

Tadeusz Uhl, Artur Hanc, Dariusz Długaszek, Adam Szromek

Rzeczywiste obciążenie tramwajów w ruchu miejskim

Obecnie we wszystkich środkach transportu zbiorowego w Polsce zaobserwowano zmniejszenie zagęszczenia osób podróżujących. Niepotykane już są sytuacje, jakie miały miejsce jeszcze w latach 80., kiedy w godzinach szczytu (wówczas ok. godz. 5.00–6.00 oraz 14.00–15.00) nieraz w ogóle nie można było wejść do zatłoczonego tramwaju czy autobusu. Ludzie masowo podróżowali do dużych zakładów pracy i z pracy w ściśle określonych godzinach. Kurs pojazdu przypadający w tych godzinach był szczególnie przeciążony. Dość często też zdarzały się awarie oraz anulowanie kursu.

W ostatnim czasie sytuacja się zmieniła. Również zmieniły się preferencje podróżowania wielu Polaków. Część osób wybrała transport indywidualny (samochód), bardzo dużych zakładów pracy jest coraz mniej, dla wielu osób godziny pracy uległy przesunięciu lub wydłużeniu, zatem liczba osób udających się w tych samych godzinach w te same miejsca pracy się zmniejszyła.

Obecnie pasażerowie oczekują wyższego komfortu podróżowania, większej liczby miejsc siedzących, krótszego okresu oczekiwania na tramwaj oraz punktualności i bezawaryjności tramwajów. Większość pasażerów porównuje polskie i zachodnioeuropejskie warunki przejazdu (nasza akcesja do Unii Europejskiej podnosi wymagania Polaków). Często sytuacja, gdy w tramwaju zajęte są wszystkie miejsca siedzące i część osób podróżuje stojąc określana jest przez wielu ludzi jako uciążliwe zatłoczenie. Wzrost oczekiwań pasażerów wyraźnie pokazują różne badania ankietowe między innymi przeprowadzone w Warszawie w 1998 r. na zlecenie Zarządu Transportu Miejskiego [1]. Podobne wyniki uzyskano sprawdzając zadowolenie i oczekiwania pasażerów w stosunku do publicznego transportu w kilku miastach Polski (Gdańsk, Kraków, Poznań, Warszawa, Wrocław) [2].

Aby odpowiedzieć na takie oczekiwania pasażerów, konieczna jest współpraca i lepsze zrozumienie między producentami taboru, użytkownikami (przedsiębiorstwa komunikacyjne) i organami prowadzącymi. Celem powinna być taka modyfikacja przepi-

sów, aby komunikacja tramwajowa mogła się szybciej rozwijać, producenci mogli uniknąć zbędnych kosztów oraz niepotrzebnego ryzyka, a przedsiębiorstwa komunikacyjne mogły otrzymać nowoczesny tabor po przystępnej cenie, z którego będą zadowoleni zarówno eksploatacyjni, jak i pasażerowie.

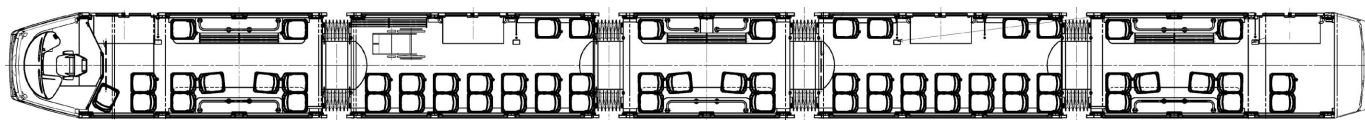
Porównanie przepisów polskich i europejskich

Obowiązujące w Polsce rozporządzenie¹ nr 993 MTiGM z 17.09.1999 r. (Dz.U nr 88/1999) określa znamionową liczbę miejsc w tramwaju, przy założeniu 0,15 m² powierzchni na jednego pasażera stojącego, co daje 6,67 osoby/m². Zgodnie z Rozporządzeniem maksymalna liczba miejsc musi być przyjmowana przy założeniu 0,1 m² powierzchni na jednego pasażera stojącego, co daje 10 osób na każdym metrze kwadratowym powierzchni tramwaju. Masę każdego pasażera należy przyjmować jako 68 kg, masę motorniczego zaś jako 75 kg. Są to przepisy określające niezbędne warunki techniczne, które muszą zostać spełnione, aby pojazd tramwajowy otrzymał dopuszczenie do ruchu. Powinien je spełniać każdy nowy tramwaj sprzedawany lub oferowany na polskim rynku.

