowej skali:

1. Przejazd komfortowy – przejazd, podczas którego zmiany przyspieszenia były nieodczuwalne, manewry wykonywane były łagodnie, a pasażer nie był zmuszony do wykonywania balansu ciałem w celu utrzymania się na zajmowanej przez siebie pozycji. Styl jazdy kierowcy nie powodował poczucia zagrożenia bezpieczeństwa.
2. Przejazd normalny – przejazd, podczas którego sporadycznie odczuwalne były zmiany przyspieszenia; wykonane manewry nie odwracały jednak uwagi pasażera od aktualnie wykonywanej czynności; ocena dopuszczała reakcję pasażera na wykonywany manewr w postaci „lekkiego” balansu ciałem w celu utrzymania się na pozycji. Styl jazdy kierowcy nie powodował poczucia zagrożenia bezpieczeństwa.
3. Przejazd niekomfortowy – przejazd, podczas którego wyraźnie odczuwalne były zmiany przyspieszenia; wykonywane manewry odwracały uwagę pasażera od aktualnie wykonywanej czynności; podczas wykonywania manewrów przez kierowcę pasażer zmuszony był wykonywać „zdecydowany” balans ciałem w celu utrzymania się na zajmowanej przez siebie pozycji. Styl jazdy kierowcy powodował poczucia zagrożenie bezpieczeństwa.

Oceniający określali dodatkowo w jakiej pozycji odbywała się ich podróż – przyjęto wstępne założenie, że subiektywne poczucie komfortu zależy od pozycji podróźnej (siedząca lub stojąca).

## METODYKA BADAŃ

Wartości przyspieszenia i zrywu (zmiana przyspieszenia w czasie) są bodźcami, które wyraźnie i w oczywisty sposób zwracają uwagę pasażerów. W pracach [9, 10] przedstawiono wyniki badań, na podstawie których wykazano wpływ wzdłużnego przyspieszenia i jego zmian oraz zrywu na odczucia i zachowanie się pasażerów. Stwierdzono, że 30% z nich zwracało uwagę na zakłócenia dynamiki ruchu o wartości większej niż  $0,4 \text{ m/s}^3$ , natomiast wartość graniczna wzdłużnego zrywu, po przekroczeniu której występowały problemy z utratą równowagi była równa  $0,217 \text{ G/s}$ .

Dostępne źródła [1, 2, 3] wykorzystują do oceny poziomu komfortu dynamicznego wartości skuteczne mierzonego bodźca dynamicznego. W niniejszej analizie, porównując wyniki ocen subiektywnych z danymi zapisanymi przez rejestrator wykorzystano wartości przyspieszenia oraz zrywu, które obliczono dla czasu 5 s. Na tym etapie badań autorzy przyjęli wstępne założenie, że łączny czas odwrócenia uwagi pasażera od aktualnie wykonywanej czynności (co zgodnie z definicją komfortu dynamicznego przedstawioną w punkcie 2) wynosi 5 s. Na ten czas składają się następujące działania pasażera: reakcja motoryczna – po wystąpieniu bodźca, identyfikacja bodźca, rozpoznanie przyczyny jego wystąpienia, zanikanie bodźca oraz powrót do wykonywanej wcześniej czynności. Wartości skuteczne przyspieszenia i zrywu określone zostały zgodnie z zależnościami (1) i (2).

