ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Pasivní bezpečnost vozidel a vliv informačních technologií

Passive safety and influence of information technology

PRAHA 2015

AUTOR: Ing. Josef Mík
Katedra: Vozidel a pozemní dopravy
Školitel: prof. Ing. Jan Kovanda, CSc.
Obor: Jakost a spolehlivost strojů a zařízení

TECHNICKÁ FAKULTA

Obsah

1 ÚVOD 1

2 CÍL PRÁCE 2

3 METODIKA 2

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE 4

4.1 KORELAČNÍ ANALÝZA VÝSLEDKŮ NÁRAZOVÝCH TESTŮ 6

4.1.1 Závislost deformace na nárazové rychlosti 6

4.1.2 Závislost maximálního zrychlení na kinetické energii vozidla 7

4.1.3 Závislost HIC kritéria na nárazové rychlosti vozidla 8

4.1.4 Dílčí závěr 9

4.2 NAMÁHÁNÍ KABINY VOZIDLA PŘI NÁRAZU 9

4.2.1 Hodnocení namáhání kabiny vozidla 9

4.2.2 Hodnocení zrychlení karoserie 10

4.2.3 Dílčí závěr 11

4.3 OVĚŘENÍ FUNKCE VOZIDLOVÉ JEDNOTKY ECALL 12

4.3.1 Popis jednotky eCall 12

4.3.2 Korelace signálů zrychlení 13

4.3.3 Zkouška jednotky eCall na urychlovacím zařízení 14

4.3.4 Dílčí závěr 16

5 ZÁVĚR 17

ABSTRACT 19

POUŽITÁ LITERATURA 20

SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ 21

1 Úvod

Prudký rozvoj automobilové dopravy, ke kterému v posledních desetiletích dochází, s sebou přináší mnohá pozitiva, mezi něž patří například ekonomické přínosy státu nebo firem a lidí, kteří automobilovou dopravu využívají v rámci své každodenní pracovní činnosti. Nezanedbatelné jsou také funkční požitky a sociální výhody, které automobil přináší běžným občanům a rodinám. Některým lidem umožňuje snazší cestu do zaměstnání, či možnost individuálního cestování. Vedle těchto výhod však automobilová doprava přináší také mnoho záporných aspektů. Jedním z nich je vznik dopravních nehod a s tím spojená zranění a ztráty na lidských životech.

Vzhledem k vysokému počtu dopravních nehod, jsou stále zvyšovány požadavky na bezpečnost automobilů, za účelem dosažení snížení počtu usmrcených osob při dopravních nehodách a zmírnění vznikajících zranění.

I přes vybavenost vozidel řadou bezpečnostních prvků dochází ke ztrátám na životech, mimo jiné také v důsledku neposkytnutí včasné pomoci zraněným cestujícím. Tento problém vzniká například při dopravních nehodách na komunikacích s nižší intenzitou provozu, nebo pokud vozidlo po nehodě vjede na vzdálenější místo od komunikace, následkem čehož se ocitne v oblasti, kam ostatní účastníci silničního provozu z komunikace nevidí. V této souvislosti se zrodila myšlenka vytvoření systému, který by dokázal automaticky přivolat pomoc k dopravní nehodě v co možná nejkratším čase. Bylo tedy rozhodnuto o vývoji celoevropského systému nouzového volání k dopravní nehodě Emergency call (dále jen eCall), který umožní přivolání pomoci všem vozidlům na území Evropské unie a také některých přilehlých států, bez rozdílu státu, ve kterém se momentálně havarované vozidlo nachází.

Systém eCall v sobě sdružuje řadu podsystémů, jejichž provázanost umožní stanovení vzniku dopravní nehody a následně o tom informovat nejbližší centrum tísňového volání. Při vývoji celoevropského systému eCall je kladen důraz také na dostatečný popis události, aby vyslaná pomoc mohla být co nejefektivnější. Důležité je také jeho propojení s jinými telematickými systémy, které umožní informovat ostatní řidiče o vzniklé dopravní nehodě, což může přispět k větší plynulosti dopravy a k zabránění vzniku dalších nehod.

2 Cíl práce

Disertační práce je zaměřena na problematiku zvyšování bezpečnosti silničního provozu, s využitím propojení oblasti pasivní bezpečnosti vozidel a informačních technologií v silniční dopravě. Je úzce zaměřena na využití systému tísňového volání k dopravní nehodě, systému eCall, který je v současné době vyvíjen a je zde možné hledat potenciál pro jeho případná rozšíření. Možná varianta jeho rozšíření a přispění ke zvýšení bezpečnosti silničního provozu je spatřována v možnosti lepšího popisu dopravní nehody, nad rámec struktury popisu současně vyvíjeným systémem eCall, který je definován údaji obsaženými v minimálním souboru dat.

Odhad dalších parametrů dopravní nehody, které lépe popíší její případné následky, umožní zlepšení informovanosti operátora tísňové linky o vzniklé krizové situaci a bude mít vliv na přesnější rozhodnutí o struktuře pomoci, která je na základě získaných informací operátorem tísňové linky k dopravní nehodě vyslána.

Cílem této disertační práce je určení parametrů nárazu vhodných pro odhad závažnosti dopravní nehody osobního automobilu systémem eCall se zaměřením na problematiku čelního nárazu vozidel kategorie M1.

Dalším cílem je ověření parametrů jednotky eCall typu black box, z hlediska vhodnosti jejich využití pro následný bližší popis nehodového děje a odhad závažnosti následků dopravní nehody. V rámci tohoto cíle by měla být ověřena hypotéza o využitelnosti signálů zrychlení měřených jednotkou eCall k odhadu závažnosti dopravní nehody.

3 Metodika

Pro dosažení prvního cíle této práce, tj. určení parametrů nárazu vhodných pro odhad závažnosti dopravní nehody osobního automobilu systémem eCall, je využit soubor datových výsledků provedených nárazových zkoušek osobních vozidel kategorie M1 čelním nárazem do různých typů bariér a do jiného vozidla kategorie M1. Ve většině případů se jedná o nestandardní typy nárazů, které však umožňují zkoumat problematiku v širším rozsahu vstupních parametrů. Data jsou doplněna o výsledky testu kompatibilního nárazu vozidla Škoda Roomster do deformovatelné bariéry, provedeného podle požadavků předpisu EHK/OSN č. 94. Na základě získaných výsledků nárazových zkoušek jsou následně voleny parametry čelního nárazu, které mohou přispět k popsání závažnosti dopravní nehody a zároveň jsou vybrány parametry, které je možné měřit senzory

vozidlové jednotky eCall. Pro tyto parametry je stanovena regresní funkce popisující vztah mezi známým parametrem a parametrem odhadovaným. Těsnost regrese je následně ověřena hodnotou korelačního koeficientu. Pro stanovení regresních funkcí a výpočet hodnoty korelačního koeficientu jsou využity statistické nástroje softwaru MS Excel.

Problematika odhadu závažnosti dopravní nehody je dále zkoumána z hlediska namáhání kabiny vozidla během nárazu. Je řešena dvěma odlišnými přístupy, kdy první přístup využívá hodnoty napětí měřené tenzometry na různých částech karoserie a druhý přístup využívá hodnoty zrychlení měřené více akcelerometry rozmístěnými na různých částech karoserie. Snímače jsou na vozidle rozmístěny v přední části kabiny, kde je předpoklad větší pravděpodobnosti deformací během čelního nárazu. Namáhání sledovaných částí kabiny a pravděpodobnost vzniku deformací těchto částí při nárazu je stanovena na základě maximálních hodnot měřených veličin.

