

KINEMATIKA PASAŽIEROV V INTERIÉRY VOZIDLA ZÁCHRANNEJ ZDRAVOTNEJ SLUŽBY PRI DYNAMICKÝCH JAZDNÝCH MANÉVROCH

PASSENGER KINEMATICS INSIDE EMERGENCY MEDICAL VEHICLES DURING DYNAMIC DRIVING MANEUVERS

doc. Ing. Eduard Kolla, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania

Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

Kontakt: kolla@uniza.sk

Ing. Veronika Adamová, PhD.

*Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra bezpečnostného
manažmentu, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina*

Kontakt: veronika.adamova@uniza.sk

ABSTRAKT

Posádky vozidiel záchranej zdravotnej služby (ZZS) nemusia použiť bezpečnostné pásy vozidla pri jazde počas výkonu zásahu. Napriek tomu je z hľadiska bezpečnosti takéto použitie vozidla posádkou nežiadúce a zdravie ohrozujúce. Ďalším nevhodným prvkom pri používaní vozidla ZZS je nesprávne pripútanie alebo nepripútanie prevážaného pacienta bezpečnostnými pásmi. Cieľom predkladaného príspevku je experimentálna analýza relatívneho pohybu pasažierov v interiéri vozidla ZZS, ako aj následnej možnosti vzniku zranení pri jazde ľudských subjektov v interiéri vozidla pri výkone zásahu počas dynamických jazdných manévrov.

Kľúčové slová: biomechanika, záchranné vozidlo, brzdenie, zranenie, figurína.

ABSTRACT

Emergency medical service (EMS) vehicle crews do not have to use vehicle seat belts when driving during an intervention. Nevertheless, from the point of view of safety, such use of the vehicle by the crew is undesirable and a health hazard. Another inappropriate element when using an ambulance is the incorrect fastening or failure to fasten the transported patient with safety belts. The aim of the presented paper is an experimental analysis of the relative movement of passengers in the interior of an emergency vehicle as well as the subsequent possibility of injuries when driving human subjects in the interior of the vehicle when performing an intervention during dynamic driving maneuvers.

Key words: biomechanics, emergency vehicle, braking, injury, test dummy.

ÚVOD

Posádky vozidiel záchranej zdravotnej služby (ZZS) sa pri výkone zásahu môžu, podobne ako posádky iných vozidiel s právom prednostnej jazdy, riadiť špeciálnymi ustanoveniami zákona o cestnej premávke (Zákon č. 8/2009). Medzi tieto ustanovenia patrí aj možnosť nepoužitia zádržných bezpečnostných systémov vozidla pri jazde počas výkonu zásahu. Napriek tomu, že legislatíva platná v Slovenskej republike takúto možnosť pripúšťa je z hľadiska fyzikálnych princípov a zákonitostí pri dynamickom stave vozidla takýto režim používania vozidla posádkou nežiadúci a zdravie ohrozujúci. Ďalším nevhodným prvkom pri používaní vozidla ZZS je laxnosť posádok vo vzťahu k pripútaniu prevážaného pacienta bezpečnostnými pásmi – v tomto prípade takúto možnosť ani platná legislatíva nepripúšťa.