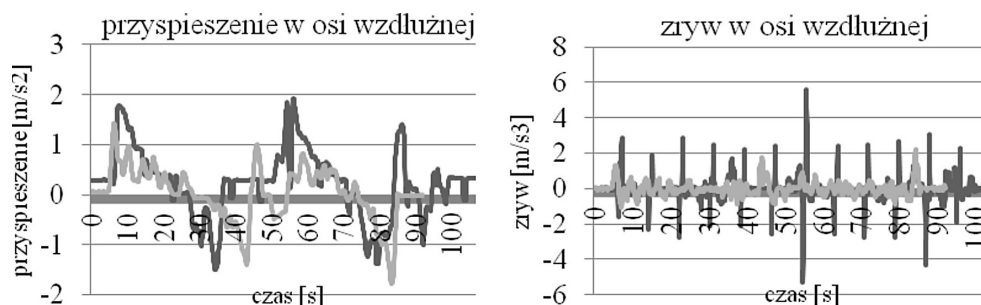
$$a_{xyz}^W(t) = \left[ \frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t (\ddot{s}_{xyz}(\tau))^2 d\tau \right]^{0,5} \quad (1)$$

$$j_{xyz}^W(t) = \left[ \frac{1}{T} \cdot \int_{t-T}^t (\ddot{j}_{xyz}(\tau))^2 d\tau \right]^{0,5} \quad (2)$$

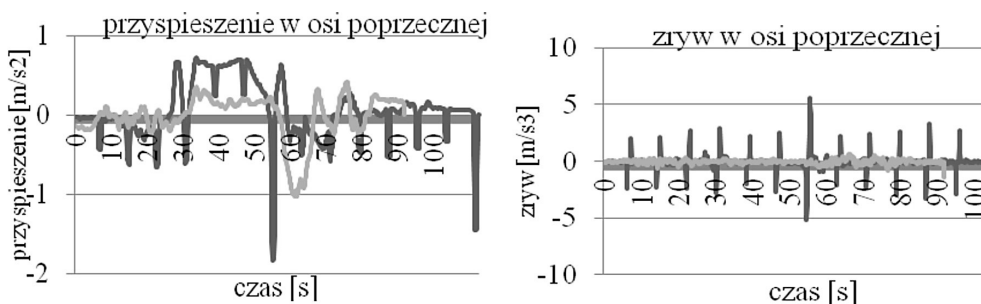
gdzie:  $a_{xyz}^W$  – wartość skuteczna przyspieszenia określana dla kierunków X, Y, Z;  
 $j_{xyz}^W$  – wartość skuteczna pochodnej przyspieszenia (zrywu) określana dla kierunków X, Y, Z;  
 T – czas pomiaru (5s i jego wielokrotność);  
 $\ddot{s}_{xyz}$  – wartość przyspieszenia zmierzone w osiach X, Y, Z.  
 $\ddot{j}_{xyz}$  – wartość pochodnej przyspieszenia zmierzone w osiach X, Y, Z.

## REZULTATY BADAŃ

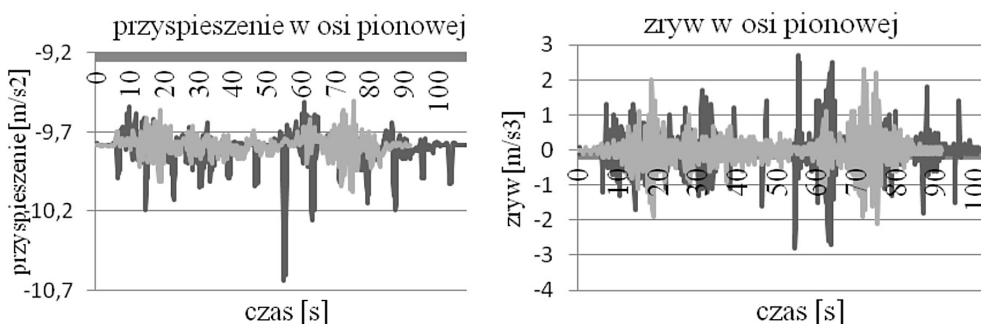
W wyniku przeprowadzonych badań zidentyfikowano odcinki, dla których oceniający negatywnie określili poziom komfortu. Obniżenie jego poziomu można powiązać z występującymi i zarejestrowanymi przez aparaturę pomiarową parametrami dynamicznymi ruchu. Na rysunkach 2-4 porównano chwilowe wartości przyspieszenia oraz zrywu zarejestrowanych podczas dwóch wybranych przejazdów. Z uwagi na czytelność poszczególnych wykresów, a także cel autorów polegający na zaprezentowaniu parametrów przejazdów ocenianych w skrajnie różny sposób – zgodnie z przyjętą skalą ocen, w niniejszym porównaniu nie przedstawiono przykładowych wyników dla przejazdu ocenionego jako „normalny”. Prezentowane wyniki dotyczą tego samego odcinka pomiarowego i zostały zarejestrowane na tym samym fragmencie trasy autobusu nr 18. Kolorem czarnym oznaczono przejazd oceniony jako „niekomfortowy”, natomiast szarym – „komfortowy”.



