



**Piotr
Ciępka**



**Adam
Reza**



**Jakub
Zębala**

Opóźnienia hamowania autobusów miejskich i możliwości oceny wartości opóźnienia hamowania przez pasażerów

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki prób hamowania autobusów miejskich: *MAN Lion's City*, *Solaris Urbino i Volvo*, intensywnie hamowanych na suchej nawierzchni jezdni. Wyniki badań wskazują, że badane autobusy osiągały maksymalne opóźnienia hamowania mieszczące się w przedziale 5,7–8,0 m/s². Dodatkowo przedstawiono również wyniki ankietowych badań subiektywnej oceny wartości opóźnienia hamowania przez pasażerów. Wyniki te wskazują, że ocena wartości opóźnienia hamowania jest obarczona bardzo dużą niepewnością.

Słowa kluczowe

Autobus, hamowanie, opóźnienie hamowania, MFDD, ocena wartości opóźnienia.

* * *

1. Wstęp

W roku 2017, w numerze specjalnym „Paragrafu na Drodze”, opublikowaliśmy artykuł dotyczący bezpiecznego zatrzymywania autobusów komunikacji miejskiej [1], który był oparty na wynikach badań hamowania autobusów z różnymi intensywnościami. W niniejszym artykule zostały przedstawione wyniki badań hamowania autobusów z maksymalną intensywnością pochodzące ze wspomnianych badań oraz z testów przeprowadzonych w ramach *BusEuroTest IV* [3].

Badania dotyczące taktyki zatrzymywania autobusu miejskiego [1] prowadzone były w formie ankietowej, a wśród pytań kierowanych do ankietowanych znalazło się również jedno, dotyczące subiektywnej oceny wartości opóźnienia hamowania. Początkowo wyniki te traktowaliśmy jako bonus dla osób biorących udział w ankiecie, ale analiza tych wyników skłoniła nas do ich opublikowania.

Mgr inż. Piotr Ciępka, mgr inż. Adam Reza, dr inż. Jakub Zębala, Instytut Ekspertyz Sądowych, Kraków, Polskie Stowarzyszenie Biegłych Sądowych do Spraw Wypadków Drogowych.

2. Testy BusEuroTest IV

W dniach 18–19 maja 2004 r., na terenie stacji diagnostycznej MPK Poznań przy ul. Kaczej oraz na terenie toru wyścigowego Automobilklubu Wielkopolskiego przy lotnisku Ławica, przeprowadzono testy autobusów miejskich. Testy te były częścią polskiej edycji *BusEuroTest* – cyklicznej imprezy organizowanej przez dziennikarzy z branży transportowej, skupionych w organizacji *ACE (Association of Commercial Vehicle Editors)*. W ramach tej imprezy testom poddano trzy autobusy: *MAN NL 283 Lion's Single*, *Solaris Urbino 12* oraz *Volvo 7700* (rycina 1 i tabela 1). Podczas testów autobusy były obciążone beczkami z wodą lub workami z piaskiem, w taki sposób, aby ich masa była równa 80% dopuszczalnej masy całkowitej.



Ryc. 1. Testowane autobusy – od lewej MAN, Solaris i Volvo[3].

Tabela 1. Dane testowanych autobusów

autobus	MAN Lion's City Single NL 283 A37	Solaris Urbino II 12 PE 183C	Volvo 7700 D7C
długość [mm]	11950	12000	11944
szerokość [mm]	2500	2550	2550
wysokość [mm]	2940	3000	2962
rozstaw osi [mm]	5875	5900	5945
zwis przedni [mm]	2700	2700	2664
masa własna [kg]	11000	10800	11450
liczba miejsc siedzących	23	29	36
liczba miejsc stojących	74	75	56

Wartości opóźnienia hamowania uzyskane przez testowane autobusy zostały przedstawione w tabeli 2. Należy zauważyć, że autobus Volvo, hamowany z prędkości początkowej 20 km/h, osiągnął wyjątkowo małe opóźnienie hamowania, co mogło być skutkiem tego, że autobus ten jest wyposażony w hamulce bębnowe.