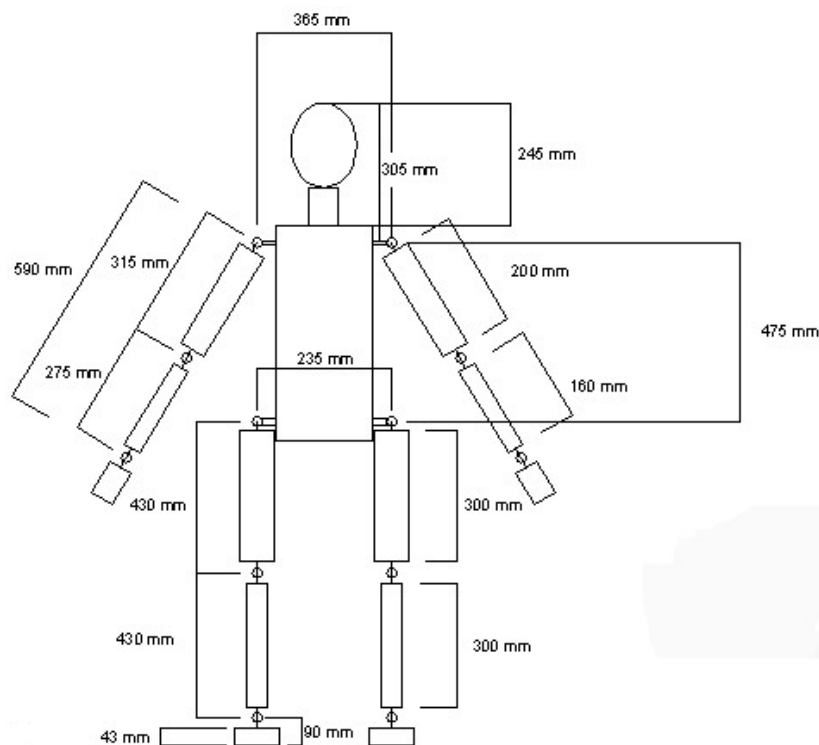
V minulosti bolo prezentovaných niekoľko štúdií, ktoré sa venovali riziku vzniku zranení pasažierov v interiéri vozidla záchranej zdravotnej služby počas jazdy. Kahn, Pirallo a Kuhn [1] analyzovali nehodové údaje vozidiel ZZS medzi rokmi 1987-1997 v databáze FARS. Zistili, že k väčšine dopravných nehôd dochádza počas výkonu zásahu a na križovatkách. Pasažieri v zadnej časti vozidla mali vyššie riziko zranenia ako pasažieri umiestnení v kabíne. Weiss a kol. [2] vykonali štatistickú analýzu databázy dopravných nehôd vozidiel záchranej zdravotnej služby v štáte Tennessee. Autori zistili, že u zranených osôb nebol výrazný rozdiel v sledovaných nezávislých premenných medzi intravilánom a extravilánom. Hoci množstvo zranení pasažierov vozidiel ZZS bolo väčšie v mestskom prostredí, závažnosť zranení bola horšia v extraviláne, kde došlo k nehodám pri vyšších rýchlostiach. V extraviláne mali nepripútaní cestujúci väčšiu pravdepodobnosť zranenia. Becker a kol. [3] sa venovali vplyvu polohy pasažierov v interiéri vozidla s právom prednostnej jazdy (záchrannárske vozidlá, policajné vozidlá, hasičské vozidlá), ako aj vplyvu použitia zádržného systému na riziko vzniku zranení a úmrtí pri dopravných nehodách týchto vozidiel. Autori použili 2 štatistické metódy na analýzu nehodových dát z databáz FARS a GES. Na základe výsledkov ich analýzy autori konštatujú, že posádky vozidiel záchranej zdravotnej služby sediaci v zadnej časti vozidla by mali byť pripútaní vždy, keď je to možné a rodinní príslušníci sprevádzajúci pacientov by mali sedieť v kabíne vozidla. Hossain, Zhou a Das [4] použili prístup dolovania dát na analýzu nehodových údajov z databáz FARS a CRSS medzi rokmi 2016-2020. Autori konštatujú, že smrtiace následky jazdy vysokou rýchlosťou boli zrejme pre jazdu bez použitia bezpečnostného pásu a pri výkone zásahu, avšak tento efekt nebol pozorovaný pri jazde vysokou rýchlosťou mimo výkonu zásahu.

Vyššie uvedené štúdie sa orientovali na dopravné nehody vozidiel ZZS a na štatistickú analýzu nehodových databáz. Cieľom predkladaného príspevku je experimentálna evaluácia kinematiky relatívneho pohybu pasažierov v interiéri vozidla ako aj následnej možnosti vzniku zranení pri jazde ľudských subjektov v interiéri vozidla ZZS pri výkone zásahu počas dynamických jazdných manévrov bez kolízie.

1 METODIKA A POUŽITÉ NÁSTROJE

Cieľom experimentu bola analýza vplyvu dynamického stavu vozidla záchranej zdravotnej služby na pohyb pasažierov v interiéri vozidla, a to najmä vplyvom pôsobenia brzdného spomalenia vozidla pri intenzívnom brzdení.

Ako fyzický simulant pasažiera bola použitá skúšobná figurína vyvinutá pre vysokorýchlostné nárazové skúšky so zraniteľnými účastníkmi cestnej premávky. Figurína má realistické rozmery a hmotnosti jednotlivých segmentov, ktoré aproximujú rozmery a hmotnosti segmentov 50% percentilného muža. Jej výška bola počas experimentálnych meraní 1,73 m (bez obuvi) a hmotnosť 80.2 kg (so simulantom kože a odevom). Rozmery jednotlivých segmentov figuríny sú uvedené na obrázku 1, hmotnosti jednotlivých segmentov sú uvedené v tabuľke 1.