Rys. 2. Porównanie wartości chwilowych przyspieszenia i zrywu – oś wzdłużna pojazdu



Rys. 3. Porównanie wartości chwilowych przyspieszenia i zrywu – oś poprzeczna pojazdu

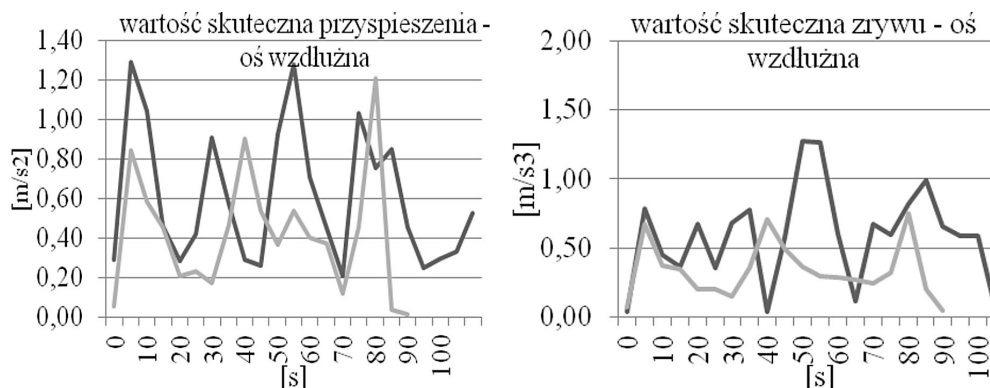


Rys. 4. Porównanie wartości chwilowych przyspieszenia i zrywu – oś pionowa pojazdu

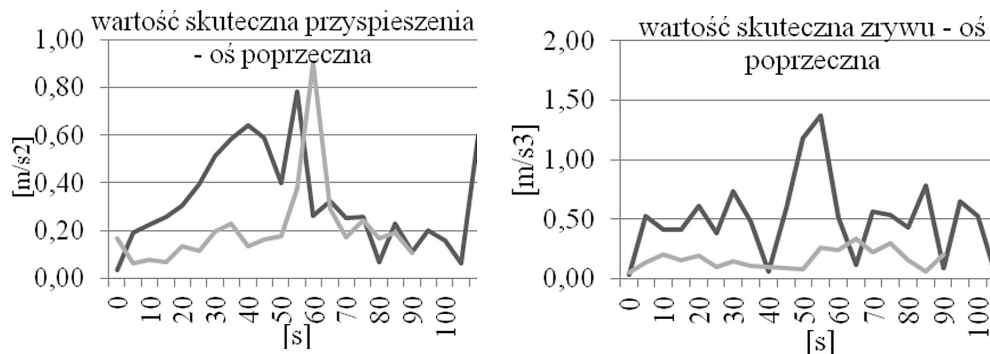
Porównanie parametrów zarejestrowanych podczas obu przejazdów pozwala na zaobserwowanie różnic oraz zidentyfikowanie punktów, w których dynamika ruchu była zaburzona, co mogło mieć wpływ na obniżenie subiektywnego poczucia komfortu. W przypadku przejazdu ocenionego jako niekomfortowy wartości szczytowe przyspieszenia i zrywu w przeważającej części odcinka pomiarowego osiągały wartości większe niż w przypadku przejazdu komfortowego.