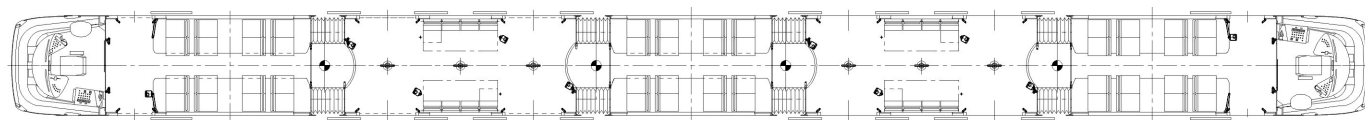
Warunki te nie określają wymagań dotyczących wytrzymałości konstrukcji tramwaju, jej badań i obliczeń. Użytkownicy tramwajów najczęściej wymagają, aby konstrukcja pojazdu spełniała międzynarodowe przepisy kolejowe, np. karty serii UIC 515, bądź określone europejskie normy tramwajowe, np. niemieckie przepisy BOStrab, z uwzględnieniem szczególnych warunków panujących w Polsce lub w konkretnym mieście.

Europejskie przepisy różnią się od polskich. Wymagania odnośnie maksymalnej i nominalnej liczby pasażerów jadących tramwajem są w Europie niższe niż w Polsce.

Niemieckie przepisy zawarte w dokumencie BOStrab nr 155 wydane przez VDV (Niemieckie Zrzeszenie Władz Transportu Publicznego) podają, że jako maksymalne obciążenie tramwaju należy przyjmować masę 500 kg rozłożoną na powierzchni każdego metra kwadratowego tramwaju w miejscach przeznaczonych dla pasażerów stojących oraz 75 kg na każdym miejscu do siedzenia. Przy założeniu masy pasażera 75 kg daje to 6,67 osoby/m². Masę



Rys. 1. Rozmieszczenie siedzeń w tramwaju Citadis 302 Rotterdam

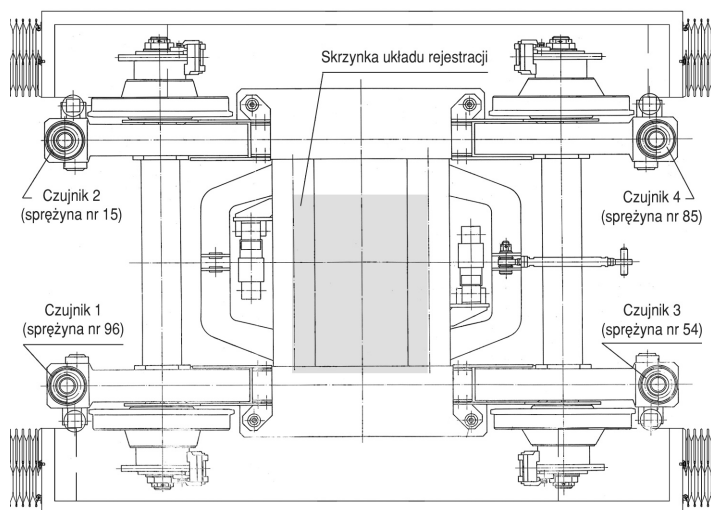


Rys. 2. Rozmieszczenie siedzeń w tramwaju Citadis 302 Bordeaux

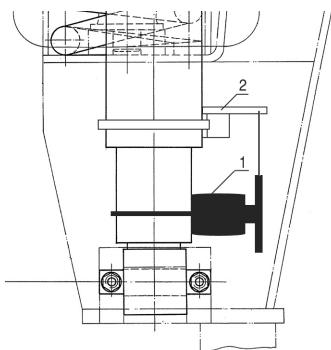
¹ Artykuł odnosi się do rozporządzenia nr 993 z 17.09.1999 r., gdyż został opracowany przed ogłoszeniem nowego rozporządzenia ustalającego warunki techniczne tramwajów.