Pro dosažení druhého cíle této práce jsou využity data zkoušky čelním nárazem vozidla Škoda Favorit do pevné bariéry. V rámci této zkoušky byla testována také vozidlová jednotka eCall, umožňující zaznamenat měřené hodnoty zrychlení při nárazu, které zároveň jednotka využívá pro stanovení vzniku nehody. Tato jednotka byla umístěna na tunelu vozidla ve stejné ose (ve směru nárazu), jako laboratorní akcelerometr, aby nedošlo k ovlivnění měřených hodnot případným silovým momentem. Naměřené průběhy zrychlení byly následně synchronizovány na jedné časové ose. Vhodnost využití signálů měřených jednotkou eCall pro následný popis dopravní nehody je posuzována na základě provedené korelační analýzy, která umožní prokázat podobnost signálů zrychlení měřených jednotkou eCall a laboratorním akcelerometrem umístěným na tunelu vozidla. Pro zpracování signálů zrychlení, jejich synchronizaci podle jedné časové osy a následnou korelační analýzu byl použit software Matlab.

Jednotka eCall je následně testována na urychlovacím zařízení, kde je umožněna opakovatelnost testu. Na urychlovací zařízení je jednotka eCall uchycena společně s externím akcelerometrem stejným způsobem, jako na vozidle při nárazové zkoušce. Během této zkoušky je možné přímé vyčítání dat z jednotky, což umožňuje provést přesnou synchronizaci měřených signálů v čase. Naměřené průběhy zrychlení jsou vyhodnocovány na základě korelační analýzy, jejich zpracování je shodné se zpracováním dat při testu jednotky eCall v rámci nárazové zkoušky vozidla. Následně je provedeno vzájemné porovnání výsledků testů jednotky eCall na urychlovacím zařízení s výsledky testu jednotky v rámci nárazové zkoušky vozidla a ověřena jejich vypovídací hodnota.

4 Experimentální část práce

Základní podklady pro tuto práci tvoří data z nárazových zkoušek čelním nárazem vozidel kategorie M1. V práci je vycházeno z následujících nárazových zkoušek:

- Nárazový test vozidla Škoda Favorit do pevné bariéry (v_0 = 47,3 km·h^{-1}),
- Nárazový test vozidla Škoda Fabia do pevné bariéry (v_0 = 50,77 km·h^{-1}),
- Nárazový test vozidla Škoda Rapid do pevné bariéry (v_0 = 45 km·h^{-1}),
- Nárazový test vozidla Škoda Rapid do pevné bariéry (v_0 = 14,92 km·h^{-1}),
- Nárazový test vozidla Škoda Roomster do deformovatelné bariéry (v_0 = 56,18 km·h^{-1}),
- Nárazový test vozidla Renault 5 GTD (v_0 = 52,2 km·h^{-1}),
- Kolize automobilu Škoda Fabia s automobilem Škoda Octavia (v_0 = 50 km·h^{-1}),

Z výše uvedených nárazových zkoušek jsou využity následující parametry nárazu:

- **Překrytí čelní plochy vozidla** – udává procentní velikost překrytí čelní plochy testovaných vozidel s kolizním partnerem.
- **Nárazová rychlost vozidla (v_0)** – je odečítána ze záznamu rychlokamery.
- **Hmotnost vozidla** (**m)** – stanovena vážením jednotlivých kol vozidla plošinovými váhami.
- **Kinetická energie vozidla (E_k)** – je vypočtena na základě hmotnosti vozidla a rychlosti vozidla podle vzorce 1.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, \tag{1}$$

kde: E_k ..... kinetická energie vozidla v okamžiku nárazu [J],
m ..... hmotnost vozidla [kg],
v ..... nárazová rychlost vozidla [m·s^{-1}].

- **Maximální zrychlení karoserie vozidla (a_{max})** – je odečteno z průběhu podélného zrychlení působícího na karoserii vozidla v ose X.
- **Výsledná deformace vozidla (ξ)** – je odečtena z obrazové dokumentace testovaného vozidla po nárazu (fotky, záznam z rychlokamery) na základě srovnání s fotodokumentací vozidla před nárazem.
- **Maximální zrychlení hlavy figuríny řidiče (a_{max})** – je odečteno z průběhu celkového zrychlení v hlavě figuríny řidiče. Křivka celkového zrychlení je vypočítána z průběhů zrychlení v osách X, Y a Z hlavy figuríny podle vzorce 2. Celkový průběh zrychlení je následně filtrován standardizovaným frekvenčním filtrem CFC 1000.

$$a_{celk} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (2)$$

kde: a_{celk} ..... celkové zrychlení [m·s^{-2}],

a_x, a_y, a_z ..... měřené zrychlení v osách x, y, z v hlavě figuríny [m·s^{-2}].

- **Hodnota HIC kritéria figuríny řidiče** – kritérium poranění hlavy stanovené z křivky celkového zrychlení hlavy, podle vzorce 3. Časový interval t_1 až t_2 je volen 36 ms v případě, že nedošlo ke kontaktu hlavy figuríny s pevnou částí interiéru (stanoveno na základě záznamu z rychlokamery), v případě, že ke kontaktu došlo, je volen interval t_1 až t_2 15 ms. Výslednou hodnotou HIC kritéria je pak hodnota maximální, pro danou křivku zrychlení hlavy.

$$HIC = \left[\frac{1}{t_1 - t_2} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a\, dt\right]^{2,5} \cdot (t_1 - t_2) \quad (3)$$

kde: HIC ..... hodnota kritéria poranění hlavy [-],

a ..... celkové zrychlení [g],

t_1 ..... začátek časového intervalu pro výpočet HIC,

t_2 ..... konec časového intervalu pro výpočet HIC.

Výsledky nárazových zkoušek jsou souhrnně uvedeny v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1 *Výsledky nárazových zkoušek – údaje zkušebních vozidel*

Testované vozidlo	Kolizní partner	Údaje o vozidle						
		Překrytí [%]	Čelní airbag	V0 [km·h^{-1}]	m [kg]	Ek [kJ]	amax [m·s^{-2}]	Deformace [mm]
Škoda Fabia	Pevná bariéra	100	Ano	50,77	1208	120,13	620	447
Škoda Favorit	Pevná bariéra	100	Ne	47,3	875	75,53	459,8	508
Škoda Rapid	Pevná bariéra	100	Ano	45	1235	96,48	378,1	416
Škoda Rapid	Pevná bariéra	100	Ne	14,92	1122	9,64	115,6	127
Renault 5 GTD	Pevná bariéra	40	Ne	52,2	938,6	98,67	345	700
Škoda Roomster	Deform. bariéra	40	Ano	56,18	1542	187,76	Ne	Ne
Škoda Fabia	Škoda Octavia	33	Ano	50	1157	111,59	176	815

Tab. 2 *Výsledky nárazových zkoušek – HIC kritéria zkušebních figurín*

Testované vozidlo	Kolizní partner	Figurína řidiče		Ostatní figuríny		
		amax [m·s^{-2}]	HIC [-]	Umístění ve vozidle	amax [m·s^{-2}]	HIC [-]
Škoda Fabia	Pevná bariéra	510	302,94	Spolujezdec	2277	4139
Škoda Favorit	Pevná bariéra	2490	2205,6	Dítě P3	708,8	706
Škoda Rapid	Pevná bariéra	460	180,42	Ne	Ne	Ne
Škoda Rapid	Pevná bariéra	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
Renault 5 GTD	Pevná bariéra	Ne	Ne	Dítě P3	856,6	612
Škoda Roomster	Deform. bariéra	Ne	359,25	Spolujezdec	Ne	385,64
Škoda Fabia	Škoda Octavia	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne

4.1 Korelační analýza výsledků nárazových testů

Analýza výsledků nárazových zkoušek je provedena na základě korelační analýzy mezi vybranými parametry, uvedenými v tabulkách 1 a 2, s přihlédnutím na vhodnost jejich využití při stanovení závažnosti nárazu systémem eCall.

