

Analýza zpomalování trolejbusů a vyhodnocení jeho účinku na stojící cestující

Analysis of Deceleration Trolleybus and Evaluation Impact to Standing Passengers

ABSTRAKT: Článek je odborně zaměřen na problematiku přepravy cestujících ve vozidlech veřejné hromadné dopravy – trolejbusu. Konkrétně popisuje metodiku použitou pro zjištění hodnot zpomalení trolejbusu (obr. 1, 2, tab. 1, 2), a s tím souvisejících sekundárních informací o průběhu zpomalení. Nashromážděná data byla analyzována a výsledkem bylo stanovení intervalu hodnot zpomalení (obr. 4, 5), ve kterých stojící cestující zachová/ztratí stabilitu, případně dojde k samotnému pádu cestujícího. Vyhodnocení bylo provedeno pro věkové rozmezí 25 až 40 let, u žen i mužů.

KLÍČOVÁ SLOVA: trolejbus, zpomalení, ztráta stability, XL Meter, zastávka, jízdní zkouška

ABSTRACT: The article is focused on passenger in public transport vehicles – trolleybus. The article particularly describes the methodology used to determine the required deceleration values (Fig. 1, 2, Tab. 1, 2) and associated secondary information about the process of deceleration. The collected data were analyzed and the result was the identification of slowing interval (Fig. 4, 5) in which the passenger maintains stability, loses the stability or the passenger falls. The evaluation was performed for the age 25–40 years, both men and women.

KEYWORDS: trolleybus, deceleration, lost stability, XL Meter, bus stop, driving test

1. ÚVOD

Při pohledu do současné publikace v rámci tohoto tématu je možné nalézt několik příspěvků věnující se problematice bezpečnosti přepravovaných cestujících. První takový příspěvek [1] je věnován provedení série měření v rámci počítačové simulace modelu autobusu, modelu lidského těla a interiérových prvků pro úchyt cestujících se zaměřením na zjištěný koeficient tření. Druhá nalezená studie [2] je zaměřena přímo na popis zranění vlivem cestování autobusem. Jedná se tedy spíše o lékařský pohled na danou problematiku. V této studii bylo statisticky vyhodnoceno celkem 120 zaznamenaných zranění cestujících s bližším určením konkrétní poraněné části těla, příčiny vzniku zranění a věkového rozložení.

Velmi podrobné statistické vyhodnocení zraněných cestujících je uvedeno v článku [3], který přináší zhodnocení problematiky pádu cestujících v autobusech ve Velké Británii. Studie obsahuje statistické vyhodnocení okolností vzniku zranění cestujících, v jaké fázi činnosti došlo k pádu (vystupování, stání, sezení), při jaké rychlosti došlo nejčastěji k zranění cestujícího, včetně rozlišení dle pohlaví.

Níže předkládaný článek je však naopak od dosavadních článků dané problematiky zaměřen čistě na zjištění reálné hodnoty zpomalení trolejbusu (hodnota v m/s^2), které působí na stojícího

cestujícího při zpomalení u konkrétní dopravní situace. Článek dále definuje možné reálné meze pro stanovení jednotlivých oblastí, při kterých dochází k různým druhům zranění stojících cestujících.

S ohledem na tuto problematiku, kdy dochází k zvyšování počtu nehodových událostí cestujících vlivem zpomalení trolejbusu, bylo přistoupeno k provedení cyklu měření a jízdních zkoušek, které měly za cíl definovat maximální přijatelnou mez zpomalení trolejbusu pro věkovou kategorii mužů i žen, ve věkové kategorii 25 až 40 let.

Trolejbusová doprava představuje v České republice významný druh dopravy, který využívá ve svých veřejných dopravních systémech 14 měst. Celková délka trolejbusových drah k 31. 12. 2013 činila 394 km. Dle kilometráže je největším systémem trolejbusový provoz v městě Brně, a to o délce 107 km [4]. Naopak nejmenším trolejbusovým provozem disponují Mariánské Lázně (celková délka 18 km) [5]. V obou případech se jedná o délku tratě v dvoustopém provedení.

