

Sylwia KRÓL

Instytut Pojazdów Szynowych, Politechnika Krakowska,

Jarosław SZCZYGIEL

Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych,

Politechnika Krakowska

BADANIA POZIOMU KOMFORTU WIBRACYJNEGO W WYBRANYCH TRAMWAJACH

Słowa kluczowe

Dyskomfort wibracyjny, drgania ogólne, tramwaj, transport miejski, komfort jazdy.

Streszczenie

W niniejszym artykule autorzy przedstawiają wyniki badań przeprowadzonych w wybranych tramwajach Krakowskiej Komunikacji Miejskiej. Badaniem objęto dwa typy tramwajów: 105Na i NGT6. Badania miały na celu oszacowanie poziomu dyskomfortu wibracyjnego w losowo wybranych pojazdach. Badania zostały zrealizowane na torowiskach śródmiejskich Krakowa o znacznym stopniu zużycia eksploatacyjnego.

Na podstawie zarejestrowanych sygnałów przyspieszeń drgań zostały obliczone współczynniki r.m.s, P_{CT} .

1. Wprowadzenie

Komfort podróżowania to zagadnienie złożone i składa się na nie kilka jego rodzajów: wizualny, cieplny, wibracyjny, akustyczny. Autorzy poruszają temat tylko komfortu wibracyjnego. Jest to termin stosunkowo nowy głównie spotykany w publikacjach zagranicznych. Pojęcie komfortu wibracyjnego w polskiej

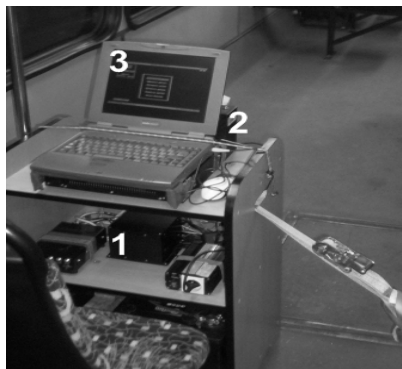
literaturze występuje najczęściej jako komfort związany z wrażliwością człowieka na drgania generowane przez pojazd szynowy w trakcie jazdy.

Należy zauważyć, że ograniczając rozważania do szynowego transportu miejskiego brak jest jednoznacznych wytycznych oraz przepisów oceniających poziom komfortu jazdy. Ze względu na krótkotrwałość ekspozycji oraz duże zmiany wartości przyspieszenia drgań pod uwagę należy wziąć przede wszystkim chwilowe odczucia pasażera. W szczególności dotyczy to komfortu na krzywych przejściowych i łukach oraz komfortu w aspekcie chwilowych zaburzeń ruchu. Dla pojazdów kolejowych od wielu lat trwają badania nad podniesieniem poziomu komfortu wibracyjnego. Na ich podstawie opracowano wskaźniki oraz wytyczne pozwalające oszacować poziom komfortu, jakim charakteryzuje się dany pojazd kolejowy. Biorąc pod uwagę podobieństwa pojazdu kolejowego i tramwajowego można podjąć próbę wykorzystania już istniejących wskaźników, np. P_{CT} opracowanych dla taboru kolejowego. Zostanie to pokazane w dalszej części artykułu.

2. Badania

Badania zostały przeprowadzone w celu analizy poziomu dyskomfortu wibracyjnego w tramwajach 105Na i NGT6 eksploatowanych przez Miejskie Przedsiębiorstwo Komunikacyjne w Krakowie. Stan techniczny tramwajów nie został zweryfikowany przed badaniami i nie był brany pod uwagę, ponieważ Autorzy chcieli uzyskać przeciętne wskaźniki komfortu dla pojazdów będących w eksploatacji.

Głównymi elementami toru pomiarowego (Rys. 1) był układ pomiarowy Crossbow® (1), przetwornik A/C (2) próbkujący z częstotliwością 50 [Hz] oraz komputer (3) z oprogramowaniem i zasobami pamięci. Układ pomiarowy Crossbow® umożliwia rejestrowanie sygnałów przyspieszenia wzdłuż trzech prostopadłych osi (dokładność 0,1 [m/s^2]) oraz prędkości kątowych wokół tych osi



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe

(dokładność 0,2 [°/s]). Badania przeprowadzono bez udziału pasażerów na stosunkowo długim odcinku tracji tramwajowej: na odcinkach prostych, krzywych przejściowych, łukach kołowych i rozjazdach. Rejestracji przyspieszeń drgań dokonano w trzech prostopadłych do siebie osiach w środkowej części pierwszego wagonu tak dla tramwaju 105Na, jak i NGT6.

