

Česká zemědělská univerzita v Praze

DISERTAČNÍ PRÁCE

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Pasivní bezpečnost vozidel a vliv informačních
technologií**

Passive safety and influence of information technology

Autor práce: **Ing. Josef Mík**

Školitel: **prof. Ing. Jan Kovanda, CSc.**

PRAHA 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele prof. Ing. Jana Kovandy, CSc. a uvedl jsem veškerou použitou literaturu. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

Poděkování

Děkuji prof. Ing. Janu Kovandovi, CSc. za jeho cenné rady a připomínky v průběhu mého doktorského studia a při vypracovávání této disertační práce. Dále děkuji Ing. Jiřímu Vašíčkovi za jeho odborné rady. V neposlední řadě děkuji také svým blízkým za podporu při studiu.

Abstrakt:

Tato disertační práce se zabývá problematikou informačních technologií se zaměřením na vyvíjený celoevropský systém tísňového volání k dopravní nehodě, systém eCall. V práci je řešena problematika zvyšování bezpečnosti vozidel na základě lepšího popsání situace při dopravní nehodě s použitím vozidlové jednotky eCall. V první části práce je popsán současný stav vyvíjeného systému eCall, jeho architektura a přehled s ním související legislativy. Také je popsána legislativa týkající se zkoušek pasivní bezpečnosti a způsoby jejich vyhodnocení. Dále je uveden přehled experimentů, ze kterých tato práce vychází. V další části práce je pak popsána počítačová simulace nárazu osobního vozidla do pevné bariéry, vytvořená v rámci této práce. Na základě výstupů z nárazových testů a počítačové simulace je řešena problematika optimalizace umístění jednotky eCall ve vozidle.

Klíčová slova: eCall, nárazové zkoušky, biomechanická kritéria poranění, simulace nárazu

Abstract:

This dissertation deals with the issue of information technology with a focus on developed pan-European emergency call system to an accident, the eCall system. In the thesis the problems of improving the road vehicles safety based on better description of traffic accident situation using the eCall vehicle unit are being solved. The first part of the thesis describes current state of the eCall system, its architecture and overview of the legislation related to it. Also the legislation related to passive safety tests is described and ways of their interpretation. Then there are described the experiments which the thesis is based on. In the next part of the thesis there is described a computer simulation of a car crash to a rigid barrier, made as a part of the thesis. Based on the outputs of the crash tests and the computer simulation it is being solved where to optimally place the eCall unit in the vehicle.

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

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Rozdělení bezpečnosti vozidel.....	2
3.	Statistika nehodovosti.....	3
3.1	Vývoj nehodovosti v EU.....	3
3.2	Vývoj nehodovosti v EU.....	5
3.3	Vývoj nehodovosti - celkové zhodnocení.....	9
4.	Charakteristika systému eCall.....	10
4.1	Princip systému eCall.....	10
4.2	Struktura systému eCall.....	11
4.2.1	Vozidlová jednotka IVS.....	11
4.2.2	Datový soubor MSD.....	12
4.2.3	Centrum tísňového volání PSAP.....	13
4.3	Legislativní požadavky na systém eCall.....	15
4.4	Komerční systémy nouzového volání.....	16
4.4.1	Audi T-mobile Traffic.....	17
4.4.2	Mercedes-Benz TeleAid.....	17
4.4.3	BMW Vodafone Passo.....	17
4.4.4	GM OnStar systém.....	18
4.4.5	Volvo On Call systém.....	19

5.	Legislativní požadavky na testování vozidel z hlediska pasivní bezpečnosti	20
5.1	Norma ISO 6813	20
5.2	Předpis EHK/OSN 94	23
5.2.1	Popis testovaného vozidla	23
5.2.2	Zkušební bariéra	23
5.2.3	Měřené veličiny	25
5.2.4	Hodnocení zkoušky	25
5.3	Předpis EHK/OSN 95	26
5.3.1	Popis testovaného vozidla	28
5.3.2	Měřené veličiny	28
5.3.3	Hodnocení zkoušky	29
6.	Kritéria poranění	30
6.1.	Kritérium poranění hlavy – HIC	30
6.2.	Kritérium poranění krku – NIC	31
6.3.	Kritéria poranění hrudníku	32
6.3.1.	Viskózní kritérium – VC	32
6.3.2.	Kritérium stlačení hrudníku - ThCC	33
6.3.3.	Kritérium stlačení hrudníku – THPC	34
6.3.4.	Třímilisekundové kritérium – 3ms	34
6.3.5.	Kritéria poranění končetin	34

6.4.	Hodnocení závažnosti poranění podle metodiky AIS	36
7.	Cíle práce	38
8.	Experimentální část práce	39
8.1.	Použitá technika	39
8.1.1.	Měřicí technika	39
8.1.2.	Zkušební figurína	40
8.1.3.	Jednotka eCall.....	40
8.1.3.1.	Umístění jednotky v testovaných automobilech	42
8.2.	Provedené experimenty.....	43
8.2.1.	Čelní náraz vozidla.....	43
8.2.2.	Nárazový test vozidla Škoda Favorit do pevné bariéry	44
8.2.3.	Nárazový test vozidla Škoda Fabia do pevné bariéry.....	47
8.2.4.	Charakteristika čelního nárazu do tuhé bariéry – deformace karoserie 47	
8.2.5.	Hodnocení měřeného zrychlení na figurínách	52
8.3.	Problematika převrácení vozidla.....	54
8.3.1.	Test převrácení vozidla Škoda Octavia.....	55
8.3.2.	Test převrácení vozidla Škoda Favorit.....	57
8.3.3.	Souhrnné zhodnocení problematiky převrácení vozidla	59
8.4.	Nekompatibilní nárazy	60

8.5.	Provedené testy s nekompatibilními nárazy.....	61
8.5.1.	První série testů kolize kolejového vozidla a osobního automobilu...	62
8.5.2.	Druhá série testů kolejového vozidla a osobního automobilu	67
8.6.	Počítačové simulace	76
8.6.1.	Použitý simulační software	77
8.6.2.	Model vozidla	77
8.6.3.	Příprava modelu	79
8.6.4.	Popis simulovaného děje	80
8.6.5.	Průběh zrychlení karoserie.....	82
9.	Návrh umístění jednotky eCall ve vozidle.....	87
10.	Závěr	90
	Literatura:.....	92
	Seznam zkratk	96
	Seznam obrázků	98
	Seznam tabulek.....	102
	Přílohy	103

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.

System 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. Rozdělení bezpečnosti vozidel

Bezpečnost silničních vozidel je rozdělena na dvě základní oblasti, kterými jsou aktivní a pasivní bezpečnost. Do oblasti aktivní bezpečnosti se řadí systémy, jejichž úkolem je předcházet vzniku dopravní nehody. Spadají sem jednak systémy zajišťující dobrou ovladatelnost a stabilitu vozidla během jízdy, případně upravující jeho chování v kritických situacích. Dále sem patří systémy zajišťující dobrou kondici řidiče a udržující optimální podmínky pro řízení vozidla.

V případě, že se nepodaří nehodu vozidla odvrátit, je třeba ochránit posádku vozidla během nárazu, což mají za úkol prvky pasivní bezpečnosti. Oblast pasivní bezpečnosti je tvořena jednak konstrukcí karoserie, která je rozdělena na deformační zóny pohlcující kinetickou energii vozidla a tzv. oblast pro přežití, která by během nárazu neměla být narušena deformacemi, a také by zde nemělo dojít k vniknutí jakýchkoliv pevných částí vozidla. Dále do oblasti pasivní bezpečnosti spadá výbava interiéru související s ochranou posádky během nárazu. V rámci vnější bezpečnosti je řešena problematika ochrany chodců a cyklistů, tedy nechráněných účastníků kolize při střetu s osobním vozidlem.

Kromě dvou výše zmíněných oblastí bezpečnosti se v současnosti rozvíjí také oblast integrované bezpečnosti, která v sobě sdružuje některé prvky aktivní a pasivní bezpečnosti a jejich vzájemným provázáním je možné vozidlo lépe připravit na blížící se kolizi, čímž je dosaženo účinnější ochrany posádky při následném nárazu vozidla.

Jak již z výše zmíněné charakteristiky pasivní bezpečnosti vyplývá, nelze systém nouzového volání k dopravní nehodě (eCall - emergency call) jednoznačně zařadit do této oblasti. Vzhledem k aktivaci systému eCall až po nárazu vozidla, spadá spíše do oblasti takzvaných ponehodových opatření, jejichž cílem je zajištění bezpečnosti posádky a okolí havarovaného vozidla bezprostředně po dopravní nehodě. Sem spadají například opatření vedoucí k zabránění vzniku nebezpečných situací, jako jsou výbuch nebo požár či

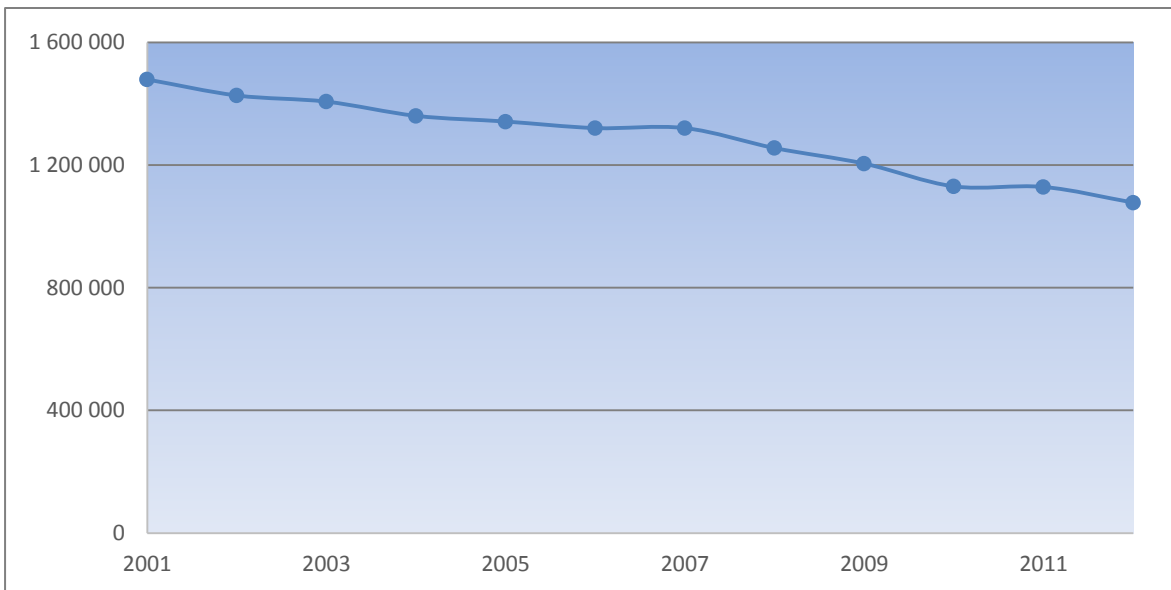
automatické zapnutí výstražných světel na havarovaném vozidle a tím označení vzniklé překážky pro ostatní řidiče.

Hlavním cílem zavádění celoevropského systému eCall je snížit následky dopravních nehod na území Evropské unie vlivem včasného poskytnutí první pomoci posádce. Odhaduje se, že zavedením systému eCall dojde ke zkrácení dojezdových časů záchranných složek přibližně o 50 % mimo město a o 40 % ve městech. Díky tomu může být v Evropské unii zachráněno až 2 500 lidských životů za rok. Systém eCall by měl přispět také ke snížení druhotných ztrát plynoucích z dopravních nehod, jako například ztrát vlivem kongescí, které při dopravních nehodách vznikají. V současnosti je systém eCall vyvíjen v rámci projektu HeERO (Harmonised eCall European Pilot). Předpokládaný termín spuštění celoevropského systému eCall a zahájení montáže do nově vyrobených automobilů je v současnosti plánován na říjen 2015. [12]

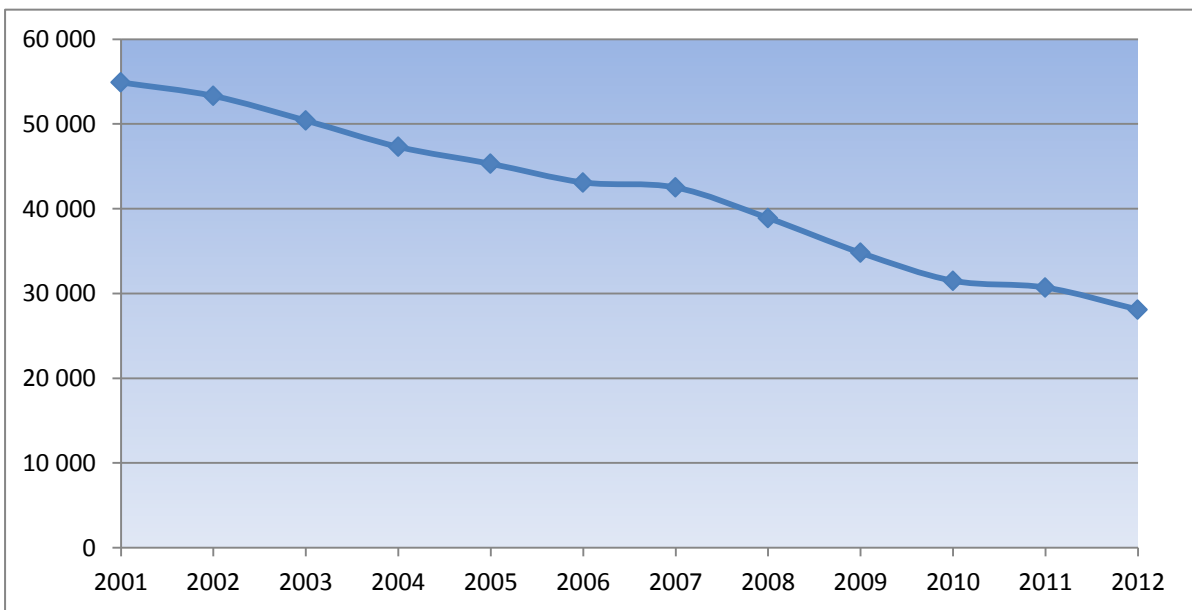
3. Statistika nehodovosti

3.1 Vývoj nehodovosti v EU

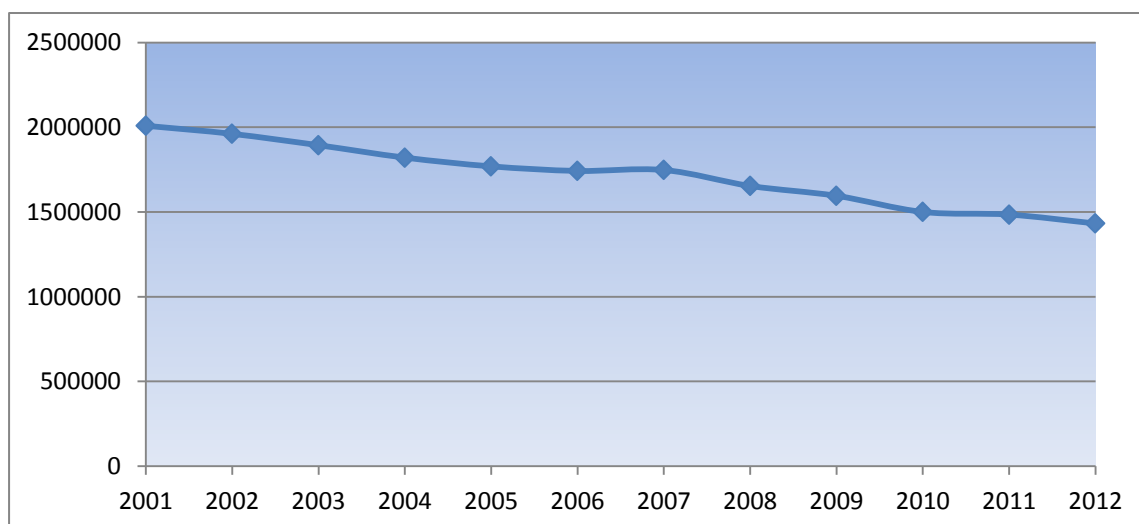
Z dlouhodobého hlediska dochází na území Evropské unie k poklesu počtu dopravních nehod, jak je patrné v grafu na obrázku 1. V roce 2012 byl počet nehod o 401 399 nižší oproti roku 2001, což představuje za toto období pokles o více než 27 %. Klesající trend mají v tomto období také počty usmrčených a zraněných osob při dopravních nehodách na území Evropské unie. V roce 2012 bylo v Evropské unii vlivem dopravních nehod usmrceno 28 100 osob a došlo tak k poklesu o 48,8 % oproti roku 2001, kdy počet usmrčených vlivem dopravních nehod dosáhl hodnoty 54 900 osob, což bylo nejvíce od roku 1991. Vývoj počtu usmrčených osob je patrný v grafu na obrázku 2. V grafu na obrázku 3 je pak znázorněn vývoj počtu zraněných osob při dopravních nehodách v Evropě. I zde je od roku 2001 patrný postupný klesající vývoj počtu zraněných. V roce 2012 bylo na Evropských silnicích celkem zraněno 1 432 235 osob. To představuje pokles o téměř 28,7 % oproti roku 2001.



Obr. 1: Vývoj počtu dopravních nehod na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2012 [5]



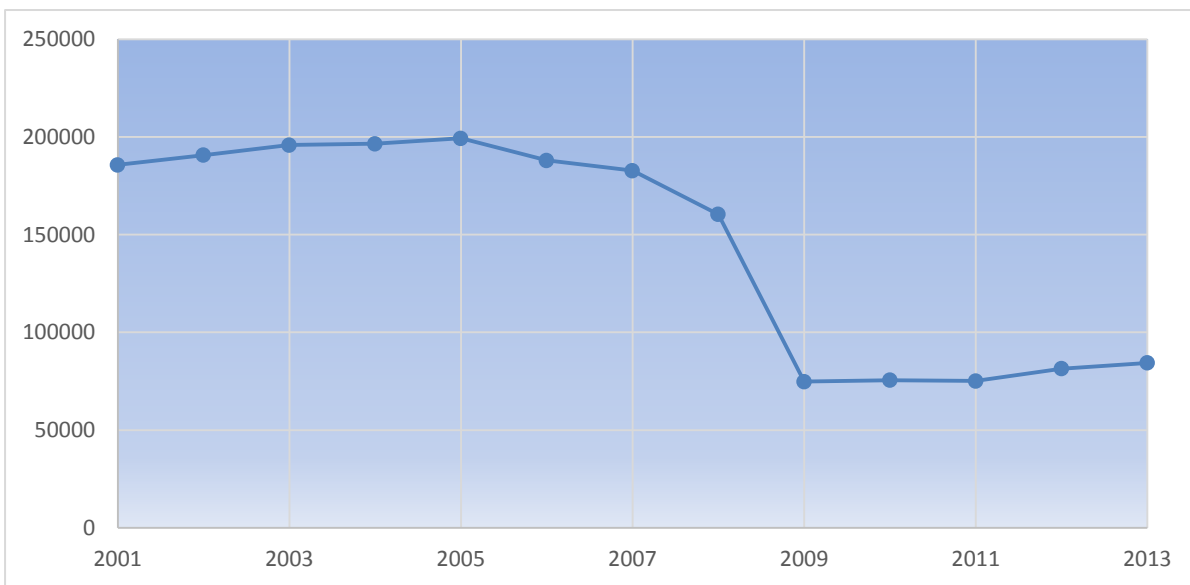
Obr. 2: Vývoj počtu usmrcených osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2012 [5]



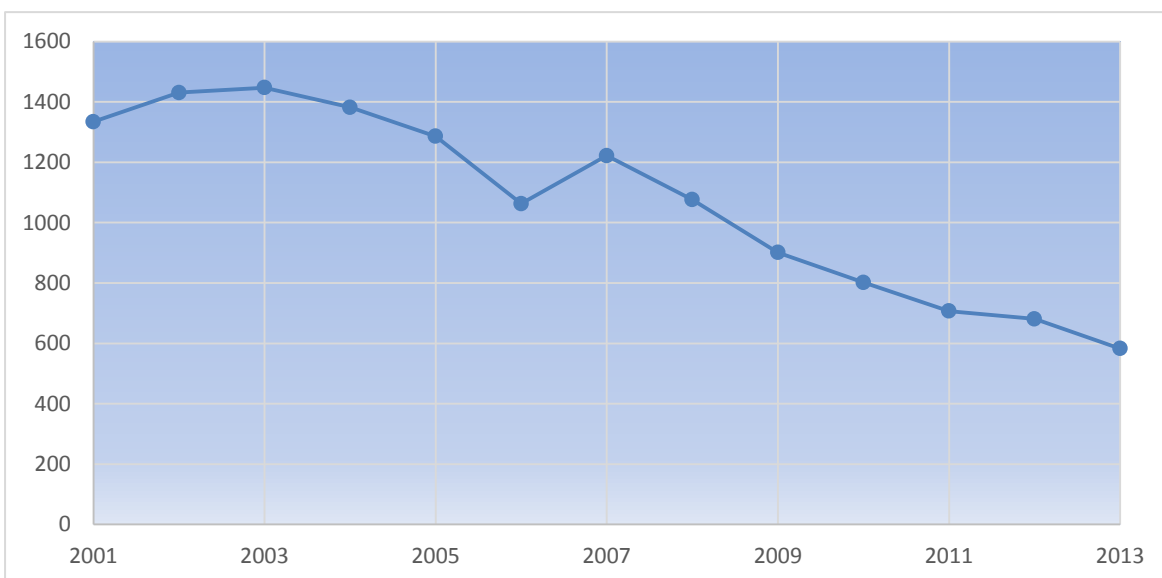
Obr. 3: Vývoj počtu zraněných osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2012 [5]

3.2 Vývoj nehodovosti v EU

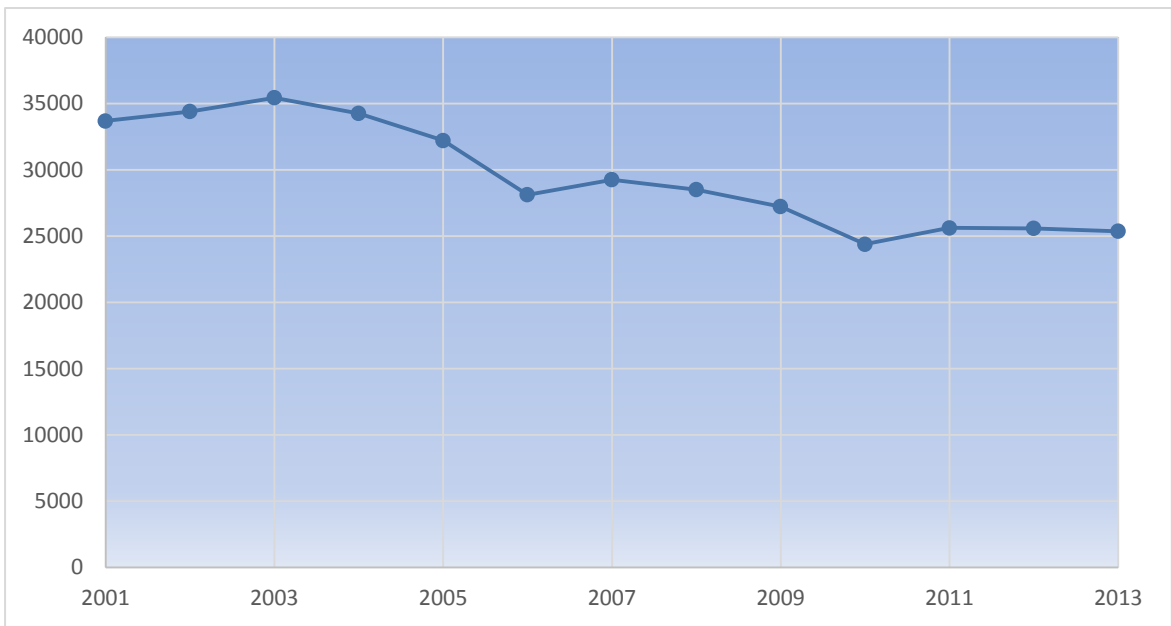
Obsahem této kapitoly je statistika dopravních nehod a jejich následků na pozemních komunikacích v České republice za období 2001 až 2013 pro možné porovnání vývoje nehodovosti v ČR a EU. Jelikož se jedná o údaje evidované Policií České republiky, nelze z nich jednoznačně stanovit přesný vývoj nehodovosti za dané období, jelikož od roku 2009 zanikla povinnost hlásit policii dopravní nehody bez zranění a s hmotnou škodou do 100 000 Kč. Vývoj počtu nehod v daném období je uveden v grafu na obrázku 4, zmíněný pokles v roce 2009 je v něm patrný. Na evidované hodnoty vývoje počtu zraněných a usmrcených osob při dopravních nehodách, které jsou uvedeny v grafech na obrázcích 5 a 6, již tato změna nemá vliv. Na těchto grafech je patrný postupný pokles počtu úmrtí a zranění vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích v ČR. V období od roku 2001 do roku 2013 došlo k poklesu zraněných o 8 317 osob, tj. o 24,7 % a usmrcených o 751 osob, tj. o 56,3 %.