motorniczego przyjmuje się równą 80 kg. BOStrab [4] określa jeszcze jedną wielkość, tj. $2/3$ obciążenia maksymalnego, co daje ok. 4,5 osoby/m². Istotne jest to, że w niemieckich tramwajach jest duży procentowy udział miejsc siedzących w stosunku do wszystkich miejsc tj. 30–40% (dla 6,67 osoby/m²). W Polsce typowy tramwaj klasy 105N ma 16% udział miejsc siedzących w ogólnej liczbie miejsc (dla 6,67 osoby/m²). W wytycznych BO-Strab dotyczących projektowania lekkich pojazdów szynowych podawane są również obciążenia dynamiczne, które należy uwzględnić przy obliczeniach konstrukcji tramwajów. Wytyczne te określają dopuszczalne przyspieszenia odpowiednich elementów pojazdu. Przyspieszenia te, dla pomiarów realizowanych w czasie monitorowania, wynoszą w kierunku:

- pionowym – 1,4 m/s²;
- poziomym poprzecznym – 1,1 m/s²;
- poziomym porzecznym dla szyn rowkowych – 1,3 m/s²;
- pionowym przy przejeździe przez zwrotnice z głębokimi rowkami – 1,2 m/s²;
- poziomym przy przejeździe przez zwrotnice z głębokimi rowkami – 0,9 m/s²;
- pionowym przy przejeździe przez zwrotnice z płytkimi rowkami – 1,6 m/s²;
- poziomym przy przejeździe przez zwrotnice z płytkimi rowkami – 0,9 m/s².



Rys. 3. Schemat zamocowania czujników do pomiaru sił w sprężynach drugiego stopnia usprężynowania



Rys. 4. Schemat zamocowania czujnika przemieszczeń
1 - przetwornik pomiarowy (czujnik przemieszczeń), 2 - uchwyty

We Włoszech jako normalne obciążenie przyjmuje się 4 osoby/m², zaś jako obciążenie maksymalne 6 osób/m². Dla celów obliczeń przyjmuje się przeciążenie, tj. 8 osób/m², powiększone o kolejne 50% uwzględniające działanie sił dynamicznych. Masę jednego pasażera określono nieco inaczej niż w polskich przepisach, średnio jako 70 kg. Włoskie przepisy określają dokładnie zależność między liczbą miejsc siedzących i stojących w tramwaju. Dla pojazdów jednokierunkowych liczba miejsc siedzących powinna wynosić 20% całkowitej ilości miejsc w tramwaju przy wypełnieniu normalnym tzn. przy 4 osoby/m². Dla pojazdów dwukierunkowych (z drzwiami umieszczonymi po obu stronach tramwaju) liczba miejsc siedzących powinna wynosić 15% całkowitej liczby miejsc w tramwaju przy wypełnieniu 4 osoby/m².

W praktyce jednak okazuje się, że tramwaje eksploatowane w wielu włoskich miastach mają większy udział miejsc do siedzenia (dla 4 osób/m²) np. Turyn – 35%, Mediolan – 36%, Rzym (dwukierunkowy) – 30%. Wymagania dotyczące wskaźników wypełnienia tramwajów we Włoszech określone są przez normę CEI 9-68:2002-03.

We Francji udział miejsc siedzących w całkowitej liczbie miejsc wynosi ok. 16–22% (przeliczenia dla 6,67 osoby/m²), ale trzeba uwzględnić to, że prawie wszystkie nowe tramwaje francuskie to pojazdy dwukierunkowe, które mają – z uwagi na dwukrotnie większą liczbę drzwi – zredukowaną liczbę miejsc do siedzenia.

Porównując przepisy wymagane w Polsce i innych krajach europejskich należy zauważyć, że tramwaje dla warunków polskich muszą być przystosowane do większych obciążeń. Często powoduje to, że są one cięższe i droższe niż podobne konstrukcje w innych krajach. Spostrzeżenie to nasunęło autorom pracy podjęcie tematu analizy rzeczywistych obciążeń, którym poddawane są pojazdy eksploatowane w Polsce.

Badania tramwaju w ruchu miejskim

Do badania rzeczywistego widma obciążenia tramwaju można zastosować metodę ciągłego monitoringu występujących obciążeń. Aby zrealizować to zadanie postanowiono rejestrować ugięcia sprężyn zawieszenia wózka tocznego tramwaju niskopodłogowego.