Při pohledu na statistické vyhodnocení Českého statistického úřadu bylo v roce 2010 trolejbusovou dopravou na území České republiky přepraveno celkem 191 346 000 cestujících. V následujícím roce 2011 došlo k poklesu o 2,5% na 186 524 000 cestujících. Tento klesající trend pokračoval i v roce 2012, kdy celkový počet přepravených osob poklesl o více jak 2% na 182 511 000 [6]. I přes poměrně nízkou cestovní rychlost

Dodáno autory do redakce 19. 5. 2014. • Recenzní řízení od 20. 5. do 10. 6. 2014.

Ing. Petr Semmler, Centrum dopravního výzkumu, v. v. i., e-mail: petr.semmler@cdv.cz

Doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D., Ústav soudního inženýrství VUT v Brně, Údolní 244/53, 602 00 Brno, e-mail: ales.vemola@usi.vutbr.cz

trolejbusu, udávanou dle publikace Městská a příměstská kolejová doprava v intervalu 15–19 km/h [7], se zvyšující intenzitou provozu na pozemních komunikacích prokazuje, že dochází ke vzniku negativních dopravních situací (např. nouzové zpomalení trolejbusu před překážkou) způsobených vlivem nestandardních a nenadálých provozních podmínek trolejbusu. V České republice, v hromadných přepravních systémech měst a obcí, jsou cestující povinni dodržovat ustanovení smluvních přepravních podmínek jednotlivých dopravních podniků. Tyto smluvní přepravní podmínky jsou ustanoveny ve vyhlášce Ministerstva dopravy a spojů č. 175/2000 Sb. Konkrétně § 16, odstavec č. 1, uvádí, že „Cestující, který ve vozidle stojí, přidržuje se za jízdy zařízení vozidla k tomu určených“ [8].

2. METODOLOGIE

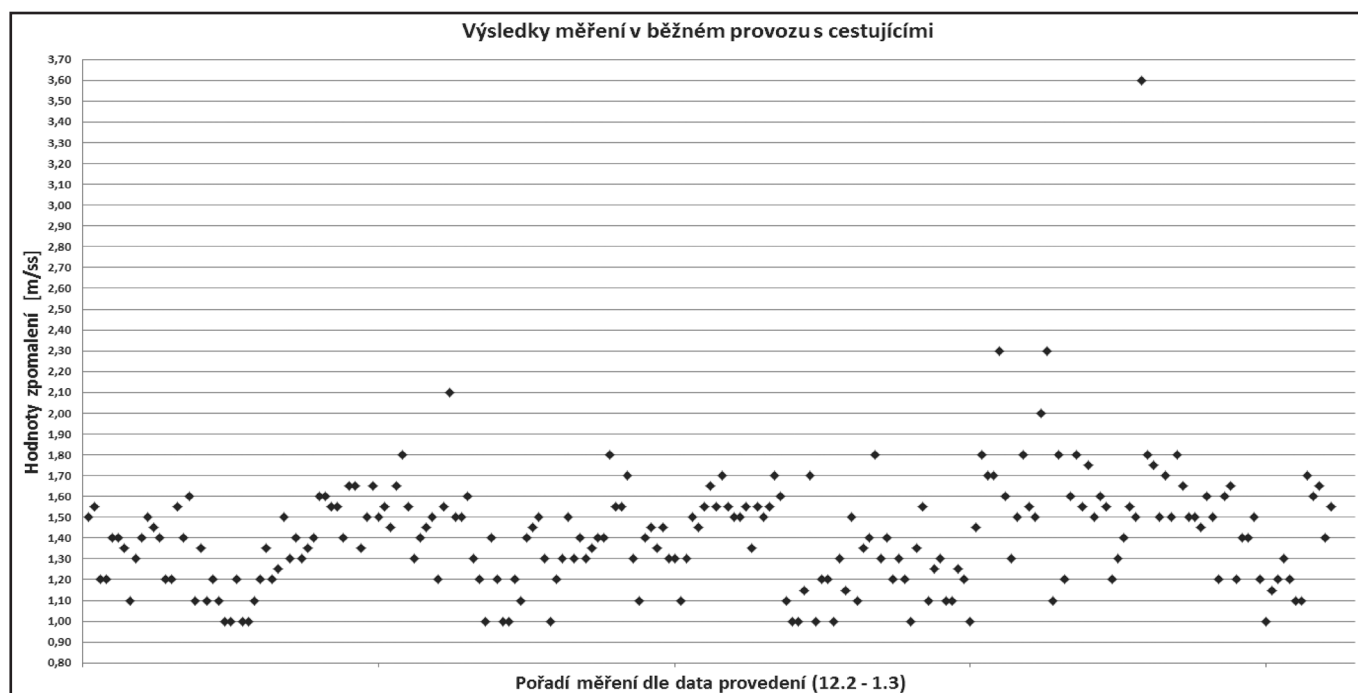
Provedená měření byla rozdělena na dvě dílčí části. První část byla realizována v běžném provozu na linkách provozovaných Dopravním podnikem města Brna (dále jen DPMB). V rámci této části měření byla zaznamenávána hodnota zpomalení v jednotkách m/s^2 , důležité údaje o počtu stojících cestujících, příčiny zpomalení, úseku trasy, typu vozidla apod. Zjištěné údaje pak byly následně statisticky vyhodnoceny. Pro měření v běžném provozu byl použit decelerograf Motor-Meter zapůjčený Ústavem soudního inženýrství VUT v Brně, který byl během měření umístěn na podlaze vozidla. Záznam zjištěných hodnot zpomalení probíhal na registrační kartu.