Podobną analizę przeprowadzono porównując wartości skuteczne przyspieszenia i zrywu, które obliczone zostały dla okresów pięciosekundowych. Obliczenia przeprowadzono zgodnie z zależnościami (1) i (2). Wyniki analizy porównawczej przedstawiono na rysunkach 5–7. Podobnie jak w przypadku analizy przedstawionej

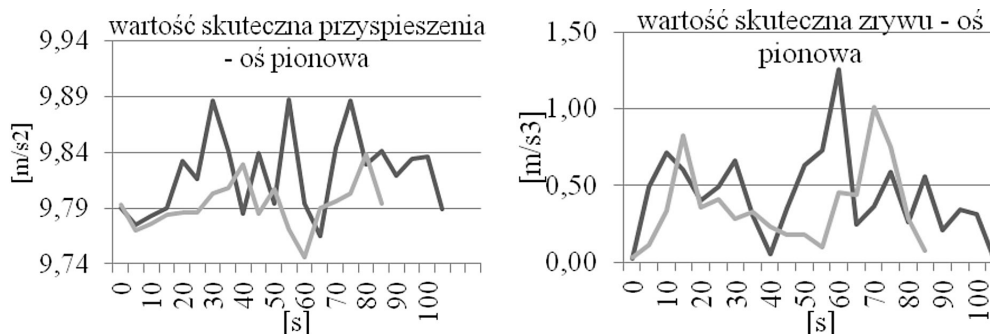
powyżej, różnice w wartościach obliczonych parametrów są wyraźnie dostrzegalne, a ich wartości szczytowe w przeważającej części odcinka pomiarowego osiągały wartości większe niż w przypadku przejazdu komfortowego. Porównanie takie daje podobne wyniki jak w przypadku porównania wartości chwilowych. Przyjęty w punkcie 3 kierunek analizy, polegający na porównaniu wartości skutecznych przy-



Rys. 5. Porównanie wartości skutecznej przyspieszenia i zrywu – oś wzdłużna pojazdu



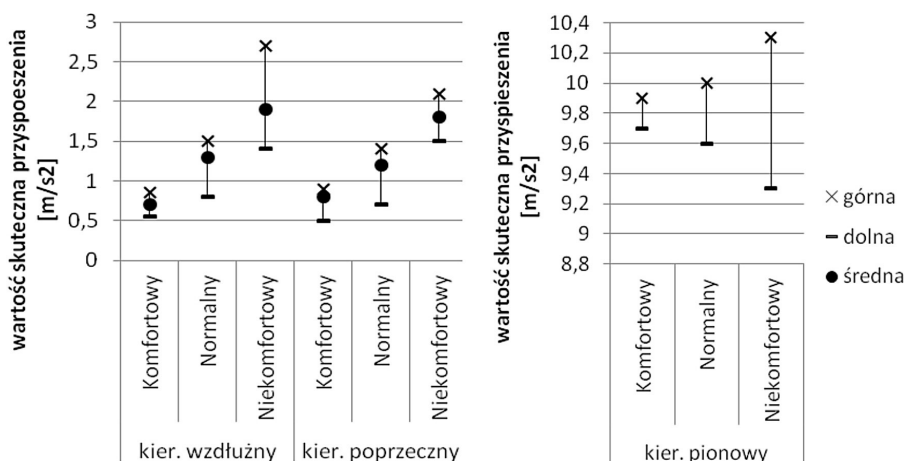
Rys. 6. Porównanie wartości skutecznej przyspieszenia i zrywu – oś poprzeczna pojazdu



Rys. 7. Porównanie wartości skutecznej przyspieszenia i zrywu – oś pionowa pojazdu