Układ pomiarowy ugięć sprężyn pokazano na rysunku 3. Przetwornik pomiarowy 1 (rys. 4) zbudowany został na bazie przetwornika potencjometrycznego – czujnika kąta obrotu typ 9800 firmy Duncan. Na bęben zamocowany na osi potencjometru nawinięta jest linka stalowa, która odwijala się przy rozciąganiu sprężyny zawieszenia, natomiast nawijała w momencie uginania sprężyny. Układ pomiarowy zamontowany był na konstrukcji w sposób przedstawiony na rysunku 4. Zmierzone ugięcie odzwierciedlało siłę w sprężynie podczas wsiadania lub wysiadania pasażerów na przystankach tramwajowych. Znając siły w sprężynach można wyznaczyć wypadkowe obciążenie przypadające na poszczególne człony tramwaju. Zmierzone wartości rejestrowano podczas postoju tramwaju na przystanku, w tym celu do układu rejestrującego, przedstawionego schematycznie na rysunku 5, doprowadzony był sygnał zatrzymania tramwaju. Po wykryciu zatrzymania system rozpoczynał rejestrację.

Kalibracji układu pomiarowego dokonano na maszynie wytrzymałościowej. W tym celu zarejestrowano przebieg charakterystyki siły przemieszczenia oraz wprowadzono jej przebieg do pamięci rejestratora. Eksperyment powtórzono dla wszystkich

sprężyn zastosowanych w monitorowanym pojeździe. Zakres rejestrowanych sygnałów w rejestratorze wynosił 0-5 V, co odpowiadało pełnemu zakresowi ugięcia sprężyny.

Zasadę pomiaru siły działającej w sprężynie opisują następujące związki:

$$P = K \cdot x \quad (1)$$

$$x = K_c \cdot U$$

gdzie siłę P mierzy się poprzez ugięcie sprężyny x , natomiast ugięcie x mierzy się przez pomiar napięcia wyjściowego przetwornika.

Podstawiając do równania pierwszego równanie drugie otrzymujemy:

$$P = K \cdot K_c \cdot U \quad (2)$$

Oznaczając stałą przetwornika siły K_p

$$K_p = \frac{P}{U}$$

równanie (2) przyjmie postać:

$$K_p = K \cdot K_c \quad (3)$$

Błąd względny wyznaczenia stałej K_p określony metodą różniczką zupełnej wyniesie:

$$\delta K_p = \frac{\partial}{\partial K} \cdot \delta K + \frac{\partial}{\partial K_c} \cdot \delta K_c = K_c \cdot \delta K + K \cdot \delta K_c \quad (4)$$

Podstawiając dane dla poszczególnych czujników i współpracujących z nimi sprężyn otrzymujemy (przykład dla wybranego czujnika):

– czujnik numer 1

Stała przetwornika $K_p = 0,5652 \cdot 18,84 = 10,65 \text{ kN/V}$

Błąd względny $\delta K_p = 18,84 \cdot 0,0014 + 0,5652 \cdot 0,2 = 0,139 \text{ kN/V}$

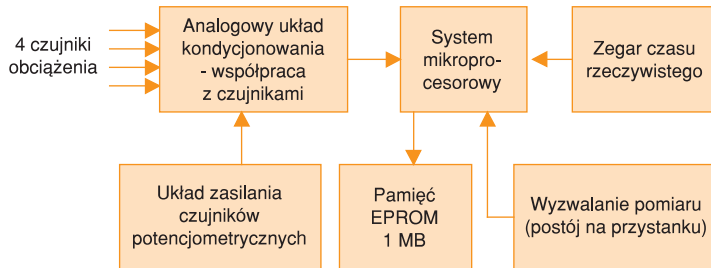
Błąd bezwzględny $\frac{\delta K_p}{K_p} = \frac{0,139}{10,65} \cdot 100 = 1,3\%$

Wyznaczone stałe tak skonstruowanych przetworników wyniosły ok. 10 kN/V, natomiast błąd względny pomiaru siły – maksymalnie 1,5%.