Druhá část měření tvořily praktické jízdní zkoušky s figuranty, kteří byli vystavováni zvyšující se intenzitě zpomalení. Měření zpomalení bylo realizováno pomocí přístroje XL Meter [9] zapůjčeného

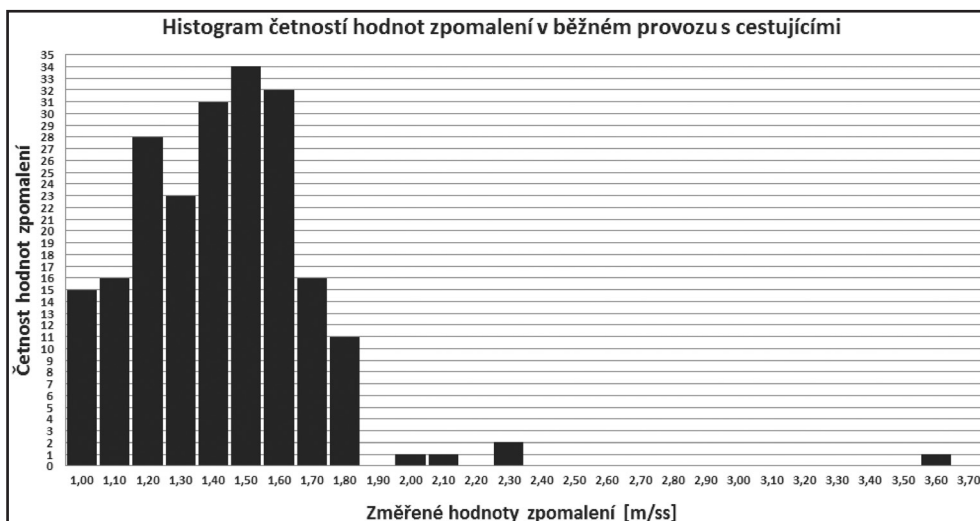
od Ústavu soudního inženýrství VUT v Brně, který byl při jízdních zkouškách upevněn na čelním skle trolejbusu. K zaznamenání vlivu zpomalení na figuranty byla použita digitální kamera. V pozici figurantů byli muži i ženy ve věkovém intervalu 25 až 40 let. Jízdní zkoušky se realizovaly v následující trase: zastávka Vlčnovská → Bzenecká → Pálavské náměstí → Bzenecká → Prušánecká. Oblast Pálavského náměstí byla vybrána záměrně z důvodu vhodného trasování trolejového vedení, které je možné pomocí trolejových armatur projíždět okružně, aniž by došlo k ovlivnění provozu pravidelných linek. Praktické jízdní zkoušky byly rozděleny na dvě dílčí části. První část se věnovala měření zpomalení a zaznamenání jeho vlivu na figuranty, nacházející se v zadní části trolejbusu. V rámci této části bylo provedeno celkem 12 jízdních zkoušek. Se zástupci DPMB byl dohodnut postup, kdy trolejbus bude postupně zvyšovat zpomalení (deceleraci). Navazující část se zaměřila na zaznamenání vlivu zpomalení na osobu obsluhující dětský kočárek. Bylo provedeno 8 jízdních zkoušek, kdy kočárek byl umístěn v prostoru druhých dveří, tedy v případě trolejbusu typu Škoda 21Tr, v prostoru k tomu určeném. V pozici ženy obsluhující kočárek byla žena ve věku 25 let. I u této části měření bylo přistoupeno k postupnému zvyšování hodnoty zpomalení trolejbusu.