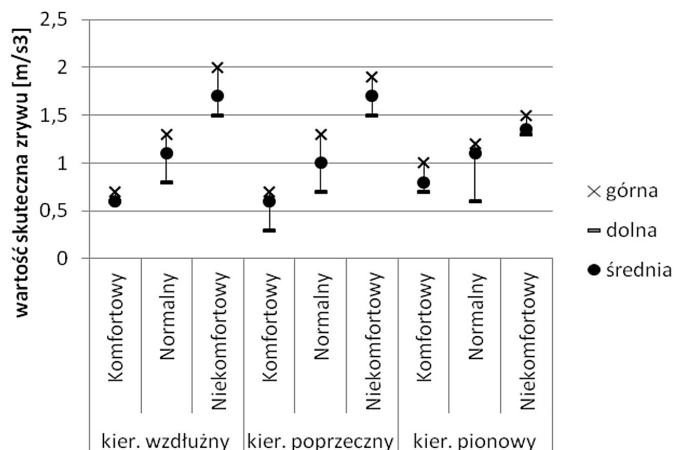
spieszenia i zrywu, jest zatem uzasadniony. Wykorzystanie w toku analizy wartości skutecznych monitorowanych parametrów daje ponadto bardziej czytelny obraz różnic między poszczególnymi przejazdami i pozwala na zidentyfikowanie odcinków trasy (nie punktów, jak w przypadku analizy wartości chwilowych), na których wystąpiło obniżenie poczucia komfortu dynamicznego.

Analizując dane zarejestrowane podczas poszczególnych odcinków pomiarowych – dla wszystkich przeprowadzonych pomiarów – można zauważyć, że nie było zasadą, aby w każdym przejeździe określonym jako „niekomfortowy” lub „normalny” średnia wartość wyznaczonych wartości skutecznych była większa niż uzyskane podczas przejazdu „komfortowego”. Na podstawie danych zarejestrowanych podczas całego cyklu badań można stwierdzić, że zdarzały się przypadki, w których dla przejazdów ocenianych w skrajnie różny sposób wartości średnie były zbliżone do siebie, a na pewnym odcinku wykresu można było zaobserwować znaczący wzrost wartości rejestrowanych parametrów. Na podstawie tej obserwacji można sformułować wniosek, że na obniżenie subiektywnego poczucia komfortu może wpłynąć jednostkowe zdarzenie polegające na przekroczeniu określonego poziomu przyspieszenia bądź zrywu. Ocena poczucia komfortu przy wykorzystaniu obiektywnej metody, określająca go na całym odcinku trasy przejazdu, jest dla takiego przypadku zadaniem obiektywnie trudnym. Z tego powodu uwaga powinna być skupiona na identyfikowaniu odcinków, na których mogło dojść do obniżenia poczucia komfortu. Identyfikacja ta może być przeprowadzona na podstawie wartości poszczególnych parametrów, lub metody uwzględniającej je razem. Wykorzystując dane zgromadzone w trakcie badań, określono maksymalne wartości skuteczne przyspieszenia i zrywu, jakie były osiągnięte w poszczególnych przejazdach. Dla każdej z ocen zidentyfikowano zakres w jakim mieściły się wartości parametrów z uwzględnieniem kierunków pomiaru, oraz średnią arytmetyczną z tych wartości (nie wyznaczano średniej arytmetycznej wartości skutecznej dla kierunku pionowego). Wyniki analizy przedstawiono na rysunkach 8 i 9.