Obr. 4: Vývoj počtu dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2013 [36]

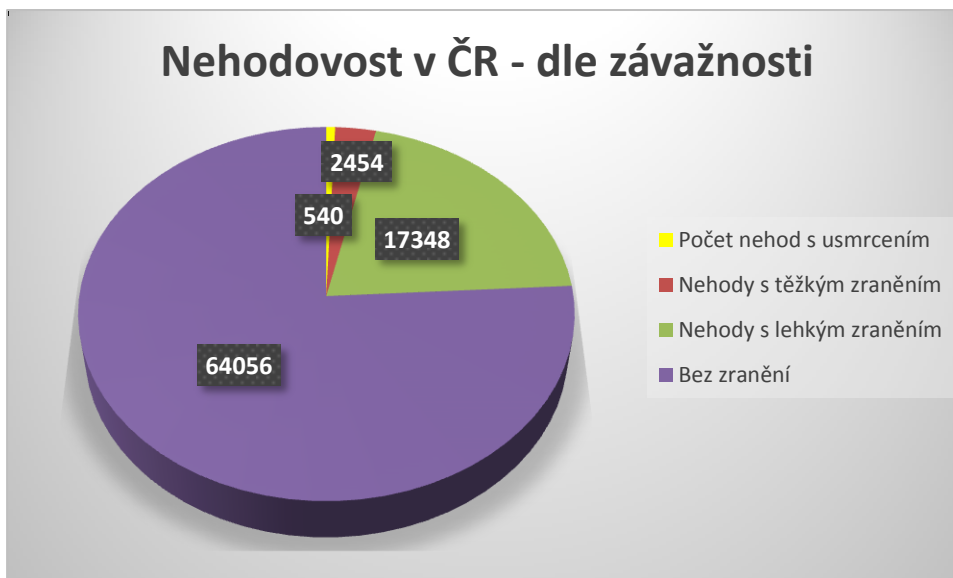


Obr. 5: Vývoj počtu usmrcených osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2013 [36]

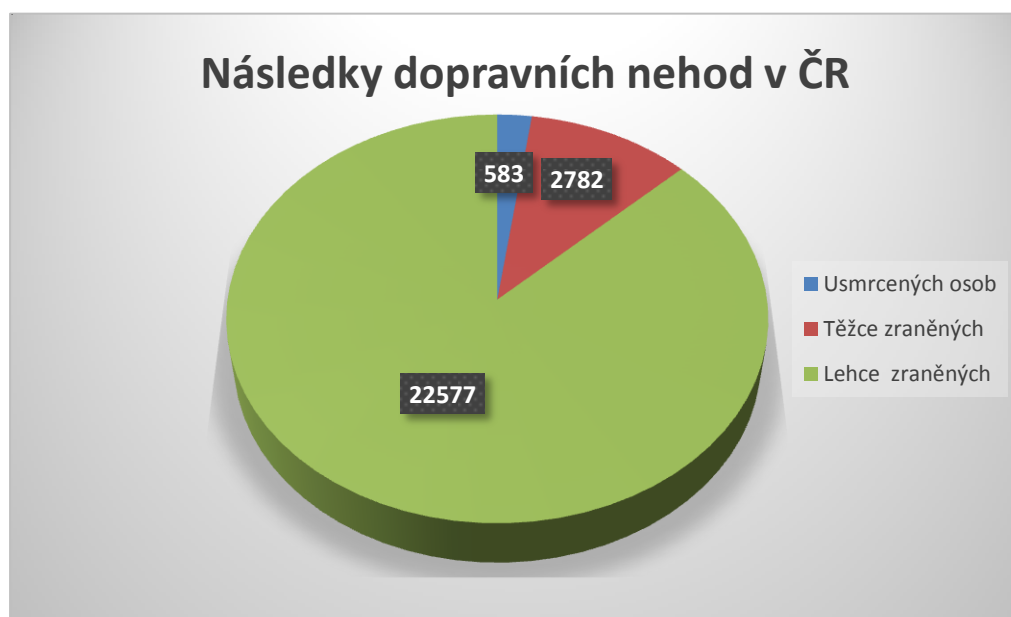


Obr. 6: Vývoj počtu zraněných osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2013 [36]

V následujícím grafu na obrázku 7 je uveden počet nehod na pozemních komunikacích v České republice v roce 2013 s jejich rozdělením podle závažnosti zranění. Celkem v tomto roce bylo evidováno 84 398 dopravních nehod, z nichž 64 056 nehod (tj. asi 76 %) bylo bez zranění. 19 802 nehod (tj. asi 23,5 %) v tomto roce byly nehody, při kterých došlo ke zranění, z čehož nehod s lehkým zraněním bylo 17 348 a nehod s těžkým zraněním 2 454. V roce 2013 došlo k 540 nehodám se smrtelným zraněním, což tvoří asi 0,5 % z celkového množství dopravních nehod v tomto roce. Celkem bylo v roce 2013 při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v ČR usmrceno 583 osob, 2 782 osob bylo těžce zraněno a 22 577 osob bylo zraněno lehce. Poměr v počtu usmrcených a zraněných osob je patrný z grafu na obrázku 8. [36]



Obr. 7: Množství dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR s členěním podle závažnosti poranění [36]



Obr. 8: Počet usmrcených a zraněných osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích ČR [36]

3.3 Vývoj nehodovosti - celkové zhodnocení

Jak je patrné z grafů uvedených v kapitole 3.1, v rámci Evropské unie dochází k průběžnému snižování počtu dopravních nehod, a také počtu usmrčených a zraněných osob při dopravních nehodách. Je to dáno především přijetím legislativních opatření vedoucích ke zvýšení bezpečnosti dopravy a zmírnění následků dopravních nehod. Ty vycházejí z cílů stanovených v rámci Bílé knihy EU, kde jedním z nich bylo snížení počtu usmrčených osob do roku 2010 o 50 % oproti roku 2002. Následně na to EU navázala programem pro bezpečnost silničního provozu na období 2011 až 2020, který si také klade za cíl další snižování počtu usmrčených a těžce zraněných osob při dopravních nehodách. Mezi tyto opatření patří mimo jiné také povinné zavedení systému eCall na celoevropské úrovni.

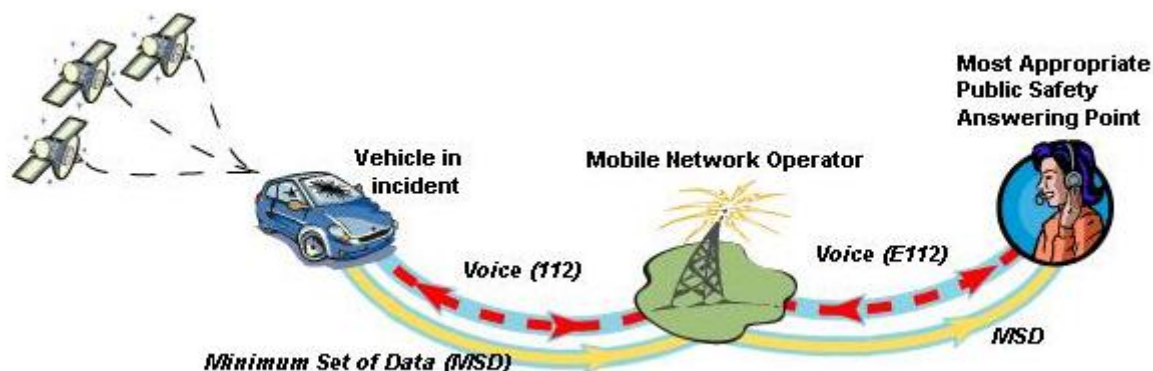
V případě vývoje počtu zraněných a usmrčených osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích v ČR došlo v období mezi roky 2001 a 2012 u usmrčených osob k poklesu o 48,95 % a bylo tak dosaženo zlepšení nad hodnotou celoevropského průměru. V případě vývoje počtu zraněných osob došlo v rámci ČR k poklesu o pouhých 24 %, což je o 4,7 % méně než je průměrná hodnota v rámci EU.

4. Charakteristika systému eCall

System eCall je primárně zaměřen na pomoc posádce automobilu bezprostředně po dopravní nehodě. Kromě jeho základní funkce, kterou je automatické přivolání pomoci k havarovanému vozidlu nebo vozidlu v nouzi, nabízí tento systém velký prostor také pro implementaci dalších funkcí, a to jak na nekomerční, tak i komerční bázi. V následujících podkapitolách jsou blíže popsány základní struktura a princip tohoto systému, odpovídající současné legislativě.

4.1 Princip systému eCall

Zjednodušený princip činnosti celoevropského systému eCall je znázorněn na obrázku 9. Ve vozidle je umístěna vozidlová jednotka IVS (In Vehicle System), která má za úkol rozpoznat vznik dopravní nehody a automaticky zahájit tísňové volání na linku 112. Komunikace mezi vozidlem a střediskem tísňové linky PSAP (Public Safety Answering Point) probíhá prostřednictvím mobilní telefonní sítě. Na tísňovou linku je prostřednictvím technologie in-band modemu odeslán datový soubor formou tzv. MSD (Minimum Set of Data) se základními informacemi o vozidle a jeho poloze. Tyto data jsou zobrazena operátorovi tísňové linky a jejich úkolem je poskytnutí základních informací o vozidle a dopravní nehodě. Zároveň je zahájen telefonický hovor mezi vozidlem a operátorem, který může poskytnout další doplňující informace od posádky vozidla a operátor tak může zjistit zdravotní a psychický stav posádky, případně ověřit, zda se nejedná o nechtěný telefonát. Následně by měl operátor na základě získaných informací rozhodnout o struktuře pomoci, kterou je třeba vyslat na místo nehody a aktivovat jednotky integrovaného záchranného systému, kterým jsou předána potřebná data.



Obr. 9: Princip komunikace systému eCall [26]

4.2 Struktura systému eCall

4.2.1 Vozidlová jednotka IVS

Hlavním úkolem vozidlové jednotky systému eCall (IVS) je rozpoznat vznik dopravní nehody a automaticky přivolat pomoc k havarovanému vozidlu v co možná nejkratším čase.

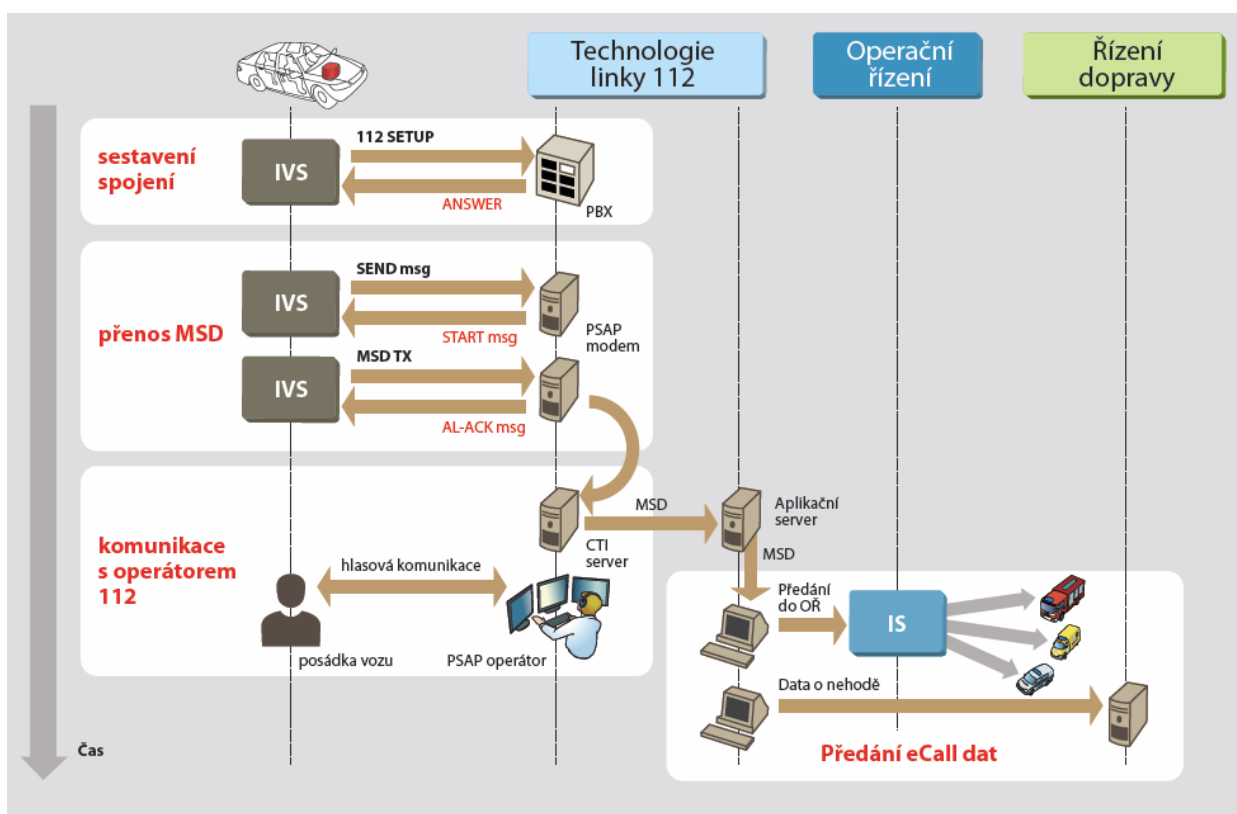
Základním prvkem IVS je palubní vozidlová jednotka umístěná ve vozidle, která na základě signálů z nárazových čidel a akcelerometrů vyhodnocuje vznik dopravní nehody a inicializuje tísňový hovor. Pro odhad vzniku dopravní nehody je také uvažováno o využití signálů ze systémů pasivní bezpečnosti vozidla (airbagy, předepínače bezpečnostních pásů, apod.). Vozidlová jednotka je dále vybavena GPS modulem, umožňujícím určit přesnou polohu vozidla při nehodě a těsně před jejím vznikem. To umožňuje odhadnout směr pohybu vozidla před nehodou a případně jeho přibližnou polohu v případě sjetí mimo komunikaci. Pro určení polohy vozidla bude v rámci systému eCall využíván také navigační systém Galileo a případně GLONASS. Dále vozidlová jednotka obsahuje GSM modul, přes který probíhá odesílání dat a telefonní hovor mezi operátorem tísňové linky a posádkou vozidla.

Součástí IVS je také komunikační zařízení (mikrofon a reproduktor), kterým je vybaven interiér vozidla. To umožňuje hlasové propojení posádky vozidla s operátorem tísňové linky 112 a uskutečnění telefonického rozhovoru. V interiéru vozidla je mimo jiné umístěno tlačítko pro manuální spuštění nouzového volání na linku 112. Po jeho stisknutí je

možné aktivovat IVS a zavolat na tísňovou linku i v případě, kdy vozidlo není přímým účastníkem dopravní nehody, ale například kolem dopravní nehody pouze projíždí, nebo pokud ve vozidle či jeho okolí vznikne jiná krizová situace vyžadující nutnost tísňového volání. Po stisku tlačítka je kromě telefonického spojení posádky vozu s operátorem tísňové linky 112, odeslán také datový soubor MSD, což vede k jednoduššímu poskytnutí informací o vozidle a jeho poloze operátorovi.

4.2.2 Datový soubor MSD

V případě nárazu vozidla vytvoří palubní jednotka IVS datový soubor MSD (Minimum Set of Data) a prostřednictvím GPS modulu, technologie in-band modemu, jej odešle na nejbližší PSAP. Přiřazování příslušného PSAP je prováděno v rámci sítě mobilního operátora, který z nastavovací zprávy obsahující tzv. eCall flag dokáže odlišit volání z IVS od běžného volání z mobilního telefonu na tísňovou linku 112.



Obr.10: Posloupnost operací při odesílání MSD a následném zpracování dat [12]

Komunikace s PSAP je zahájena odesláním inicializačního signálu (zprávou typu SEND), na který PSAP odpoví zprávou typu START. Poté IVS zahájí odeslání MDS (140 byte

datového rámce). Komunikace mezi IVS a PSAP při odesílání MSD, je znázorněna na obrázku 10. Struktura datové zprávy je předepsána normou EN 15722 a obsažené informace jsou popsány v tabulce 1.

Název	Povinný údaj	Typ	Popis
ID	P	Integer	Verze formátu MSD
Message identifier	P	Integer	Identifikátor MSD zprávy
Control	P	Integer	Typ aktivace – automatická/manuální; norma/test eCall; důvěryhodnost polohy; typ vozidla
Vehicle identification	P	String	VIN kód dle normy ISO 3779
Propulsion storage type	P	Integer	Typ paliva
Time stamp	P	Integer	Čas události v sekundách od 1.1.1970 UTC
Vehicle location	P	Integer	Poloha vozidla
Vehicle direction	P	Integer	Směr jízdy ve 2° krocích od magnetického severu (po směru hodinových ručiček)
Recent vehicle location N1, N2	N	Integer	Předchozí polohy vyjádřené rozdílem v zeměpisné šířce a délce
Number of passengers	N	Integer	Počet zapnutých bezpečnostních pasů

Tab. 1: Informace obsažené v MSD; P = povinný, N = nepovinný údaj [8]

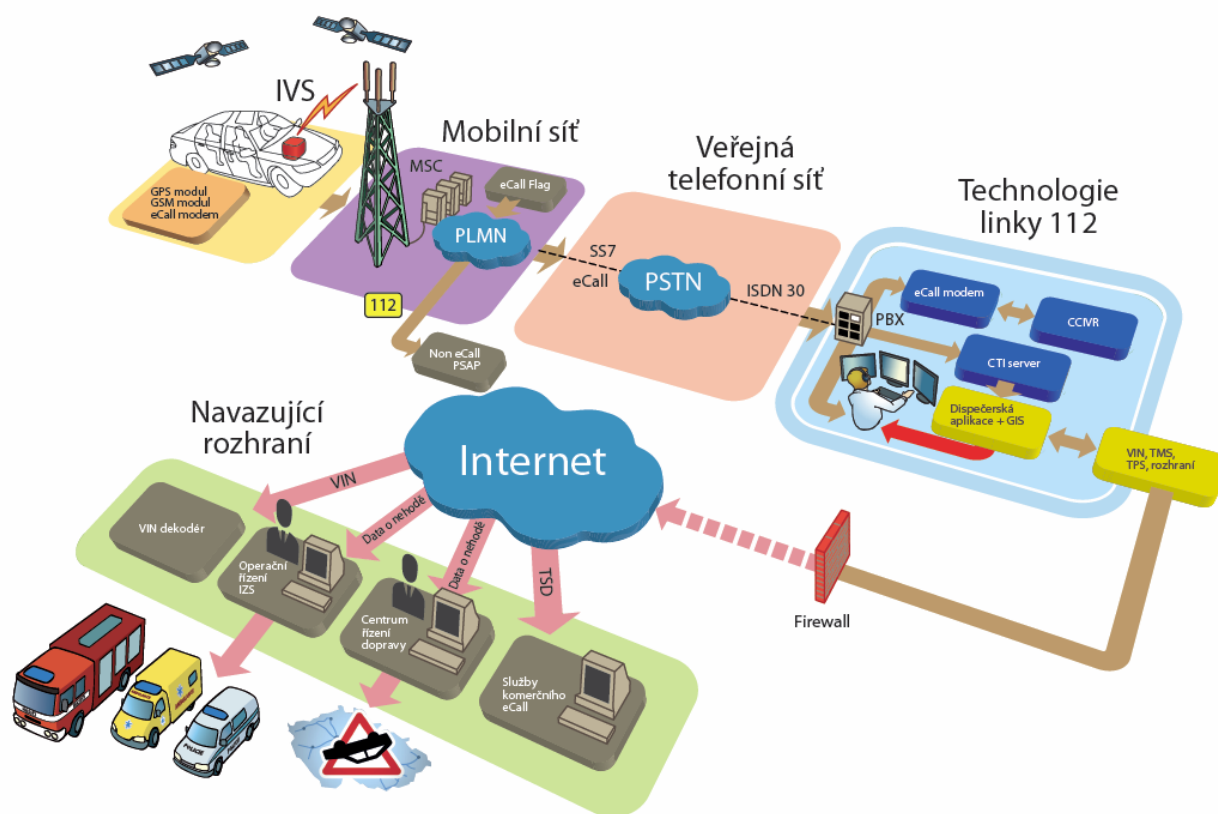
4.2.3 Centrum tísňového volání PSAP

V případě tísňového volání vozidlovou palubní jednotkou systému eCall je telefonní hovor a odesílaný datový soubor směřován do příslušného centra tísňového volání PSAP (Public Safety Answering Point), tj. do centra umožňujícího příjem a zpracování eCall dat. Operátor tísňové linky na základě získaných informací rozhoduje o vyslání složek integrovaného záchranného systému (IZS) na místo nehody.

Pomocí modemu v PSAP je uskutečněn příjem MSD z vozidlové jednotky, informace v ní obsažené jsou následně dekodovány, zobrazeny operátorovi tísňové linky a zároveň je

zahájeno telefonické propojení s kabinou vozidla. Operátor si navíc může kdykoli v průběhu rozhovoru vyžádat opětovné zaslání MSD od IVS havarovaného vozidla.

Pokud není MSD správně doručena, odešle PSAP požadavek na její opětovné odeslání a vozidlová jednotka IVS pokus opakuje. V případě, že MSD nelze doručit, funguje PSAP jako klasická linka tísňového volání E112, tj. že operátor tísňové linky má k dispozici pouze zpřesňující data o poloze havarovaného vozidla, které mu poskytne mobilní operátor. Další informace pak může získat telefonicky v rozhovoru s posádkou vozidla. Informace o dopravní nehodě a případně o havarovaném vozidle mohou být pak poskytnuty dalším subjektům (IZS, Centrum řízení dopravy, aj.). Architektura systému eCall je znázorněna na obrázku 11.