Vztah mezi jednotlivými parametry je vyjádřen regresní funkcí s využitím metody nejmenších čtverců, vyjádřené ve vzorci 4.

$$F(a_{yx}, b_{yx}) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - a_{yx} - b_{yx}x_i)^2 = min., \quad (4)$$

kde: $\hat{y}_i$ ..... hodnoty vyrovnané (teoretické),

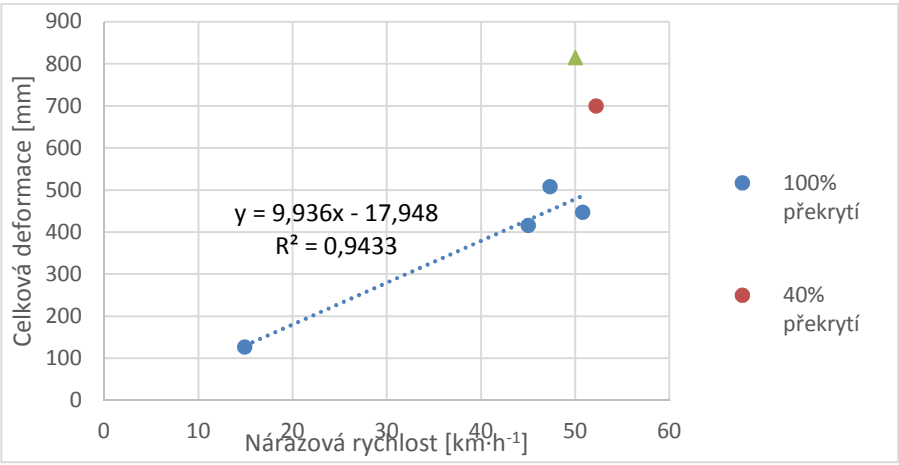
y_i ..... empirické hodnoty,

a_{xy}, b_{yx} ..... koeficienty rovnice.

Spolehlivost regresního odhadu je stanovena pomocí korelačního koeficientu r_{yx}. Korelační vztah je považován za málo těsný, je-li hodnota korelačního koeficientu menší než 0,3. V případě, že je jeho hodnota větší než 0,8, je považován za velmi těsný. Pohybuje-li se korelační koeficient v tomto rozmezí, uvažujeme středně těsnou korelační závislost. [2, 5]

4.1.1 Závislost deformace na nárazové rychlosti

Závislost maximální deformace karoserie vozidla na jeho nárazové rychlosti je vyjádřena v grafu na obrázku 1. Vzhledem k rozdílnému typu řešených nárazových testů jsou do korelační analýzy zahrnuty pouze zkoušky do pevné bariéry, s překrytím 100 % šířky vozidla. Hodnoty jsou proloženy přímkou a je zobrazena její regresní funkce. Z hodnoty koeficientu determinace R^2 je možné stanovit hodnotu korelačního koeficientu, která je vyjádřena ve vzorci 5.



Obr.1: *Závislost výsledné deformace karoserie na nárazové rychlosti vozidla*

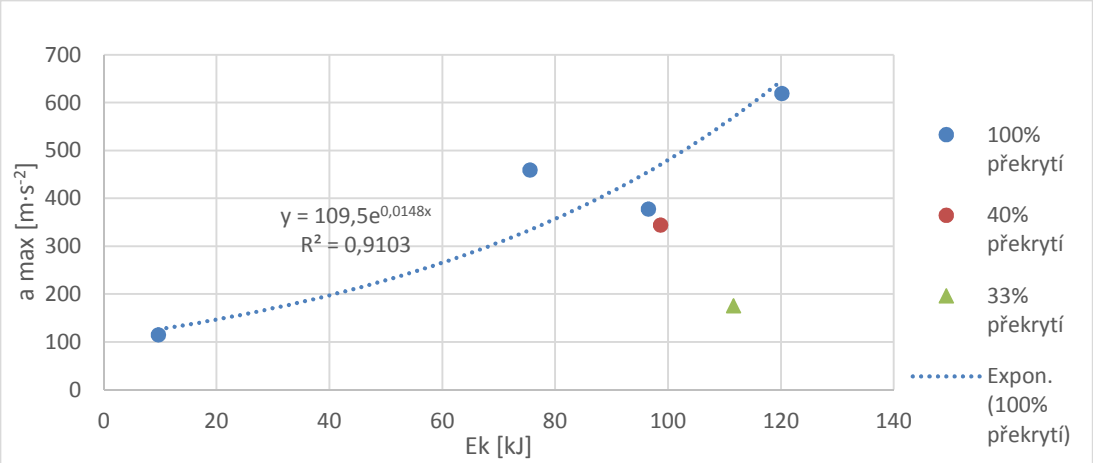
$$R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0{,}9437} = 0{,}97144 \quad (5)$$

Výsledná hodnota korelačního koeficientu je R = 0,97144, je tedy možné považovat korelační vztah jako velmi těsný.

V grafu na obrázku 1 jsou vyneseny také hodnoty celkových deformací vozidel, které z důvodu rozdílných parametrů testu nebyly zahrnuty do korelační analýzy. Jedná se o vozidlo Renault 5 GTD, které bylo testováno nárazem do pevné bariéry s přesahem 40 % a vozidlo Škoda Fabia sedan, testované čelním nárazem do vozidla Škoda Octavia combi s překrytím 33 %. Z grafu je patrná rostoucí hodnota výsledné deformace při snižující se míře překrytí kolizních ploch.

4.1.2 Závislost maximálního zrychlení na kinetické energii vozidla

Dalším ze sledovaných parametrů je závislost mezi hodnotou maximálního zrychlení, které působí během nárazu na karoserii vozidla a hodnotou kinetické energie vozidla, která je při nárazu přeměněna na deformaci karoserie. Hodnoty pro jednotlivá vozidla jsou vyneseny do grafu na obrázku 2, regresní funkce je, stejně jako v případě závislosti deformace karoserie na nárazové rychlosti, stanovena pouze pro vozidla testovaná čelním nárazem do pevné bariéry s plným překrytím. Hodnoty pro ostatní vozidla jsou však v grafu také uvedena. Pro popsání závislosti byla zvolena exponenciální regresní funkce, s vyšší hodnotou korelačního koeficientu oproti lineární regresní funkci. Rovnice regresní funkce je zobrazena v grafu na obrázku 2, společně s koeficientem determinace R^2. Z koeficientu determinace je v rovnici 6 stanoven korelační koeficient.