2.1. Analiza częstotliwościowa sygnałów przyspieszenia

Na podstawie analizy widmowej zarejestrowanych sygnałów sporządzono wykresy widmowej gęstości mocy sygnałów przyspieszeń w trzech prostopadłych osiach. Wykresy przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Rejestrowano sygnały na podłodze dla tramwaju 105Na oraz NGT6. Odcinkiem pomiarowym był przejazd ulicami w obrębie Starego Miasta i skrzyżowań, w tym obszarze miejskim, z czym związany był stan torowiska. Odcinek badawczy przejechano z prędkością 35 [km/h]. Biorąc pod uwagę obszar badawczy, spodziewano się znaczących wartości wymuszeń. Gęstości widmowe mocy dla kierunku podłużnego są bardzo podobne dla obu tramwajów. Dla kierunku poprzecznego widoczne są różnice wynikające z częstotliwości drgań własnych zawieszenia badanych tramwajów. Dla osi pionowej widma różnią się w sposób bardziej znaczący. Dla tramwaju 105Na widoczny jest rezonans dla częstotliwości ok. 3,5 [Hz]. W przypadku widma tramwaju NGT6 amplitudy utrzymują się na wyższym, ale stałym poziomie w całym zakresie częstotliwości.

2.2. Wartości skuteczne przyspieszeń r.m.s.

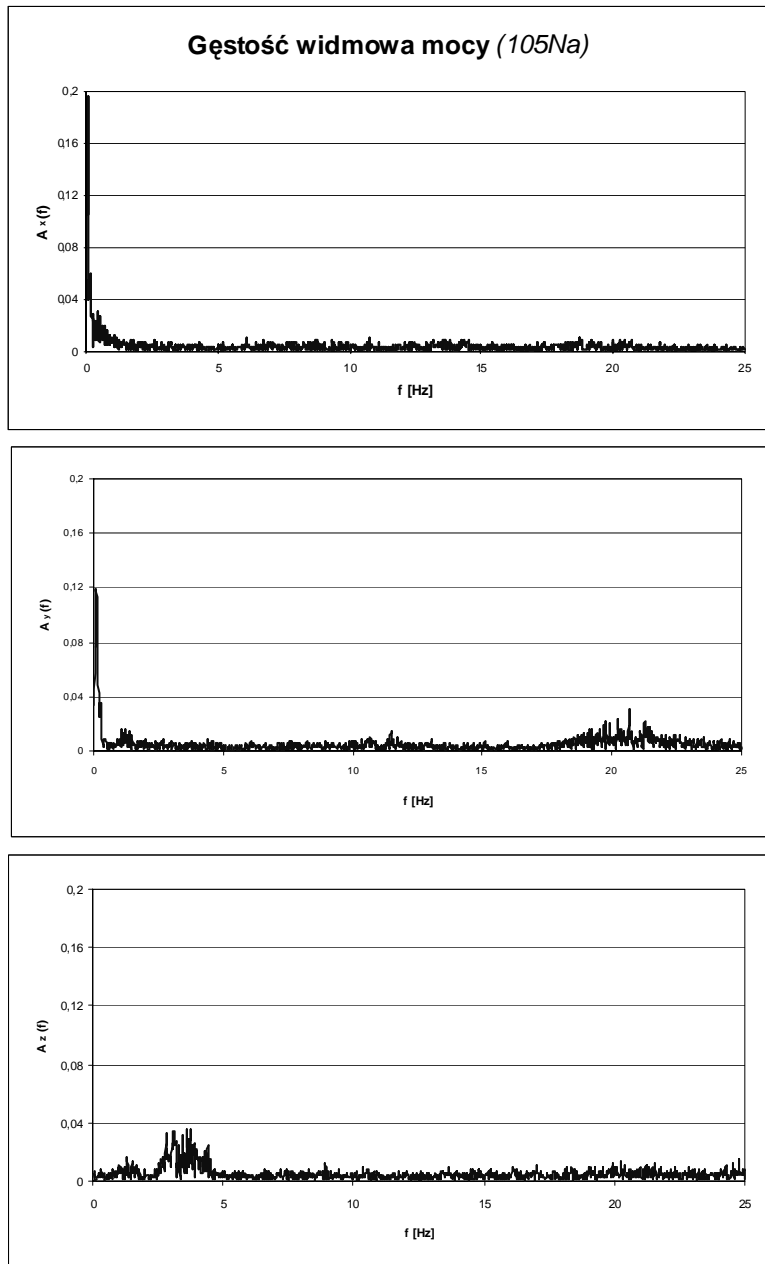
Poziom drgań najlepiej charakteryzuje wartość skuteczna drgań r.m.s. Wielkość skuteczna r.m.s. uwzględnia zarówno historię przebiegu, jak również określa wielkość amplitudy, która jest ściśle związana z wielkością energii sygnału [1].