Tabela 2. Wartości opóźnienia hamowania testowanych autobusów w $[m/s^2]$.

prędkość początkowa [km/h]	MAN Lion's City Single NL 283 A37	Solaris Urbino II 12 PE 183C	Volvo 7700 D7C
60	6,4	6,1	6,1
40	6,7	6,2	6,1
20	7,1	6,7	5,7

3. Badania poligonowe PSBS^{*)}

3.1. Czas, miejsce i warunki badań

Badania zostały wykonane w czasie III. Sympozjum „Wypadki drogowe w praktyce biegłych”, zorganizowanego przez *Polskie Stowarzyszenie Biegłych Sądowych do Spraw Wypadków Drogowych* w 2016 r. Badania były przeprowadzone na pasie startowym lotniska w Kaniowie. W czasie badań panowały bardzo dobre warunki drogowo-atmosferyczne: było słonecznie, a asfaltowa nawierzchnia jezdni była sucha i czysta.

3.2. Obiekty badań

Do badań wykorzystano dwa autobusy przegubowe, eksploatowane w Przedsiębiorstwie Komunikacji Miejskiej w Tychach: *MAN Lion's City A23* i *Solaris Urbino 18*. Wymiary, masy i liczba miejsc w tych pojazdach są podane w tabeli 3, natomiast w tabeli 4 przedstawiono dane dotyczące ogumienia badanych pojazdów. Wygląd ogólny tych autobusów przedstawia rycina 2.

Tabela 3. Dane pojazdów użytych do badań.

autobus	MAN Lion's City G/G LE A23 CNG	Solaris Urbino 18 1CDCG
długość [mm]	17980	18000
szerokość [mm]	2500	2550
wysokość [mm]	3370	3400
rozstaw osi I–II [mm]	5105	5130
rozstaw osi II–III [mm]	6770	6770
zwis przedni [mm]	2700	2750
masa własna [kg]	17232	16190
rok produkcji	2015	2011
liczba miejsc siedzących	40	43
liczba miejsc stojących	113	126

Tabela 4. Dane dotyczące opon autobusów użytych do badań

autobus	MAN Lion's City G/G LE A23 CNG	Solaris Urbino 18 1CDCG	
numer osi	I, II, III	I	II, III
producent opon	Continental Urban	Kormoran C	bieżnikowane
rozmiar opon	275/70R22,5	275/70R22,5	275/70R22,5
wysokość bieżnika	7,2 mm	6,4 mm	6,8 mm

^{*)} Polskie Stowarzyszenie Biegłych Sądowych do Spraw Wypadków Drogowych (*przyp. red.*).



Ryc. 2. Autobusy MAN Lion's City A23 (po lewej) i Solaris Urbino 18 (po prawej).

3.3. Pomiar opóźnienia hamowania

Do rejestracji opóźnień wykorzystano urządzenie *XL Meter Pro Gamma* firmy *Inventure Automotive Electronics Inc.* [2], które rejestruje chwilowe wartości przyspieszenia w funkcji czasu. Opóźnieniomierz *XL Meter* był mocowany do przedniej szyby autobusu za pomocą uchwyty podciśnieniowego (przysawki), co zapewniało możliwość jego wypoziomowania, niezbędnego dla prawidłowego pomiaru (ryc. 3). Główne parametry opóźnieniomierza *XL Meter* są podane w tabeli 5.



Ryc. 3. Opóźnieniomierz *XL Meter*.

Tabela 5. Parametry opóźnieniomierza *XL Meter* zastosowanego w badaniach

maksymalna liczba pomiarów	8
maksymalny czas pomiaru	3 x 80 s + 5 x 40 s
częstotliwość próbkowania	200 Hz
zakres pomiaru opóźnienia	$\pm 20,0 \text{ m/s}^2$

Oprogramowanie opóźnieniomierza *XL Meter* oblicza wartość średniego pełnego opóźnienia hamowania *MFDD* (wzór 1), zgodnie z regulaminem nr 13 dotyczącym homologacji pojazdów [4].

$$MFDD = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92 \cdot (S_e - S_b)} \quad (1)$$

gdzie:

V_b [km/h] – prędkość równa 0,8 prędkości początkowej pojazdu,

V_e [km/h] – prędkość równa 0,1 prędkości początkowej pojazdu,

S_b [m] – droga przebyta od prędkości początkowej do prędkości V_b ,

S_e [m] – droga przebyta od prędkości początkowej do prędkości V_e .