Obr. 2: *Závislost kinetické energie na maximální hodnotě zrychlení působící na karoserii vozidla*

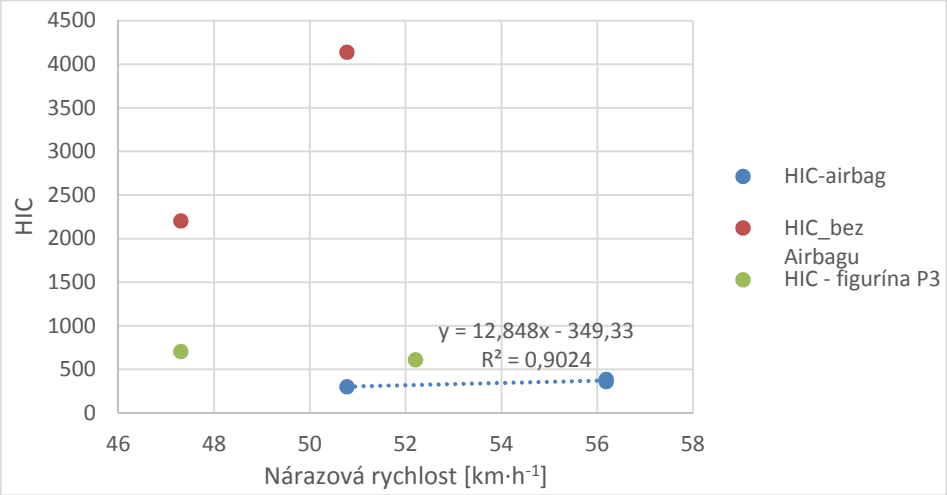
$$R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0{,}9103} = 0{,}954 \quad (6)$$

Podle výsledné hodnoty korelačního koeficientu R = 0,954 lze považovat korelační vztah za velmi těsný.

V grafu na obrázku 2 jsou uvedeny také hodnoty zrychlení pro vozidla Renault 5 GTD (40 % překrytí) a Škoda Fabia sedan (33 % překrytí), s menšími překrytími čelní plochy při nárazu. Jak je z grafu patrné, maximální zrychlení působící na tyto vozidla při stejné hodnotě pohlcované kinetické energie u vozidel se 100 % překrytí je menší. U vozidla škoda Fabia sedan však byla část kinetické energie předána druhému vozidlu Škoda Octavia, které bylo při nárazu urychleno a posunuto o 9,28 metru oproti své původní poloze před nárazem. Z tohoto důvodu došlo k pozvolnějšímu zpomalování testovaného vozidla než v případě nárazu do pevné bariéry a není možné tento parametr brát jako významný.

4.1.3 Závislost HIC kritéria na nárazové rychlosti vozidla

Z hlediska zkoumání závažnosti poranění posádky automobilu při dopravní nehodě je v rámci této kapitoly řešena korelace kritéria poranění hlavy s nárazovou rychlostí vozidla. Jelikož je z výsledků nárazových zkoušek uvedených v této práci patrný vliv airbagu na výslednou hodnotu HIC kritéria, byla korelace řešena s ohledem na jeho použití během nárazu. V grafu na obrázku 3 jsou uvedeny hodnoty HIC kritérií, v nichž jsou zahrnuty také hodnoty získané z figurín spolujezdce. Lineární regresní funkce uvedená v grafu je stanovena pro zádržný systém vozidla s airbagem. Hodnota korelačního koeficientu je vypočtena v rovnici 7.



Obr. 3: *Závislost HIC kritéria na nárazové rychlosti vozidla*

$$R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0{,}9024} = 0{,}9499 \qquad (7)$$

Podle výsledné hodnoty korelačního koeficientu R = 0,9499 lze považovat korelační vztah za velmi těsný, je však třeba brát v úvahu malé množství hodnot, na jejichž základě byla regresní funkce vytvořena. Pro stanovení regresní funkce byly využity pouze 3 hodnoty HIC kritérií.

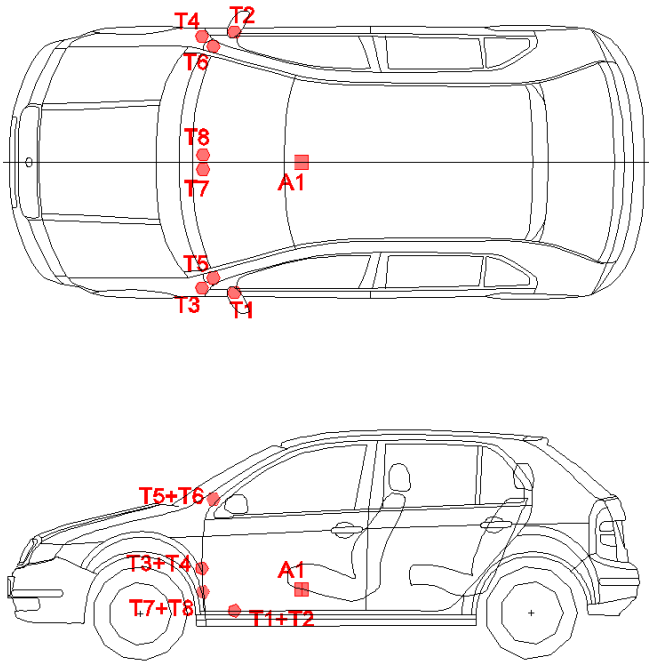
4.1.4 Dílčí závěr

Vztah mezi jednotlivými parametry byl popsán regresními funkcemi, kdy hodnoty korelačních koeficientů ve všech případech prokázaly velmi těsnou závislost regresní funkce. Je však třeba brát v úvahu také malé množství hodnot, na jejichž základě byla korelace počítána, což může snižovat vypovídací hodnotu výsledku.

4.2 Namáhání kabiny vozidla při nárazu

4.2.1 Hodnocení namáhání kabiny vozidla

K řešení namáhání karoserie v oblasti kabiny jsou využity výsledky nárazového testu Škody Fabia do pevné bariéry. Během tohoto testu bylo měřeno namáhání karoserie v oblasti přední části kabiny vozidla pomocí osmi odporových tenzometrů. Ty byly na zkušebním vozidle umístěny do oblasti předních dveří, na práh a A sloupek a dále na středový tunel vozidla, před řadicí páku, což je zobrazeno na obrázku 4. V tabulce 3, je pak uveden přehled minimálních a maximálních naměřených hodnot napětí, kde je patrné, že největší mechanické napětí bylo naměřeno na A sloupcích vozidla (tenzometry T5 a T6) a dále pak na prazích předních dveří (tenzometry T1 a T2).