Skuteczne przyspieszenie r.m.s. (m/s^2) dyskretnego sygnału obliczono z następującego wzoru:

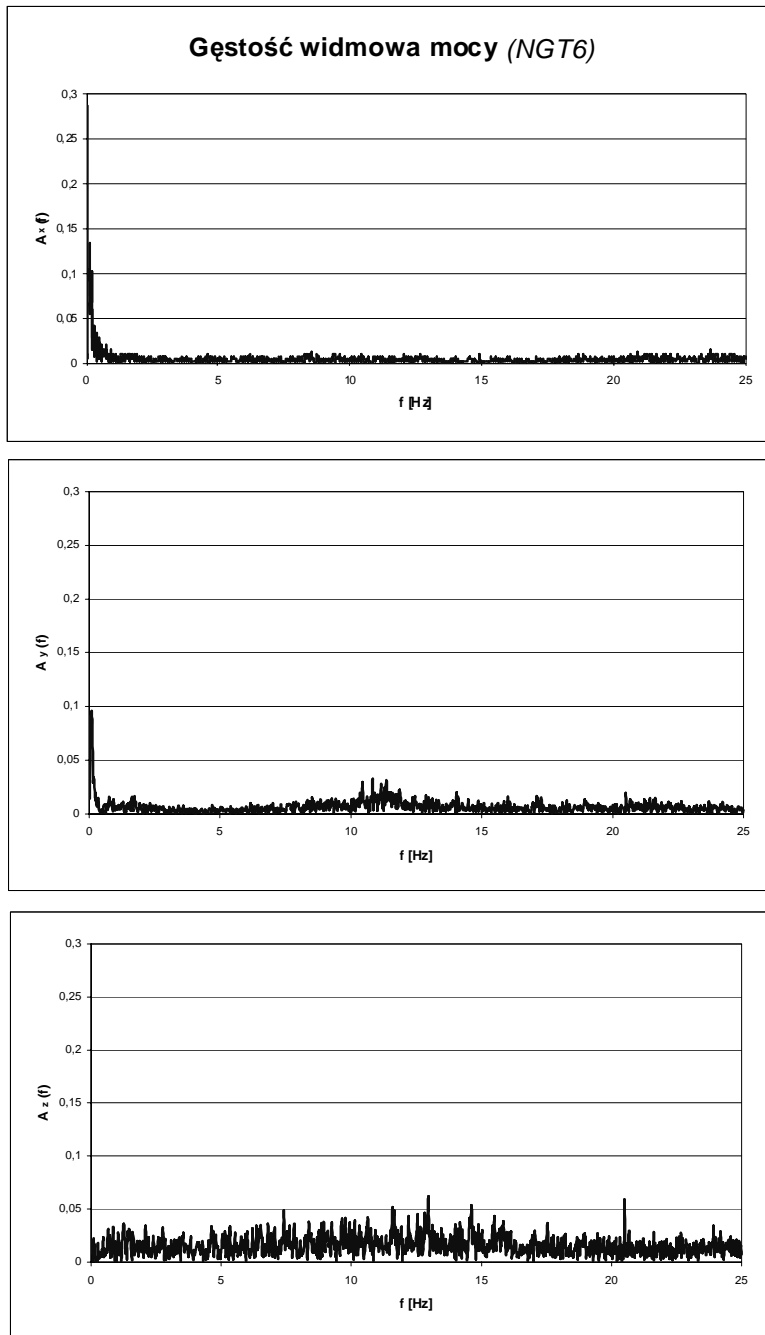
$$r.m.s. = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} a(n)^2} \quad (1)$$

gdzie: $a(n)$ – n-ta próbka przyspieszenia,
 N – całkowita liczba próbek w sygnale.