3.4. Przebieg badań

Badania dotyczące taktyki zatrzymywania autobusu miejskiego były prowadzone dla ośmiu grup osób, przy czym dla czterech pierwszych grup hamowania prowadzone były z użyciem autobusu *MAN*, natomiast dla czterech kolejnych – autobusu *Solaris*. W czasie hamowania w autobusach znajdowało się od 11 do 18 pasażerów. Dla każdej grupy wykonywano od 8 do 10 prób hamowania, przy czym pierwsze próby realizowane były z opóźnieniem rzędu 1 m/s^2 , a kolejne z opóźnieniami coraz większymi, aż do osiągnięcia maksymalnego osiągalnego opóźnienia hamowania. Zarówno autobusem *MAN*, jak i autobusem *Solaris* wykonano po 37 prób hamowania. Po każdej próbie hamowania pasażerowie autobusu byli proszeni o zaznaczenie w ankietach własnej oceny wartości opóźnienia hamowania.

3.5. Wyniki badań intensywnego hamowania autobusów

Wartości opóźnienia hamowania uzyskane przez badane autobusy w czasie prób intensywnego hamowania zostały przedstawione w tabelach 6 i 7. Podkreślić należy, że pomiędzy poszczególnymi próbami intensywnego hamowania autobusy były kilkakrotnie hamowane w sposób mniej intensywny¹, co skutkowało znaczącym wzrostem temperatury elementów wykonawczych układów hamulcowych.

Tabela 6 i 7. Wartości opóźnienia hamowania badanych autobusów, uzyskane w próbach intensywnego hamowania w $[\text{m/s}^2]$

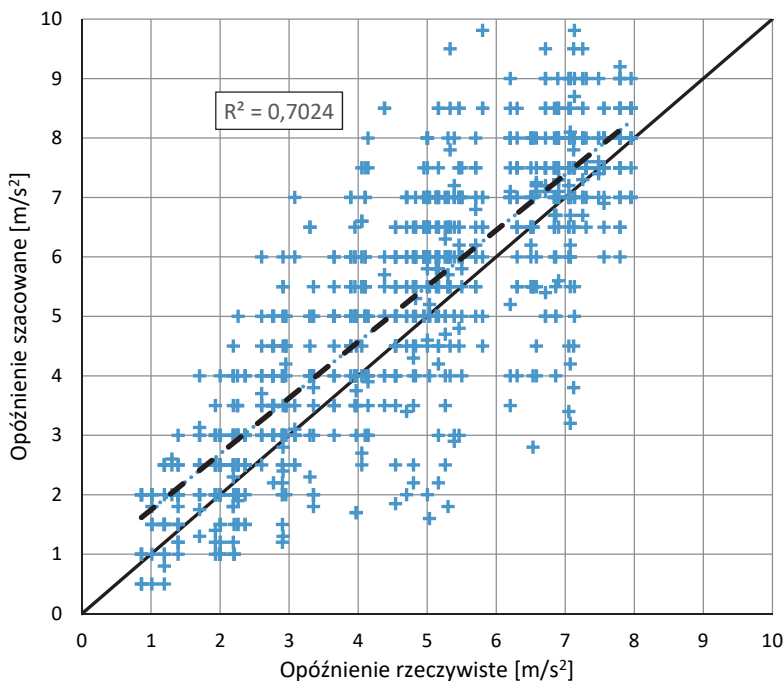
Nr próby	MAN Lion's City A23	Nr próby	Solaris Urbino 18
9	7,1	10	7,5
17	7,1	19	7,8
27	6,9	28	8,0
37	6,7	37	7,3
wartość średnia	7,0	wartość średnia	7,6
min	6,7	min	7,3
max	7,1	max	8,0

¹ W tabelach numerację prób podano zgodnie z przebiegiem badań dotyczących taktyki zatrzymywania autobusu miejskiego.

Analizując wyniki przedstawione w tabelach 6 i 7 można zauważyć, że układ hamulcowy autobusu *MAN* był nieco mniej odporny na działanie temperatury. Porównując ze sobą opóźnienia osiągnięte przez badane autobusy można stwierdzić, że autobus *Solaris* osiągał większe wartości opóźnienia niż autobus *MAN*, pomimo, że był to pojazd starszy (zob. tabela 1), a ponadto był wyposażony w opony bieżnikowane, zamontowane na II i III osi (zob. tabela 2).