Pro zjištění reálných dat (hodnot zpomalení) a s nimi souvisejících informací bylo provedeno nejprve měření v běžném provozu s cestujícími. Měření kontinuálně probíhalo v jednotlivých částech dne, tak aby byly vystihnuty veškeré aspekty provozu. Tyto aspekty byly:

- ranní přepravní špička,
- odpolední přepravní špička,
- dopolední sedlová doba,
- večerní a víkendový provoz.



Obr. 1 Seřazené hodnoty zpomalení z měření v běžném provozu.
Figure 1 Deceleration values of measurement in normal operation.



Obr. 2 Histogram četností hodnot zpomalení v běžném provozu s cestujícími.
Figure 2 Histogram frequency values of measurement in normal operation.







Obr. 3 Foto sekvence z jízdní zkoušky (zpomalení trolejbusu $6,03 \text{ m/s}^2$).

Figure 3 Photo sequences of driving test.

Popis jednotlivých sekvencí: 1 – rozjezd trolejbusu, výchozí rychlost 40 km/h , následná jízda konstantní rychlostí; 2 – zahájení zpomalování trolejbusu z výchozí rychlosti 40 km/h , 3 sekundy před konečnou polohou trolejbusu; 3 – stojící figurantka ztrácí kontakt se svislým madlem; 4 – zahájení samotného pádu stojící figurantky; 5 – konečná sekvence zpomalení trolejbusu – pád stojící figurantky, 1 sekunda před konečnou polohou trolejbusu; 6 – konečná poloha figurantů a trolejbusu 3 sekundu od zahájení zpomalování trolejbusu.

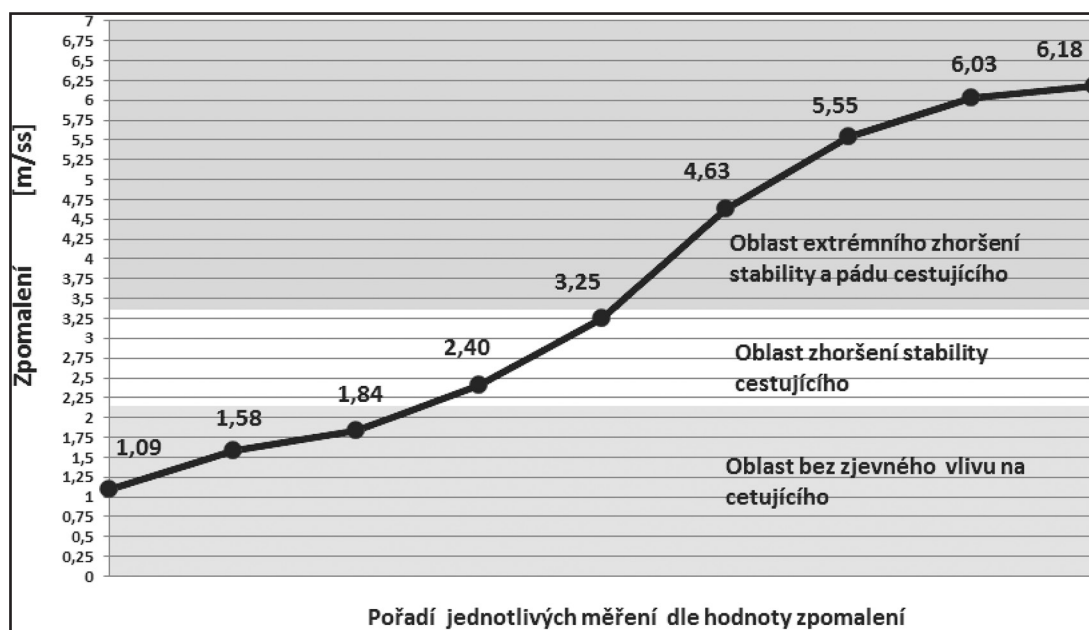
Tab. 1 Statistické vyhodnocení zpomalení dle typu trolejbusu [10].
 Table 1 Statistical evaluation of deceleration – type of trolleybus.