Obr. 11: Architektura systému eCall [12]

Pro dekódování VIN kódu vozidla je využito webové rozhraní EUCARIS, umožňující poskytnutí dat z registrů vozidel všech evropských zemí. Komunikace probíhá po zabezpečeném HTTPS protokolu a operátorovi tísňové linky jsou již zobrazeny přímo informace o vozidle (např. typ, model, barva, počet airbagů, apod.).

4.3 Legislativní požadavky na systém eCall

Pro zajištění interoperability jednotlivých prvků systému eCall a jejich funkčnosti v rámci celého území Evropské unie byly přijaty normy a komunikační standardy definující parametry jednotlivých prvků eCall. Jejich přehled je uveden v tabulce 2.

Norma, standard	Název
EN 15722	Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Minimální soubor dat pro eCall (MSD)
EN 16062	Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Vysokourovňové aplikační požadavky na eCall
EN 16072	Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Provozní požadavky na panevropský eCall
EN 16102	Inteligentní dopravní systémy - eCall - Provozní požadavky na podporu eCall třetí stranou
EN 16454	Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Testování shody v rámci celého procesu systému eCall
ISO/EN 24978:2009	Inteligentní dopravní systémy - ITS bezpečnostní a tísňové zprávy používající dostupné bezdrátové sítě - datový registr
ETSI TS 102 936-1	eCall Network Access Device (NAD) zkoušení specifikací; Protokol testu specifikací
ETSI TS 102 936-2	eCall NAD zkoušení specifikací; Testovací soubory
ETSI TS 122 101	eCall požadavky pro přenos dat
ETSI TS 124 008	eCall diskriminátor, tabulka 15.5.135d

ETSI TS 126 267	přenos eCall dat, řešení In Band modemu, obecný popis
ETSI TS 126 268	přenos eCall dat, řešení In Band modemu, ANSI-C referenční kód
ETSI TS 126 269	přenos eCall dat, řešení In Band modemu, zkoušení shody
ETSI TR 126 269	přenos eCall dat, řešení In Band modemu, charakterizace zprávy

Tab. 2: Přehled legislativních požadavků týkajících se systému eCall [12]

4.4 Komerční systémy nouzového volání

V současné době působí v Evropské unii také několik provozovatelů komerčních systémů nouzového volání k dopravní nehodě. Většinou se jedná o automobilové výrobce a některé poskytovatele asistenčních služeb, kteří v rámci svých nadstandardních služeb nabízí také možnost nouzového přivolání pomoci k dopravní nehodě (např. Mercedes-Benz TeleAid, Volvo On Call, GM OnStar, aj.). Tyto služby většinou fungují pouze na území vybraných států v závislosti na jednotlivých poskytovatelích. Komunikace s vozidlem probíhá přes operátora asistenční služby nebo přes servisní středisko automobilky, kam palubní jednotka směřuje případné nouzové volání. Struktura a obsah datového souboru, který je odeslán operátorovi, se mohou lišit od MSD systému eCall a jsou dány vnitřními standardy jednotlivých provozovatelů.

Celoevropský systém eCall umožňuje zahrnout informace od komerčních systémů nouzového volání třetích stran pomocí rozhraní TPS (Third Party Services), definovaného normou EN 16102. Přes toto rozhraní probíhá přenos dat poskytnutých provozovatelem komerčního systému (operátorem servisního střediska) do příslušného PSAP. Ten na základě předaných informací aktivuje složky integrovaného záchranného systému.

Uživatel v rámci předplacené asistence získává řadu služeb a veškeré své požadavky směřuje na servisní středisko (operátora), které je následně řeší, popřípadě zajistí adekvátní pomoc pro danou situaci. V případě, že se jedná o tísňové volání, zjišťuje operátor bližší informace a je-li třeba, předává je na linku 112, přes kterou dojde k aktivaci složek

integrovaného záchranného systému. Mezi hlavní výhody komerčních systémů proto patří filtrace planých poplachů a nechtěných volání již na úrovni servisního střediska, avšak prvotní řešení situace přes servisní středisko a až následně tísňovou linkou 112, prodlužuje dobu příjezdu jednotek IZS, oproti řešení pouze přes systém eCall. [42]

4.4.1 Audi T-mobile Traffic

Společnost Audi ve spolupráci s firmou T-Mobile Traffic nabízí v rámci svých asistenčních služeb také systém nouzového volání pro svá auta. Asistenční služby, lze aktivovat buď manuálně, pomocí dvou tlačítek, nebo v případě nouzové situace dojde k automatické aktivaci tísňového volání. K automatickému spuštění dojde v okamžiku srážky, resp. v okamžiku nafouknutí airbagů. Tlačítko pro ruční spuštění pohotovostního volání o pomoc, je přepojeno do stejného T-Mobile operačního střediska jako automatické tísňové volání. Zde potom operátor volá vozidlo zpět za účelem analyzovat závažnost nárazu a v případě potřeby pošle pomoc. Operátorovi jsou zaslány informace obsahující všechny vozidlové detaily spolu s lokalizací vozidla. Ty pak v případě dopravní nehody předá nejbližšímu PSAP středisku. [38]

4.4.2 Mercedes-Benz TeleAid

Systém Mercedes-Benz TeleAid, který v sobě zahrnuje také funkci automatický nouzový hovor, byl vyvinut firmou Motorola pro automobily třídy S, provozované na území USA. Systém je dostupný také v Německu, kde automobilka spolupracuje s firmou T-Mobile Traffic. Princip systému je obdobný jako u vozů Audi, aktivace nouzového hovoru s operátorem servisního střediska je možná buď manuálně stlačením SOS tlačítka, nebo automaticky v případě aktivace airbagů. Operátor poté může navázat spojení se záchrannou službou a přivolat pomoc. Nouzový systém je vybaven záložní baterií a je spojen s další anténou pro případ, že by při nárazu došlo ke zničení běžně používané antény.

4.4.3 BMW Vodafone Passo

Automobilka BMW nabízí v rámci asistenčních služeb službu BMW Assist, která v sobě zahrnuje bezpečnostní a správcovské služby, službu nouzového přivolání pomoci a pomoci v případě selhání vozidla. Skrze systém globální navigace a pomocí mobilní sítě jsou data z vozidla automaticky odeslána na servisní centrum BMW. Operátor pak přenáší

informace o nehodě a parametry vozidla k nejbližšímu PSAP. Jako všechny ostatní systémy nouzového volání, tak i tento systém může být aktivován ručně a řidič je spojen s operátorem v servisním centru.

Služba BMW Assist, stejně jako ostatní komerční systémy nouzového volání začala nejdříve používat v Německu a USA. Nebyla tedy dostupná v dalších evropských zemích. Zahájením spolupráce s mobilním operátorem Vodafone, který je největší mobilní operátor na světě, BMW doufá, že se svou službou bude expandovat v dalších zemích.

Systém Connected-Drive nabízí službu s názvem BMW Advanced eCall. Systém je určen k poskytování podrobných informací záchranným službám před tím, než dorazí na místo nehody (např. typ kolize, předpokládaná zranění, atd.). Znalost charakteru dopravní nehody jim tak dává možnost se lépe připravit na zásah. Advanced eCall je nyní k dispozici v Německu, Rakousku a Itálii pro všechny modely s výjimkou BMW řady 7, Z4 a X3. Firma BMW vybavila první vozidla automatickou funkcí pro tísňové volání již v roce 1997. Od té doby je systémem vybaveno více než 500.000 vozidel. Tato služba může být využita v Německu, Rakousku, Francii, Itálii, Velké Británii, Kanadě, USA, Spojených arabských emirátech, Kuvajtu a Austrálii. Do roku 2008 pomohl zajistit rychlou pomoc ve více než 25.000 případech. [40]

4.4.4 GM OnStar systém

OnStar je bezpečnostní a zabezpečovací vozidlový komunikační systém používaný společností General Motors Corp. v USA a Kanadě. Systém je funkční také v Německu, kde jej převzala automobilka Opel ve spolupráci se společností ADAC. Systém OnStar používá družicový navigační systém (GPS) a celulární technologie ke spojení vozidla a řidiče s OnStar centrem. Automatický spěšný oznamovací systém (ACN), ekvivalent k evropskému eCall, oznámí OnStar centru během pár sekund po nafouknutí airbagů skutečnost, že došlo k nehodě za účelem poskytnutí služeb. Původně systém obsahoval pouze automatické oznámení, když byl aktivován airbag, později byla vozidla vybavována různými vnitřními senzory, díky kterým bylo možné určit, zda jde o čelní nebo zadní náraz a definovat tak typ nehody. Díky tomu se dají lokalizovat také nehody, u kterých nedošlo k aktivaci airbagů.

System OnStar se skládá ze senzorů umístěných na rozličných místech v karosérii (přední nárazník, střecha apod.), GPS jednotky a modulu SDM (Sensing and Diagnostic Module) vyhodnocujícího všechny získané informace. V případě havárie je OnStar schopný podle rychlosti před nárazem, přetížení při náraze, celkového poškození vozidla, polohy plynového a brzdového pedálu atd. zhodnotit závažnost nehody a automaticky se spojit s operátorem, kterému oznámí přesnou polohu vozidla a rozsah nehody. Operátor následně postoupí informace záchranné službě. Kromě toho může komunikovat s posádkou a v případě potřeby poskytovat instrukce k okamžité první pomoci před příjezdem profesionálních zdravotníků. S operátorem je možné se spojit i manuálně, pomocí tlačítek umístěných na palubní desce vozidla. [35]

General Motors nabízí ACN nejen v USA a Kanadě, ale v roce 2002 byl systém představen také na evropském trhu zásluhou firmy Opel. System je funkční jen v Německu ve spolupráci s poskytovatelem telematických služeb společností ADAC. OnStar užívá ADAC telekomunikační centrum k poskytování ACN služby. [40]

4.4.5 Volvo On Call systém

Volvo On Call je jeden z prvních ponárazových systémů na světě. Tento systém se v případě aktivace airbagů při dopravní nehodě automaticky spojí s centrem tísňového volání EMS (Emergency Medical Service) a záchrannému týmu předá přesnou pozici dopravní nehody. Data o dopravní nehodě a poloze vozidla jsou odesílána textovou zprávou do Volvo On Call Alarm Center prostřednictvím integrovaného mobilního telefonu. Současně je také navázáno telefonické spojení s pasažéry ve vozidle, aby operátor mohl získat dodatečné informace o nehodě. V případě, že v havarovaném vozidle není nikdo schopný odpovědi, operátor automaticky odešle pomoc na místo nehody. Řidič má samozřejmě možnost využít také SOS tlačítka k přivolání pomoci v případě naléhavé situace. Dnes je tento systém k dispozici ve většině modelů Volvo prodávaných ve Švédsku a USA. [44]

5. Legislativní požadavky na testování vozidel z hlediska pasivní bezpečnosti

Zkoušky vozidel provozovaných v EU týkající se pasivní bezpečnosti jsou předepsány Evropskou legislativou. Ta zahrnuje předpisy EHK/OSN, směrnice EHS/ES a dále pak některé normy ISO a EN, jejichž splnění se prokazuje při homologačních zkouškách vozidel. Při reálných nárazových zkouškách prováděných v rámci této práce bylo vycházeno ze základních parametrů těchto homologačních zkoušek. Pro tuto práci nejdůležitější předpisy a normy jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

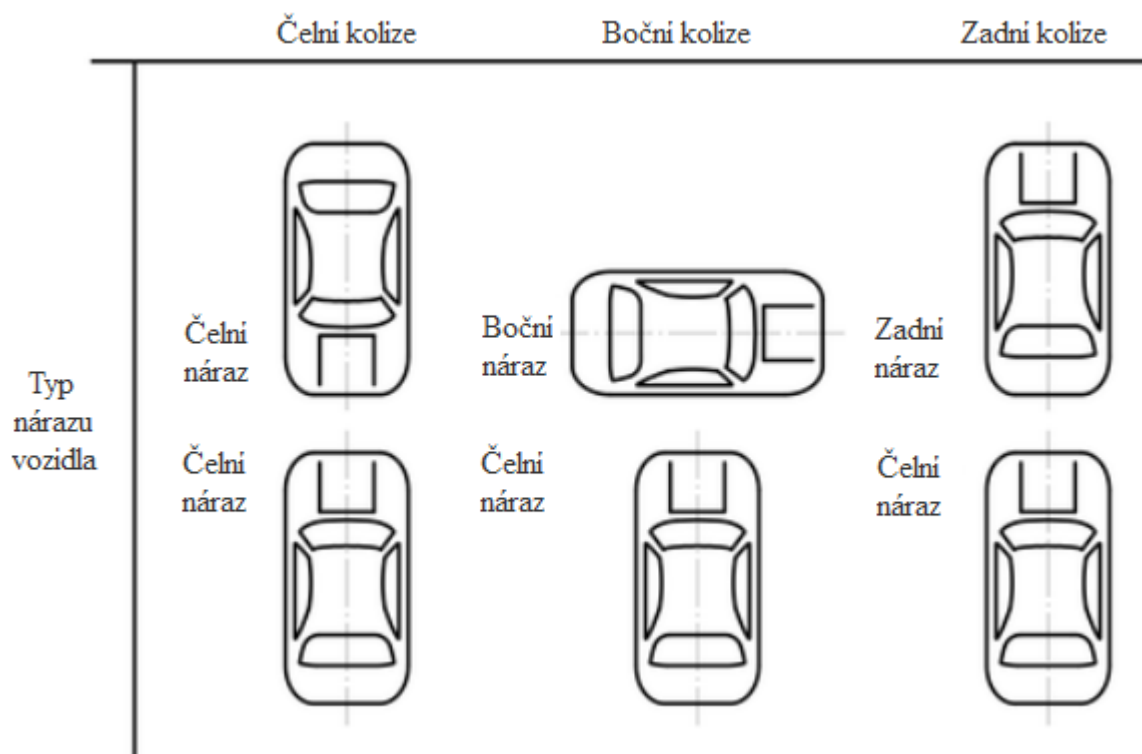
5.1 Norma ISO 6813

Norma ISO 6813 – „Silniční vozidla – Klasifikace kolize – Terminologie“

Hodnocením a klasifikací kolize silničních vozidel se zabývá norma ISO 6813, která je zaměřena hlavně na hlediska jejich konfigurace. Norma popisuje základní rozdělení dopravních nehod podle typu kolizních událostí. Norma rozlišuje tyto základní typy dopravních nehod:

- Kolizní (viz obrázek 12)
 - Čelní
 - Boční
 - Zadní
 - Jiné

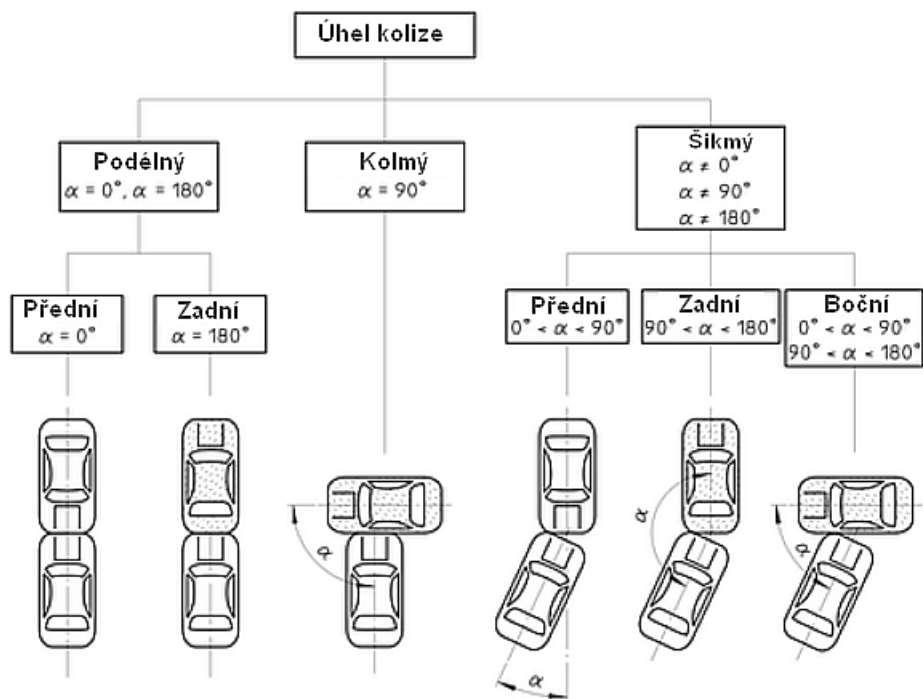
- Nekolizní
 - Požár
 - Převrácení
 - Jiné



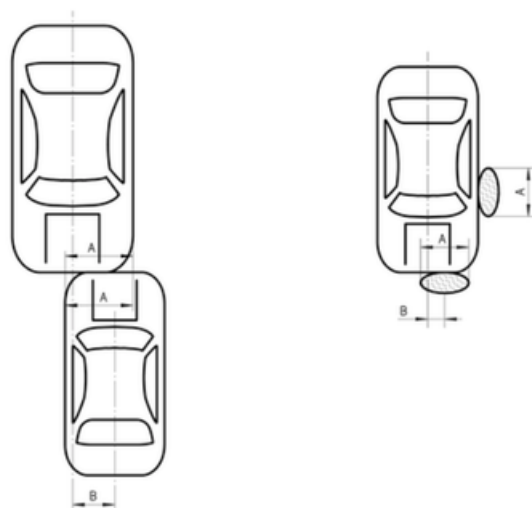
Obr 12: Typy nárazů silničních vozidel podle ISO 6813 [34]

Pro výše zmíněné typy nárazů je důležitý také úhel, pod kterým došlo k nárazu dvou vozidel nebo vozidla do překážky. V případě, že se jedná o šikmý náraz, je pro jeho popis třeba definovat také úhel kolize α , který je měřen mezi dvěma svislými podélnými rovinami vozidel. V případě nárazu vozidla do překážky je brán úhel svislou podélnou rovinou vozidla a svislou rovinou kolmou na stěnu překážky v místě kontaktu. Měření úhlu kolize pro jednotlivé typy nárazu dvou vozidel je uvedeno na obrázku 13.

Dalším parametrem, kterým je náraz definován, je odsazení os vozidel (offset) a plocha překrytí při nárazu. Jejich měření je znázorněno na obrázku 14.



Obr 13: Stanovení úhlu kolize při nárazu dvou vozidel [34]



Obr 14: Měření plochy překrytí „A“ a odsazení vozidel „B“ při nárazu [34]

5.2 Předpis EHK/OSN 94

Předpis EHK/OSN 94 – „*Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska ochrany cestujících při čelním nárazu*“

Tento předpis stanovuje zkoušení vozidel kategorie M1 čelním nárazem do pevné bariéry. Zkouška se provádí v prostoru dostatečném pro urychlení vozidla. Ve vzdálenosti minimálně 5 m před bariérou musí být povrch rozjezdové dráhy rovný a hladký. Rychlost v okamžiku nárazu musí dosahovat hodnot v rozmezí $56 - 0, + 1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. V okamžiku nárazu se vozidlo pohybuje jen svou setrvačností a nesmí na něj působit žádné hnací ani řídicí síly. Uvnitř vozidla jsou umístěny minimálně dvě zkušební figuríny, a to na předních krajních sedadlech. Ty jsou během testu připoutané bezpečnostním pasem, který vyhovuje předpisům EHK/OSN 14 a 16.

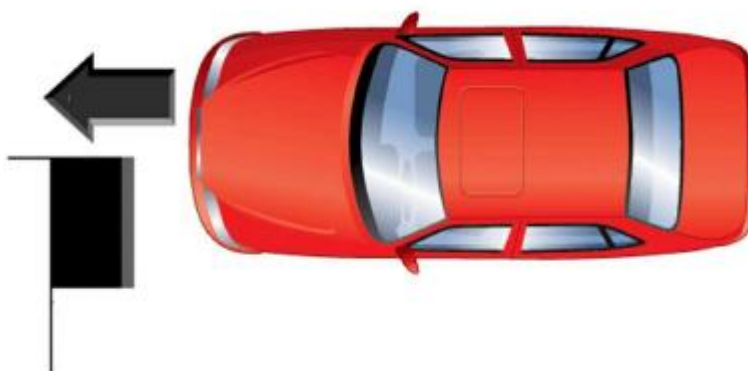
5.2.1 Popis testovaného vozidla

Testované vozidlo musí být shodné s provozovaným. Během zkoušky je možné použít náhradu některých komponent, musí však být zachována pohotovostní hmotnost vozidla a její rozložení. Použití náhrady nesmí také ovlivnit výsledek zkoušky. Palivová nádrž se naplní vodou do hmotnosti $90 \% \pm 1 \%$ hmotnosti plné náplně paliva. Ostatní provozní kapaliny mohou být odstraněny, avšak jejich hmotnost je nutné vhodně kompenzovat. Volant se ustaví ve své středové poloze zajištěn příčkami tak, aby vozidlo jelo rovně. Okna musí být uzavřena, pouze pro zkušební měření nebo po dohodě s výrobcem mohou být spuštěna v případě, že poloha ovládací klíčky odpovídá zavřené poloze. Řadicí páka je v poloze „neutrál“, pedály v klidové poloze, ruční brzda odbrzděna, dveře zavřené, nikoli však uzamčené. Sedadla nastavena ve středové poloze, je-li vozidlo vybaveno opěrkami rukou, musí být sklopeny ve své nejnižší poloze. Během testu je motor v klidu a zádržné systémy vozidla musí být aktivní.

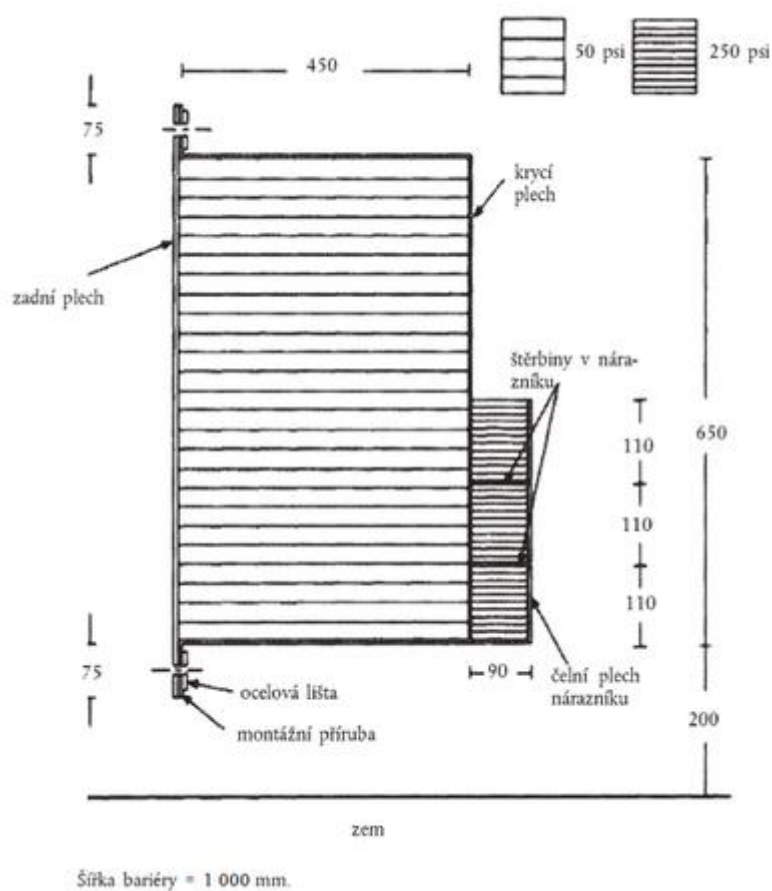
5.2.2 Zkušební bariéra

Bariéra, do které zkušební vozidlo naráží, se skládá z tělesa o hmotnosti nejméně 70 000 kg, na které je připevněna deformovatelná část bariéry. Ta je složena z voštinového bloku, na němž je přilepen nárazníkový blok. Bariéra je umístěna tak, aby vozidlo narazilo

40 % ± 20 mm své čelní plochy do deformovatelné bariéry což je znázorněno na obrázku 15.
 Uspořádání a rozměry [mm] deformovatelné části bariéry jsou patrné z obrázku 16.