Obr. 4: *Umístění tenzometrů na karoserii vozidla Škoda Fabia – čelní náraz vozidla Škoda Fabia do pevné bariéry [3]*

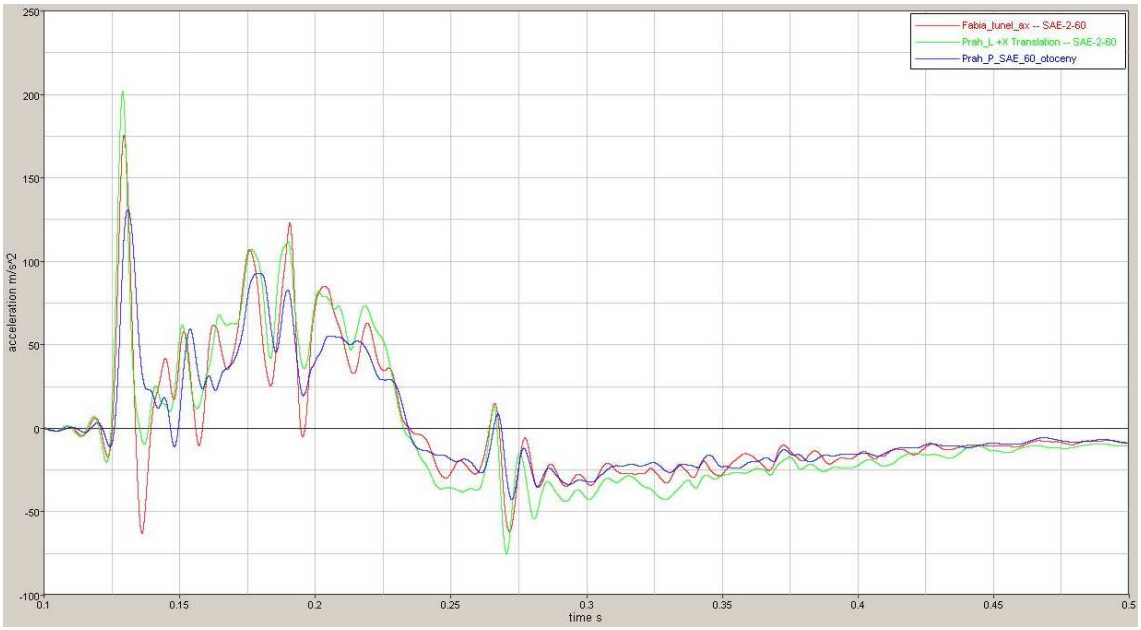
Tab. 3 *Mezní hodnoty napětí karoserie vozidla pro jednotlivé tenzometry*

Tenzometr	**σ_{min} [MPa]**	**σ_{max} [MPa]**
T1	-60	22
T2	-128	11
T3	-28	21
T4	-40	47
T5	-51	128
T6	-44	129
T7	-43	15
T8	-50	14

Vysoké mechanické namáhání karoserie vozidla v oblasti A sloupků je patrné také z nárazových zkoušek čelním nárazem, kdy došlo k maximální deformaci přední deformační zóny. To se projevilo například v případě nárazového testu vozidla Renault 5 GTD, kdy deformační zóna nebyla schopna pohltit veškerou kinetickou energii vozidla a následně došlo k prohnutí A sloupku a střechy vozidla. Při odhadu následků dopravní nehody systémem eCall je proto nutné zahrnutí také této informace. Větší deformace karoserie lze předpokládat na základě vyšší nárazové rychlosti vozidla nebo v případě větší kinetické energie, při zahrnutí vlivu celkové hmotnosti vozidla.

4.2.2 Hodnocení zrychlení karoserie

Druhá metoda pro stanovení namáhání kabiny vozidla při čelním nárazu využívá maximální hodnoty zrychlení měřené v různých částech karoserie. Je zde vycházeno z nárazového testu čelním nárazem vozidel Škoda Fabia sedan a Škoda Octavia combi, při velikosti přesazení čelních ploch 33 %, kdy se obě vozidla střetla v šířce 550 mm na své levé straně. Zkušební vozidlo Škoda Fabia sedan bylo během testu osazeno snímači zrychlení umístěnými na středovém tunelu mezi řadící pákou a ruční brzdou a dále bylo dvěma akcelerometry na levé a pravé straně, u paty A sloupku. Naměřené průběhy podélného zrychlení těmito akcelerometry jsou uvedeny na obrázku 5, Hodnoty maximálních zrychlení jednotlivých akcelerometrů jsou uvedeny v tabulce 4.



Obr. 5: *Průběhy zrychlení na různých místech karoserie – kolize vozidel Škoda Fabia a Škoda Octavia*

Tab. 4 *Maximální hodnoty zrychlení vozidla Škoda Fabia sedan měřené v různých částech karoserie*

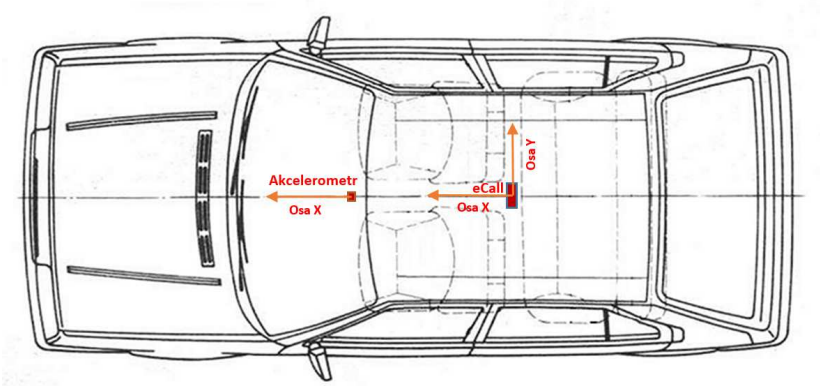
Umístění akcelerometru	**a_{max} [m·s^{-2}]**
Středový tunel	175,98
Levý A sloupek	202,48
Pravý A sloupek	131,56

4.2.3 Dílčí závěr

Z hlediska detekce nárazu na základě signálů z akcelerometrů vozidlového systému eCall vychází jako nejvhodnější varianta rozmístění více akcelerometrů na karoserii vozidla, což umožní lépe detekovat typ nárazu a v případě čelního nárazu s přesazením odhadnout také stranu nárazu. V případě implementace akcelerometrů v rámci vozidlové jednotky eCall je patrně nejvhodnější variantou umístění jednotky na středový tunel vozidla. Toto umístění je vhodné také z hlediska její bezpečnosti, protože v této oblasti lze předpokládat nejmenší deformace karoserie, což potvrdilo také měření mechanického napětí tenzometry při nárazové zkoušce Škody Fabia do pevné bariéry.

4.3 Ověření funkce vozidlové jednotky eCall

V rámci nárazové zkoušky čelním nárazem vozidla Škoda Favorit do pevné bariéry, byla ve zkušebním vozidle umístěna testovací verze jednotky eCall, která umožňovala záznam měřených signálů zrychlení, na jejichž základě rozhoduje o inicializaci tísňového volání. Jednotka byla umístěna na středovém tunelu vozidla, v jedné ose ve směru nárazu s jednoosým akcelerometrem snímajícím zrychlení karoserie v ose X (dle ISO 4130), jak je znázorněno na obrázku 6. Pro měření zrychlení karoserie byl použit akcelerometr Brüel&Kjær DeltaTrontype 4513-B. V rámci této zkoušky byla otestována funkčnost jednotky a následné ověření vhodnosti jejích parametrů pro odhad následků dopravní nehody.