Obrázok 1 Schéma rozmerov segmentov skúšobnej figuríny

Tabuľka 1 Hmotnostné parametre skúšobnej figuríny

	ĽAVÁ (kg)	PRAVÁ (kg)	Σ (kg)
Hlava		3.8	3.8
Krk			
Hrudník			
Brucho		35.4	35.4
Panva			
Stehno			
Podkolenie	14.2	14.2	28.4
Chodidlo			
Nadlaktie			
Predlaktie	4.7	4.7	9.5
Ruka			
SEGMENTY SPOLU*			77.2

* Bez simulantu kože (so simulantom kože 79.2 kg)

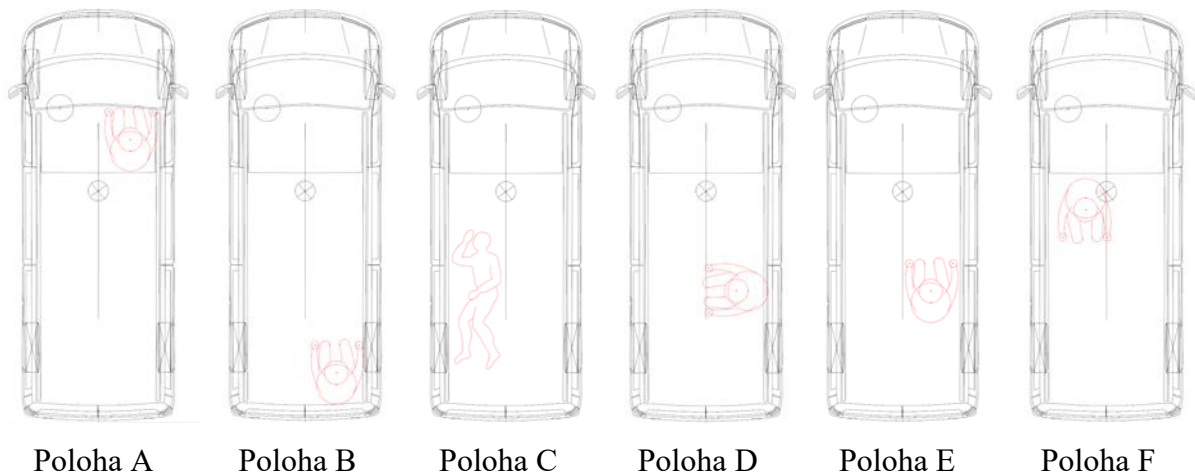
Ako testovacie vozidlo bolo použité vozidlo záchranej zdravotnej služby Renault Master 2. Základné údaje o vozidle sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Základné údaje o testovacom vozidle

VÝROBCA	Renault
TYP	Master, 2. gen., 2.5 dCi, r.v. 2010
PNEUMATIKY	Hankook Vantra LT 225/65R16C 112/110R, hĺbka dezénu cca 5.5 mm
CELKOVÁ DĹŽKA (MM)	5500
CELKOVÁ ŠÍRKA (MM)	2380
CELKOVÁ VÝŠKA (MM)	2600
OKAMŽITÁ HMOTNOSŤ (KG)	2830

Testovacia figurína bola vo vozidle umiestnená v 6 sedacích polohách s rôznymi stavom pripútania figuríny. Stav pripútania figuríny mohol byť: správne pripútaná (2 bodovým, alebo 4 bodovým pásom), nepripútaná a nesprávne pripútaná (len brušný, alebo hrudný popruh, bez pletných popruhov). Na obrázku 2 sú znázornené jednotlivé polohy skúšobnej figuríny

v testovacom vozidle, na obrázku 3 sú zobrazené varianty pripútania figuríny a v tabuľke 3 je uvedená matica meraní.



Obrázok 2 Polohy skúšobnej figuríny vo vozidle pri testovacích jazdách



Obrázok 3 Pripútanie figuríny: vľavo - správne pripútaná, vpravo - nesprávne pripútaná

Tabuľka 3 Matica meraní

JAZDA	POLOHA FIGURÍNY	PRIPÚTANIE FIGURÍNY*	PREDSTAVUJE SCENÁR
1	A	1	záchranár/sprevádzajúca
2	A	0	záchranár/sprevádzajúca
3	B	1	pacient
4	B	2	pacient
5	B	0	pacient
6	C	1	pacient
7	C	2	pacient

8	C	0	pacient
9	D	1	záchranár
10	D	0	záchranár
11	E	1	záchranár
12	E	0	záchranár
13	F	0	záchranár
14	F	1	záchranár

* Pripútanie figuríny: 1 – správne pripútaná, 0 – nepripútaná, 2 – nesprávne pripútaná

Dynamické parametre vozidla počas testovacích jazd boli merané prostredníctvom prístroja DSD PicDAQ5 [5]. DSD PicDAQ5 kompletný merací systém pozostávajúci z 2 trojosých akcelerometrov (merací rozsah ± 1.5 g a ± 200 g), trojosého senzora uhlovej rýchlosti - gyroskopu (± 300 °/s) a GPS senzora rýchlosti (5 Hz). S možnosťou dodatočného zapojenia 6 analógových vstupov, 4 digitálnych vstupov a CAN BUS vstupov. Vertikálne rozlíšenie AD prevodníka 12 bit, v rámci testov nastavená vzorkovacia frekvencia 1 kHz. Prístroj bol umiestnený na čelnom skle vozidla. Na vyhodnotenie nameraných údajov z prístroja bol použitý program PocketDaqAnalyzer, v. 1.2.0.14.