Obr. 15: Náraz do deformovatelné bariéry s překrytím 40 % čelní plochy vozidla [9]



Obr. 16: Uspořádání a rozměry deformovatelné části bariéry [6]

5.2.3 Měřené veličiny

Měřené veličiny se zaznamenávají pomocí nezávislých datových kanálů. Předpis EHK/OSN 94 pro ně stanovuje hodnoty CFC (kmitočtová třída kanálu). V tabulce 3 jsou uvedeny veličiny měřené na jednotlivých částech figuríny s předepsanou hodnotou CFC.

Část figuríny	Měřené veličiny, umístění snímače	CFC
Hlava	Zrychlení ve třech osách, snímač umístěn v těžišti hlavy	1000
Krk	Axiální tahová a smyková síla působící zředu dozadu na rozhraní mezi krkem a hlavou	1000
	Ohybový moment kolem příčné osy na rozhraní mezi krkem a hlavou	600
Hrudník	Průhyb hrudníku mezi hrudní a páteřní kostí	180
Stehenní a holenní kosti	Axiální tlaková síla a ohybové momenty	600
	Posun holenní kosti vůči stehenní v kolenním kloubu	180

Tab. 3: Veličiny měřené na figuríně

5.2.4 Hodnocení zkoušky

Zkouška čelním nárazem se vyhodnocuje pomocí biomechanických kritérií poranění, která se stanovují z hodnot naměřených na figuríně. Výsledná hodnota nesmí být vyšší než tzv. limitní hodnota, která je pro každé kritérium legislativně předepsána. Blíže jsou biomechanická kritéria popsána v kapitole 6.

Pro vyhodnocení zkoušky dle EHK/OSN 94 se využívají následující biomechanická kritéria:

- kritérium poranění hlavy (HPC) a 3 ms kritérium,
- kritérium poranění krku (NIC),
- ohybový moment krku kolem osy y nesmí přesáhnout hodnotu 57 Nm ve vytažení,
- kritérium stlačení hrudníku (THCC),

- kritérium měkkých částí (V*C),
- kritérium síly působící na stehenní kost (FFC),
- kritérium tlakové síly působící na holenní kost (TCFC),
- index holenní kosti (TI),
- pohyb klouzajících holenních kloubů nesmí přesáhnout 15 mm,

Mimo těchto kritérií se po nárazu sledují také některé parametry vozidla, související s pasivní bezpečností:

- Zbytkový posuv volantu nesmí přesáhnout 80 mm ve směru svisle vzhůru a 100 mm ve směru vodorovně dozadu.
- V průběhu zkoušky se nesmějí otevřít žádné dveře.
- V průběhu zkoušky nesmí dojít k uzamčení soustavy zámků předních dveří.
- Po nárazu musí být možné otevřít alespoň jedny dveře pro každou řadu sedadel, popřípadě posunout sedadla či sklopit opěrky, aby bylo možné evakuovat všechny cestující.
- Zámky bezpečnostních pásů musí být možné otevřít silou maximálně 60 N.
- Figuríny musí jít vyjmout z vozidla bez seřizování sedadel.
- Při trvalém úniku paliva nebo více druhů provozních kapalin nesmí rychlost úniku překročit hodnotu 30 g/min.

5.3 Předpis EHK/OSN 95

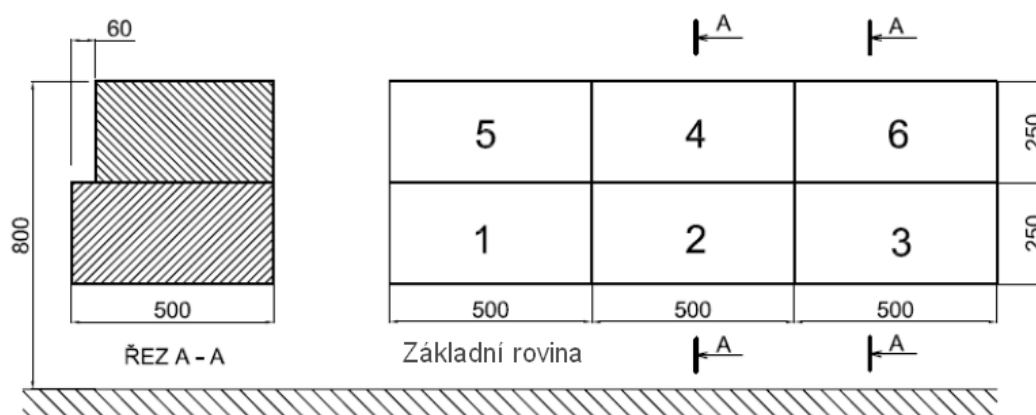
Předpis EHK/OSN 95 – „Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska ochrany cestujících při bočním nárazu“

Předpis stanovuje zkoušky bočním nárazem do testovaného vozidla. To je během zkoušky v klidové poloze a náraz je uskutečněn pomocí mobilní bariéry, která je urychlena na nárazovou rychlost $50 \pm 1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Urychlení musí být takové, aby se bariéra nejméně 0,5 m před nárazem pohybovala konstantní rychlostí. Mobilní bariéru tvoří vozík s předepsanými rozměry a nárazová část, která je tvořena voštinou s předepsanou deformací. V okamžiku nárazu nesmí na mobilní bariéru působit žádná vnější síla.

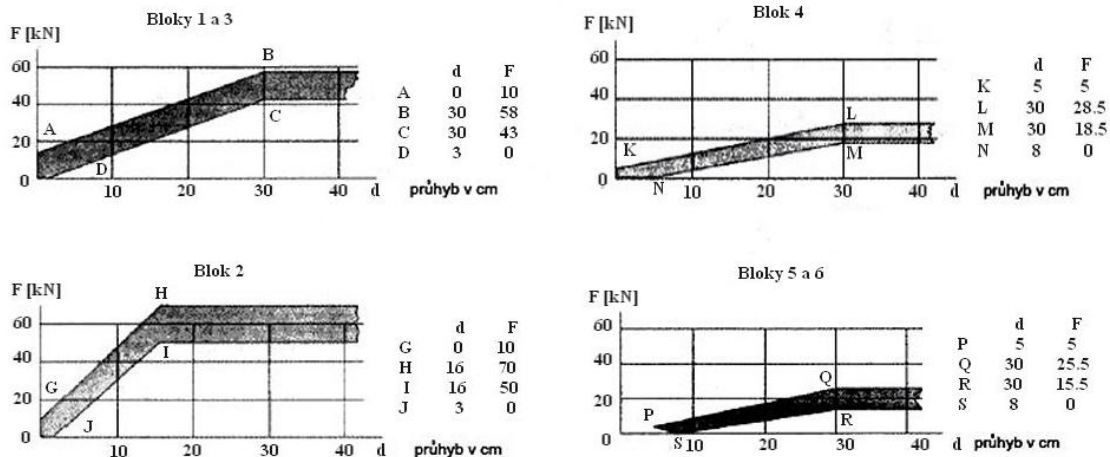
Parametry vozíku:

- celková hmotnost: 950 ± 20 kg,
- rozchod kol: 1500 ± 10 mm,
- rozvor: 3000 ± 10 mm,
- souřadnice těžiště:
 - osa x: 1000 ± 30 mm od přední nápravy,
 - osa y: 0 od osy x,
 - osa z: 500 ± 30 mm nad vozovkou.

Nárazová část má šířku 1500 mm a výšku 500 mm. Je složena ze šesti nezávislých spojených částí, jejichž rozmístění je znázorněno na obrázku 17. Jednotlivé bloky mají různou deformovatelnost, která musí odpovídat předepsanému intervalu podle obrázku 18. Závislost síly na deformaci jednotlivých bloků se zjišťuje nárazem celé soustavy do dynamometrické bariéry rychlostí 35 ± 2 km·h⁻¹.



Obr 17: Nárazová část pohyblivé bariéry [7]



Obr 18: Nárazová část pohyblivé bariéry [7]

5.3.1 Popis testovaného vozidla

Vozidlo testované podle EHK 95 musí být shodné s provozovanými vozidly. Některé komponenty mohou být nahrazeny odpovídajícími hmotnostmi, avšak tato náhrada nesmí ovlivnit výsledek zkoušky. Palivová nádrž je naplněna vodou na hmotnost ekvivalentní 80 % objemu paliva. Ostatní provozní kapaliny mohou být odstraněny, avšak jejich hmotnost je nutné vhodně kompenzovat. Okna jsou během testu uzavřena, řadicí páka je v poloze „neutrál“, pedály jsou v klidové poloze, ruční brzda odbrzděna, dveře zavřené, nikoli však uzamčené. Sedadla jsou nastavena ve středové poloze (dle výrobce), opěradla sklopena tak, aby výsledný sklon hrudníku figuríny byl 25° dozadu. Během testu je motor v klidu a zádržné systémy vozidla musí být aktivní. Vozidlo je ustaveno ve vodorovné poloze a je vybaveno figurínou typu EuroSid, umístěnou na předním sedadle na straně nárazu.

5.3.2 Měření veličiny

Měřené veličiny se zaznamenávají pomocí nezávislých datových kanálů. Předpis EHK/OSN 95 pro ně stanovuje hodnoty CFC (kmítotčová třída kanálu) a CAC (amplitudová třída kanálu). V tabulce 4 jsou uvedeny veličiny měřené při zkoušce bočním nárazem na jednotlivých částech figuríny s předepsanou hodnotou CFC a CAC.

Část figuríny	Měřené veličiny, umístění snímače	CFC	CAC
Hlava	Zrychlení ve třech osách, snímač umístěn v těžišti hlavy	1000	50 g
Hrudník	Průhyb hrudníku (žeber figuríny)	1000	60 mm
Pánev	Síla působící na pánev v oblasti stydké kosti	1000	15 kN
Břicho	Síla působící na břicho	1000	5 kN

Tab. 4: Veličiny měřené na figuríně

5.3.3 Hodnocení zkoušky

Pro vyhodnocení zkoušky dle EHK/OSN 95 se využívají následující biomechanická kritéria:

- kritérium poranění hlavy (HPC),
- kritérium deformace žeber (RDC),
- viskózní kritérium (VC)
- kritérium poranění břicha (APF),
- kritérium poranění pánve silou na stydkou kost (PSPF).

Mimo těchto kritérií se po nárazu sledují také některé parametry vozidla, související s pasivní bezpečností:

- Během zkoušky se nesmí otevřít žádné dveře vozidla.
- Po nárazu musí být možné bez použití nástrojů otevřít dostatečný počet dveří pro evakuaci celé posádky. Dále pak uvolnění figuríny ze zádržného systému a její vyjmutí ven z vozidla.
- Jednotlivé části vozidla se nesmějí deformovat tak, aby jejich deformace zvyšovala riziko poranění ostrými hranami. Pokud tomu tak není, jsou deformace akceptovatelné.
- Při trvalém úniku paliva nebo více druhů provozních kapalin, nesmí rychlost úniku překročit hodnotu $30 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$.

6. Kritéria poranění

Aby bylo možné kvalifikovat účinnost prvků pasivní bezpečnosti z hlediska ochrany cestujících vozidla, byla pro tento účel stanovena biomechanická kritéria poranění. Jejich cílem je kvantifikovat a kvalifikovat následky na základě mechanického namáhání lidského organismu během nárazu. Dále tyto kritéria stanovují přípustné limity namáhání, které jsou mezními hodnotami z hlediska přípustnosti namáhání tkáně.

Kritéria poranění byla stanovena na základě zjištěných poznatků biomechaniky poranění o jednotlivých částech lidského těla. Biomechanika je vědní obor zabývající se vlivem působení mechanického namáhání na biologickou tkáň. Jejím podoborem je pak biomechanika poranění, která se zabývá takovým působením mechanického namáhání, které způsobuje dlouhodobé mechanické změny tkání či jednotlivých orgánů (zranění) nebo porušení jejich správné funkce. Biomechanika poranění má proto následující cíle:

- Kvantifikování traumatologických nálezů
 - Hledání limitů poranění a vývoj výzkumných metod
 - Analýza mechanismů poranění kritických částí
 - Hodnocení poranění a účinnost konstrukčních opatření a zádržných systémů
- [16]

Jak je patrné z výše uvedených bodů, biomechanika poranění sleduje jednotlivé části lidského těla, které jsou členěny podle důležitosti (kritičnosti) funkce z hlediska přežití při jejich poranění. Na základě toho jsou pak stanovena kritéria poranění pro části lidského těla, obsahující důležité životní orgány. V následujících podkapitolách jsou popsána kritéria poranění používaná pro vyhodnocení zkoušek pasivní bezpečnosti prováděných podle současné evropské legislativy.

6.1. Kritérium poranění hlavy – HIC

Poranění hlavy patří mezi nejzávažnější poranění při dopravních nehodách. Jeho důsledkem bývá poranění mozku (potrhání, zhmoždění a otřes mozku), který je v dutině lebeční volně uložen. Při velkém zrychlení (zpomalení), které působí na lidské tělo během nárazu, tak vlivem setrvačných sil dochází k pohybu mozku vůči lebce a následně k nárazu

mozku na lebeční kost. Během nárazu může také dojít ke kontaktu hlavy s pevnými částmi (povrchem interiéru) vozidla, což výsledná zranění ještě zhoršuje. Hrozí pak možnost poranění lebky (fraktura lebky).

Pravděpodobnost poranění hlavy při nárazu je stanovena HIC kritériem (Head Injury Criterion). Toto kritérium se určí z intervalu průběhu celkového zrychlení, naměřeného v těžišti hlavy figuríny podle vzorce 1. Délka intervalu je stanovena na 36 ms (HIC_{36}), pro případ, že při nárazu nedošlo ke kontaktu hlavy s pevným tělesem nebo 15 ms (HIC_{15}), pro náraz hlavy do tvrdé překážky. Interval se určuje z oblasti maximálního zrychlení, které při nárazu na hlavu působilo. Limitní hodnota je u obou případů $HIC = 1000$.

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

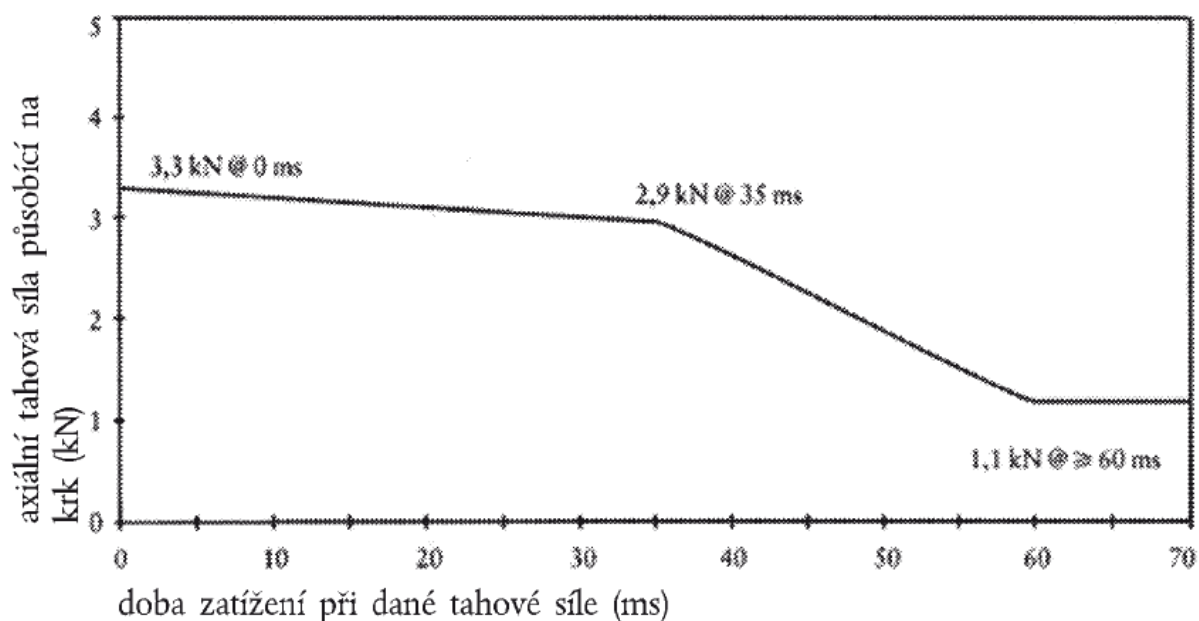
kde: a..... výsledné zrychlení [$m \cdot s^{-2}$],

t_1začátek časového intervalu pro výpočet HPC,

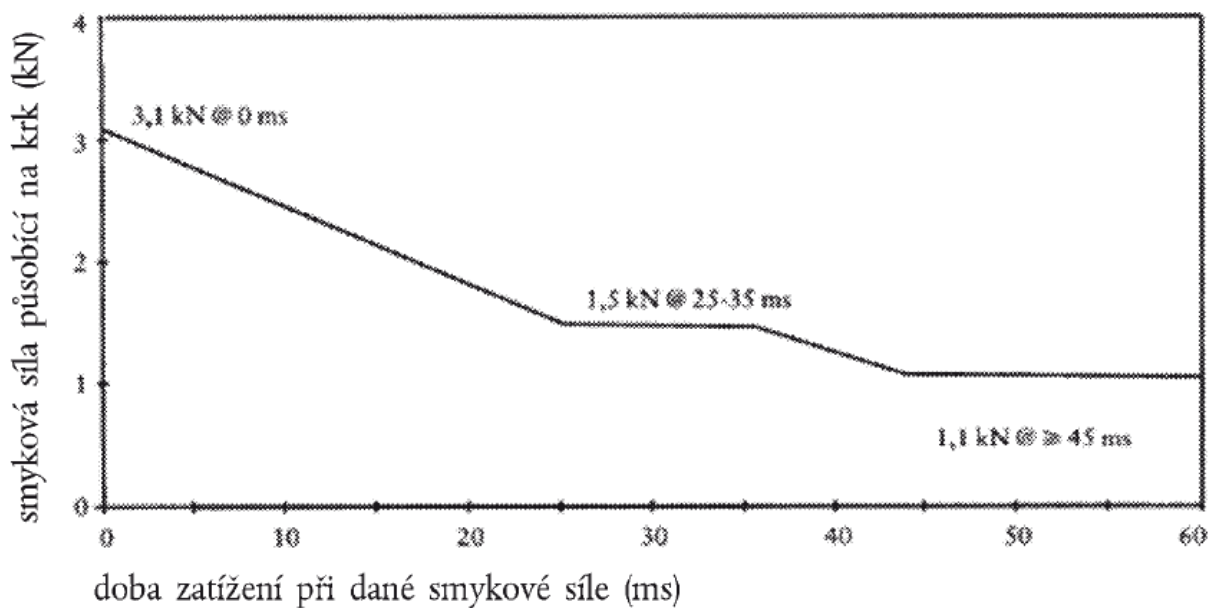
t_2konec časového intervalu pro výpočet HPC.

6.2. Kritérium poranění krku – NIC

Kritérium poranění krční páteře NIC (Neck Injury Criterion) se používá pro zkoušku čelním nárazem. Toto kritérium stanovuje maximální síly a napětí působící na krční páteř. Jeho hodnoty nesmí přesáhnout hodnoty podle obrázků 19 a 20.



Obr. 19 Kritérium namáhání krku v tahu [6]



Obr. 20 Kritérium namáhání krku ve smyku [6]

6.3. Kritéria poranění hrudníku

6.3.1. Viskózní kritérium - VC

Poraněním hrudníku se zabývá kritérium VC (Viscous Criterion), nazývané kritérium měkkých tkání. Jeho hodnota udává maximální hodnotu rychlosti deformace hrudníku. Toto

kritérium se používá pro čelní i boční náraz. Výsledná hodnota kritéria VC (viscous criterion) je počítána podle vzorce 2. Hodnoty poměrných a deformačních faktorů používaných pro výpočet jsou uvedeny v tabulce 5.

$$VC = \frac{Y_{FC180}}{SF \cdot DF} \quad (2)$$

kde: Y_{FC180} deformace hrudníku [mm],

SFpoměrný faktor (Scale Factor),

DFDeformation Factor.

Figurína	Poměrový faktor SF	Deformační faktor DF [mm]
Hybrid III 95%	1,3	254
Hybrid III 50%	1,3	229
Hybrid III 5%	1,3	187
BioSID	1,0	175
EuroSID – 1	1,0	140
ES – 2	1,0	140
SID – IIs	1,0	138

Tab. 5: Konstanty pro výpočet viskózního kritéria [6], [7]

6.3.2. Kritérium stlačení hrudníku - ThCC

Kritérium stlačení hrudníku mezi hrudní kostí a páteří (Thorax compression criterion), využívá absolutní hodnotu komprese vyjádřenou v milimetrech. Používá se pro zkoušku čelního nárazu dle předpisu EHK 94 a směrnice EHS 96/97. Maximální přípustná hodnota stlačení je 50 mm. [3]

6.3.3. Kritérium stlačení hrudníku – THPC

Pro boční náraz se používá kritérium THPC (Thorax performance criterion) předepsaného předpisem EHK/OSN 95. Toto kritérium je složeno z VC kritéria a kritéria deformace žeber RDC (Rib Deflection Criterion), jehož limitní hodnota je 42 mm.

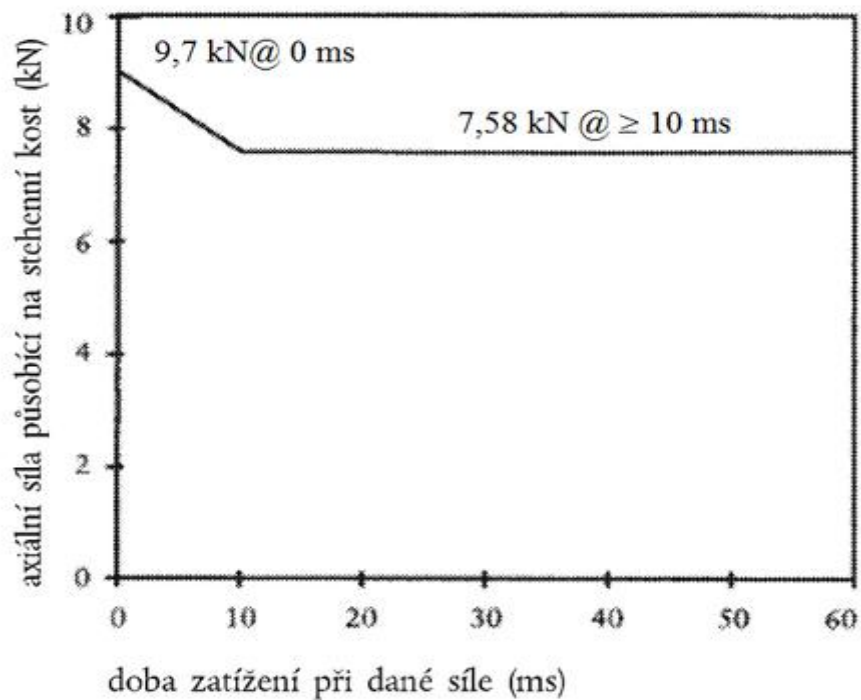
6.3.4. Třímilisekundové kritérium – 3ms

Pro hlavu a hrudník platí také kritérium ThAC (Thorax Acceptability Criterion), které bývá nazýváno „třímilisekundové kritérium“. Toto kritérium stanovuje limitní hodnotu zrychlení, která nesmí být překročena po dobu delší než 3 ms. Limitní hodnota pro výsledné zrychlení na hlavě je podle EHK/OSN 94 stanovena na 80 g, pro zrychlení na hrudníku pak 60 g. V případě dětských figurín je předepsána limitní hodnota zrychlení na hrudníku dle ThAC 55 g.