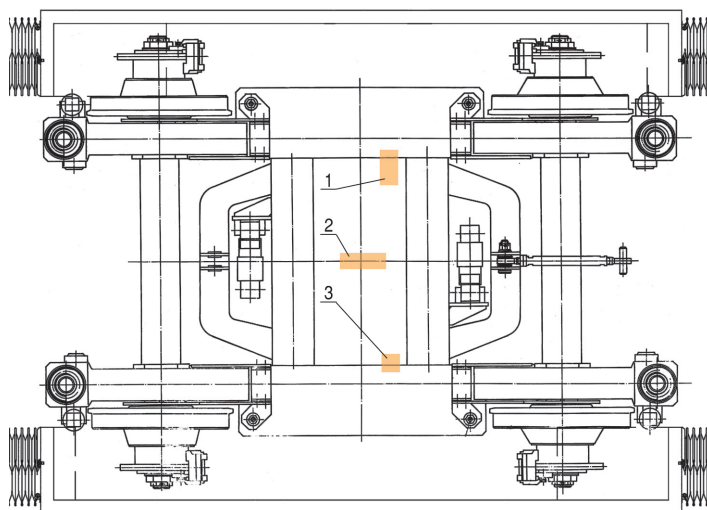
W czasie jazdy pojazdu rejestrowano natomiast przyspieszenia pudła, które stanowią miarę oddziaływań dynamicznych. Drgania pudła tramwaju mierzone są z wykorzystaniem 3 czujników drgań umieszczonych w trzech kierunkach: pionowym, wzdłużnym i poprzecznym w stosunku do osi głównej tramwaju. W celu pomiaru drgań zastosowano zamocowane na ramie pudła tramwaju czujniki drgań firmy PCB typ 601A01 w standardzie ICP o czułości 100 mV/g.

Schemat rozmieszczenia czujników przyspieszeń przedstawiono na rysunku 6. Rejestracja drgań w systemie jest ciągła z interwałem 1 min. Dodatkowo zaimplementowany algorytm „pretriggera” umożliwia wyzwolenie szybkiej rejestracji (interwał 1 s) po przekroczeniu określonego progu drgań. Pozwala to na zarejestrowanie szybkich zmian poziomu drgań. Schemat układu pomiarowego do rejestracji przyspieszeń przedstawiono na rysunku 7.

Opisany układ pomiarowy zamontowano na jednym z pojazdów typu 116Na używanym przez Tramwaje Warszawskie. Parametry przyspieszeń oraz sił rejestrowano od 27.02.2002 r. do 24.04.2002 r. Pojazd był eksploatowany w normalnym ruchu

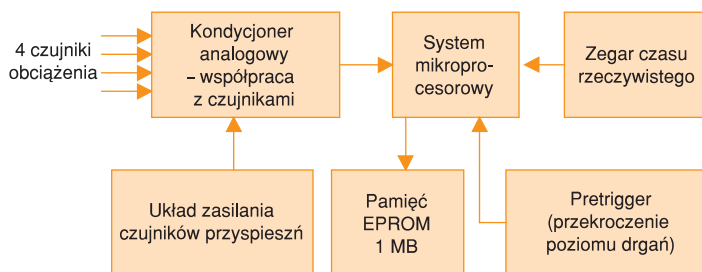


Rys. 5. Schemat układu rejestracji sygnału z czujników przemieszczeń



Rys. 6. Schemat rozmieszczenia czujników drgań

1 - czujnik drgań poprzecznych, 2 - czujnik drgań wzdłużnych, 3 - czujnik drgań pionowych



Rys. 7. Schemat rejestratora drgań

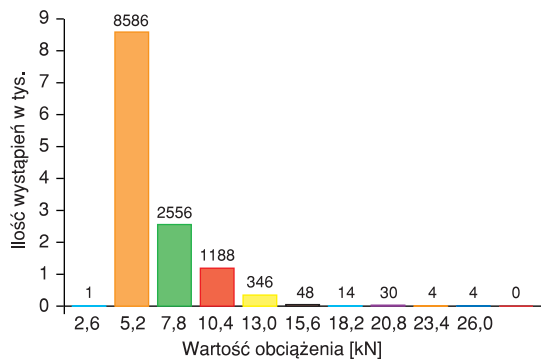
zgodnie z rozkładem jazdy. W tym okresie tramwaj ten obsługiwał różne linie, również te uznawane przez Zarząd Transportu Miejskiego i Tramwaje Warszawskie za bardzo obciążone.