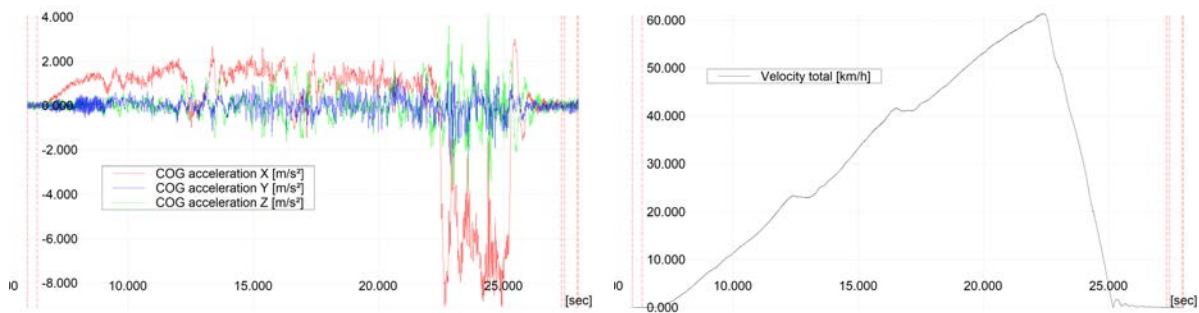
Pohyb figuríny pri testoch bol zaznamenávaný prostredníctvom vysokorýchlostnej kamery Sony RX100 Mk5 (1920x1080@240 sn/s) a prostredníctvom 2 ks digitálnych kamier GoPro Hero6 Black (1920x1080@240 sn/s).

Pri testovacích jazdách vykonal vodič vozidla rozjazd vozidla na rýchlosť v intervale (50-60) km.h⁻¹ a následne vykonal intenzívne brzdenie vozidla plným zošliapnutím pedálu prevádzkovej brzdy. Vonkajšia teplota pri meraniach 13-17 °C, povrch vozovky asfaltový, nerovnomerne vlhký. Časový odstup medzi jednotlivými jazdami bol cca 10 min.

2 VÝSLEDKY

Celkovo bolo vykonaných 14 pokusov. Použitá súradnicová sústava je v súlade s technickou normou ISO8855:2011.

Na obrázku 4 je zobrazený typický časový priebeh zrýchlení/spomalení vozidla počas jazd, ako aj časový priebeh výslednej rýchlosti vozidla získaný integráciou zrýchlení (zobrazené priebehy pre jazdu 10). Priebeh zrýchlení bol korigovaný v programe PocketDaqAnalyzer voči vplyvu klopenia vozidla pri intenzívnom brzdení pomocou údajov z gyroskopu.



Obrázok 4 Typický časový priebeh zrýchlení vozidla (vľavo) a rýchlostí (vpravo)

Stredná hodnota plného brzdného spomalenia bola vypočítaná nasledovným spôsobom: spätnou integráciou časového priebehu brzdného spomalenia (t.j. spomalenia v smere osi X) od zastavenia po začiatok intenzívneho brzdienia bola získaná hodnota rýchlosti na počiatku intenzívneho brzdienia a druhým integrálom časového priebehu brzdného spomalenia za rovnakých podmienok bola získaná hodnota brzdnjej dráhy. Vzhľadom na fakt, že u niekoľkých pokusov došlo k intenzívnemu brzdieniu vozidla v smerovom oblúku tak bol analogický postup použitý aj na určenie strednej hodnoty celkového spomalenia/zrýchlenia vozidla vychádzajúc z časového priebehu zrýchlení vo všetkých 3 osiach. Potom pre výpočet strednej hodnoty zrýchlenia počas intenzívneho brzdienia vozidla platí:

$$a = \frac{v^2}{2s} \quad (1)$$

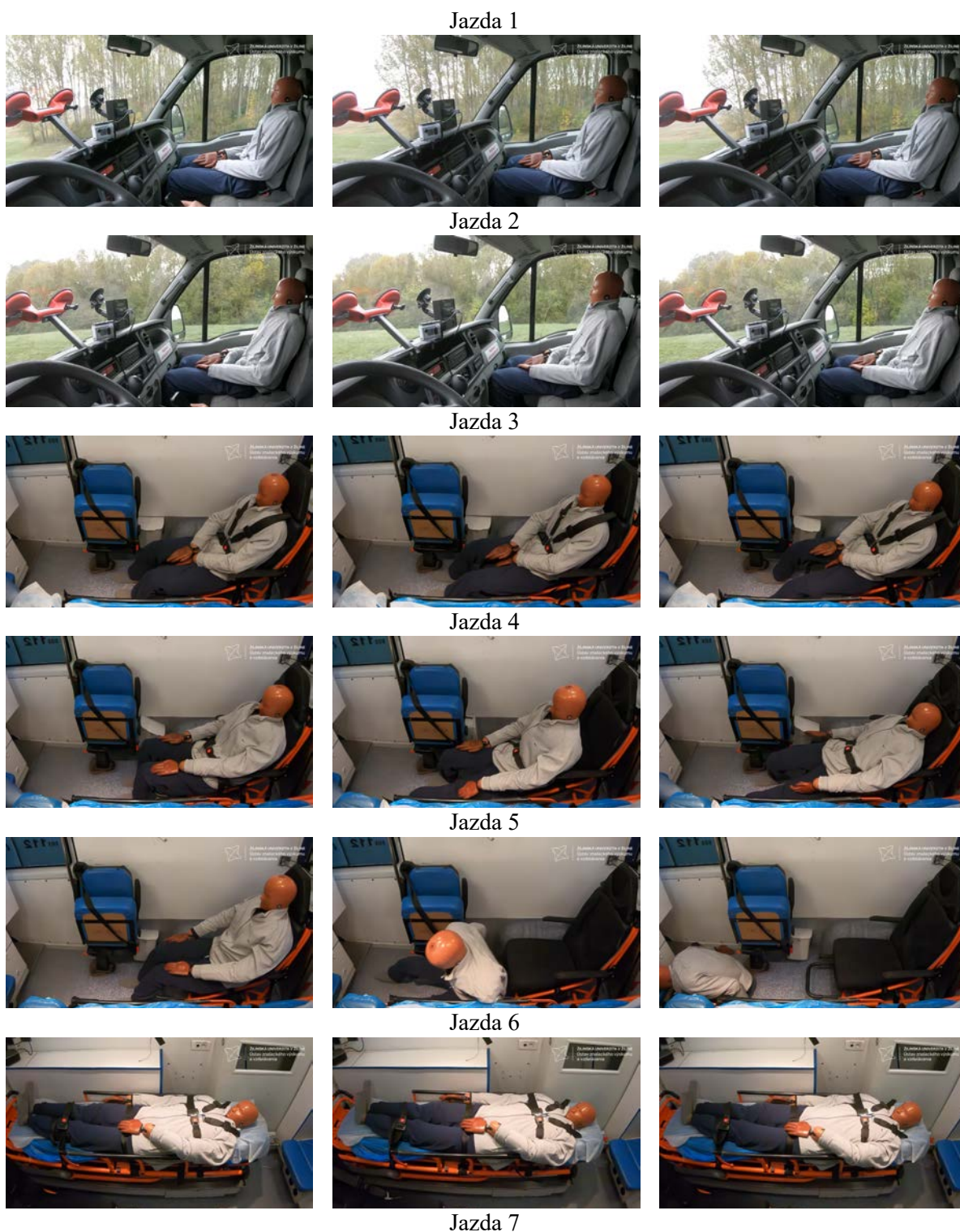
Vypočítané hodnoty stredných hodnôt zrýchlení vozidla podľa vyššie popísaného postupu sú uvedené v tabuľke 4.

Tabuľka 4 Stredná hodnota plného spomalenia vozidla Renault Master 2

JAZDA	a (m.s ⁻²)	a _x (m.s ⁻²)
1	7.59	7.59
2	6.05	6.05
3	6.04	4.94
4	7.34	7.34
5	6.58	6.49
6	5.96	6.05
7	6.56	6.57
8	5.87	5.87
9	6.14	6.11
10	6.13	6.13
11	6.61	4.51
12	6.26	6.26
13	6.65	6.63
14	6.49	6.48
MAX (m.s⁻²)	7.59	7.59

MIN (m.s⁻²)	5.87	4.51
STREDNÁ HODNOTA (m.s⁻²)	6.45	6.22
SMERODAJNÁ ODCHÝLKA (m.s⁻²)	0.51	0.80

Na obrázku 5 sú zobrazené okamihy polohy figuríny v interiéri vozidla pre jednotlivé jazdy: vľavo – pred začiatkom brzdenia, v strede – počas intenzívneho brzdenia, vpravo – po zastavení vozidla.