Typ trolejbusu	Schéma trolejbusu [10]	Aritmetický průměr	Medián	Modus
Škoda 14Tr		1,38 m/s ²	1,40 m/s ²	1,10 m/s ²
Škoda 15Tr		1,38 m/s ²	1,35 m/s ²	1,30 m/s ²
Škoda 21Tr		1,45 m/s ²	1,45 m/s ²	1,20 m/s ²
Škoda 22Tr		1,48 m/s ²	1,53 m/s ²	1,55 m/s ²

 Tab. 2 Statistické vyhodnocení dle příčiny zpomalení bez členění na typ trolejbusu [10].
 Table 2 Statistical evaluation of deceleration – cause of deceleration.

Příčina zpomalení	Aritmetický průměr	Medián	Modus
Přechod pro chodce	1,72 m/s ²	1,55 m/s ²	1,30 m/s ²
Světelná signalizační zařízení	1,38 m/s ²	1,43 m/s ²	1,50 m/s ²
Zastávkový záliv	1,39 m/s ²	1,40 m/s ²	1,20 m/s ²
Zastávka v průběžném směru	1,40 m/s ²	1,40 m/s ²	1,40 m/s ²
Zastávkový mys	1,25 m/s ²	1,25 m/s ²	N/A ³⁾
Jiné	1,44 m/s ²	1,53 m/s ²	N/A

N/A – nelze aplikovat. Pro uvedené kritérium není dostatek dat pro vyhodnocení.


 Obr. 4 Charakteristika vlivu zpomalení trolejbusu na muže středního věku [10].
 Figure 4 Characteristics impact deceleration trolleybus to middle-age men [10].

DPMB provozoval na území města Brna k 1. 1. 2014 13 trolejbusových linek. Měření probíhalo zejména na tangenciálních linkách č. 25 (v trase: Novolíšeňská – Starý Lískovec, Osová a zpět) a č. 26 (v trase: Novolíšeňská – Kamenný vrch a zpět), a to zejména z toho důvodu, že tyto linky splňují předpoklad, že se během měření v trolejbusu vyskytne větší počet stojících cestujících na základě delší přepravní vzdálenosti. V souvislosti s charakterem trasování uvedených linek je zde vyšší pravděpodobnost vzniku různých dopravních situací a jim odpovídajících hodnot zpomalení a informací o vlivu na přepravované cestující, než u linek ostatních.

Měření v běžném provozu probíhalo v trolejbusích, kterými disponuje DPMB, a. s. ve svém vozovém parku. Jednalo se konkrétně o typ vozidel Škoda 14Tr, 15Tr, 21Tr a 22Tr. V rámci této části měření bylo naměřeno 211 hodnot zpomalení (včetně souvisejících informací) v níže uvedených dopravních situacích:

- zpomalení před přechodem pro chodce,
- zpomalení před světelným signalizačním zařízením,
- zpomalení do zastávkového zálivu,
- zpomalování do zastávky v průběžném směru,
- zpomalování do zastávkového mysu,
- jiná příčina zpomalení.

3. VÝSLEDKY

Z celého souboru 211 zjištěných dat byla provedena statistická vyhodnocení s využitím hodnot – aritmetický průměr, modus a medián. Bez zahrnutí dalších kritérií byly vypočteny následující hodnoty:

- aritmetický průměr zpomalení: 1,44 m/s²,
- medián¹⁾ zpomalení: 1,56 m/s²,
- modus²⁾ zpomalení: 1,45 m/s².

Dále bylo přikročeno k statistickému vyhodnocení se zahrnutím jednotlivých kritérií. První z těchto kritérií, u kterého byla hodnota zpomalení naměřena, bylo vyhodnocení dle typu trolejbusu.