Obr. 6: *Umístění jednotky eCall a akcelerometru v testovaném vozidle*

4.3.1 Popis jednotky eCall

Použitá jednotka eCall představuje kompaktní systém, kde celý vozidlový systém eCall je implementován v rámci jednoho zařízení (Black box). Výhodou této jednotky je možnost implementace do jakéhokoliv vozidla. Jednotka na základě aktuálně měřených hodnot zrychlení automobilu v osách X a Y vyhodnocuje vznik nárazu vozidla. Zrychlení je měřeno kapacitním akcelerometrem ADIS16204, implementovaným do jednotky. Maximální měřitelná amplituda podélného zrychlení vozidla je 296 g. [1]

O zahájení tísňového volání jednotka rozhoduje na základě překročení limitní hodnoty zrychlení, která byla nastavena na hodnotu 5 g. V případě inicializace tísňového volání zaznamená do své interní paměti průběhy zrychlení, které jsou měřeny akcelerometrem jednotky během nárazu. Jednotka umožňuje zaznamenání až 1024 hodnot pro každou měřenou osu se vzorkovací frekvencí 4000 hodnot za sekundu. Je tedy možné zaznamenat průběh zrychlení s maximální délkou trvání 256 ms. Počátek zaznamenaného průběhu zrychlení je 100 hodnot před překročením limitní hodnoty zrychlení, což představuje časový úsek o délce 25 ms. V případě, že není překročena nastavená limitní

hodnota zrychlení, nutná pro zahájení tísňového volání, není měřený průběh zrychlení zaznamenán.

4.3.2 Korelace signálů zrychlení

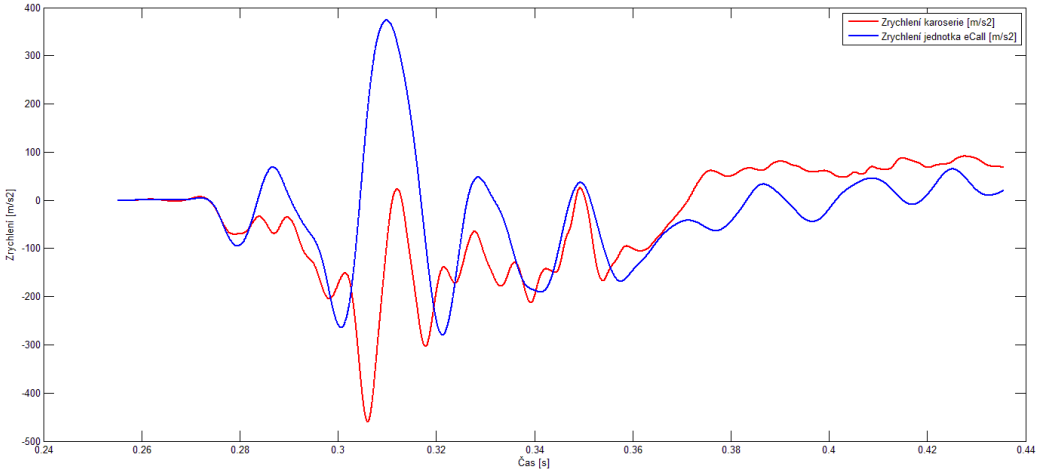
Stanovení závislosti mezi průběhem zrychlení měřeným na karoserii vozidla a průběhem měřeným jednotkou eCall v ose X vozidla bylo provedeno na základě korelační analýzy s cílem ověřit těsnost závislosti mezi oběma křivkami. Pro úpravu obou signálů a provedení korelační analýzy byl použit software Matlab.

Pro možnost provedení korelační analýzy signálů byla nejprve provedena synchronizace signálů podle jedné časové osy. Jelikož je záznam měřeného zrychlení jednotkou eCall zahájen automatickým triggerem při překročení limitní hodnoty zrychlení 5 g, následně zapsán do paměti jednotky a odeslán v datové zprávě na server, není možné provést přímé vyčítání hodnot podle stejné časové řady s hodnotami separátního akcelerometru. Průběhy zrychlení proto byly srovnány podle první amplitudy signálu, kterou oba měřící systémy zaznamenaly a kde lze na časové ose očekávat počátek nárazu. Vzhledem k rozdílným vzorkovacím frekvencím, byl signál z jednotky eCall převzorkován pomocí lineární interpolace na vzorkovací frekvenci 32 768 hodnot za sekundu. Oba signály byly následně vyfiltrovány frekvenčním filtrem CFC 60. Výsledné upravené průběhy jsou uvedeny na obrázku 7. Následně stanovená závislost mezi hodnotami zrychlení obou signálů byla vyjádřena pomocí lineární regresní funkce, která je uvedena ve vzorci 8.

$$y = 0{,}22 \cdot x - 12, \tag{8}$$

kde: y ..... hodnoty zrychlení měřené akcelerometrem na karoserii [$m \cdot s^{-2}$],

x ..... hodnoty zrychlení měřené jednotkou eCall [$m \cdot s^{-2}$].



Obr. 7: *Porovnání průběhů zrychlení měřených jednotkou eCall a akcelerometrem na karoserii vozidla*

Výsledná hodnota korelačního koeficientu pro stanovenou regresní funkci je r_{xy} = 0,22569, a lze proto korelační vztah považovat za málo těsný.

4.3.3 Zkouška jednotky eCall na urychlovacím zařízení

Alternativní metodou ověření vlastností vývojové jednotky eCall popsané v kapitole 4.3.1 bylo provedení série pokusů na urychlovacím zařízení „Rázová komora“, které je uvedeno na obrázku 8. Toto zařízení funguje na principu padostroje, kdy závaží o hmotnosti 20 kg je pomocí kladkostroje vytaženo do definované výšky a následně po odjištění aretačního mechanismu padá vlastní tíhou uvnitř vodícího tubusu. V prostoru pod vodícím tubusem je umístěna tlustostěnná ocelová nádoba kruhového tvaru, shora hermeticky uzavřena víkem, v jehož středu je umístěn píst umožňující vyvolat tlakovou vlnu v kapalině uvnitř nádoby. Celá nádoba je posuvně upnuta na čtyři svislé tyčové segmenty umožňující svislý pohyb nádoby a její vedení na dráze dlouhé 0,5 metru. Vodící mechanismus nádoby umožňuje její aretaci o horní hranu tyčových segmentů. Je-li nádoba umístěna ve své horní poloze, dojde k nárazu padajícího závaží na kruhový píst ve víku nádoby, jeho částečnému stlačení a předání zbytku kinetické energie nádobě, čímž dojde k odjištění aretace nádoby a následně jejímu pádu po dráze definované vodícími tyčemi. Dopad nádoby je tlumen molitanovou podložkou.

Obr. 8: *Zařízení „rázová komora“ využité pro testování jednotky eCall*

V rámci disertační práce byla provedena série testů jednotky eCall s cílem ověřit její vlastnosti během nárazu a ovlivnění měřeného zrychlení samotnou jednotkou. Pro pokusy bylo využito zařízení „Rázová komora“, kdy byla jednotka eCall upevněna na ocelovou nádobu stejným způsobem, jako při nárazové zkoušce automobilu a bylo měřeno zrychlení v ose X jednotky, odpovídající stejné ose při jejím umístění v automobilu.

Průběh zrychlení z akcelerometru jednotky eCall bylo při těchto testech možné kontinuálně vyčítat a zaznamenávat bez použití vnitřní paměti jednotky. Společně s jednotkou eCall byl na ocelové nádobě upevněn externí jednoosý akcelerometr Brüel&Kjær DeltaTrontype 4514-B, který snímal zrychlení nádoby ve stejné ose, jako jednotka eCall. Jelikož byly oba měřené signály zrychlení zaznamenávány na jednom počítači, bylo možné provést synchronizaci podle jedné časové osy.