6.3.5. Kritéria poranění končetin

6.3.5.1. Kritérium síly působící na stehenní kost – FPC

Při dopravních nehodách často dochází ke zlomeninám dolních končetin, které mohou v případě tříštivých a otevřených zlomenin vést k poranění tepen. Při testování vozů se sledují síly působící na dolní končetiny, vznikající například nárazem na přístrojovou desku, kontaktem s pedály vozu či reakcí se zdeformovanou podlahou vozu. Kritérium stehenní kosti FPC (Femur Performance Criterion) stanovuje limity, které nesmí axiální síla působící na stehenní kost překročit. Ty jsou odvislé od délky působení síly, což je znázorněno na obrázku 21.



Obr. 21 Kritérium síly působící na stehenní kost [6]

6.3.5.2. Kritérium poranění holenní kosti – TCFC

Kritérium poranění holenní kosti TCFC stanovuje limitní hodnotu tlakové síly působící na holenní kost. Tato hodnota nesmí přesáhnout hodnotu 8 kN.

6.3.5.3. Index holenní kosti – TI

Index holenní kosti TI, bere při výpočtu v úvahu síly a momenty působící na holenní kost během nárazu. Vypočítá se podle vzorců 3 a jeho limitní hodnota je 1,3.

$$TI = \frac{\begin{pmatrix} M \\ M_R \end{pmatrix}}{\begin{pmatrix} F_z \\ F_{cz} \end{pmatrix}}, \quad M_R = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (3)$$

kde: M_x ohybový moment kolem osy X,

M_y ohybový moment kolem osy Y,

$(M_C)_R$ kritický ohybový moment (225 Nm),

$(F_C)_Z$ kritická ohybová síla ve směru osy Z (35,9 kN).

6.4. Hodnocení závažnosti poranění podle metodiky AIS

Výsledky reálných nehod, nárazových testů nebo matematických simulací jsou hodnoceny různými kritérii, nebo podle stupnic založených na traumatologických, anatomických, klinických nebo fyzikálních principech. Obecně uznávaným principem, který umožňuje sjednocení těchto různých hodnocení závažnosti poranění je AIS (Abbreviated Injury Scale) stupnice. Tato metodika hodnotí poranění podle závažnosti na stupnici hodnot 0 – 6. V případě, že není možné určit typ poranění, hodnotí se závažnost stupněm 9. [13]

Význam jednotlivých hodnot AIS:

- 0 - bez zranění,
- 1 - malé zranění,
- 2 - střední zranění,
- 3 - závažné zranění,
- 4 - velmi vážné zranění,
- 5 - kritické zranění,
- 6 - maximální (nelze přežít),
- 9 – neznámé. [11]

Z anatomického hlediska jsou jednotlivé typy poranění rozděleny podle závažnosti a je jim podle toho přiřazen odpovídající stupeň AIS. Přehled typů poranění s odpovídajícím stupněm AIS pro sledované části těla je uveden v tabulce 6. Jedná se pouze o zjednodušenou verzi, úplný seznam poranění rozdělený dle metodiky AIS je více podrobný.

AIS	Hlava	Hrudník	Břicho	Páteř	Končetiny
1	Bolest; Malátnost	Zlomenina jednoho žebra	Povrchové poranění	Natažení	Zlomenina prstu
2	Bezvědomí 1hod.; Lin. zlomenina	2-3 žebra zlom.; Sternum	Poranění, kontuze jater, ledvin	Malá zlomenina bez vlivu na kanál	Jednotlivá zlomenina tibie, pánve
3	Bezvědomí 1 – 6 hod.; Vpáčená zlomenina	≥4 žebra, 2-3 žebra + pneum. nebo hemotorax	Slezina, ledviny – velké poranění	Prasklý disk s poškozením nervu	Vykloubení kolena; Zlomenina stehenní kosti
4	Bezvědomí 6-24 hod.; Otevřená zlomenina	≥4 žebra s pneum. nebo hemoth. - kolaps hrudníku	Játra velké zranění, roztržení	Částečné poškození míchy	Amputace nad kolenem, rozdrcená pánev
5	Bezvědomí >24 hod., Velký hematom (100 cm ³)	Roztržení aorty	Roztržení ledvin	Quadruplegie	Otevřené rozdrcení pánve

Tab. 6: Tabulka hodnocení závažnosti poranění podle metodiky AIS [19]

Metodika AIS umožňuje stanovit závažnost poranění také podle výsledků kritérií poranění, používaných pro vyhodnocení nárazových testů a jejich počítačových simulací. Stupně AIS jsou určeny podle výsledné hodnoty kritéria poranění příslušného orgánu nebo části těla. Na obrázku 7 je znázorněna závislost AIS na velikosti výsledné hodnoty HIC kritéria.

7. Cíle práce

Disertační práce je zaměřená na problematiku propojení pasivní bezpečnosti a informačních technologií. Vzhledem k širokému rozpětí informačních technologií používaných v dopravě je úzce zaměřená pouze na systém nouzového volání k dopravní nehodě, systém eCall, který je v současné době vyvíjen a zároveň je připravována legislativa pro jeho možné nasazení do provozu. Práce se zaměřuje na možnosti propojení systému eCall při jeho použití v rámci provozu osobních vozidel s oblastí pasivní bezpečnosti vozidel a jeho využití pro odhad případných následků dopravní nehody.

Jedním z cílů této práce je proto hledání charakteristických rysů kolize osobního automobilu s různými kolizními partnery a pro různé typy nárazů, které by pak bylo možné využít pro lepší popsání nehodového děje, zvláště pak typu kolize a případných následků. K dosažení tohoto cíle jsou využita data z provedených nárazových testů a počítačových simulací popsaných v následujících kapitolách. Vzhledem k charakteristice zaměření provedených nárazových testů se jedná převážně o nestandardní typy nárazů.

Dalším cílem bylo ověření správné funkce jednotky eCall a její citlivosti při reálných nárazových testech automobilu. Jednalo se o vývojovou verzi vozidlové jednotky eCall, která byla při některých nárazových testech umístěna do testovaného vozidla.

Posledním z cílů této práce je optimalizace umístění palubní jednotky eCall do automobilu, s ohledem na její bezpečnost při nárazu, deformaci karoserie vozidla a také s ohledem na vhodnost umístění nárazových senzorů, které jednotka používá pro rozpoznání nárazu a popsání děje při kolizi. Tento cíl je řešen na základě datových výstupů z nárazových testů a provedené počítačové simulaci.

8. Experimentální část práce

V první části této kapitoly (podkapitola 8.1) je popsána měřicí technika a vybavení, které bylo používáno při nárazových testech pro získání vstupních dat této práce. Dále jsou pak v podkapitole 8.2 popsány jednotlivé typy provedených testů.

8.1. Použitá technika

8.1.1. Měřicí technika

Při provedených nárazových testech byla pro měření průběhu zrychlení na vozidlech a zkušebních figurínách používána měřicí aparatura Brüel&Kjaer. Tato technika svými parametry (vzorkovací frekvence, měřicí rozsah snímačů) vyhovuje požadavkům na přesnost měření podle předpisu EHK/OSN 94. Základní jednotkou je snímací zařízení PULSE Multi analyzer system, určené pro snímání a analýzu vstupních signálů z připojených senzorů (akcelerometrů). Tato jednotka má následující parametry:

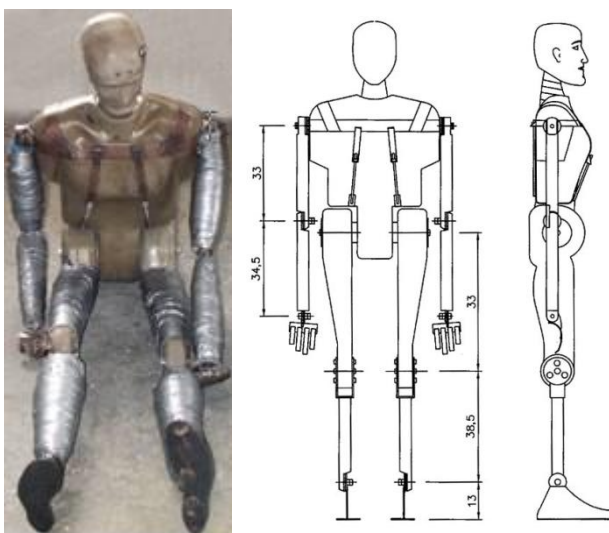
- Brüel&Kjær type 3560-B,
- 5 měřících kanálů
- možnost připojení různých typů snímačů,
- 1 výstupní kanál,
- možnost vlastního napájení,
- záznam a vyhodnocení dat pomocí PC. [1]

Měřicí technika byla používána pro měření a záznam průběhu akcelerace na zkušebních vozidlech a figurínách během nárazu. Při měření byly používány následující akcelerometry:

- **Brüel&Kjær triaxial DeltaTrontype 4504 A** - tříosý akcelerometr s měřícím rozsahem $7500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (750g),
- **Brüel&KjærDeltaTrontype 4514-B** - jednoosý akcelerometr s měřícím rozsahem $4900 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (500g),
- **Brüel&KjærDeltaTrontype 4513-B** - jednoosý akcelerometr s měřícím rozsahem $4900 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (500g). [1]

8.1.2. Zkušební figurína

Během provedených experimentů bylo testované vozidlo vybaveno zkušební figurínou ÚSMD Manikin odpovídající předpisu EHK/OSN 16, která je uvedena na obrázku 22. Tato figurína byla upravena, a to přidáním rukou a dvěma nohama (původní figurína byla bez rukou a osazena pouze jednou nohou). Nohy a ruce jsou tvořeny kovovými výztuhami, které jsou omotané vysokou vrstvou montážní lepicí pásky. Toto opatření má za cíl přizpůsobení fyziologickým vlastnostem lidského těla. Po provedených úpravách činí hmotnost figuríny 87 kg. Během nárazových testů byla figurína oděna do pracovního overalu.

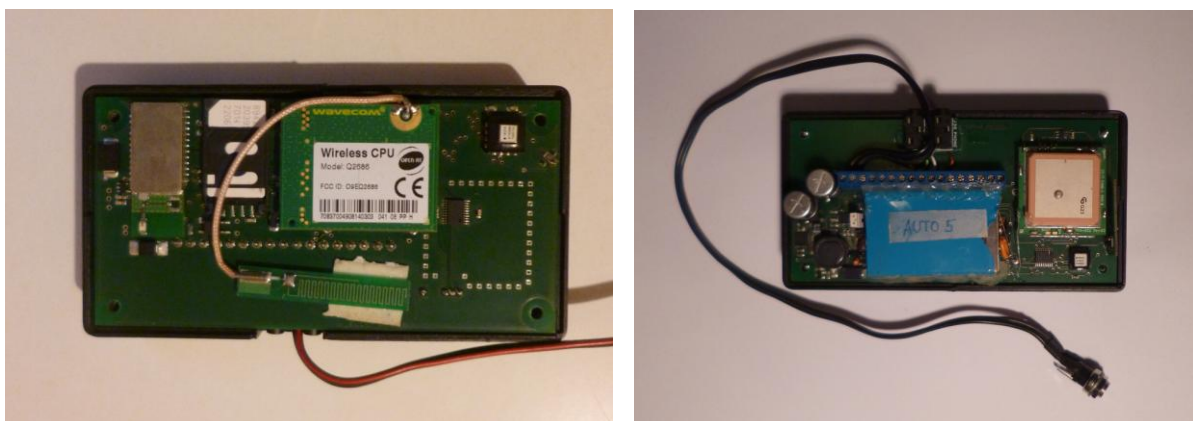


Obr. 22: Figurína ÚSMD Manikin [28]

8.1.3. Jednotka eCall

Během některých nárazových testů byla ve vozidle umístěna palubní jednotka systému eCall. Použitá jednotka eCall je prototyp vyvinutý v rámci projektu CG911-102-702 *Výzkum způsobu odhadu následků dopravních nehod a jejich využití v systému eCall*. Jedná se o typ, kde je celý vozidlový systém eCall implementován v rámci jednotky (Black box). Ta je vybavena dvouosým akcelerometrem měřícím podélné a příčné zrychlení vozidla. Jednotka vyhodnocuje vznik nárazu na základě naměřených hodnot zrychlení a při překročení přednastavené limitní hodnoty zahájí tísňové volání na přednastavené číslo.

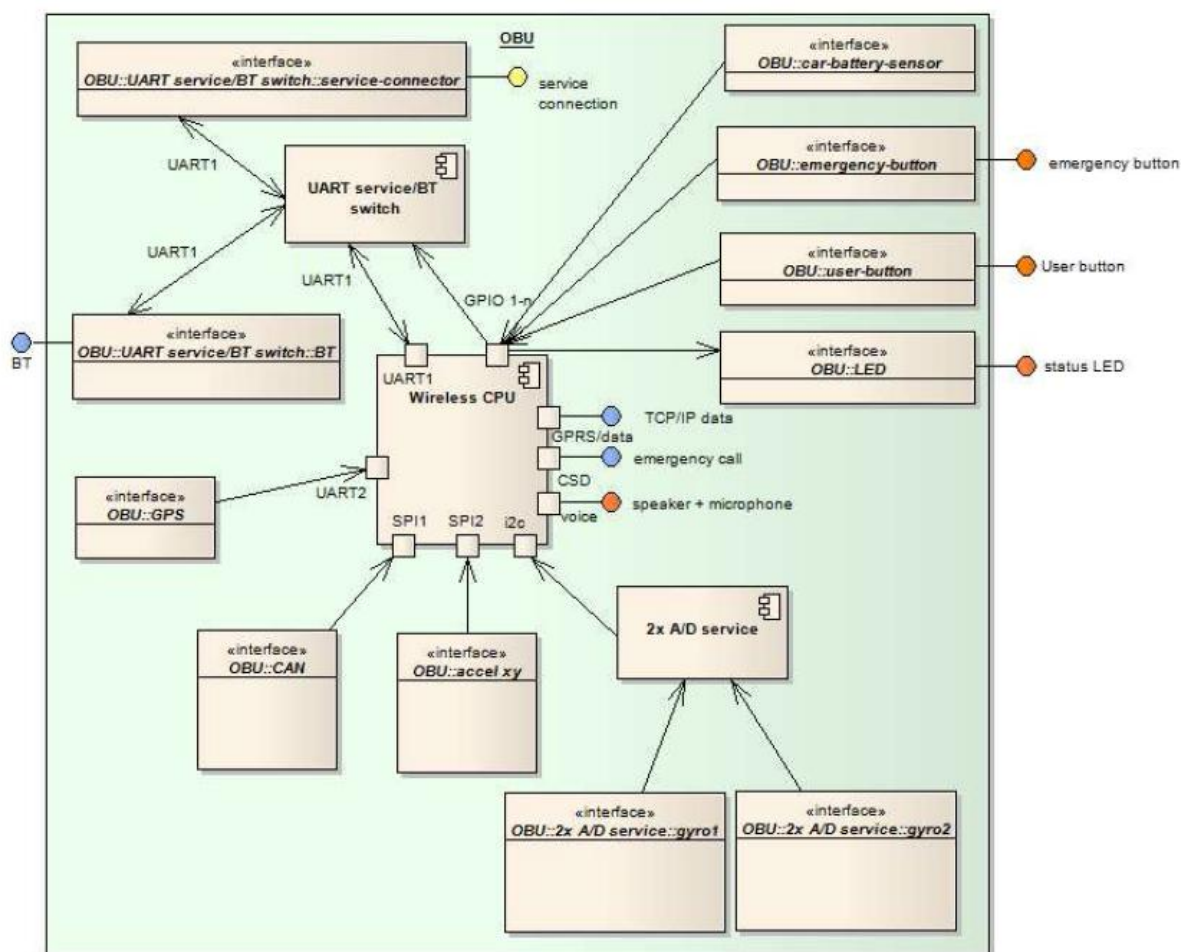
Zároveň je schopna zaznamenat a případně odeslat hodnoty zrychlení naměřené v průběhu nárazu. Jednotka je také vybavena modulem GPS pro určení aktuální polohy vozidla a modulem GSM pro komunikaci s operačním střediskem přes mobilní telefonní síť a pro možnost odeslání dat o nehodě. Dále jednotka obsahuje rozhraní pro připojení komunikačního zařízení, umožňující připojení sluchátek a mikrofonu a uskutečnění telefonického hovoru s přednastaveným telefonním číslem (v budoucnu číslo 112). Jednotka také obsahuje tlačítko pro manuální zahájení tísňového volání (emergency button). Pro případ přerušení napájení z palubní sítě vozidla je jednotka vybavena vlastní baterií, zajišťující její chod po nezbytně nutnou dobu, aby bylo možné zpracovat a odeslat data a následně uskutečnit případný telefonický hovor. Vzhledem k velkým výkyvům teplot, které mohou v průběhu roku v interiéru automobilu nastat, je jednotka navržena pro práci v rozsahu teplot -40°C až $+70^{\circ}\text{C}$. Všechny elektronické části jednotky jsou implementovány jako jeden díl v rámci jednoho tištěného spoje, jak je patrné z obrázku 23.



Obr. 23: Vývojová verze jednotky eCall používaná při nárazových zkouškách

Při nárazových testech byly průběhy zrychlení naměřené jednotkou eCall uloženy a následně odeslány v rámci datového souboru na server přes GPRS. Jednotka umožňuje zaznamenání až 1024 hodnot. Zaznamenání a odeslání dat je iniciováno na základě překročení limitní hodnoty zrychlení naměřené jednotkou. Jednotka eCall umožňuje také stahování a ukládání aktuálně měřených dat v průběhu jejího provozu. K tomuto je využita komunikace s Bluetooth rozhraním (BT). Tato varianta však během testů nebyla využívána. Na obrázku 24 je uvedeno schéma dostupných rozhraní jednotky eCall a na obrázku 25 je patrná jednotka eCall. Některá z uvedených rozhraní však během testů nebyla využívána,

například komunikace s ostatními systémy vozidla přes sběrnici CAN (interface CAN) nebo také gyroskop (interface gyro 1 a gyro 2).



Obr. 24: Schéma dostupných rozhraní jednotky eCall [41]

8.1.3.1. Umístění jednotky v testovaných automobilech

Během testů byla jednotka ve zkušebním vozidle umísťována na tunel vozidla, mezi předními a zadními sedadly. Tato pozice byla vybrána z důvodu malé pravděpodobnosti deformace karoserie v těchto místech. V případě testu čelním nárazem, pak byla jednotka umístěna ve stejné ose jako akcelerometr měřící zrychlení karoserie v ose X (dle ISO 4130), který byl umísťován do přibližné polohy těžiště vozidla, vycházející na tunel vozidla do míst mezi řadící páku a ruční brzdu. Umístění jednotky je patrné z obrázku 25.



Obr. 25: Umístění jednotky eCall v testovaném vozidle

8.2. Provedené experimenty

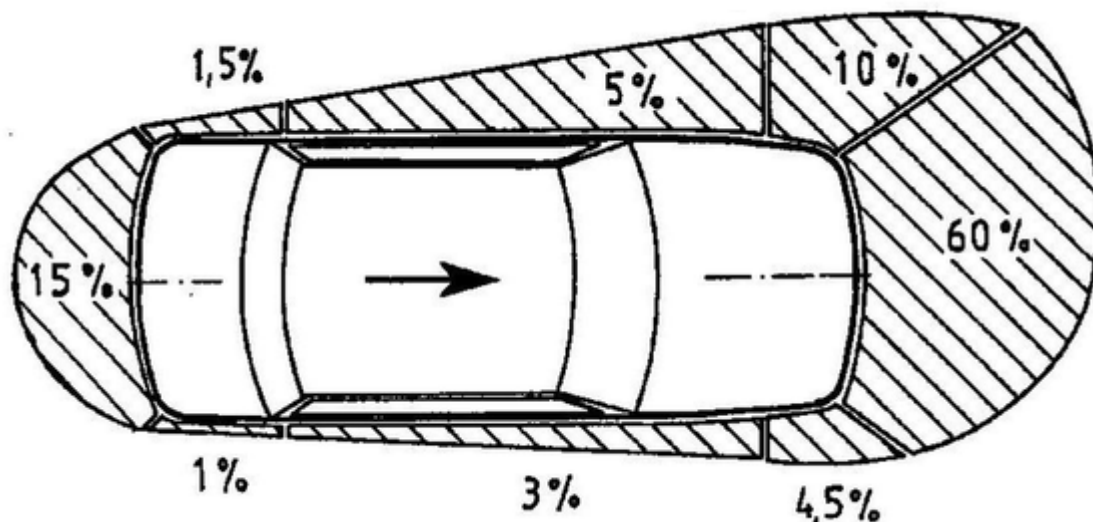
Základní podklady pro tuto práci tvoří data z provedených experimentů pasivní bezpečnosti osobních vozidel. Tyto experimenty lze podle typu kolize rozdělit do následujících oblastí:

- Čelní náraz do pevné bariéry,
- Test převrácení vozidla (Rollover),
- Nekompatibilní náraz vozidel (střet osobního automobilu s kolejovým vozidlem).

8.2.1. Čelní náraz vozidla

Při dopravních nehodách dochází nejčastěji k čelnímu nárazu vozidla. Většinou se nejedná o náraz plnou čelní plochou vozidla, ale mnohdy jde o náraz s přesazením, tedy pouze s částečným překrytím čelní plochy, a to na straně řidiče, jak dokládá obrázek 26, kde je uvedena četnost nárazů v jednotlivých oblastech vozidla. Toto nerovnoměrné rozložení četnosti čelních nárazů je dáno situacemi při čelním nárazu dvou vozidel, kdy se řidiči snaží

nehodě na poslední chvíli zabránit a vrátit se do svého jízdního pruhu, tedy strhnou řízení doprava. Jsou-li však vozidla příliš blízko u sebe, ke kolizi přesto dochází.



Obr. 26: Četnost nárazů v jednotlivých oblastech vozidla [19]

Vzhledem k vysokému podílu nehod s čelním nárazem je zde tato varianta řešena. K tomu jsou využity nárazové testy vozidla do pevné bariéry.

8.2.2. Nárazový test vozidla Škoda Favorit do pevné bariéry

Jednalo se o test čelním nárazem vozidla do pevné bariéry, kde nárazový prvek bariéry byl tvořen pevným betonovým panelem. Náraz byl uskutečněn plnou čelní plochou vozidla (dle EHK/OSN 12) při nárazové rychlosti $47,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Zkušebním vozidlem bylo vozidlo Škoda Favorit, vybavené tříbodovými pasy s navíječem (bez předepínače). V automobilu byla na sedadle řidiče umístěna figurína popsaná v kapitole 8.1.2. Na zadním sedadle za sedadlem řidiče byla v dětské autosedačce umístěna dětská figurína typu P3. Obě figuríny byly vybaveny tříosým akcelerometrem umístěným v hlavě. Figurína dítěte byla navíc osazena tříosým akcelerometrem v hrudníku a tříosým akcelerometrem v pánvi. Během nárazu byla měřena síla působící na bezpečnostní pás, kterým byla připoutána figurína dítěte. Na karoserii vozidla bylo měřeno jeho podélné

zrychlení v ose X (dle ISO 4130) pomocí jednoosého akcelerometru umístěného na tunelu vozidla v místě mezi řadící pákou a ruční brzdou, tedy v přibližném těžišti vozidla.