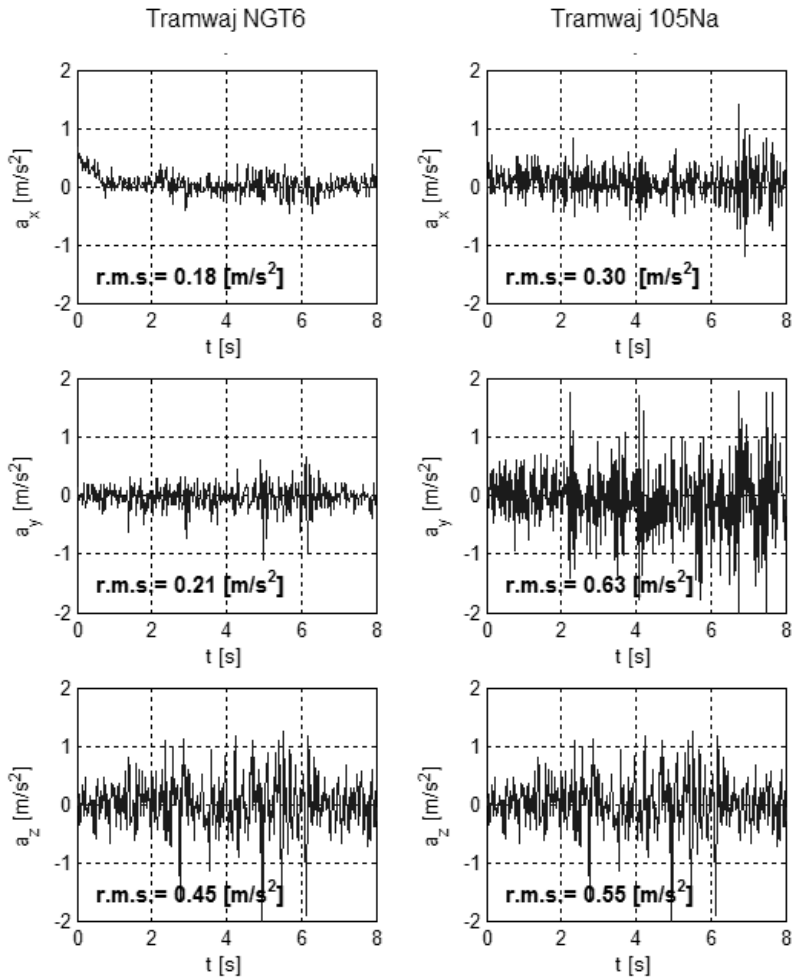
Na rysunku 4 pokazano sygnały przyspieszeń w trzech osiach zarejestrowane w czasie przejazdu przez rozjazd (skrzyżowanie ulic Dietla, Stradomska, Krakowska) tramwaju NGT6 i 105Na. Dla każdego kierunku danego tramwaju obliczono wartość skuteczną przyspieszeń r.m.s. Można zauważyć większe amplitudy w każdym kierunku drgań dla tramwaju 105Na, co potwierdzają wartości r.m.s.



Rys. 2. Widmowa gęstość mocy sygnałów przyspieszenia rejestrowanych na podłodze w tramwaju 105Na



Rys. 3. Widmowa gęstość mocy sygnałów przyspieszenia rejestrowanych na podłodze w tramwaju NGT6



Rys. 4. Sygnały przyspieszenia rejestrowane na podłodze oraz ich wartości skuteczne

W przypadku NGT6 największe przyspieszenia występują dla osi pionowej z, dla 105Na w osi y. W obu przypadkach najmniejsze amplitudy przyspieszeń są w osi podłużnej x.

W tabeli 1 przedstawiono poziomy dyskomfortu i odpowiadające im przedziały wartości r.m.s. ważonych przyspieszeń, zaczerpnięte z norm europejskich i brytyjskich.

Na podstawie wartości r.m.s. zarejestrowanych przyspieszeń można wnioskować, że poziom dyskomfortu podczas pokonywania rozjazdu o nienajlepszym stanie technicznym kształtuje się na poziomie jedynie małego dyskomfortu. Ważenie zarejestrowanych przyspieszeń w dziedzinie częstotliwości dopro-

wadziłyby do obniżenia wartości r.m.s przez co zbliżenia się do poziomu braku dyskomfortu wg tabeli 1.