Během této zkoušky bylo provedeno 15 měření, kdy byla použita různá výška dopadu závaží na ocelovou nádobu s připevněnou jednotkou eCall. Bylo provedeno měření z výšky 0,24 m, 0,5 m a jedno ověřovací měření z výšky 0,4 m. Následné zpracování naměřených signálů bylo provedeno stejným způsobem, jako v případě testu jednotky eCall při reálném nárazu vozidla. Hodnota korelačního koeficientu byla stanovena pro následné tři varianty řešení,.:

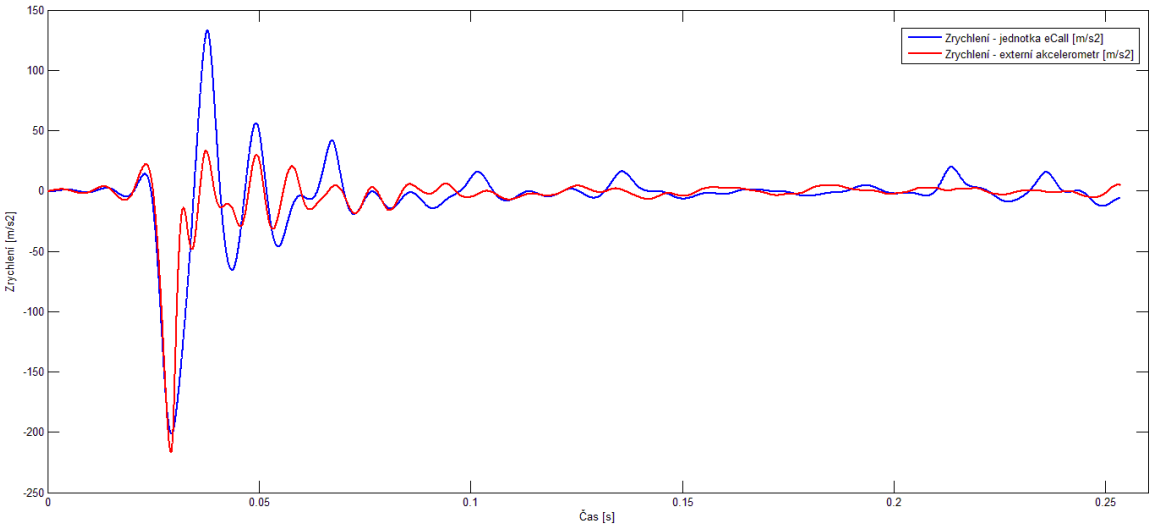
- Signály zrychlení jsou synchronizovány podle času, zahrnují celý průběh pádu nádoby,
- Signály zrychlení jsou synchronizovány podle času, mají délku 256 ms (odpovídá velikosti paměti jednotky eCall),
- Signály zrychlení jsou synchronizovány podle první amplitudy, mají délku 256 ms.

V tabulce 5 jsou pak uvedeny průměrné hodnoty korelačních koeficientů pro výše zmíněné varianty hodnocení měřených signálů zrychlení, rozdělené podle dopadové výšky závaží.

Tab. 5 *Průměrné hodnoty korelačních koeficientů stanovených při testu jednotky eCall na urychlovacím zařízení.*

výška pádu [m]	**nárazová rychlost [m·s^{-1}]**	**Korelační koeficient r_{xy}**		
		časová synchronizace (celý průběh)	**časová synchronizace (Δt = 256 ms)**	**synchronizace 1. amplitudy (Δt = 256 ms)**
0,24283	2,183	0,94163	0,42731	0,75263
0,40039	2,803	0,9261	0,35209	0,73891
0,50033	3,133	0,91534	0,39769	0,72918

Pro ověření těsnosti signálů zrychlení v rámci reálných nárazů vozidel má největší vypovídací hodnotu průběh zrychlení s dobou trvání 256 ms, který je synchronizován podle první amplitudy obou signálů, jako v případě testu jednotky eCall při reálném nárazu vozidla. Tento průběh je uveden na obrázku 9.



Obr. 9: *Průběh zrychlení měřený jednotkou eCall (modrá křivka) a externím akcelerometrem (červená křivka) v časovém intervalu 256 ms*

4.3.4 Dílčí závěr

Při testu jednotky eCall na rázové komoře bylo možné zajistit opakovatelnost měření s vyšší hladinou statistické významnosti výsledků oproti testu jednotky eCall při nárazové zkoušce reálného vozidla. Správnost použité metodiky potvrzuje obdobný charakter signálů zrychlení naměřených jednotkou eCall při nárazovém testu a při zkouškách na rázové komoře, kdy po první amplitudě zpomalení, která je přibližně stejně velká, jako v případě průběhu zrychlení měřeného externím akcelerometrem, následuje překmit do opačného směru, avšak s několikanásobně vyšší maximální hodnotou oproti průběhu měřenému externím akcelerometrem. Podle výsledných hodnot korelačních koeficientů, průběhy zrychlení naměřené při reálné nárazové zkoušce vozidla vykázaly menší těsnot oproti zkouškám jednotky eCall na urychlovacím zařízení. Jak je patrné z hodnot korelačních koeficientů vedených v tabulce 5, těsnost měřených signálů zrychlení se zmenšuje při zvyšující se nárazové rychlosti, která byla při této zkoušce vyjádřena rychlostí dopadu závaží. Další důvod menší těsnosti signálů zrychlení měřených při reálné nárazové zkoušce vozidla s jednotkou eCall, lze spatřovat také ve složitějších konstrukčních vazbách mezi jednotkou eCall a externím akcelerometrem a dále také ve složitějším průběhu působícího zrychlení, vlivem postupných deformací jednotlivých částí karoserie.

Při nárazové zkoušce vozidla se potvrdila správná funkce jednotky eCall. Jednotka na základě měřeného zrychlení správně vyhodnotila vznik dopravní nehody a zahájila tísňové volání. Její reakce je zcela adekvátní s požadavky kladenými na systém eCall. Z hlediska parametrů signálu zrychlení měřeného jednotkou eCall je pro další zpracování

signálu a jeho analýzy vzorkovací frekvence 4000 hodnot za sekundu dostatečná. Časová délka zaznamenaného průběhu zrychlení v době trvání 256 ms, při využití celé velikosti paměti jednotky eCall, tj. záznamu 1024 hodnot, je pro případné popsání nárazového děje čelního nárazu vozidla dostatečná. Jednotka eCall je schopná zaznamenat oblast maximálních hodnot zrychlení, při kterých dochází k deformacím karoserie, a které mají největší vliv na závažnost poranění posádky. U zkoumaných vozidel se tato oblast pohybovala v rozmezí od 80 ms do 100 ms.