Nárazová rychlost zkušební vozidla byla $47,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nejprve došlo k deformaci nárazníku, která následně přešla v plastickou deformaci podélných nosníků v motorovém prostoru. Vlivem působení deformačních sil od bariéry došlo následně k posunutí motoru a přední nápravy vozidla směrem do interiéru vozidla. Během nárazu byl také mírně deformován levý „A“ sloupek vozidla. Tato deformace však neměla vliv na narušení prostoru pro přežití. Dále došlo k vypadnutí předního bočního okna (u řidiče) z jeho výsuvného mechanismu. To bylo v průběhu testu otevřené a vlivem sil působících na vypadnuté sklo při nárazu došlo k jeho částečnému vysunutí, nikoli však k úplnému vypadnutí ze dveří vozidla.

Celková deformace přední části vozidla byla 508 mm. Posun předního levého kola směrem k interiéru vozidla činil 64 mm. Výsledné deformace karoserie jsou patrné z fotografií na obrázku 27.

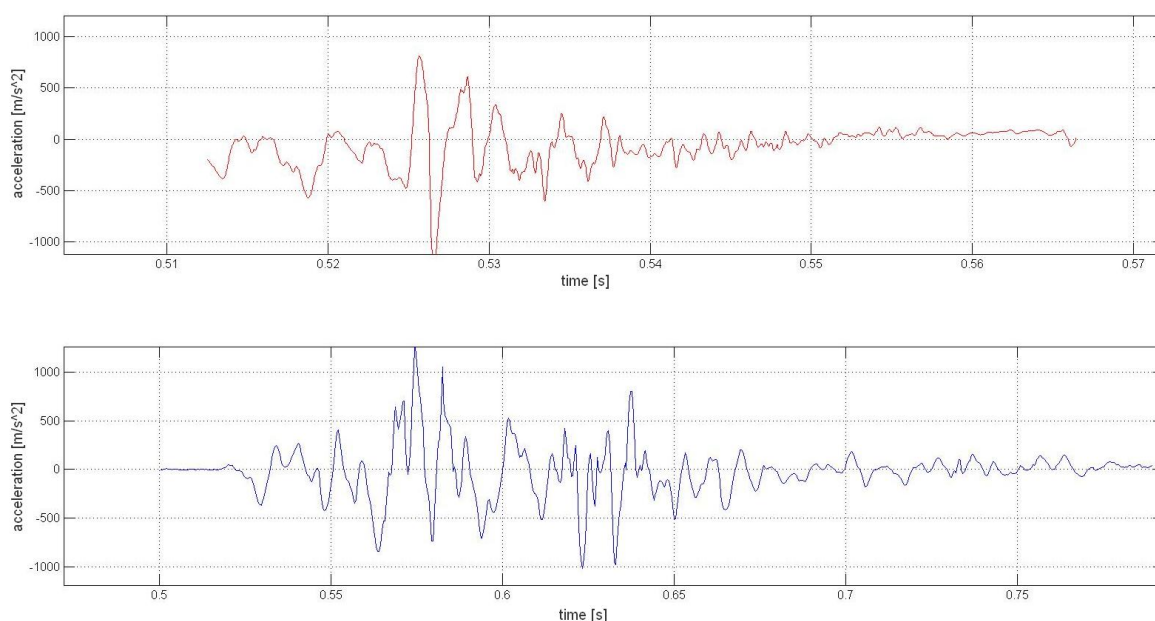


Obr. 27: Finální pozice po nárazu a výsledné deformace karoserie zkušební vozidla

8.2.2.1. Zkouška jednotky eCall

Během testu byla ve vozidle umístěna vývojová palubní jednotka systému eCall, popsaná v kapitole 8.1.3. Jednotka byla umístěna na středovém tunelu vozidla přibližně ve stejné ose s jednoosým akcelerometrem snímajícím podélnou akceleraci karoserie vozidla.

Z hlediska bezpečnosti je důležité, aby nedošlo ke zničení jednotky během nárazu a proto by měla být v místech, kde je nízká pravděpodobnost deformace karoserie. Z hlediska bezpečnosti jednotky je optimální umístění právě v místech středového tunelu vozidla. [40] Při nárazovém testu jednotka detekovala náraz a zahájila tísňové volání. Zároveň byl zaznamenán průběh zrychlení měřený jednotkou. Porovnání podélných zrychlení vozidla naměřených jednotkou eCall a jednoosým akcelerometrem na karoserii, je uvedeno v grafu na obrázku 28.



Obr. 28: Průběh zrychlení karoserie vozidla měřený akcelerometrem (průběh nahoře) a jednotkou eCall (průběh dole)

Z grafů je zřejmá podobnost naměřených průběhů, avšak jak je také patrné, jednotka zaznamenala vyšší špičkové hodnoty akcelerace oproti akcelerometru. To může být způsobeno vlivem menší pevnosti v uchycení jednotky ke karoserii vozidla, oproti akcelerometru. Vzniklé vibrace mohou být důsledkem většího měřeného zrychlení. Menší přesnost jednotky může být také zapříčiněna vlivem nižší vzorkovací frekvence oproti měřící aparatuře, kde přesnost odpovídá požadavkům předpisu EHK/OSN 94. Avšak jak potvrdilo měření, pro stanovení vzniku dopravní nehody na základě aktuální hodnoty zrychlení je vzorkovací frekvence jednotky dostatečná.

8.2.3. Nárazový test vozidla Škoda Fabia do pevné bariéry

Výsledky tohoto testu jsou převzaty z jiných zdrojů (interní zpráva o testu) a do této práce byl zahrnut vzhledem k jeho podobnosti s testem popsáným v kapitole 8.2.2 a vhodnosti využití získaných dat v této kapitole. Jedná se o test čelním nárazem do tuhé bariéry v nárazové rychlosti $50,77 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Bariéra se svými parametry shoduje s bariérou popsanou v kapitole 8.2.2. Zkušebním vozidlem pro tento test bylo vozidlo Škoda Fabia 1,4 MPI, typ karoserie hatchback. Vozidlo bylo osazeno dvěma figurínami, figurínou Hybrid II sedící na místě řidiče a figurínou Manikin (popis viz kapitola 8.1.2) sedící na místě spolujezdce. Dále bylo vybaveno airbagem řidiče a bezpečnostními pásy s předepínačem, které byly během testu aktivní. Vozidlo bylo vybaveno akcelerometrem měřícím zrychlení v ose X vozidla (dle ISO 4130), který byl umístěn na tunelu vozidla mezi ruční brzdou a řadící pákou, tedy přibližně v místě jeho těžiště. V případě obou zkušebních figurín bylo třísóým akcelerometrem měřeno zrychlení působící v hlavě. Na obrázcích 29 jsou uvedeny fotky vozidla před nárazem a po nárazu, kde je patrná vzniklá deformace karoserie, jejíž maximální hodnota byla 0,447 m.



Obr. 29: Stav zkušebního vozidla Škoda Fabia 1,4 MPI před nárazem (vlevo) a po nárazu (vpravo)

8.2.4. Charakteristika čelního nárazu do tuhé bariéry – deformace karoserie

Při čelním nárazu vozidla dochází k pohlcení jeho kinetické energie deformací přední částí vozidla (tzv. přední deformační zónou), která je u vozidel s motorem vpředu tvořena motorovým prostorem. Při nárazu dochází jak k elastickým, tak také plastickým deformacím

jednotlivých struktur karoserie. Elastická složka v průběhu deformace karoserie by však měla být omezena na tolik, aby tzv. koeficient restituace ε nepřesáhl hodnotu 0,1. Tento koeficient hodnotí velikost elastické složky karoserie, která má vliv na zpětný pohyb vozidla při nárazu. Zpětný pohyb pak zapříčiňuje vyšší hodnoty přetížení, které během nárazu působí na posádku vozidla, což má vliv na její případná poranění. Koeficient restituace je stanoven z nárazové rychlosti vozidla a rychlosti odrazu podle vzorce 4.

$$\varepsilon = \frac{v_{odr}}{v_0} \leq 0,1, \quad (4)$$

kde: ε koeficient restituace [-],
 v_{odr} rychlost odrazu vozidla [$m \cdot s^{-1}$],
 v_0 nárazová rychlost [$m \cdot s^{-1}$].

Přeměna energie při nárazu vychází ze základní energetické rovnice podle vzorce 5

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \int_0^{\xi_{max}} F d\xi, \quad (5)$$

kde: m hmotnost vozidla [kg],
 v nárazová rychlost [$m \cdot s^{-1}$],
 F deformační síla [N],
 ξ deformace karoserie [m].

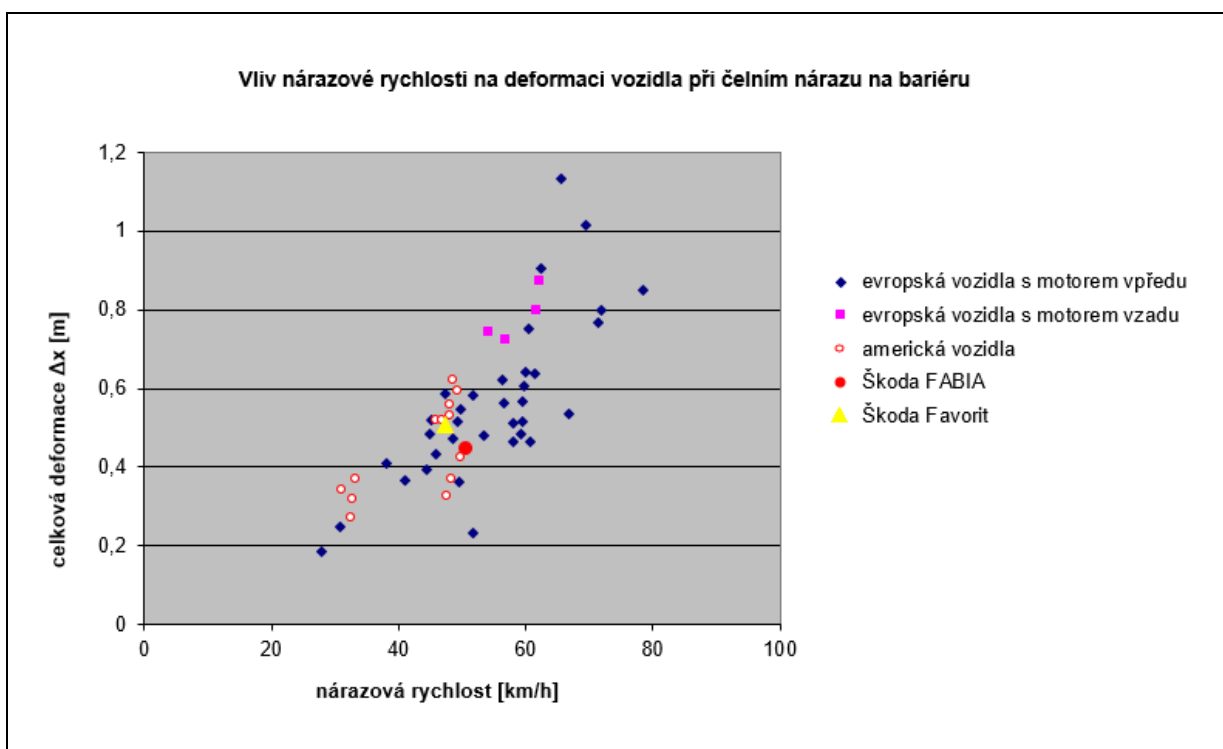
Při nárazu vozidla do tuhé bariéry je velikost jeho deformace rovna posunu nedeformované části karoserie. Pohybová rovnice vozidla pro tento případ je uvedena ve vzorci 6.

$$m \cdot x + F = 0 \quad (6)$$

kde: m hmotnost vozidla [kg],
 x dráha vozidla rovna velikosti deformace [m],
 F deformační síla [N].

V průběhu nárazu dochází nejprve k deformaci nárazníku a dále pak, při větších deformačních silách vyplývajících z větší nárazové rychlosti, k deformaci podélných nosníků. Síla působící během nárazu na kabinu vozidla závisí hlavně na průběhu deformace nosníků.

Kabina vozidla, počínaje „A“ sloupkem vozidla, představuje prostor pro přežití posádky. Tento prostor by neměl být při nárazu deformován, ani by nemělo dojít k vniknutí pevných částí karoserie do něj. V grafu obrázku 30 je uveden vliv nárazové rychlosti na velikosti deformace karoserie. Graf obrahuje kromě evropských vozidel také vozidla americká, která se zpravidla vyznačují vyšší hmotností. Dále byla do grafu zahrnuta vozidla z nárazových testů popsaných v kapitolách 8.2.2 a 8.2.3. Tyto vozidla jsou označena zvláště, ačkoliv spadají do skupiny evropských vozidel s motorem vpředu.



Obr. 30: Vliv nárazové rychlosti na deformaci vozidla při čelním nárazu do bariéry

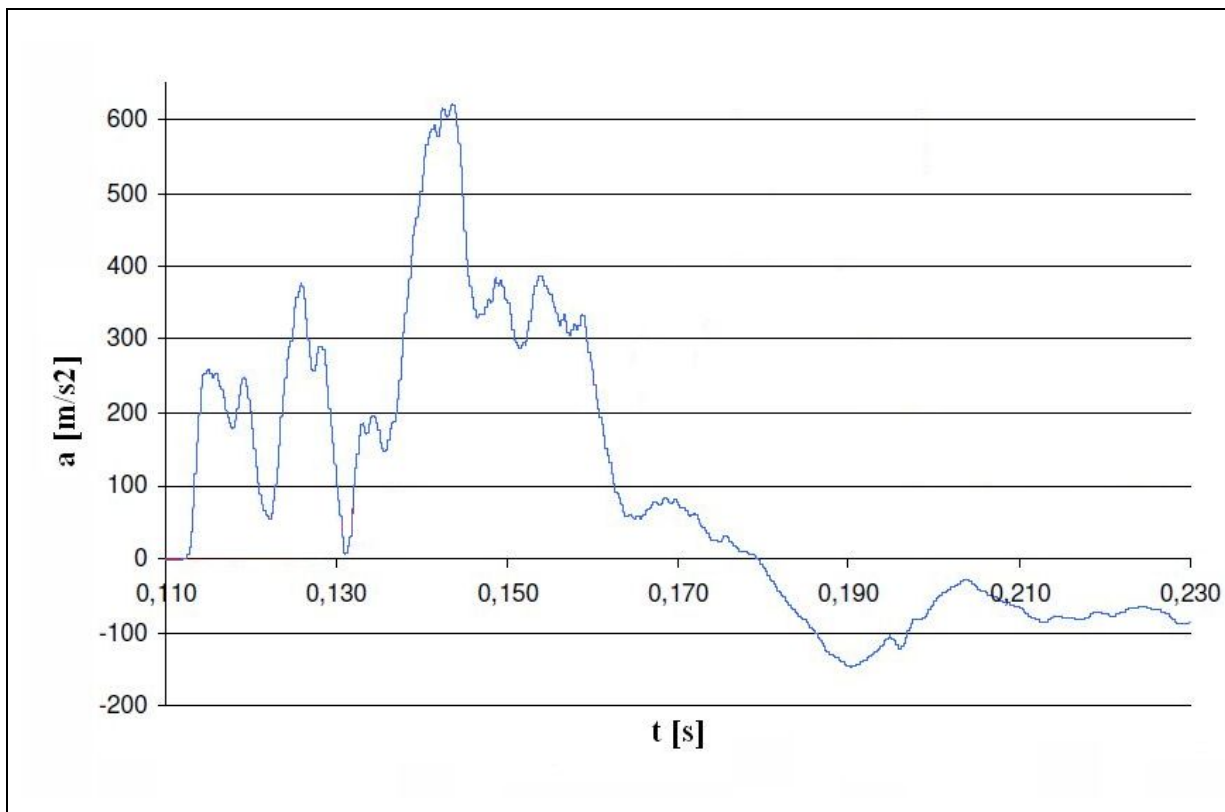
Jak je patrné z grafu na obrázku 30, velikost deformace přední části karoserie vozidel Škoda Fabia i Škoda Favorit se pohybuje v oblasti vysoké četnosti hodnot vozidel s motorem vpředu, do které tyto vozidla také spadají. U vozidla Škoda Fabia je také patrná menší deformace karoserie při vyšší nárazové rychlosti oproti vozidlu Škoda Favorit. Jelikož se jedná o novější vozidlo, které je navíc vybaveno dalšími prvky pasivní bezpečnosti (airbag a

předepínač bezpečnostního pasu), nemusí se tento parametr nutně projevit jako zhoršení výsledku z hlediska výsledného namáhání posádky a jejich případných poranění. V tabulce 7 je uveden přehled některých veličin měřených při nárazových testech obou vozidel.

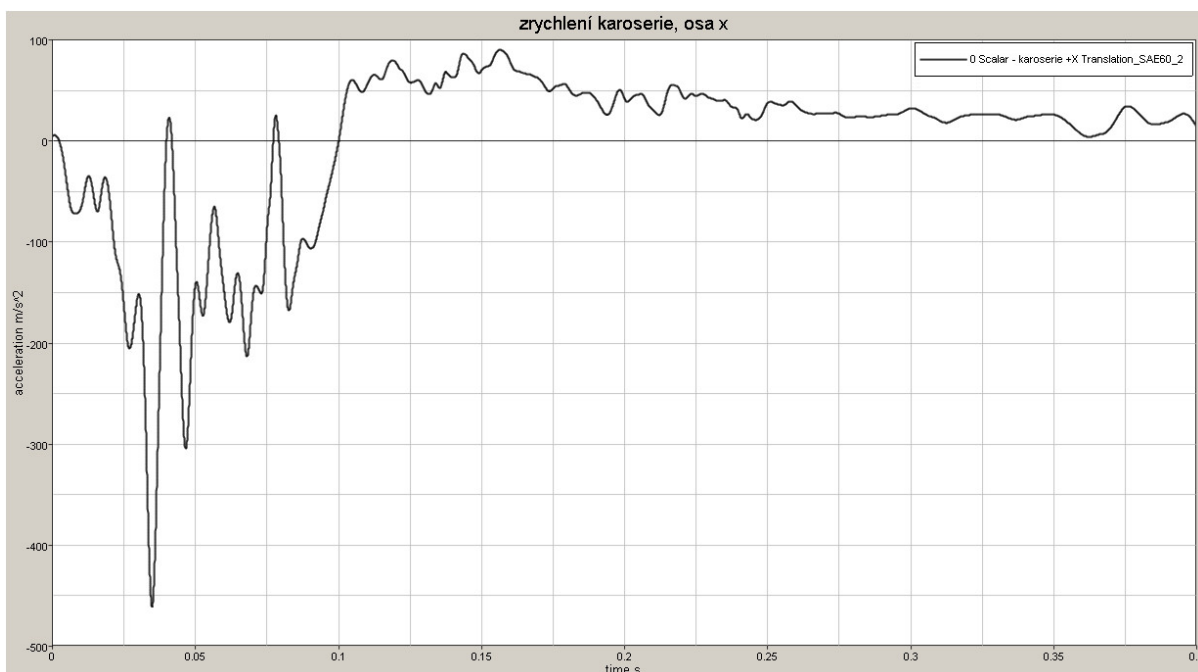
Vozidlo	Škoda Fabia	Škoda Favorit
Nárazová rychlost v_0 [km·h ⁻¹]	50,77	47,3
Kinetická energie E_k [kJ]	120,1	80,01
Maximální deformace ξ [m]	0,447	0,508
Doba deformace t [ms]	60	46
Maximální zrychlení a_{\max} [g]	62	46,7

Tab. 7: Přehled parametrů a měřených veličin vozidel při nárazu do tuhé bariéry

Jak je z uvedené tabulky patrné, kinetická energie vozidla Škoda Fabia byla oproti druhému vozidlu o polovinu vyšší. To je dáno jednak vyšší nárazovou rychlostí tohoto vozidla, ale také jeho vyšší hmotností. Tato energie je pak při nárazu zmařena deformací deformační zóny. I přes to však byla maximální deformace nižší, oproti vozidlu Škoda Favorit a zrychlení karoserie měřené v ose X větší o téměř 16 g. Průběhy zrychlení obou vozidel jsou pak uvedeny v grafech na obrázcích 31 a 32. Jedná se o zrychlení měřená v ose X vozidla. Dále byla ze záznamu rychlokamery určena celková doba trvání deformace, jejíž zvyšující se délka má pozitivní vliv na výsledné přetížení posádky. Celková doba deformace byla u vozidla Škoda Fabia delší o téměř 14 ms.



Obr. 31: Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Fabia při čelním nárazu (použití filtru CFC 60)



Obr. 32: Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Favorit při čelním nárazu (použití filtru CFC 60)

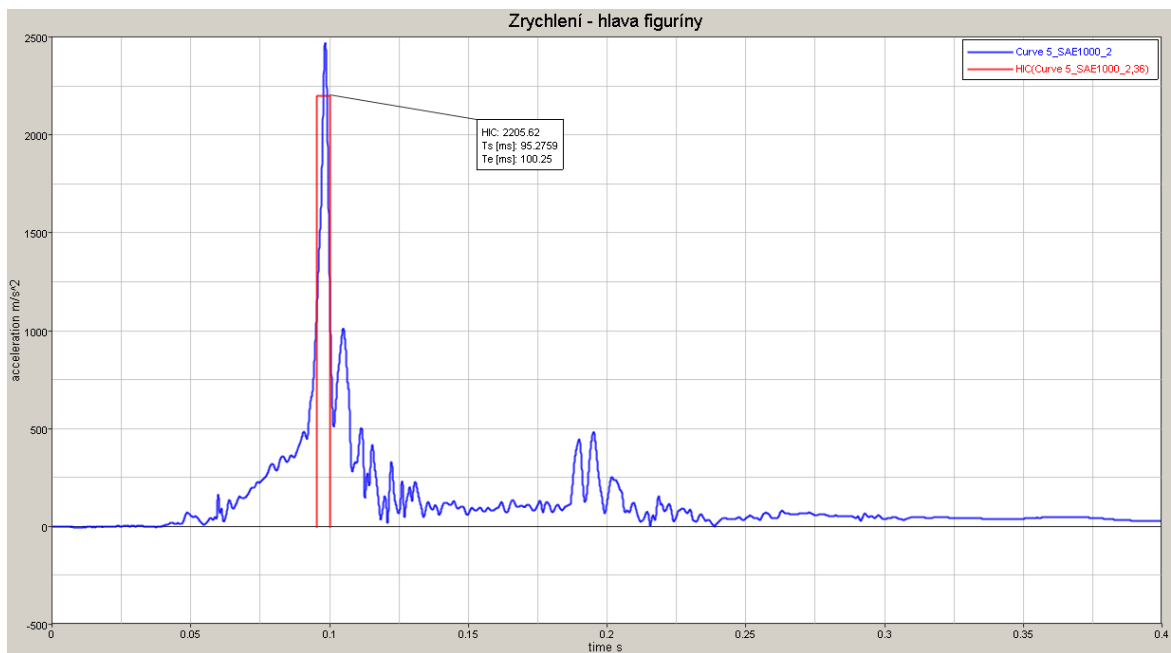
8.2.5. Hodnocení měřeného zrychlení na figurínách

V této podkapitole jsou srovnány průběhy akcelerace naměřené v hlavách figurín při testech čelním nárazem vozidla do bariéry. Jak zde již bylo zmíněno, vozidla byla různě vybavena prvky pasivní bezpečnosti. Vozidlo Škoda Favorit bylo vybaveno pouze bezpečnostním pasem s navijákem a vozidlo Škoda Fabia bylo vybaveno airbagem řidiče a bezpečnostními pasy s navijákem a předepínačem. Na následujících obrázcích je uveden přehled průběhů akcelerací na jednotlivých figurínách společně s hodnotou a časovým intervalem HIC kritéria.