Z 211 zjištěných hodnot zpomalení (bez ohledu na příčinu) připadalo celkem 76 hodnot do intervalu zpomalení 1,40 až 1,60 m/s². Na dalším místě s četností 58 hodnot byl interval zpomalení 1,20 až 1,40 m/s². Z hlediska příčiny zpomalení byla nejvyšší hodnota zjištěna aritmetickým průměrem v kategorii „přechod pro chodce“ – 1,72 m/s². Ztráta stability cestujícího byla zjištěna u 11 hodnot zpomalení, což je 5,21 % hodnot z celého souboru. Nejvyšší hodnota zpomalení ($a = 3,6 \text{ m/s}^2$) byla zjištěna v situaci, kdy trolejbus prudce zpomalil před přechodem pro chodce, na který náhle vstoupil chodce. V popisované situaci se v pozici stojícího cestujícího vyskytl pouze jeden muž ve věku do 30 let, jemuž se podařilo udržet stabilitu. Je však velmi pravděpodobné, že pokud by se v této pozici nacházela osoba starší, mohlo by dojít k pádu cestujícího.

Po provedení první části měření v běžném provozu bylo přistoupeno k realizaci praktických jízdních zkoušek s figuranty.

¹⁾ Medián vyjadřuje hodnotu, která rozděluje číselnou řadu na dvě stejné početní poloviny.

²⁾ Modus vyjadřuje hodnotu, která se v daném statistickém souboru vyskytuje nejčastěji.

Jízdní zkoušky se uskutečnily na základě spolupráce s DPMB, kdy byl vypraven z Vozovny Husovice trolejbus Škoda 21Tr, evidenčního čísla 3044.

Měření bylo zahájeno na nízkých hodnotách zpomalení od 1,09 m/s². Postupně byly provedeny jízdní zkoušky s naměřenými hodnotami zpomalení 1,58 m/s²; 2,40 m/s² (bez ztráty stability cestujících figurantů), 4,63 m/s² (ztráta stability) a 5,70 m/s²; 5,80 m/s²; 6,13 m/s² (extrémní ztráta stability).

Jak bylo uvedeno v začátku kapitoly Metodologie, praktické jízdní zkoušky se také zaměřily na problematiku vlivu zpomalení na osobu obsluhující dětský kočárek. První jízdní zkouška tohoto zaměření proběhla se zpomalením 1,90 m/s² (bez známek ztráty stability osoby). Při následujících jízdních zkouškách již hodnota zpomalení trolejbusu odpovídala extrémní ztrátě stability. Konkrétně byly zjištěny hodnoty zpomalení 4,45 m/s²; 5,17 m/s²; 6,03 m/s² a 6,36 m/s². Pro ilustraci vlivu zpomalení trolejbusu na osobu obsluhující nezabrzdný kočárek, uvádíme foto sekvence pořízené z videozáznamu jízdní zkoušky (obr. 3).

Vyhodnocení bylo založeno na vzájemném porovnání dat z obou částí měření, tedy jak dat z běžného provozu, tak i z dat pořízených v rámci jízdních zkoušek. Pro stanovení rozsahu dopadu zpomalení na přepravované stojící cestující byly definovány jednotlivé meze:

- bez zjevného vlivu zpomalení trolejbusu na cestujícího,
- zhoršení stability cestujícího,
- extrémního zhoršení stability a pádu cestujícího.

Způsob hodnocení vlivu zpomalení na stojící osoby, včetně stanovení rozsahu jednotlivých mezí, byla určena na základě zjištěného vlivu na tyto přepravované osoby. Tedy v rámci první meze (bez zjevného vlivu) se jednalo o takové zpomalení trolejbusu, které stojící cestující ustál bez zhoršení stability. U druhé meze již dochází u stojící osoby vlivem zpomalení k ztrátě stability. Konkrétně pod touto definicí si můžeme představit stojícího cestujícího, kdy při zpomalení vozidla je tělo vychýleno v podélné nebo příčné ose. Nejvyšší dopad na přepravovaného stojícího cestujícího má poslední krajní mez, kdy při tomto zpomalení trolejbusu dochází k zásadnímu ohrožení stability vedoucí až k samotnému pádu cestujícího.