Wyniki monitorowania obciążeń

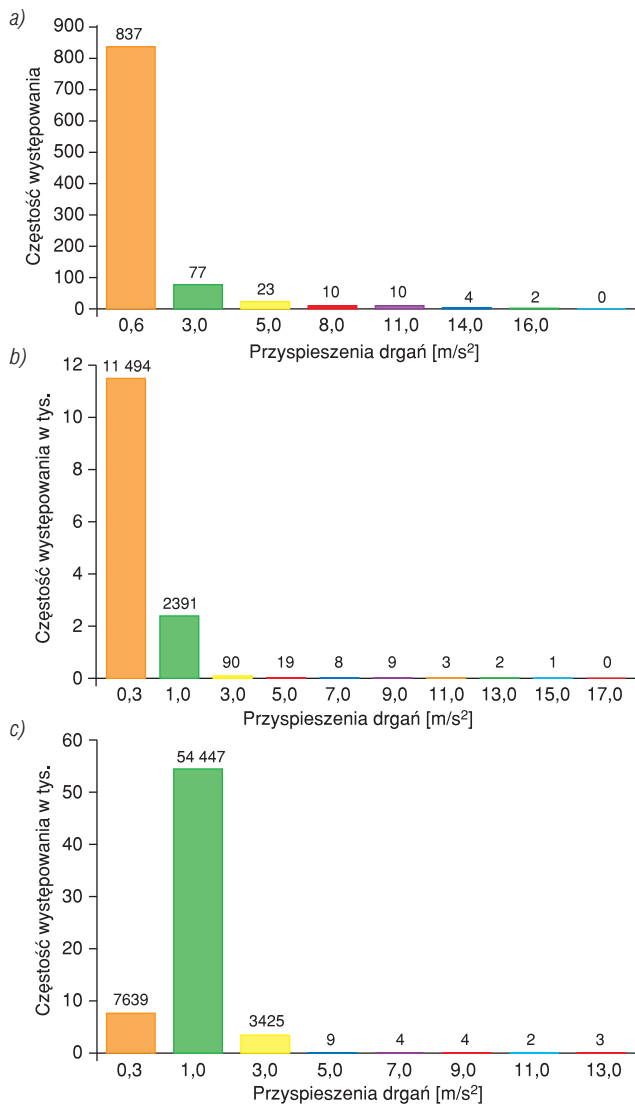
Zarejestrowane w pamięci rejestratora dane zostały poddane obróbce statystycznej, wyznaczono histogramy obciążeń, wartości maksymalne, minimalne, wartość średnią i odchylenie standardowe [3]. Wyniki analiz zestawiono w tablicach 1 i 2.

Przebieg histogramu obciążeń przedstawiono na wykresie (rys. 8).

Własności statystyczne zarejestrowanego przyspieszenia pudła zestawiono w tablicy 3, odpowiednie częstości występowania dla zarejestrowanych przebiegów przyspieszeń – w tablicy 4, a histogramy dla przyspieszeń – na wykresach (rys. 9)



Rys. 8. Histogram obciążeń tramwaju w monitorowanym okresie



Rys. 9. Histogramy zarejestrowanych przebiegów przyspieszeń
a) drgania pionowe, b) drgania wzdłużne, c) drgania poprzeczne

Do obliczeń wytrzymałościowych ramy i pudła tramwaju przyjęto maksymalne obciążenie działające w sprężynie wózka tocznego o wartości 45 kN, co stanowi sumę obciążenia statycznego, przy 8 osobach/m² oraz nadwyżki dynamicznej o wartości 20% obciążenia statycznego.

Natomiast maksymalne rzeczywiste obciążenie sprężyny zarejestrowane w czasie monitorowania pojazdu wynosi 25,65 kN, co stanowi zaledwie 57% przyjętego do obliczeń. Przeliczając uzys-

Wyniki analizy statystycznej zarejestrowanych obciążeń

| Minimum | [kN] | 0,00 |
|------------------------|------|-------|
| Maksimum | [kN] | 25,85 |
| Średnia | [kN] | 4,80 |
| Odchylenie standardowe | [kN] | 2,45 |

Częstość wystąpień obciążenia sprężyn

| Zakres obciążeń [kN] | Częstość wystąpień |
|----------------------|--------------------|
| 0,0–2,6 | 1 |
| 2,6–5,2 | 8586 |
| 5,2–7,8 | 2556 |
| 7,8–10,4 | 1188 |
| 10,4–13,0 | 346 |
| 13,0–15,6 | 48 |
| 15,6–18,2 | 14 |
| 18,2–20,8 | 30 |
| 20,8–23,4 | 4 |
| 23,4–26,0 | 4 |
| >26,0 | 0 |