Z grafů na obrázcích 33 a 34, kde jsou uvedeny průběhy zrychlení působícího v hlavě řidičů během nárazu, je patrný vliv airbagu na ochranu posádky vozidla. Hodnota HIC kritéria řidiče vozidla bez airbagu je $HIC_{15} = 2205,62$, tedy více jak dvojnásobná oproti limitní hodnotě, jejíž velikost je 1000. Při tomto nárazu navíc došlo ke kontaktu hlavy figuríny s volantem, což se projevilo na špičkové hodnotě křivky akcelerace a větší výsledné hodnotě HIC kritéria. Vliv airbagu je patrný u vozidla s airbagem, kde výsledná hodnota HIC kritéria byla $HIC_{36} = 302,94$. Zde navíc aktivovaný airbag řidiče ochránil před případným kontaktem hlavy s volantem, zabránil tak vzniku případných vážných poranění hlavy.

Další srovnatelná situace je v případě figurín vozidla Škoda Fabia, kde figurína řidiče byla, oproti figuríně spolujezdce při nárazu chráněna čelním airbagem. Naměřený průběh celkového zrychlení v hlavě figuríny spolujezdce je uveden na obrázku 35, jeho maximální hodnota byla 26 g. Během nárazu nedošlo ke kontaktu hlavy figuríny s pevnými částmi interiéru, výsledná hodnota HIC kritéria v tomto případě vyšla $HIC_{36} = 4139,28$. Z hlediska ochrany posádky ostatními prvky pasivní bezpečnosti by v tomto případě byla ochrana osob srovnatelná, jelikož se jednalo o náraz celou čelní plochou vozidla, kdy deformace podélných nosníků čelní deformační zóny byly téměř totožné, dá se předpokládat podobná velikost akcelerace působící na obě figuríny během nárazu.

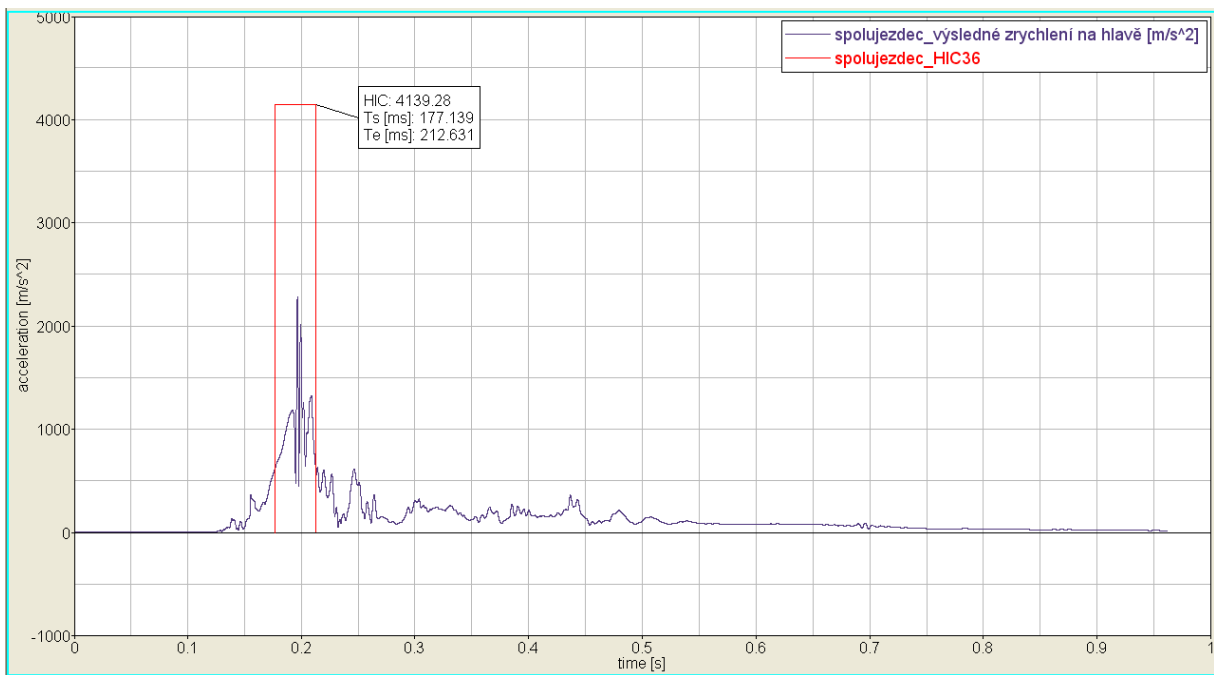
V případě hodnocení následků nárazu jednotkou eCall na základě naměřených akcelerací karoserie, je proto nutné vliv airbagu do odhadu následků zahrnout. Vzhledem k plánovanému propojení systému eCall s ostatními prvky pasivní bezpečnosti vozidla, které je dáno na základě legislativních předpisů vztahujících se k systému eCall, by informace o použití airbagu měla být pro jednotku eCall volně dostupná.



Obr. 33: Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Favorit - bez airbagu (použit filtr CFC 1000)



Obr. 34: Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Fabia - airbag volantu (použit filtr CFC 1000) [20]



Obr. 35: Průběh zrychlení hlavě figuríny spolujezdce vozidla Škoda Fabia - bez airbagu (použit filtr CFC 1000) [20]

8.3. Problematika převrácení vozidla

Jedním ze specifických typů dopravních nehod je převrácení vozidla. Tento typ nehody je normou ISO 6813 klasifikován jako nekolizní, není-li současně doprovázen nárazem do jiného vozidla nebo překážky. Z hlediska převrácení silničních vozidel evropské předpisy stanovují pouze test převrácení autobusu (předpis EHK/OSN 66), který je nutný k prokázání dostatečné pevnosti karoserie s ohledem na ochranu cestujících. Testování převrácení osobních automobilů v rámci homologačních zkoušek není v Evropské unii legislativně předepsáno. I přesto tento typ dopravní nehody může působit vážnější riziko, a to spíše z hlediska zaklínění osob ve vozidle. U tohoto typu dopravní nehody je navíc vysoká pravděpodobnost, že se vozidlo ve své finální poloze po nehodě ocitne mimo pozemní komunikaci.

Parametry dopravní nehody převrácení vozidla byly zjišťovány pomocí provedených, níže popsaných testů.

8.3.1. Test převrácení vozidla Škoda Octavia

Test převrácení vozidla se uskutečnil na zkušebním svahu pro dynamické zkoušky převrácení traktorů. Délka svahu od horní hrany činí 4,2 m a jeho šířka ve vodorovné rovině je 5 m. Nad zkušebním svahem je vodorovná plošina tvořená betonovou deskou, na kterou je do počáteční pozice umístěno zkušební vozidlo, které je z ní pak svrženo na svah. Povrch zkušebního svahu je tvořen kyprou zeminou bez travnatého porostu. Pod svahem vede betonová odvodňovací strouha, za kterou následuje rovná plocha pokrytá zpevněným živičným povrchem. Zkušební svah, na kterém byl experiment uskutečněn společně se zkušebním vozidlem ustaveným do výchozí polohy před testem, je znázorněn na obrázku 36. Na svah bylo vozidlo svrženo pomocí vysokozdvížného vozíku, a to překlopením přes jeho levý bok na střechu.



Obr. 36.: Zkušební svah použitý pro test převrácení vozidla

Pro experiment bylo použito zkušební vozidlo Škoda Octavia comby, 1,9 TDI, kategorie M1. V automobilu byla na sedadle řidiče umístěna figurína Manikin, která je popsána v kapitole 8.1.2. Ta byla připoutaná tříbodovým bezpečnostním pasem a vybavena jednoosým snímačem zrychlení umístěným v hlavě. Na levém zadním sedadle byla v dětské autosedačce umístěna dětská figurína typu P3 o hmotnosti 15 kg.

Při testu byla použita dětská sedačka skupin 0, I od japonského výrobce LEAMAN Co., Ltd.:

- typ LYE-511, výr. č. D007102
- hmotnost 6,6 kg,

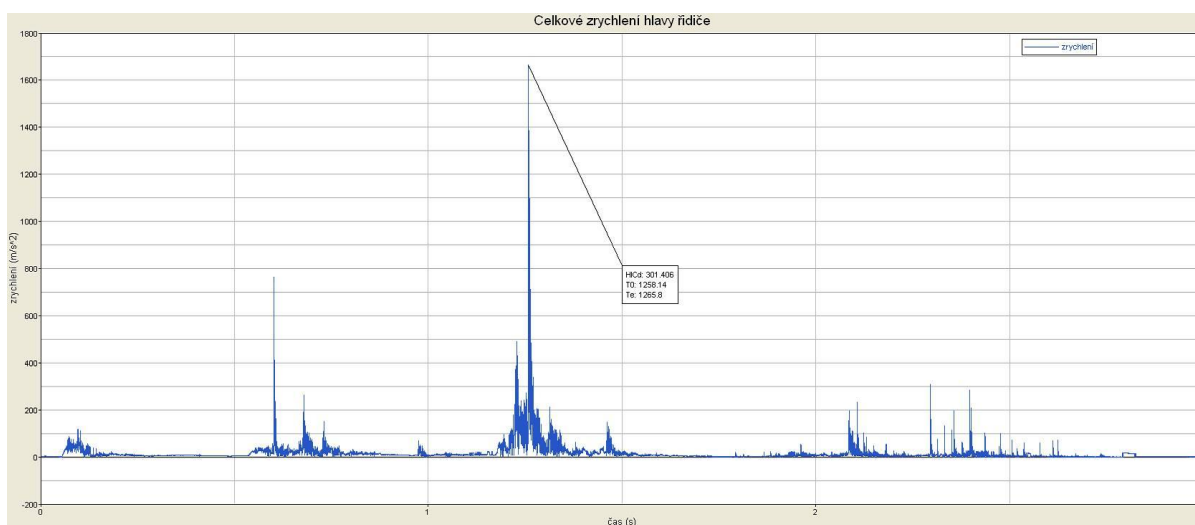
Pro měření průběhu zrychlení byla použita měřicí technika Brüel&Kjaer popsaná v kapitole 8.1.1.



Obr. 37: Výsledná deformace vozidla Škoda Octavia comby po převrácení

Při převrácení vozidla na střechnu došlo k částečnému promáčknutí pravého „A“ sloupku směrem do interiéru vozidla. Následným dopadem na kola a vzniklým rázem byla prohnuta karoserie vozidla doleva, ve směru rotace. Výsledná deformace karoserie automobilu je patrná z obrázku 37. Při tomto testu nebyla deformace karoserie tak velká, aby došlo k vniknutí pevných částí do prostoru pro přežití. Avšak vlivem pružnosti bezpečnostního pasu a neaktivnímu předepínači bezpečnostních pasů došlo při převrácení vozidla na střechnu k částečnému posunu figuríny v sedadle řidiče a následně pak ke kontaktu hlavy se stropem vozidla. V interiérové části vozu došlo k uvolnění stropní lampičky, která po uvedení vozidla do klidu zůstala viset na přívodním kabelu. Z kamerových záznamů z interiéru vozidla je však patrné, že během pádu nedošlo ke kontaktu lampičky

s hlavou figuríny. Ze záznamů kamer umístěných v interiéru vozidla je také patrné, že dítě umístěné v dětské autosedačce nebylo při převrácení vozidla nijak ohroženo. Na obrázku 38 je uveden průběh celkového zrychlení v hlavě figuríny měřený během testu převrácení. Výsledná hodnota HIC kritéria byla při tomto testu $HIC_{15} = 301,4$. Jak je z grafu patrné, interval pro toto kritérium je v oblasti největšího zrychlení, které bylo způsobeno nárazem hlavy figuríny o strop automobilu.



Obr. 38: Průběh celkového zrychlení v hlavě řidiče při převrácení vozidla

8.3.2. Test převrácení vozidla Škoda Favorit

Druhý test převrácení vozidla byl proveden s vozidlem Škoda Favorit 135 GLX, roku výroby 1993. Celková hmotnost automobilu (s figurínami) byla 870 kg. Parametry testu a místo jeho provedení jsou totožné s testem převrácení vozidla, který byl popsán v kapitole 8.3.1. Počáteční pozice vozidla před testem, společně se zkušební svahem je patrná z obrázku 39. Tomuto testu odpovídá také osazení vozidla figurínami, které je patrné na obrázku 40.



Obr. 39: Počáteční poloha vozidla Škoda Favorit před testem převrácení

Ve zkušebním vozidle byla na sedadle řidiče umístěna figurína Manikin, která je popsána v kapitole 8.1.3. Ta byla připoutaná tříbodovým bezpečnostním pasem a vybavena jednoosým snímačem zrychlení umístěným v hlavě. Na zadním sedadle byla v dětské autosedačce umístěna dětská figurína typu P3 o hmotnosti 15 kg.



Obr. 40: Umístění zkušebních figurín při testu převrácení

Při převrácení vozidla na střechu došlo k částečnému promáčknutí pravého A - sloupku vozidla a k deformaci přední části střechy směrem do interiéru. Následkem toho

došlo k vypadnutí předního okna vozidla. Následným dopadem na kola a vzniklým rázem byla prohnuta karoserie vozidla doleva, ve směru rotace. Po konečném převrácení vozidla na bok již nebyla konstrukce vozidla nijak deformována. Výsledná deformace karoserie automobilu je patrná z obrázků 41. V kritickém bodě činí promáčknutí střechy 10 cm. Pravý „A“ sloupek byl ohnut o 7 cm směrem do interiéru vozidla (měřeno u horní hrany sloupku). Levý „A“ sloupek byl ohnut o 5,5 cm.

Během převrácení vozidla nedošlo k vniknutí pevných částí do prostoru pro přežití, a to ani vlivem deformace karoserie. Figurína řidiče se v průběhu převrácení pohybovala pouze kývavě ve směru osy Y (dle ISO 4130), jak bylo zjištěno vyhodnocením kamerového záznamu z interiéru vozidla. Ze záznamu je také patrné, že autosedačka, ve které byla umístěna figurína dítěte, se při převrácení vozidla na střechu částečně posunula vlivem odvinutí bezpečnostního pásu, avšak bezpečnost dítěte by v tomto případě nebyla ohrožena.



Obr. 41.: Finální poloha a deformace vozidla po testu

8.3.3. Souhrnné zhodnocení problematiky převrácení vozidla

Podle poznatků z provedených testů převrácení vozidla, není při použití zádržných systémů posádkou vozidla tento typ nehody tolik nebezpečný, jako náraz vozidla do překážky. Výsledná hodnota kritéria poranění HIC vyšla pod limitní hodnotou a posádka by při podobném typu dopravní nehody pravděpodobně neutrpěla žádná vážná poranění. Přesto však ke vzniku poranění může dojít, buď kontaktem hlavy s interiérem vozidla, nebo od volně uložených předmětů v kabině vozidla, které se během jeho převrácení samovolně

pohybují v prostoru kabiny. Pokud nejsou cestující připoutáni bezpečnostním pasem, dochází k jejich pohybu po kabině a zvyšuje se tak riziko vzniku jejich závažnějších poranění. Navíc v tomto případě hrozí jejich vypadnutí z vozidla a následný vznik těžkých poranění pádem pod vozidlo. Během převrácení vozidla mohou také nastat deformace na karoserii, které by znemožnily otevření některých dveří. Z hlediska bezpečnosti posádky je proto důležité, aby bylo převrácení vozidla vyhodnocováno systémem eCall jako důvod k zahájení tísňového volání, a to i v případě, že vozidlo ve své konečné poloze po kolizi zůstane stát opět na kolech nebo během převrácení nedojde k překročení limitních hodnot signálů měřených nárazovými senzory, které systém eCall pro inicializaci volání využívá. Předchází-li převrácení vozidla náraz do překážky, zahájí jednotka eCall nouzové volání na základě signálů z nárazových senzorů a senzorů zrychlení. Je však nutné, aby bylo volání spuštěno také v případě, kdy k nárazu nedojde, například sledováním bočního náklonu vozidla pomocí gyroskopického senzoru.

8.4. Nekompatibilní nárazy

Pod pojmem nekompatibilní nárazy jsou zahrnuty typy nehod, při nichž dochází ke kolizi „nerovnocenných“ kolizních partnerů, zvláště vozidel s velkým rozdílem hmotností. Lze sem zařadit například kolize osobních automobilů s nákladními vozidly, dále pak se zemědělskými a pracovními stroji nebo také kolize s kolejovými vozidly. Charakteristikou takovýchto nárazů je kromě velkého rozdílu hmotností kolizních objektů také jejich rozdílná výška a tuhost konstrukce (karoserie).

U nákladních vozidel je nekompatibilita částečně eliminována ochrannými rámy proti jejich podjetí, které jsou dány předpisy EHK/OSN 58, 73 a 93. Tyto rámy mají za úkol při střetu zabránit vklínění osobního vozidla pod nákladní. Ochranné rámy proti podjetí jsou umístěny ve výšce nárazníku osobního automobilu, aby byla pro pohlcení kinetické energie využita také deformační zóna osobního automobilu.

Velice nebezpečné jsou z hlediska následků střety silničních a kolejových vozidel, zvláště pak střet osobního vozidla s vlakem. Vlakové soupravy se mnohdy pohybují vyšší jízdní rychlostí oproti městským kolejovým vozidlům, což má, vzhledem k velké kinetické energii, značný vliv na závažnost následků kolize. Z těchto nehod je nejčastější boční náraz,

kdy vlak narazí do boku automobilu, což je dáno situováním železničních přejezdů, kde k těmto nehodám dochází. Vlivem velké tuhosti konstrukce kolejového vozidla a velkým rozdílem hmotností dochází k veškerým deformacím na karoserii osobního vozidla. Při tomto typu nehod bývá u osobního vozidla často narušen prostor pro přežití, čímž je zvýšeno riziko poranění posádky vozidla. Velké nebezpečí pak představují nárazníky a spřáhlo vlaku, protože jejich výška odpovídá horní polovině kabiny osobního vozidla a může tak dojít k jejich průniku oknem do vnitřku kabiny a následně k přímému kontaktu s posádkou. Charakteristická je zde také dlouhá brzdná dráha vlaku, ovlivněná především nízkým součinitelem adheze kolejového vozidla, jejíž hodnota pro suchý povrch je 0,4. Po nárazu proto dochází k dlouhému sunutí automobilu před vlakem, které může být navíc doprovázeno zaseknutím automobilu o členitý povrch kolejového svršku (pražce), následkem čehož může dojít k jeho zaklínění pod kolejové vozidlo, což má také negativní vliv na případné následky kolize.

Mezi nekompatibilní nárazy patří také střet osobního automobilu s traktory, zemědělskými a pracovními stroji. Charakteristická je zde vysoká hmotnost těchto strojů vzhledem k osobnímu automobilu a jejich absence deformačních zón. Veškerá kinetická energie je proto většinou pohlcena deformačními zónami karoserie automobilu. Nevýhodou je také velká výška těchto strojů, která může zapříčinit zaklínění osobního vozidla pod zemědělský stroj a zároveň nevyužití deformačních zón.

8.5. Provedené testy s nekompatibilními nárazy

Pro ověření následků kolize nekompatibilních nárazů byly použity dvě série testů, které byly zaměřeny na problematiku kolize kolejového vozidla s osobním automobilem. První série tří nárazových zkoušek byla provedena při větších nárazových rychlostech (25 až $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), druhá série dvou nárazových zkoušek pak při nižší nárazové rychlosti (do $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Parametry těchto testů a jejich popis jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

8.5.1. První série testů kolize kolejového vozidla a osobního automobilu

Experiment se skládal ze série tří nárazových zkoušek konaných dne 6. 5. 2010. Místem konání testu byl železniční přejezd na železniční vlečce v areálu ČKD Kutná Hora, a.s. Povrch železničního přejezdu byl tvořen dlažbou (kočičí hlavy), která byla v době konání testu pokryta vrstvou mokrého bláta. Kolejiště mimo přejezd bylo vysypáno štěrkem prorostlým trávou. Okolí kolejiště bylo pokryto souvislým travnatým porostem.

Vlakovou soupravu tvořila motorová jednotka řady 850 (zkušební vůz) určená pro samotný náraz a lokomotiva řady 726, která motorovou jednotku tlačila. Zkušební vůz používaný pro náraz byl pro všechny tři provedené testy stejný. Z jedné jeho strany byl namontován ochranný pluh, zabraňující zaklínění vozidla pod vlak. Během testu byl pak náraz vlaku veden oběma stranami zkušebního vozu, tedy jak stranou s ochranným pluhem, tak také bez něj. Silniční vozidla byla postavena na železniční přejezd příčně a byla vystředěna podle kolejiště, takže náraz byl situován souměrně do strany vozu. Vzhledem k nemožnosti přesného nastavení rychlosti vlaku byl vždy předem určen interval požadované nárazové rychlosti, ve kterém se rychlost vlakové soupravy při nárazu měla pohybovat.

Všechna experimentální silniční vozidla byla během testu vybavena zkušební figurínou popsanou v kapitole 8.1.2 umístěnou na sedadle řidiče. Figurína byla osazena tříosým snímačem zrychlení v hlavě a jednoosým snímačem v hrudníku.

8.5.1.1. První nárazový test – Škoda Favorit

Pro první test byl jako zkušební vozidlo použit automobil Škoda Favorit. Náraz byl situován na levou stranu vozidla (ze strany řidiče). Stav automobilu po provedení nárazového testu je patrný z obrázku 42.

Podmínky prvního testu:

- předpokládaná nárazová rychlost: 25 až 30 km·h⁻¹,
- skutečná nárazová rychlost: 29,3 km·h⁻¹,
- použití ochranného pluhu: ano,

- figurína umístěna na sedadle řidiče, připoutána samonavíjecím bezpečnostním pasem,
- povětrnostní podmínky: mírný déšť,
- stav povrchu: mokrý, podmáčené podloží.



Obr. 42: Zkušební vozidlo (Škoda Favorit) po prvním testu

Při tomto experimentu, kdy byl náraz vlaku situován do levé strany automobilu, došlo k deformaci celé levé části vozidla. Během nárazu byl levým nárazníkem vlaku deformován „A“ sloupek směrem do interiéru vozidla. Došlo také k částečné destrukci přístrojové desky, což však v tomto případě nemělo vliv na bezpečnost řidiče. Prostor pro přežití zůstal zachován a nedošlo k vniknutí tuhých částí karosérie do něj. Při nárazu došlo k částečnému proniknutí pravého nárazníku vlaku do okna zadních dveří, v místech levého zadního sedadla. V případě obsazení tohoto sedadla cestujícím by tak patrně došlo ke kontaktu hlavy s nárazníkem vlaku, což by ve svém důsledku mělo zásadní vliv na závažnost jeho případných zranění. Dále došlo k deformaci zadních dveří do prostoru pro cestující vlivem nárazníku vlaku. V důsledku toho bylo ohnuto opěradlo levého zadního sedadla a narušen prostor pro přežití na tomto místě. Závažnost poranění řidiče byla hodnocena pomocí HIC kritéria počítaného z celkového zrychlení v hlavě, jehož výsledná hodnota byla $HIC = 1131$ a pomocí 3ms kritéria stanoveného ze zrychlení hrudníku které vyšlo 27,3 g.