4. Ocena wartości opóźnienia hamowania

Na rycinie 4 przedstawiona jest zależność pomiędzy rzeczywistym opóźnieniem osiągniętym przez autobusy w poszczególnych próbach hamowania, a opóźnieniem szacowanym przez uczestników badań (znaki +). Liniją przerywaną zaznaczono linię trendu, której przebieg wskazuje na generalną tendencję do zawyżania szacowanych wartości.



Ryc. 4. Porównanie opóźnień rzeczywistych i szacowanych.

Na podstawie analizy względnych błędów szacowania wartości opóźnienia można stwierdzić, że przeszacowanie wartości sięgało 135%, natomiast niedoszacowanie wartości nie było większe niż 68%. Podkreślić przy tym należy, że w badaniach uczestniczyli w przeważającej większości biegli i rzeczoznawcy, zajmu-

jący się rekonstrukcją wypadków drogowych, czyli osoby obeznane z zagadnieniami związanymi z ruchem pojazdów. Można więc spodziewać się, że gdyby osiągnięte opóźnienia poddać ocenie innych osób, niezwiązanych z badaniem wypadków drogowych, to błędy w szacowaniu wartości opóźnienia prawdopodobnie byłyby znacznie większe.

5. Wnioski

1. W opisanych testach autobus *MAN Lion's City A37* osiągał maksymalne opóźnienia hamowania zawierające się w przedziale od 6,4 do 7,1 m/s², autobus *Solaris Urbino 12* w przedziale od 6,1 do 6,7 m/s², natomiast autobus *Volvo 7700* w przedziale od 5,7 do 6,1 m/s².
2. W czasie badań hamowania autobus *MAN Lion's City A23* osiągał maksymalne wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania (*MFDD*) zawierające się w przedziale od 6,7 do 7,1 m/s², a średnia wartość opóźnienia dla tego autobusu wynosiła 7,0 m/s².
3. Autobus *Solaris Urbino 18* osiągał w czasie badań maksymalne wartości średniego pełnego opóźnienia hamowania zawierające się w przedziale od 7,3 do 8,0 m/s², a średnia wartość opóźnienia dla tego autobusu wynosiła 7,6 m/s².
4. Analiza wartości opóźnienia szacowanych przez osoby uczestniczące w badaniu wskazuje na generalną tendencję badanych osób do zawyżania podawanych wartości. Próby określania osiągniętej wartości opóźnienia hamowania w oparciu o jej intuicyjne oszacowania przez osoby jadące autobusem wiążą się z ryzykiem dużej niepewności wyników takiego szacowania. Z badań wynika, że wartość szacowana może nawet ponad dwukrotnie przekraczać rzeczywistą wartość opóźnienia.

Bibliografia

1. Ciępka P., Zębala J., Reza A. (2017). *Bezpieczne zatrzymywanie autobusów komunikacji miejskiej*, Paragraf na Drodze, numer specjalny 2017.
2. *Instrukcja obsługi i dane techniczne opóźnieniomierza XL Meter* – strona internetowa http://www.inventure.hu/xl_meter_en (dostęp w dniu 13 lutego 2017).
3. *Polska edycja BusEuroTest 2004* – strona internetowa http://infobus.pl/polska-edycja-buseurotest-2004_more_249.html (dostęp w dniu 3 kwietnia 2018).
4. Regulamin nr 13 (UNECE), *Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów kategorii M, N i O w zakresie hamowania*.

Podziękowanie

Autorzy, w imieniu Polskiego Stowarzyszenia Biegłych Sądowych do Spraw Wypadków Drogowych, składają serdeczne podziękowania:

- Zarządowi Przedsiębiorstwa Komunikacji Miejskiej Sp. z o.o. w Tychach, za udostępnienie autobusów do badań, a także
- uczestnikom III. Symposium „Wypadki drogowe w praktyce biegłych” za udział w badaniach ankietowych.

* * *

Braking deceleration tests of city buses and possibility of braking deceleration evaluation by passengers

Abstract

The results of braking tests of city buses *MAN Lion's City*, *Solaris Urbino* and *Volvo*, performed on dry pavement are presented. The results indicate that buses reached the deceleration in the range of 5,7–8,0 m/s². Additionally, the results of braking deceleration value estimated by bus passengers are shown, which indicate that the estimated values of deceleration are heavily biased by uncertainty.

Key words

Bus, braking, braking deceleration, MFDD, deceleration value estimation.