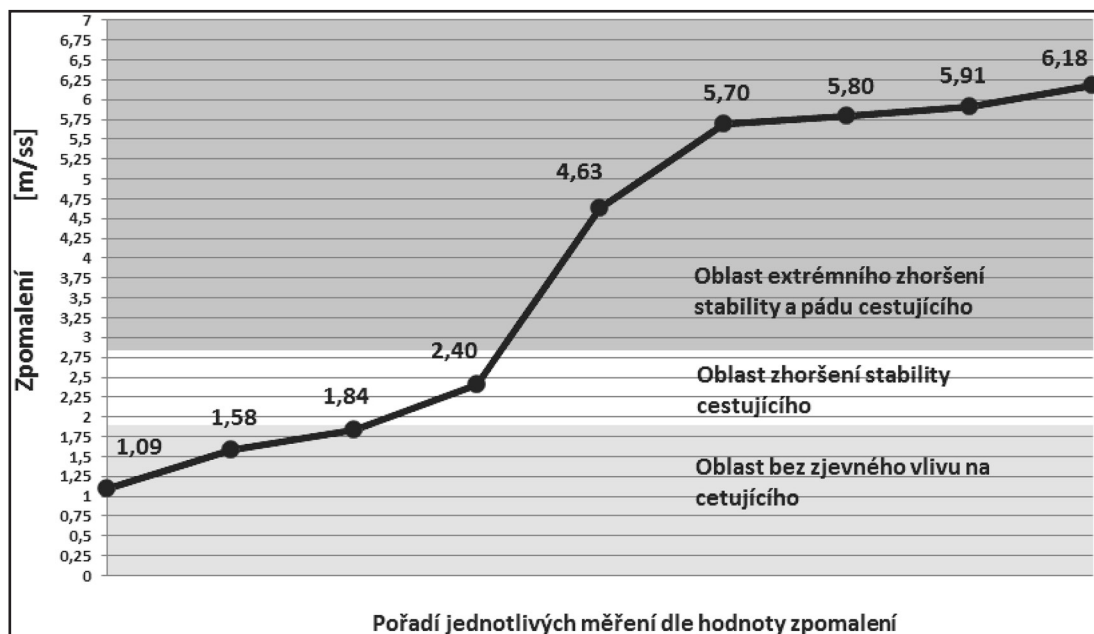
U mužů, ve věkovém rozmezí 20 až 45 let bylo při měření v běžném provozu zjištěno, že zpomalení trolejbusu do $a = 2,1 \text{ m/s}^2$ nemá významnější vliv na přepravované osoby v řešené věkové kategorii. Zhoršení stability bylo u mužů sledováno počínaje zpomalením $a = 2,3 \text{ m/s}^2$. Extrémní zhoršení stability vedoucí k pádu pak bylo zjištěno u hodnoty $a = 3,60 \text{ m/s}^2$.

Z pohledu praktických jízdních zkoušek bylo u mužů zjištěno, že zpomalení trolejbusu $a = 1,84 \text{ m/s}^2$ je bez významnějšího vlivu. U jízdní zkoušky se zpomalením trolejbusu $a = 2,40 \text{ m/s}^2$ byl již patrný vliv zpomalení na zhoršení stability. Hodnota zpomalení trolejbusu $a = 3,27 \text{ m/s}^2$ znamenala podstatné zhoršení stability.

Výsledné meze ve věkovém rozmezí 25 až 40 let u mužů jsou tedy následující (obr. 4):

- bez zjevného vlivu: do 2,10 m/s²,
- zhoršení stability: 2,10 až 3,30 m/s²,
- extrémního zhoršení stability a pádu: od 3,30 m/s² a výše.

Pro ženy ve věkovém rozmezí 25 až 40 let bylo provedeno stejné vyhodnocení jako u mužů. Při měření v běžném provozu



Obr. 5 Charakteristika vlivu zpomalení trolejbusu na ženy středního věku [10].
 Figure 5 Characteristics impact deceleration trolleybus to middle-age women [10].

bylo zjištěno u žen, že do zpomalení $a = 1,8 \text{ m/s}^2$ nedochází k významnějšímu vlivu na cestujícího, tj. stabilita je zachována. Pro následující hodnotu zpomalení trolejbusu $a = 2,3 \text{ m/s}^2$ již bylo patrné výraznější zhoršení stability.

V rámci praktických jízdních zkoušek pak byly zjištěny stejné hodnoty zpomalení jako u mužů, neboť při těchto jízdních zkouškách se vyskytovali společně muži i ženy.