Jazda 8



Jazda 9



Jazda 10



Jazda 11



Jazda 12



Jazda 13



Jazda 14



Obrázok 5 Poloha figuríny počas jazd: vľavo – pred začiatkom brzdenia, v strede – počas intenzívneho brzdenia, vpravo – po zastavení vozidla

3 DISKUSIA

Stredná hodnota plného brzdného spomalenia vozidla dosiahnutá počas testov bola 6.22 m.s^{-2} ($SO = 0.80 \text{ m.s}^{-2}$) a stredná hodnota plného výsledného zrýchlenia vozidla počas fázy intenzívneho brzdenia bola 6.45 m.s^{-2} ($SO = 0.51 \text{ m.s}^{-2}$). Tieto hodnoty síce predstavujú značný dynamický stav interiéru vozidla, avšak je z technického hľadiska možné predpokladať, že pri intenzívnom brzdení s vozidlom novej generácie, použití pneumatík s lepšími adhéznymi vlastnosťami a jazdy na cestnom povrchu s lepšími trecími vlastnosťami by bolo možné dosiahnuť spomalenie vozidla až do hodnoty 1 g (9.81 m.s^{-2}).

Napriek dosiahnutej hodnote spomalenia vozidla je možné pozorovať vplyv stavu pripútania pasažiera na relatívny pohyb v interiéri vozidla, najmä v prípadoch, ak telo pasažiera nie je usadené spôsobom, ktorý zabraňuje relatívnemu pohybu tela (ako napr. v prípade jazdy 1 kedy kolená figuríny boli v kontakte s prístrojovou doskou bez ohľadu na stav pripútania). V prípade ostatných jazd, pri ktorých bol pasažier správne pripútaný (jazdy 3, 6, 9, 11, 14) je možné konštatovať, že zádržný systém vozidla v podobe bezpečnostného pásu splnil svoju funkciu a nedošlo k výraznému relatívnemu pohybu pasažiera, pričom tento malý relatívny pohyb nemal za následok kontakt s inými interiérovými časťami vozidla.

V prípade nesprávne pripútaného pasažiera (jazdy 4 a 7) – simulácia prepravy pacientov – je zrejmy negatívny vplyv nedostatočného pripútania najmä pri jazde 7. Pri tejto jazde nebol použitý hrudný popruh bez plečných popruhov schopný zabrániť relatívnemu pohybu tela figuríny smerom dopredu a došlo k miernemu kontaktu pravej strany figuríny s hranou interiérovej skrinky (obrázok 6).



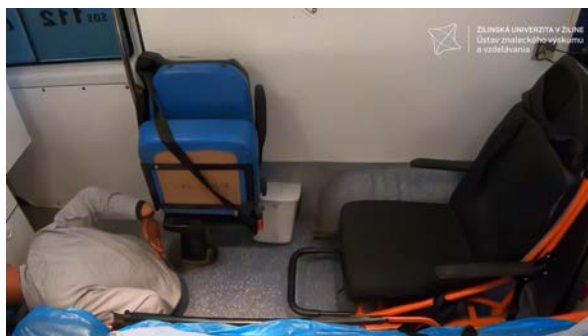
Obrázok 6 Kontakt hlavy figuríny s hranou skrinky pri jazde 7

V prípade nepripútaného pasažiera (jazdy 5, 8, 10, 12, 13) došlo s výnimkou jazdy 13 k výraznému posunu pasažierov z pôvodnej polohy relatívne voči vozidlu s potencionálnymi výrazne negatívnymi vplyvmi na zdravotný stav ľudskeho subjektu.

V prípade jazdy 5 došlo k úplnému zosunutiu tela figuríny zo sedadla a zastaveniu pohybu tela figuríny vplyvom nárazu sedacej časti na podlahu vozidla (obrázok 7) a vplyvom nárazu hlavy do sedáku sedadla (obrázok 8).