Tabela 1. Poziomy dyskomfortu wibracyjnego sugerowane przez BS 6841:1987 i ISO 2631:1997 [2, 3]

r.m.s. [m/s ²]	Poziom dyskomfortu
< 0,315	brak dyskomfortu
0,315 – 0,63	mały dyskomfort
0,5 – 1	dość niekomfortowo
0,8 – 1,6	niekomfortowo
1,25 – 2,5	bardzo niekomfortowo
> 2,5	ekstremalnie niekomfortowo

2.3. Komfort jazdy na krzywych przejściowych i łukach P_{CT}

Metoda ta koncentruje się na pomiarze i ocenie komfortu na krzywych przejściowych, który dostrzegalny jest przez pasażerów jako nagła zmiana przeciętnego odczucia komfortu. Zmiana ta spowodowana jest pojawieniem się drgań o niskiej częstotliwości podczas przejścia z odcinków prostych w krzywe przejściowe lub odwrotnie. Wskaźnik P_{CT} jest oparty na relacji pomiędzy przeciętnym procentowym niezadowoleniem pasażerów z poziomu komfortu i największymi wartościami przyspieszenia bocznego, poprzecznego zrywu oraz prędkość przechyłu poprzecznego pudła pojazdu. Sygnały wyżej wymienionych wielkości są filtrowane filtrem dolnoprzepustowym 2 [Hz] wg norm CEN ENV 12299 [4].

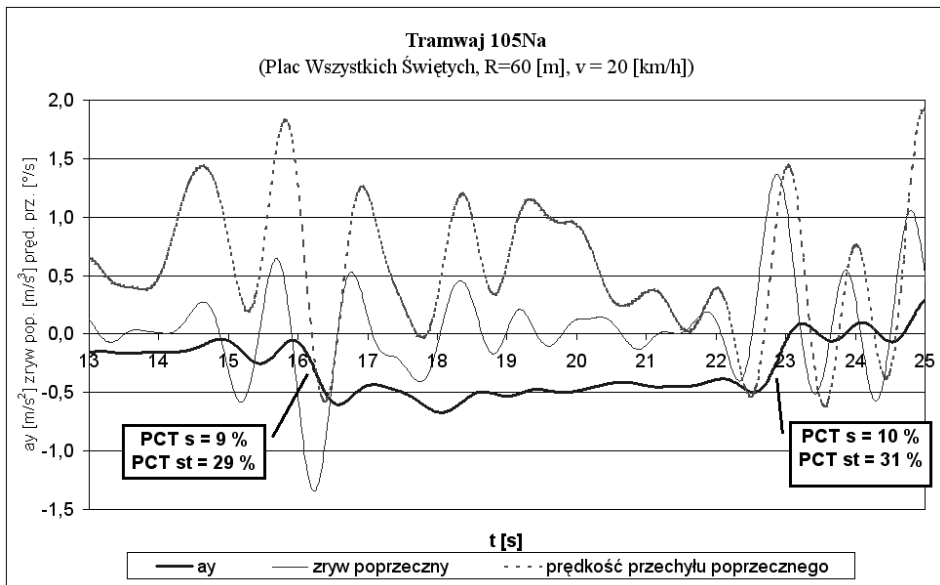
Wskaźnik P_{CT} jest obliczany na podstawie poniżej formuły:

$$P_{CT} = 100\% \cdot \left\{ \max \left[\left(A \cdot \left| y_{1s}^{\circ\circ} \right|_{\max} + B \cdot \left| y_{1s}^{\circ\circ\circ} \right|_{\max} - C \right); 0 \right] + \left(D \cdot \left| \phi_{1s}^{\circ} \right|_{\max} \right)^E \right\} \quad (2)$$

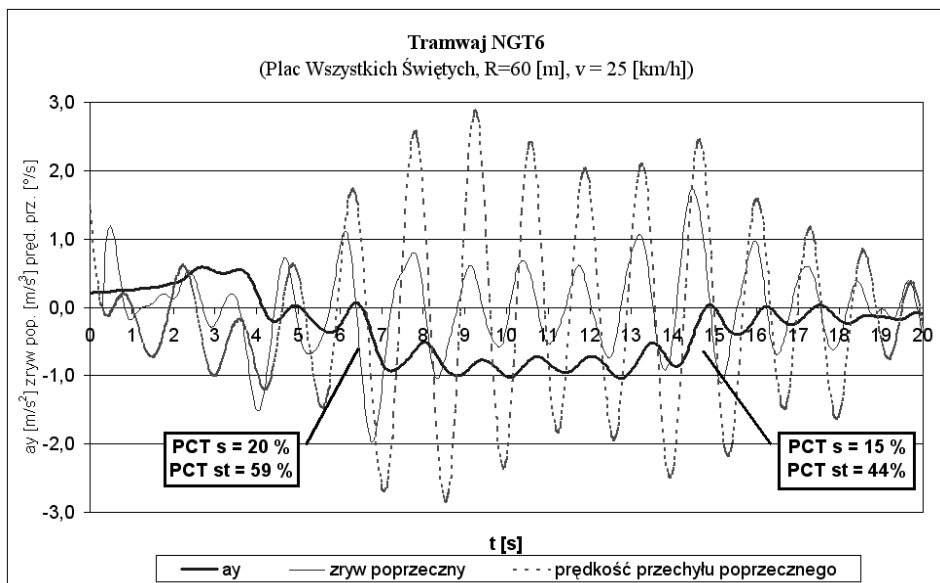
gdzie:

- $\left| y_{1s}^{\circ\circ} \right|_{\max}$ – maksymalna wartość bezwzględna przyspieszenia poprzecznego pojazdu [m/s²],
- $\left| y_{1s}^{\circ\circ\circ} \right|_{\max}$ – zryw, maksymalna wartość bezwzględna pierwszej pochodnej przyspieszenia poprzecznego [m/s³],
- $\left| \phi_{1s}^{\circ} \right|_{\max}$ – maksymalna wartość bezwzględna prędkość przechyłu poprzecznego pudła [rad/s],

A, B, C, D – stałe.



Rys. 5. Filtrowane sygnały zarejestrowane na podłodze tramwaju 105Na



Rys. 6. Filtrowane sygnały zarejestrowane na podłodze tramwaju NGT6

Na rysunkach 5 i 6 pokazano przebiegi filtrowanych sygnałów przyspieszenia poprzecznego, zrywu poprzecznego oraz prędkości przechyłu poprzecznego. W sytuacji pokonywania krzywych przejściowych widoczny jest skok przyspieszenia poprzecznego, co potwierdzają piki zrywu poprzecznego. Obliczono również wskaźnik P_{CT} dla krzywych przejściowych przy wejściu w łuk kołowy i wyjściu z łuku kołowego. Wyniki zawarto poniżej w tabeli 2.

Tabela 2. Wartości wskaźnika P_{CT} dla tramwaju 105Na i NGT6

Tramwaj	105Na 20 [km/h]	NGT6 25 [km/h]
Krzywa przejściowa wejściowa		
P_{CT} pozycja siedząca [%]	9	20
P_{CT} pozycja stojąca [%]	29	59
Krzywa przejściowa wyjściowa		
P_{CT} pozycja siedząca [%]	10	15
P_{CT} pozycja stojąca [%]	31	44

W przypadku tramwaju NGT6 wartości wskaźnika P_{CT} są wyższe, co może wynikać z większej prędkości przejazdu badanego odcinka. Zbliżony procent pasażerów odczuwa dyskomfort w przypadku krzywej przejściowej wejściowej jak i wyjściowej. Zauważalna jest również większa dynamika poprzeczna tramwaju NGT6 w łuku.

3. Podsumowanie

Zrealizowane badania wskazują na niewielkie zróżnicowanie wskaźnika komfortu jazdy r.m.s. dla obu badanych typów pojazdu. Oceniając na podstawie tabeli 2 można stwierdzić, że pojawia się jedynie mały dyskomfort. Jeżeli uznać wskaźnik P_{CT} za właściwy do oceny komfortu w tramwaju, co powinno być zdaniem autorów przedmiotem dalszych badań, to różnice w ocenie typów badanych tramwajów są już bardziej znaczące. Dotychczas zrealizowane badania można traktować jako badania wstępne dla oceny komfortu występującego w pojazdach komunikacji miejskiej.

Bibliografia

1. Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem, PWN, Warszawa 1993.
2. ISO 2631 (1985), Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements, Geneva.
3. BS 6841 (1987), Guide to measurement and evaluation of human exposure to wholebody mechanical vibration and repeated shock, British Standard Institution, London.
4. CEN ENV 12299 (1999, 2006), Railway applications – Ride comfort for passengers – Measurements and evaluation, Draft.

Recenzent:
Wojciech BATKO

Research of vibration discomfort in selected trams

Key-words

Vibration discomfort, whole body vibration, tram, transport city, ride comfort.

Summary

The article presents the results of Cracow trams comfort tests. The 105Na and NGT6 trams were the subject of tests. The evaluating of vibration comfort level was the aim of tests. The tests were carried out on old Cracow tram tracks. On the bases of the vibration acceleration signals, the r.m.s. index and Pct index were calculated.