Własności statystyczne zarejestrowanego przyspieszenia pudła

| | [m/s ²] | Przyspieszenie | | |
|------------------------|---------------------|----------------|----------|------------|
| | | pionowe | wzdłużne | poprzeczne |
| Minimum | [m/s ²] | 0,19 | 0,18 | 0,18 |
| Maksimum | [m/s ²] | 14,23 | 16,09 | 14,04 |
| Średnia | [m/s ²] | 0,23 | 0,37 | 0,67 |
| Odchylenie standardowe | [m/s ²] | 0,20 | 0,39 | 0,281 |

Częstości występowania zarejestrowanych przebiegów przyspieszeń

| Drgania | | | | | |
|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| pionowe | | wzdłużne | | poprzeczne | |
| zakres [m/s ²] | częstość wystąpień | zakres [m/s ²] | częstość wystąpień | zakres [m/s ²] | częstość wystąpień |
| 0,0–0,3 | 64 573 | 0,0–0,3 | 45 973 | 0,0–0,3 | 7 639 |
| 0,3–0,6 | 837 | 0,3–1,0 | 11 494 | 0,3–1,0 | 54 447 |
| 0,6–3,0 | 77 | 1–3 | 2 391 | 1–3 | 3 425 |
| 3–5 | 23 | 3–5 | 90 | 3–5 | 9 |
| 5–8 | 10 | 5–7 | 19 | 5–7 | 4 |
| 8–11 | 10 | 7–9 | 8 | 7–9 | 4 |
| 11–14 | 4 | 9–11 | 9 | 9–11 | 2 |
| 14–16 | 2 | 11–13 | 3 | 11–13 | 3 |
| >16 | 0 | 13–15 | 2 | 13–15 | 3 |
| | | 15–17 | 1 | >15 | 0 |
| | | > 17 | 0 | | |

kane wyniki otrzymuje się wartość maksymalnego zanotowanego w Warszawie napełnienia tramwajów wynoszącą 5,5 osoby/m². Analizując statystycznie zebrany materiał można określić obciążenie średnie jako 4,8 kN, co stanowi ok. 10,6% obciążenia przyjętego do obliczeń. Odpowiada to napełnieniu około 1,1 osoby/m², a więc na dość niskim poziomie.

Wyniki obserwacji potoków pasażerskich

Badania polegające na obserwacji potoków pasażerskich w najważniejszych węzłach komunikacyjnych wykonano w Warszawie w 1998 r. na zlecenie Zarządu Transportu Miejskiego [1]. W raporcie, powołując się na badania, podano że oferowana podaż miejsc jest wyższa od popytu, a największe zaobserwowane obciążenie wystąpiło na przystanku Rondo ONZ i wynosiło 1730 pas./h przy wykorzystaniu 87% miejsc. Przy czym podaż miejsc w Warszawie przyjmuje się jako 6,7 osoby/m².

Po prostym przeliczeniu otrzymuje się wartość maksymalnego zanotowanego natężenia tramwajów w Warszawie wynoszącego około 5,8 osoby/m².

Przeprowadzono również badania ankietowe oczekiwani użytkowników. Badania wykazały, że jako najbardziej uciążliwe uznano zatłoczenie panujące w środkach komunikacji miejskiej (65,5% wskazań respondentów). Pokazuje to, jakie znaczenie dla pasażerów ma komfort podróżowania związany z oferowaną podażą miejsc w tramwajach i innych środkach komunikacji miejskiej. Zwrócono uwagę na problem standardów podróżowania przyjętych w Warszawie, tj. wymogu zapewnienia w tramwajach 20% miejsc siedzących w całkowitej liczbie miejsc oraz wskaźnika natężenia wozów przyjmowanego od lat na poziomie 6,7 pas./m² powierzchni do stania. Parametry takie jak widać są nie do zaakceptowania przez pasażerów. Zdaniem autorów należy zatem dążyć do uzyskania zupełnie innych standardów, tj. 30% miejsc do siedzenia przy 4–5 pas./m² powierzchni do stania.