5 Závěr

Prvním definovaným cílem této práce bylo stanovení parametrů nárazu vhodných pro odhad závažnosti dopravní nehody osobního automobilu systémem eCall se zaměřením na problematiku čelního nárazu vozidel kategorie M1. Řešené parametry byly voleny s ohledem na jejich využití systémem eCall pro stanovení závažnosti dopravní nehody. V práci jsou řešeny závislosti velikosti deformace karoserie na nárazové rychlosti vozidla, HIC kritéria na nárazové rychlosti vozidla a závislost maximálního zrychlení vozidla na jeho kinetické energii. U všech tří variant byla ověřena těsnost regresních funkcí koeficientem korelace, který vždy prokázal velmi těsnou závislost. U výsledku je však třeba brát v úvahu také malé množství hodnot, na jejichž základě byla korelační analýza prováděna, což snižuje vypovídací hodnotu výsledku.

Následně řešená analýza namáhání kabiny vozidla při nárazu prokázala, že u sledovaných částí karoserie došlo k nejmenšímu namáhání v oblasti středového tunelu vozidla. Z hlediska bezpečnosti jednotky eCall je proto vhodné její umístění právě na středový tunel vozidla, aby byla splněna podmínka její maximální ochrany při nárazu. Maximální napětí pak bylo naměřeno na A sloupcích vozidla.

Pro splnění druhého cíle, tj. ověření parametrů jednotky eCall typu Black box, z hlediska vhodnosti jejich využití pro následný bližší popis nehodového děje a odhad závažnosti následků dopravní nehody, byla využita data z testu čelním nárazem vozidla Škoda Favorit. Korelační analýza průběhu zrychlení měřených jednotkou eCall během nárazu a laboratorním akcelerometrem prokázala existenci korelace s malou těsností mezi oběma signály. Dále byla provedena série ověřovacích testů na urychlovacím zařízení „rázová komora“, kde byla jednotka eCall uchycena stejným způsobem, jako na karoserii vozidla. Při porovnání výsledných průběhů zrychlení měřených jednotkou eCall byla konstatována velká podobnost charakteristických rysů signálů zrychlení, což potvrdilo správnost metodiky zkoušek jednotky eCall na urychlovacím zařízení. Výsledné hodnoty korelačních koeficientů prokázaly vysokou těsnost signálů zrychlení měřených jednotkou

eCall a externím akcelerometrem. Korelační analýza signálů zrychlení měřených v rámci testů na rázové komoře byla provedena ve třech variantách řešení, pro ověření těsnosti signálů zrychlení v rámci reálných nárazů vozidel má největší vypovídací hodnotu průběh zrychlení s dobou trvání 256 ms, který je synchronizovaný podle první amplitudy obou signálů. Průměrné hodnoty korelačního koeficientu v tomto případě nabývají hodnot v rozmezí r_{xy} = 0,729 až 0,753, což lze považovat za dostatečně těsný vztah.

Přínos autora práce lze spatřovat ve stanovení parametrů dopravní nehody, které mohou ve vazbě na vyvíjený systém eCall a dodatečně budované systémy přispět k lepšímu popsání následků dopravní nehody a tím zefektivnit systém poskytované pomoci u dopravních nehod. Dále lze přínos práce spatřovat v provedení zkoušek ověřujících funkce jednotky eCall z hlediska jejich využití pro následnou analýzu dopravní nehody a odhad jejích následků. Tato jednotka je vyvinuta i pro dodatečnou montáž do jakéhokoliv vozidla, a proto je třeba předpokládat také variantu, kdy nebude moci pro stanovení vzniku dopravní nehody a jejích následků využít informace od systémů pasivní bezpečnosti vozidel.

Možnosti dalšího výzkumu v řešené oblasti lze spatřovat ve zpřesnění již získaných výsledků korelace a jejich doplnění o korelace také dalších kritérií poranění, na základě dat z jiných nárazových testů nebo v rámci matematických simulací s využitím vhodných matematických modelů. Řešenou problematiku by bylo vhodné rozšířit také o jiné typy nárazů a dopravních nehod, například o boční náraz nebo převrácení vozidla.

Abstract

Dissertation thesis deals with problems associated with information system focused on the developed pan-European emergency call system eCall. An improvement in the area of road vehicle safety through a better description of the traffic accident by eCall system are being solved in the dissertation. The work is focused on the frontal collision accidents of type M1. In the first part of the work, a current state of eCall system is described including architecture of the system and overview of related legislation. Further, a legislation related to the vehicle passive safety tests and methods of their evaluation are described. An overview of frontal collision tests with different collision obstacles is presented in the next part of the work. Results of these tests are further used in the analysis of accident severity estimation by eCall system. The works further studies suitability to use the data measured by the eCall system during an accident for the accident severity estimation. This study is based on the correlation analysis of measured accelerations and analysis of parameters of tested eCall unit.

Key words: eCall, crash tests, biomechanical injury criterion, crash simulation

Použitá literatura

[1] Analog Devices: *ADIS16204 – Programmable High-g Digital Impact Sensor and Recorder*. Dostupné z: http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/obsolete-data-sheets/ADIS16204.pdf

[2] Kába, B. Svatošová, L.: *Statistika*. Praha: ČZU v Praze, 2004. ISBN 80-213-0746-3

[3] Kovanda, J. First, J. Kovandová, H. Schejbalová, Z. Šotola, M.: *Kolize automobil – bariéra III.* zpráva o testu. FD ČVUT v Praze, 2008. VYZ616.005/08

[4] Kovandová, H. Krejčí, J. Kovanda, J. *Crash Tests of Vehicles – Selected Experiments and Analysis*. Transactions on Transport Sciences, Vol. 6, No. 4/2013, ISSN: 1802-9876, pages: 193-202.

[5] Kožíšek, J. Stieberová, B.: *Statistická a rozhodovací analýza*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2014. ISBN 978-80-01-05509-0

Seznam publikovaných prací

[1] Mík, J. Kovanda, J. Krejčí, J. Levý, J. *Evaluation of Rollover Unit eCall. Croatian Journal of Education*. ročník 14, str. 109 – 115, 2012. ISSN 1848-5650

[2] Tulach, P. Krejčí, J. Levý, J. Mík, J. *PASSIVE SAFETY OF PEDESTRIANS*. Conference UCOLIS 2012, 2012. ISBN 978-80-213-2336-0

[3] Bouchner, P. Leso, M. Matlafus, A. Rozhdestvenskiy, D. Novotný, S. Kamenický, D. Kadlecová, J. Mík, J. *Additional in-Car Warning System for Safer Grade Crossings*. Proceedings of the 7th International Conference on Urban Planning and Transportation (UPT '14), 2014. ISBN 978-960-474-375-9

[4] Mík, J., Tulach, P. Krejčí, J. *MOŽNOSTI ODHADU VZNIKU NEKOMPATIBILNÍHO NÁRAZU SYSTÉMEM ECALL PŘI DOPRANÍ NEHODĚ*. XVI. Mezinárodní vědecká konference mladých 2014, 2014. ISBN - 978-80-213-2476-3

[5] Matušů R., Mík, J. Kotek, M. *Mathematical model of the emissions of selected vehicle*. 2014. ISSN: 1214-0821

[6] Mík, J., Kadlecová, J.: *The use of information technology for vehicle frontal collision severity estimation.* Conference DCIS, 2014. ISBN 978-1-4673-6727-1

[7] Mík, J., Kadlecová, J.: *The Use of Vehicle Manoeuvre Test Data for Forming and Approval of Physical Model.* Smart Cities Symposium Prague 2015. vydavatel IEEE Press, 2015. ISBN 978-1-4673-6727-1