Rys. 8. Maksymalne wartości skuteczne przyspieszenia w ocenianych przejazdach





Rys. 9. Maksymalne wartości skuteczne zrywu w ocenianych przejazdach

## PODSUMOWANIE

Na podstawie uzyskanych rezultatów stwierdzono, że istnieje związek między czynnikami dynamicznymi występującymi podczas jazdy, a subiektywnym poczuciem komfortu jazdy. Częste zmiany przyspieszenia, bądź zryw mogą być spowodowane złym stanem technicznym pojazdu albo drogi po której się on porusza, lub charakteryzować zbyt dynamiczny styl jazdy kierowcy. Wykorzystanie rejestratora parametrów ruchu pojazdu połączonego z odbiornikiem GPS podczas codziennej eksploatacji autobusów miejskich pozwoliłoby na identyfikację odcinków trasy, gdzie dochodzi do obniżenia poziomu komfortu pasażerów, oraz kierowców, w przypadku których najczęściej dochodzi do tego typu zjawisk. Wyniki badań mogą znaleźć zatem swoje zastosowanie utylitarne w projakościowych działaniach przedsiębiorstw komunikacyjnych, procesie szkolenia kierowców, a także wsparcie dla służb technicznych obsługujących pojazdy lub infrastrukturę drogową. Wydaje się, że niezbędne jest opracowanie procedury, która będzie mogła być wykorzystana jako narzędzie w tych działaniach. W tym celu autorzy pracy podejmują dalsze badania w kierunku opracowania wskaźnika, będącego elementem obiektywnej metody oceny poziomu komfortu. Rozważane jest oparcie go na wykorzystaniu wartości skutecznej przyspieszenia, zrywu, lub obu tych parametrów równocześnie. Proponuje się, aby analiza prowadzona była niezależnie, dla trzech kierunków: wzdłużnego, poprzecznego i pionowego, co da większe możliwości identyfikacji przyczyn obniżenia komfortu. Wykorzystanie w proponowanym wskaźniku wartości skutecznych pozwoli m.in. na wyeliminowanie błędów związanych z rejestrowaniem pojedynczych (chwilowych) impulsów dynamicznych o wyraźnie większej wartości, które mogą być nieodczuwalne przez pasażera, lub nieistotne z punktu widzenia przyjętej definicji komfortu i przyczyny jego obniżenia.

## LITERATURA

1. Kolejnictwo – Komfort jazdy pasażerów – Pomiary i ocena. PN-EN 12299:2009; PKN Warszawa 2009.
2. Mechanical vibration and Shock – Evaluation of human exposure to whole body vibration, Part 1: General requirements, ISO 2631-1. The International Organisation for Standardisation, 15 July 1997.
3. British Standard Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole body mechanical vibration and repeated shock, BS2631. British Standard Institution; 1987.
4. Merkisz J., Pielecha J., Tarkowski S., Pokładowe rejestratory parametrów ruchu i ich zastosowanie do oceny komfortu w autobusach miejskich. *Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, nr 5, 2012.
5. Wang F., Ma N., Inooka H., A driver assistant system for improvement of passenger ride comfort through modification of driving behavior. *International Conference on Advanced Driver Assistance Systems*, Conf. publ. No. 483 IEE 2001, pp. 38-42.
6. Castellanos J.C., Susin A.A., Fruett F., Embedded sensor system and techniques to evaluate the comfort in public transportation. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems; ITSC*, art no. 6083051, pp. 1858-1863.
7. Martin D., Litwhiler D.. An Investigation of acceleration and jerk profiles of public transportation vehicles. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 13 p.
8. Data S., Frigeiro F., Objective evaluation of handling quality. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering Volume 216, Issue 4, 2002*, pp. 297-305.
9. Andersson E., Nilstam N., The development of advanced high speed vehicles in Sweden. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D*, 198, pp. 229-237.
10. Hoberock L.L., A survey of longitudinal acceleration comfort studies in ground transportation vehicles. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 99 (2), 1977, pp. 76-84.

## DYNAMIC FACTORS AND THEIR IMPACT ON SUBJECTIVE FEELING OF COMFORT IN CITY BUSES

### Abstract

Paper presents selected aspects of using on-board data recorders to evaluation of passenger ride comfort in city buses. There are presented research results from Lublin city busses at normal work, where acceleration add its impact on passenger's subjective feeling of comfort were measured.

**Key words:** dynamic comfort, acceleration, jerk, on-board data recorder.