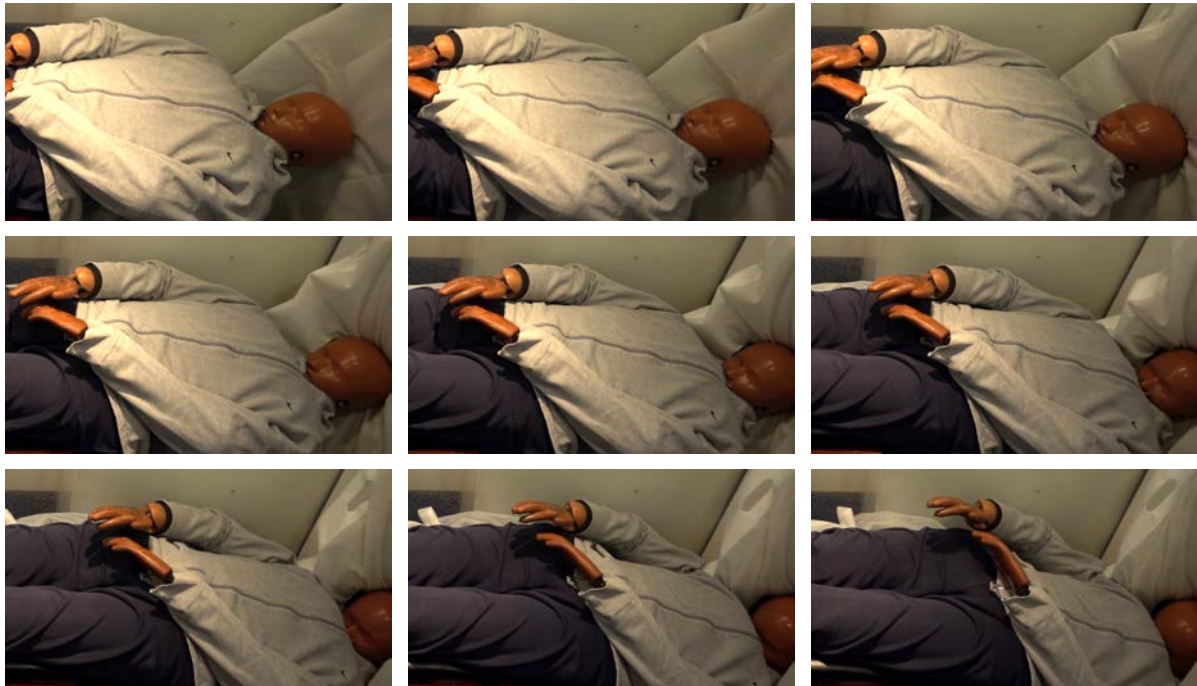
Obrázok 7 Náraz sedacej časti figuríny na podlahu vozidla pri jazde 5



Obrázok 8 Náraz hlavy figuríny do sedáku sedadla pri jazde 5

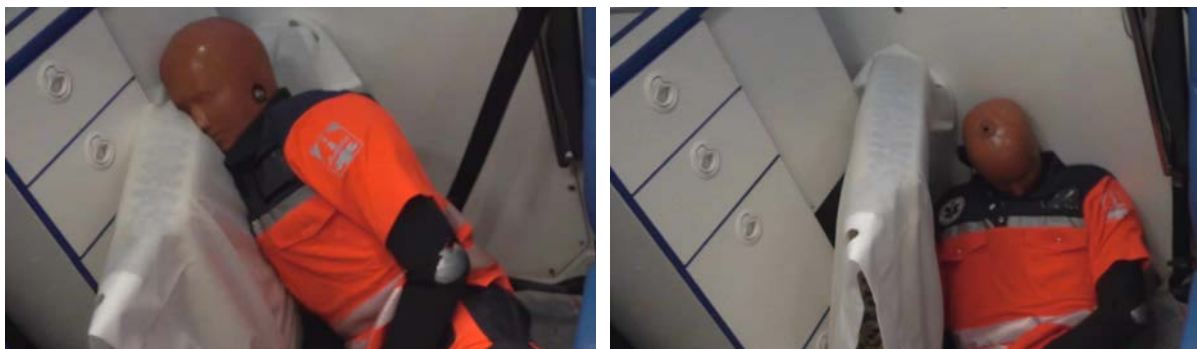
V prípade jazdy 8 došlo k posunutiu tela ležiacej figuríny hlavou smerom dopredu a následnému nárazu hlavy figuríny do interiéru vozidla. Tento posun spolu s pôsobiacou hmotnosťou tela figuríny následne spôsobil výraznú hyperflexiu v krčnej oblasti figuríny

s potencionálne katastrofickými dôsledkami na zdravie skutočného ľudského subjektu (obrázok 9).



Obrázok 9 Posun tela figuríny a hyperflexia v krčnej oblasti pri jazde 8

V prípade jazdy 10 došlo k posunutiu tela sediacej figuríny (smerom doprava z pohľadu usadenia figuríny) a následnému nárazu pravej časti hlavy figuríny do interiérovej skrinky vozidla (obrázok 10 vľavo). Následne došlo k pádu tela figuríny na podlahu vozidla a nárazu záhlavnej oblasti hlavy figuríny do bočných dverí vozidla. Náraz záhlavnej oblasti do bočných dverí následne spôsobil hyperflexiu v krčnej oblasti figuríny (obrázok 10 vpravo).