S ohledem na nižší fyzické proporce žen a na základě zjištěných dat a informací byly stanoveny následující meze zpomalení trolejbusu (obr. 5):

- bez zjevného vlivu: do $1,90 \text{ m/s}^2$,
- zhoršení stability: $1,90$ až $2,80 \text{ m/s}^2$,
- extrémního zhoršení stability a pádu: od $2,8 \text{ m/s}^2$ a výše.

4. ZÁVĚR

V článku byl prezentován postup celého měření skládající se ze dvou hlavních částí, tj. měření v běžném provozu s cestujícími a praktických jízdních zkoušek s figuranty. Na základě analýzy obou těchto částí byly stanoveny mezní hodnoty středního zpomalení trolejbusu a jeho vlivu na stojící cestující v uvedené věkové kategorii. Vyhodnocení proběhlo separátně pro obě pohlaví.

Cílem této studie bylo reagovat na aktuální problematiku dopravních nehod, při kterých dojde ke zranění přepravovaných osob vlivem náhlého zpomalení vozidla městské hromadné přepravy, v tomto případě trolejbusu. Při následném řešení takového typu kolize z pohledu odpovědnosti je v řadě případů velmi složité prokázat konkrétní odpovědnost za možné finanční nároky zraněného cestujícího. To znamená, zda odpovědnost je plně na straně dopravce (provozovatele vozidla a zaměstnance řidiče) anebo na straně toho, kdo zapříčinil vznik nutnosti zpomalení trolejbusu v dané intenzitě.

Taktéž se může jednat o nástroj, který poslouží při řešení soudně-inženýrského problému, zda zpomalení trolejbusu v různých dopravních situacích (zpomalení před světelným signalizačním zařízením, do zastávkového zálivu, do zastávky v průběžném směru) je adekvátní dané situaci a zjištěnou hodnotu porovnat s daty pořízenými v rámci této studie.

V neposlední řadě je také cíl studie po stránce sociální. Informace, data a pořízené video sekvence byly předány zástupci DPMB, a.s. a staly se hlavním zdrojem pro informačně-osvětovou kampaň „Držte se“, která je prezentovaná ve vozidlech dopravního podniku.

5. LITERATURA

- [1] PALACIO A., TAMBURROA G., O'NEILL D., SIMMSA C.: Non-collision injuries in urban buses – Strategies for prevention. *Accident analysis and prevention*, ELSEVIER, 2008, 9 s.
- [2] HALPERN P., SIEBZEHNER M. I., ALADGEM D., SORKINE P., BECHAR R.: *Non-collision injuries in public buses: a national survey of a neglected*, 2004, 108–110 s. Dostupné z: <http://www.emjonline.com>
- [3] KIRK A., GRANT R., BIRD R.: Bus and Coach Passenger Casualties in Non-Collision Incidents. Ed.: *V.S.R.C.I. Ergonomics*, Loughborough University, 2001, 1–10 s.
- [4] KOČMAN T.: Současnost brněnské MHD – 1. část. *Městská doprava*, 4, 2011, s. 17–20.
- [5] Městská doprava Mariánské Lázně, s.r.o. Dostupné z: <http://www.dpml.cz>
- [6] Český statistický úřad, Tabulka č. 3 – Přeprava cestujících městskou hromadnou dopravou. Dostupné z: http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/osobni_doprava_casove_rady

- [7] KUBÁT B., PEJŠA J., JACURA M., TŘEŠL, O.: *Městská a příměstská kolejová doprava*. Wolters Kluwer, Praha, 2010, 352 s. ISBN 978-80-7357-539-7
- [8] Vyhláška Ministerstva dopravy a spojů č. 175/2000 Sb., § 16, odstavec č. 1 – Vyhláška o přepravním řádu pro veřejnou drážní a silniční osobní dopravu, Dostupné z: http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=175/2000&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy
- [9] *XL Meter – Uživatelská příručka měřicího přístroje*. Dostupné z: <http://www.nehodar.cz/docs/XLMPUSRCZ.pdf>
- [10] SEMMLER P.: *Analyza zpomalování trolejbusů a vyhodnocení jeho účinku na stojící cestující*. Diplomová práce, ÚSI VUT, 2012, 103 s.
- [11] Dopravní podnik města Brna, a. s. – webová aplikace, sekce „Vozidla“, obrazové podklady trolejbusů. Dostupné z: <http://www.dpmb.cz/Default.aspx?seo=vozidla>