Wnioski

Polskie przepisy (rozporządzenie MTiGM z 17.09.1999 r.) dopuszczają większe zagęszczenie pasażerów stojących w tramwaju niż jest to w innych krajach Europy. Tramwaje na rynek polski muszą być konstruowane w taki sposób, aby było możliwe podróżowanie przy wypełnieniu 10 osób/m². Praktyka eksploatacyjna oraz przeprowadzone badania niezależnie dwoma różnymi metodami pokazały, że rzeczywiste obciążenie tramwaju nie przekracza 6 osób/m². Dla pierwszej metody – monitoringu obciążenia – uzyskano wynik 5,5 osoby/m², dla drugiej metody – pomiarów potoków pasażerskich – uzyskano wynik 5,8 osoby/m². Pomimo tego, że badania wykonano w odstępie około dwóch lat, to wyniki są niezwykle zbliżone. Należy również podkreślić, że pasażerowie oceniają te warunki podróżowania jako mało komfortowe i oczekują zmian. Również maksymalne obciążenia dynamiczne jakie udało się zarejestrować mieszczą się w granicach dopuszczalnych dla wytycznych przyjętych do stosowania w krajach Europy Zachodniej.

Czy zatem pojazdy tramwajowe w Polsce muszą być niepotrzebnie dostosowywane do warunków, w których nigdy nie pracują? Przecież tramwaje projektowane na rynek ogólnoeuropejski przewidziane są do eksploatacji z maksymalnym wypełnieniem przedziału pasażerskiego, wynoszącym zazwyczaj 7–8 osób/m². Taki pojazd, który z powodzeniem jest eksploatowany w Europie, aby mógł być zaoferowany na rynku polskim musi być dostosowany między innymi do wymogu zwiększonego zagęszczenia pasażerów. Aby równocześnie nie przekroczyć dopuszczalnych nacisków dla tramwaju z pełnym obciążeniem wynoszących 10 t/oś należy dokonać między innymi ponownych obliczeń, optymalizacji lub wzmocnienia konstrukcji, ograniczenia liczby dodatkowych urządzeń wyposażenia (np. klimatyzacji lub wentylacji) pojazdu lub obniżenia ich masy, zmiany rozmieszczenia urządzeń

i wyposażenia itp. Wszystko to powoduje w konsekwencji niepotrzebne koszty, które musi ponieść producent oferujący tramwaj sprawdzony w eksploatacji w innym mieście Europy. Oczywiście większe koszty producenta powodują niepotrzebnie większą cenę tramwaju oferowanego w Polsce.

Dążenie do zmiany dopuszczalnych warunków technicznych w zakresie standardów obciążenia tramwajów jest racjonalnie uzasadnione technicznie (zmniejszenie ryzyka) i finansowo (oszczędności). Także domaganie się wyższego komfortu podróżowania przez pasażerów powinno być brane pod uwagę – większe zadowolone społeczne z funkcjonowania komunikacji miejskiej może przynieść tylko korzyść dla miasta i przedsiębiorstwa komunikacyjnego.

Nowe Rozporządzenie nr 2301 Ministra Infrastruktury z 22.12.2003 r. zmieniło przepisy odnośnie maksymalnej liczby pasażerów w tramwaju. Nowe warunki określają dopuszczalną liczbę miejsc dla pasażerów stojących przy założeniu, że 0,2 m² powierzchni przypada na jednego pasażera co daje 5 osób/m² powierzchni tramwaju. Wprowadzenie nowych przepisów, które bardziej odpowiadają rzeczywistości, jest działaniem pozytywnym, jednak przyjęte w nowym Rozporządzeniu wartości liczbowe – zdaniem autorów artykułu – nie są do końca poprawne. □

Literatura

- [1] *Raport z Warszawskich Badań Ruchu*. (WBR 98). Warszawa 1998.
- [2] *Raport z badań ilościowych. Użytkownicy tramwaju*. Studio Badań Marketingowych Profile. Kraków 1999.
- [3] Uhl T., Tomaszewski J., Hanc A.: *Monitorowanie obciążeń członu środkowego tramwaju 116Na/1*. Warszawa – Kraków 2002.
- [4] *Zalecenia do określania wymagań wytrzymałościowych lekkich pojazdów szynowych*. (BOStrab) VDV, 152, Koeln 1992.

Autorzy

prof. dr hab. inż. Tadeusz Uhl – kierownik Katedry Robotyki i Dynamiki Maszyn Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

dr inż. Artur Hanc – kierownik Zespołu ds. Systemów Automatyki w Energocontrol Sp. z o.o., Kraków

mgr inż. Dariusz Długaszek – dyrektor Projektu w Alstom Konstal S.A., Chorzów

mgr inż. Adam Szromek – starszy konstruktor w Alstom Konstal S.A., Chorzów