Obrázok 10 Náraz pravej strany hlavy figuríny do skrinky (vľavo), hyperflexia v krčnej oblasti (vpravo)

V prípade jazdy 11 došlo k posunutiu tela sediacej figuríny (smerom dopredu z pohľadu usadenia figuríny) a následnému nárazu čelovej časti hlavy figuríny do interiérovej skrinky

vozidla (obrázok 11). Okrem rázového namáhania hlavy figuríny vplyvom tohto nárazu je možné pozorovať počas tohto nárazu aj kompresno-extenzné namáhanie v krčnej oblasti figuríny vplyvom relatívneho pohybu trupu figuríny voči hlave figuríny.



Obrázok 11 Náraz hlavy figuríny do skrinky pri jazde 12

V prípade jazdy 13 išlo o jediný prípad, kedy pohyb pripútaného a nepripútaného pasažiera nevykazoval výrazne rozdiely a to z dôvodu, že relatívnemu posunu figuríny bolo zabránené vplyvom odporu operadla sedadla.

ZÁVER

Predložený príspevok sa venoval problematike kinematiky pohybu tela pasažiera v interiéri vozidla záchranej zdravotnej služby pri dynamickom jazdnom manévri v podobe intenzívneho brzdenia vozidla. Tieto jazdné manévry v podobe 14 testovacích jász predstavovali realistický scenár prevádzky vozidla v rámci výkonu zásahu. Zo zrealizovaných jász jasne vyplýva nutnosť správneho pripútania posádky vozidla a to najmä prevázaného pacienta. V prípade tohto pacienta umiestneného na ležadle je nutné zdôrazniť vysoké riziko posunu tela pacienta smerom dopredu s následným výrazným silovým namáhaním v oblasti krčnej chrbtice s dôvodu hyperflexie, so závažnými implikáciami na zdravotný stav pacienta. Tento negatívny vplyv na zdravotný stav pacienta v tejto polohe je umocnený tým, že pacient v tejto polohe nemá veľa možností ako zabrániť posunu svojho tela smerom dopredu a to z dôvodu moźnej biomechaniky jeho aktívneho pohybu ako aj z dôvodu, že pacient umiestnený na ležadle pri výkone zásahu bude pravdepodobne už v zdravotnom stave, ktorý mu bude zabraňovať vykonať aktívnu reakciu (napr. pacient v bezvedomí).

Zrealizované výsledky experimentálnych meraní budú v budúcej výskumnej činnosti ďalej použité ako okrajové podmienky pri numerických simuláciách dynamiky pohybu

simulačného modelu ľudského tela v rámci daných jazdných stavov vozidla záchranej zdravotnej služby.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol podporený Agentúrou pre podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-20-0626. Tento príspevok bol vypracovaný v rámci projektu APVV-20-0626: Biomechanicky verná náhrada ľudského tela pre zvýšenie objektivity forenznej analýzy cestných dopravných nehôd.

Autori touto cestou ďakujú spoločnosti ZaMED, s.r.o za spoluprácu pri príprave a realizácii jazdných skúšok.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

[1] KAHN, CH. A., PIRRALLO, R. G., KUHN, E. M. 2009. Characteristics of fatal ambulance crashes in the United States: An 11- year retrospective analysis. *In: Prehospital Emergency Care*, Volume 5(3), 261-269, DOI: 10.1080/10903120190939751.

[2] WEISS, S. J., ELLIS, R., ERNST, A. A., LAND, R. F., GARZA. A. 2001. A comparison of rural and urban ambulance crashes. *In: The American Journal of Emergency Medicine*, Volume 19(1). 52-56, ISSN 0735-6757, DOI: 10.1053/ajem.2001.20001.

[3] BECKER, L. R., ZALOSHNIJA, E., LEVICK, N., LI, G., MILLER, T. R. 2003. Relative risk of injury and death in ambulances and other emergency vehicles. *In: Accident Analysis & Prevention*, Volume 35(6), 941-948, ISSN 0001-4575, DOI: 10.1016/S0001-4575(02)00102-1.

[4] Hossain, M. M., Zhou, H., Das, S. 2023. Data mining approach to explore emergency vehicle crash patterns: A comparative study of crash severity in emergency and non-emergency response modes. *In: Accident Analysis & Prevention*, Volume 191, 107217, ISSN 0001-4575. DOI: 10.1016/j.aap.2023.107217.

[5] PicDAQ5, (2023). cit. [11-30-2023]. Dostupné z: http://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=16:pic-daq&catid=37&Itemid=159&lang=en.