8.5.1.2. Druhý nárazový test – Škoda Favorit

Při druhém nárazovém testu byl použit automobil Škoda Favorit, přičemž náraz byl situován na jeho levou stranu (ze strany řidiče). Stav automobilu po provedení nárazového testu je patrný z obrázku 43.

Podmínky testu:

- předpokládaná nárazová rychlost: 25 až 30 km·h⁻¹,
- skutečná nárazová rychlost: 25,3 km·h⁻¹,
- použití ochranného pluhu: ne,
- figurína umístěna na sedadle řidiče, připoutána samonavíjecím bezpečnostním pasem,
- povětrnostní podmínky: zataženo, bez deště,
- stav povrchu: mokrý, podmáčené podloží.



Obr. 43: Zkušební vozidlo (Škoda Favorit) po druhém testu

U druhého testu byla deformace karoserie automobilu oproti testu prvnímu větší, jak je patrné z fotografie na obrázku 43. Náraz byl opět veden z levé strany automobilu a došlo při něm k celkové její destrukci. Při nárazu došlo k částečnému posunutí „A“ sloupku levým nárazníkem vlaku směrem do interiéru vozidla. Zároveň byly deformovány oboje

dveře na straně nárazu a došlo k ohnutí levého „B“ sloupku. Při nárazu došlo k promáčknutí dveří do prostoru pro cestující. Osoby sedící na levých sedadlech vozu by se tak dostaly do kontaktu s nimi. Zároveň byl narušen prostor pro nohy u míst v levé části vozu (místo řidiče a spolujezdce sedícího za ním). V důsledku deformace „A“ sloupku došlo také k destrukci přístrojové desky a k posunutí volantu vpravo (při pohledu z místa řidiče) Na narušení prostoru pro přežití to však nemělo vliv, mohlo by tím však dojít k ohrožení spolujezdce sedícího na předním sedadle vedle řidiče. Při nárazu došlo ke zborcení zadních sedadel, což má zásadní vliv na bezpečnost cestujících na nich přepravovaných. Pravý nárazník vlaku částečně zasahoval do okna levých zadních dveří, a proto je možné, že by při nárazu došlo ke kontaktu hlavy cestujícího sedícího na místě za řidičem s tímto nárazníkem. Zranění tohoto pasažéra by pak byla velmi těžká nebo i smrtelná. Stanovené hodnoty biomechanických kritérií hlavy a hrudníku řidiče automobilu byly $HIC = 469$ a $3ms = 24,4 g$.

Při druhém testu je z hlediska celkové deformace karosérie výsledek nárazu horší, než u testu prvního. Jelikož u druhého testu byl náraz vlaku veden ze strany bez ochranného pluhu, automobil se v tomto případě více namáčkl na čelo vlaku, kde se pak kromě nárazníků dostal také do kontaktu se spřáhlem. U prvního testu došlo k opření levého prahu automobilu o ochranný pluh vlaku, tím byl tlačěn ve vodorovnější poloze, kola se tolik nezarávala do povrchu kolejiště, což způsobilo menší suvný odpor. Díky tomu byl výsledek prvního testu oproti druhému lepší a to i přesto, že nárazová rychlost při něm byla vyšší.

8.5.1.3. Třetí nárazový test – Škoda Superb

Při třetím nárazovém testu byl použit automobil Škoda Superb. Na železničním přejezdu byl ustaven tak, aby byl náraz vlaku situován na pravou stranu automobilu (ze strany spolujezdce), Během experimentu byla ve vozidle umístěna zkušební jednotka eCall. Stav automobilu po provedení nárazového testu je patrný z obrázku 44.

Podmínky testu:

- předpokládaná nárazová rychlost: 45 až $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,
- nárazová rychlost: $47,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$,
- použití ochranného pluhu: ano,

- figurína umístěna na sedadle řidiče, připoutaná samonavíjecím bezpečnostním pasem,
- povětrnostní podmínky: zataženo, bez deště,
- stav povrchu: suchý, podmáčené podloží.



Obr. 44: Zkušební vozidlo (Škoda Superb) po třetím testu

Při třetím experimentu došlo ke zborcení celé pravé strany kabiny automobilu, kam byl směřován náraz vlaku. Pevné části karosérie tak vnikly do prostoru pro přežití v oblasti sedadel na pravé straně vozu. Dveře vozu navíc byly vmáčknuty do sedadel a pro případné pasažéry sedící na nich by byl tento náraz kritický. Cestující sedící na zadních sedadlech by se navíc při nárazu dostali do přímého kontaktu s levým nárazníkem vlaku, který vnikl zadním oknem do interiéru vozidla, a to ve výši hlavy sedících osob. Při nárazu se automobil svým prahem opřel o ochranný pluh vlaku, což částečně zmírnilo deformaci karosérie a případné následky, vzniklé během tlačení automobilu vlakem po kolejovém svršku.

Stanovené hodnoty biomechanických kritérií hlavy a hrudníku řidiče automobilu byly při tomto testu $HIC = 17\,700$ a $3ms = 44\,g$.

8.5.1.4. Zhodnocení první série testů nekompatibilních nárazů

Jak prokázaly výsledky první série nárazových testů kolize kolejového a silničního vozidla, jsou následky tohoto typu nárazu velice vážné. Zvláště pak pro osobní automobil,

protože tuhost jeho karoserie je mnohonásobně nižší než konstrukce čelní části vlaku. Na boční straně automobilu jsou navíc malé deformační zóny a v případě vlaku pak nejsou žádné.

Pro posádku automobilu jsou zvláště nebezpečné nárazníky vlaku, které jsou umístěny ve výši oken, a hrozí zde riziko jejich proniknutí do interiéru vozidla, což se potvrdilo u všech třech testů. Následně pak může dojít ke kontaktu hlavy s nimi a k poranění mozku, jehož následky mohou být smrtelné. U prvních dvou testů se nárazníky zachytily o karoserii vozidla, avšak při třetím testu došlo k průniku celého nárazníku pravým zadním oknem. V případě, že dojde k namáčknutí automobilu na čelní stěnu vlaku, dojde ke kontaktu se spřáhlem, které je svým tvarem, pevností a výškou umístění také velice nebezpečné.

Velkým nebezpečím pro posádku automobilu je také kontakt hlavy s jednotlivými částmi interiéru vozidla, jako je například „B“ sloupek. To je zapříčiněno velkým zrychlením automobilu při nárazu. Při prvním a třetím testu se tato situace vyskytla a projevilo se to na vysoké hodnotě HIC kritéria, která přesáhla limitní hodnotu 1000. Kontakt hlavy s částmi interiéru při bočním nárazu lze částečně zabránit nebo jej zmírnit použitím bočních airbagů ve vozidle. Z hlediska poranění hrudníku byla ochrana řidiče dostatečná, jak následně ukázalo 3ms kritérium. Hodnota přetížení na hrudníku ve všech třech testech nepřekročila limitní hodnotu stanovenou pro 3ms kritérium. Tyto výsledky jsou však platné pouze pro osobu sedící na místě řidiče, kde byla umístěna zkušební figurína.

Účinek ochranného pluhu namontovaného z jedné strany zkušebního vozu vlaku se projevilo hlavně při prvních dvou testech, kdy byly testovány stejné typy vozidel. Při prvním testu, kdy byl použit ochranný pluh, dopadl výsledek nárazu výrazně lépe, a to i přesto, že nárazová rychlost vlaku byla vyšší.

V případě posádky vlaku, nejsou cestující ani strojvůdce při tomto typu kolize nijak ohroženi.

8.5.2. Druhá série testů kolejového vozidla a osobního automobilu

Nekompatibilní náraz byl ověřen v rámci crash testu železničního a kolejového vozidla. Jednalo se o náraz kolejového vozidla do boku osobního automobilu. Kolejové

vozidlo bylo tvořeno železničním vagónem s celkovou hmotností 80 t, který byl na požadovanou nárazovou rychlost urychlen na rozjezdovém svahu. Osobní automobil byl ustaven do výchozí polohy na kolejích tak, aby byl náraz veden kolmo do jeho boku se středem v místě „B“ sloupku vozidla. V rámci crash testu byla provedena série dvou nárazů při nízkých rychlostech. Při prvním testu naráželo kolejové vozidlo do automobilu speciálním impaktorem s vysokou tuhostí, který je patrný z obrázku 45 vlevo. Nárazová rychlost při prvním nárazu byla $3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Při druhém nárazu byl na kolejové vozidlo namontován speciální tramvajový čelník (viz obrázek 35 vlevo) umožňující svou částečnou deformaci při nárazu, což vede ke zmírnění následků a snížení nekompatibility nárazu. Při druhém testu byla nárazová rychlost $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. U obou testů byl železniční vagón při nárazu brzděn brzdícími klíny na kolejích, na které najelo jeho první dvojkolí.

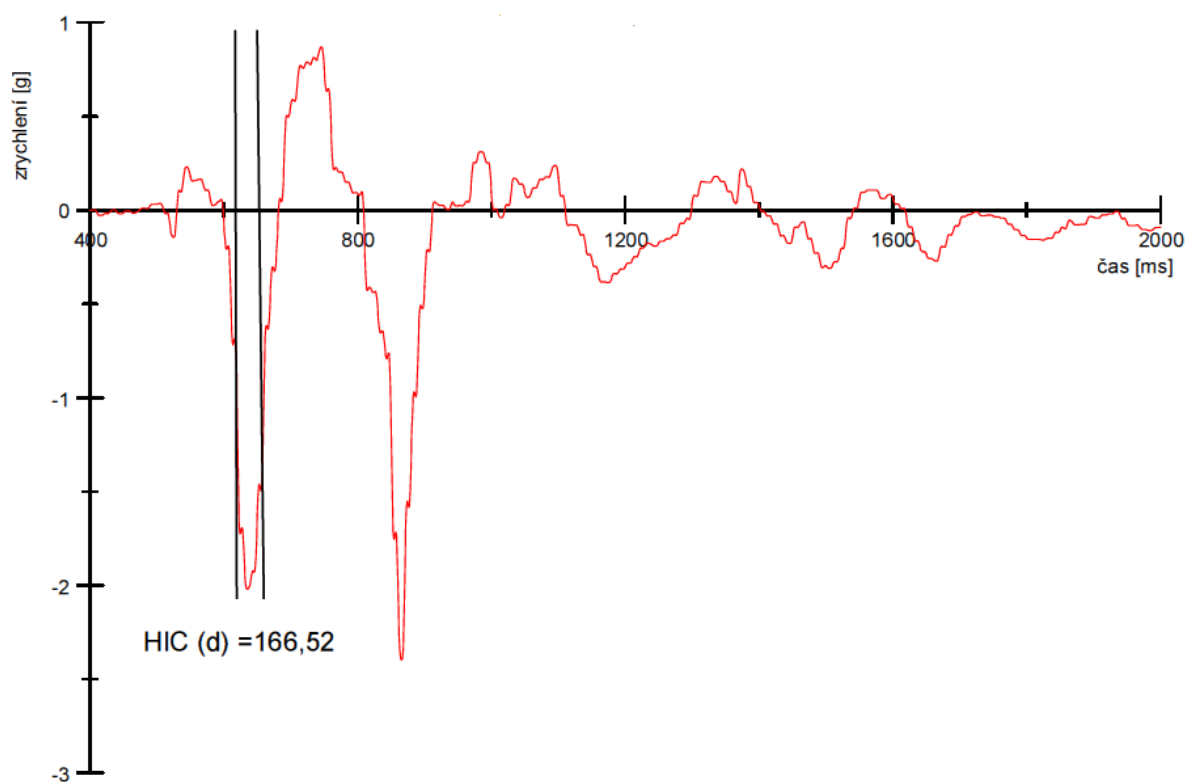
8.5.2.1. Výsledek nárazové zkoušky

Při prvním nárazu nedošlo k žádné výrazné deformaci karoserie vozidla, což je patrné z obrázku 45 vpravo. Bylo to dáno především nízkou nárazovou rychlostí a malou kinetickou energií vagónu. Ta byla při nárazu částečně utlumena brzdícími klíny a zbytek byl pohlcen vlivem pro pružení pérování a pneumatik automobilu.

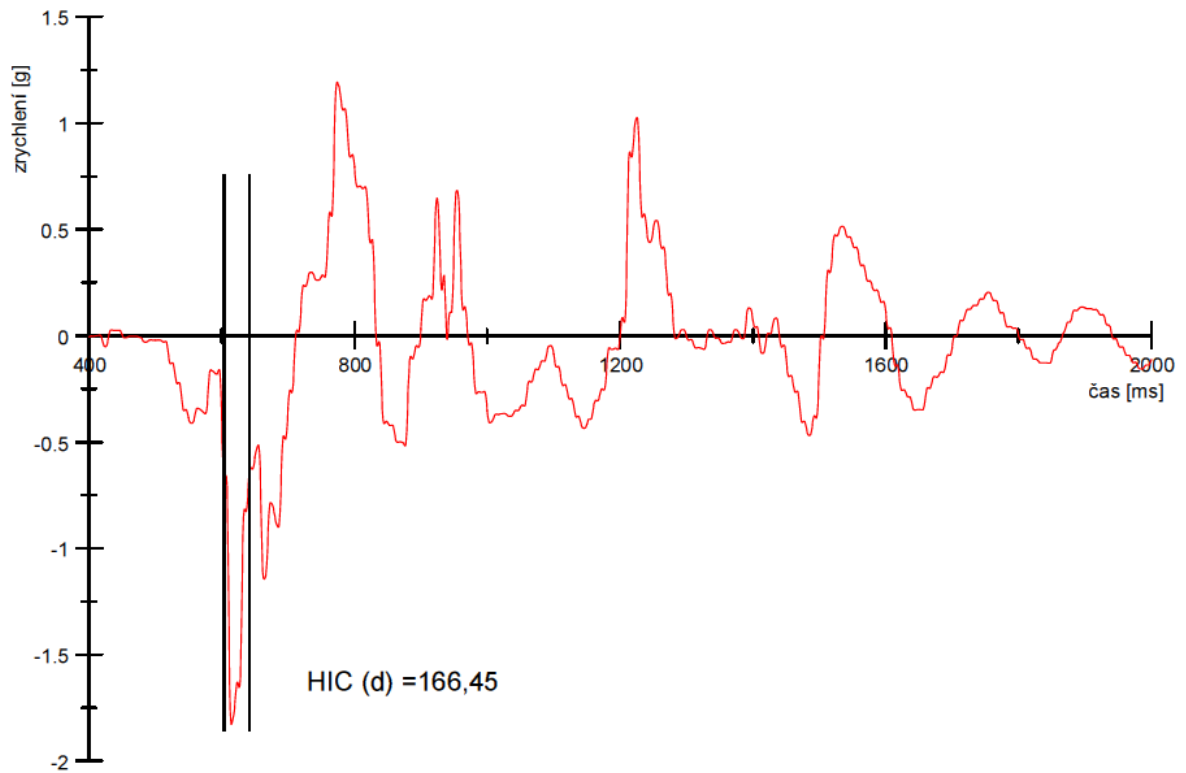


Obr. 45: První nárazový test - zkušební impaktor (vlevo), konečná poloha objektů po nárazu (vpravo)

Během obou testů byly ve zkušebním automobilu umístěny dvě figuríny typu Manikin popsané v kapitole 8.1.2. Tyto figuríny byly osazeny tříosým snímačem zrychlení v hlavě a snímačem zrychlení v hrudníku. Vzhledem k nízkým hodnotám zrychlení působícího v hrudníku figurín zde nejsou jejich průběhy uvedeny, ani nebyly využity z hlediska hodnocení pomocí kritérií poranění. Průběhy výsledného zrychlení působící v hlavě figuríny řidiče a spolujezdce jsou znázorněny na obrázcích 46 a 47. Jak je z obou obrázků patrné, v hlavě ani jedné z figurín nedošlo během nárazu k působení zvláště vysokých hodnot zrychlení a posádka vozidla by pravděpodobně neutrpěla žádná vážná zranění. Tomu odpovídá také výsledná hodnota HIC kritéria, která je u figuríny řidiče $HIC_{36} = 166,52$ a spolujezdce $HIC_{36} = 166,45$.



Obr. 46: Celkové zrychlení v hlavě řidiče při prvním nárazovém testu impaktorem



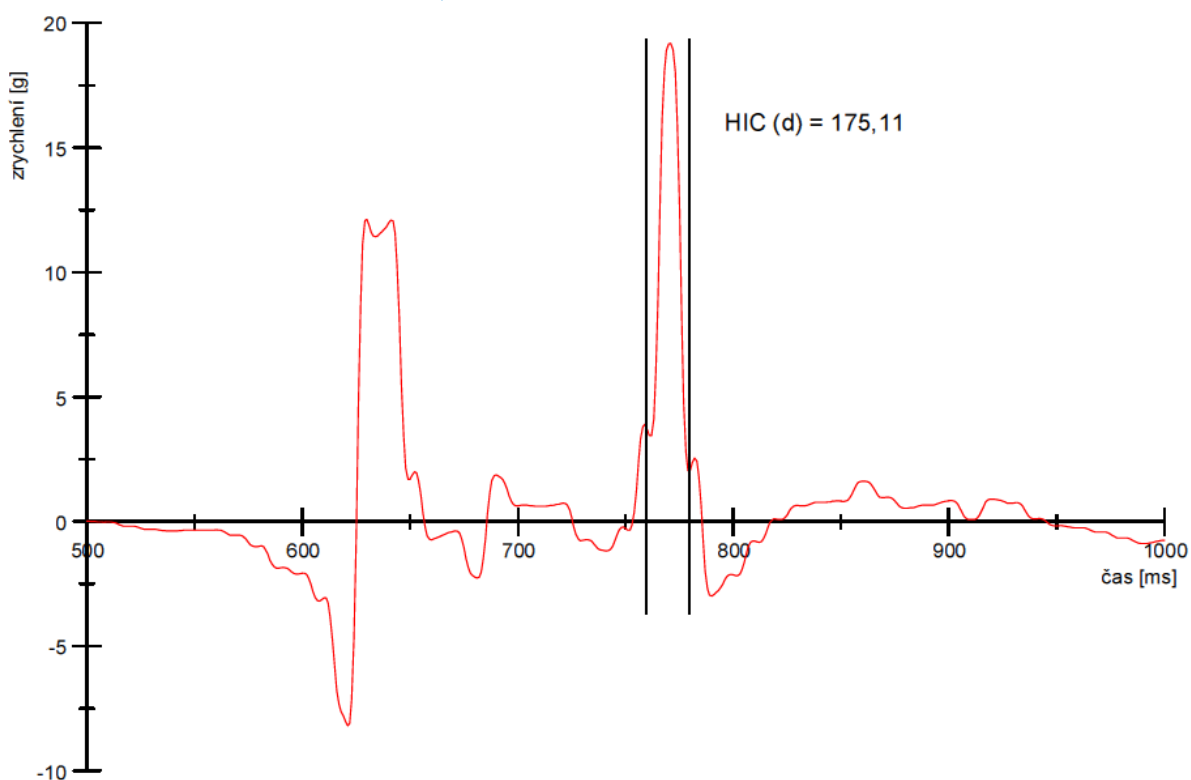
Obr. 47: Celkové zrychlení v hlavě spolujezdce při prvním nárazovém testu impaktorem

Druhý test byl uskutečněn při nárazové rychlosti $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a byl situován do druhé strany vozidla, oproti prvnímu testu. Po nárazu byl automobil tlačěn kolejovým vozidlem až do jeho úplného zastavení. Vlivem nárazu došlo k rozbití bočních oken automobilu na straně nárazu. Na karoserii automobilu pak byly prohnuty A a B sloupky. K jejich největší deformaci došlo ve výšce odpovídající středu bočních oken, kde byla situována horní hrana tramvajového čelníku. Dále došlo také k rovnoměrné deformaci spodní části předních i zadních bočních dveří, kam byla situována spodní část tramvajového čelníku. Tato plošná deformace je z hlediska nekompatibilního nárazu výhodná, protože vlivem využití větší plochy dojde k lepšímu rozložení deformační práce a je tak nižší pravděpodobnost narušení prostoru pro přežití. Výsledná deformace vozidla je patrná na obrázku 48 vpravo.

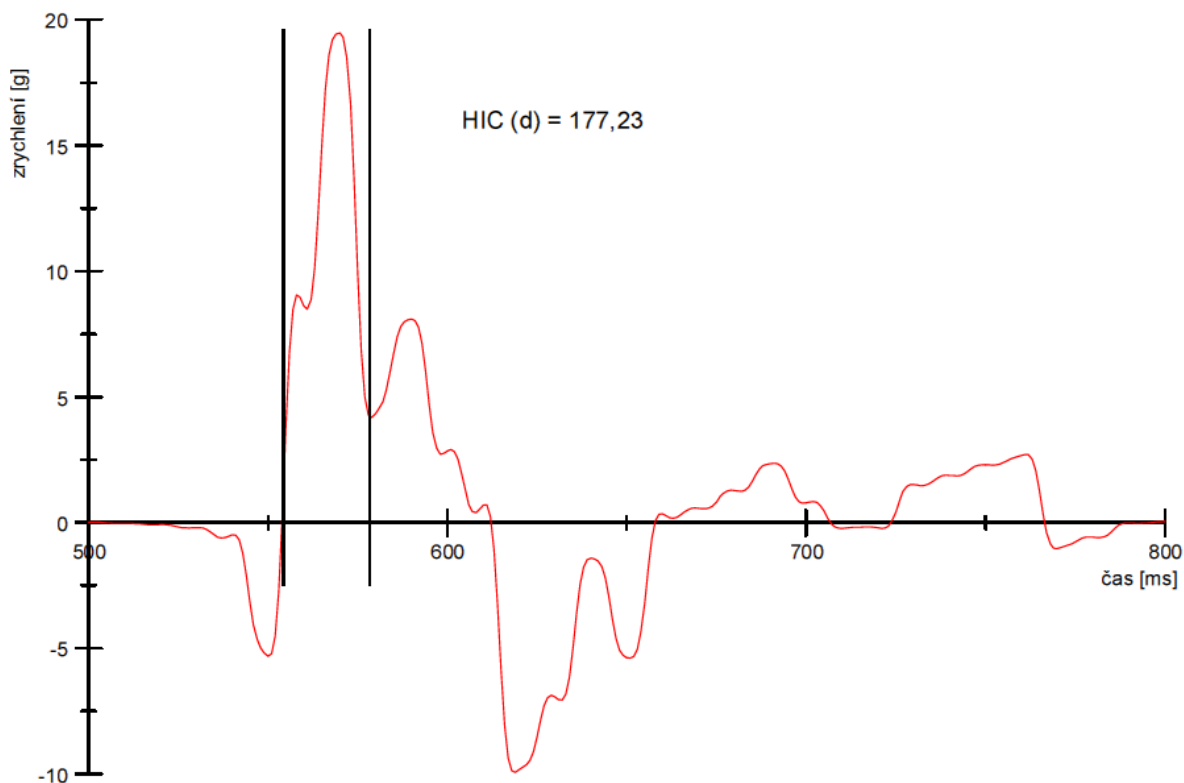


Obr. 48.: Druhý nárazový test - tramvajový čelník (vlevo), výsledná deformace karoserie silničního vozidla (vpravo)

Během druhého nárazového testu, který byl proveden tramvajovým čelníkem do automobilu, byly v hlavách figurín naměřeny hodnoty zrychlení uvedené z obrázků 49 a 50. Špičkové hodnoty obou průběhů dosahují zrychlení 19 g. Výsledné hodnoty HIC kritérií byly u tohoto nárazu $HIC_{36} = 175,11$ pro figurínu řidiče a $HIC_{36} = 177,23$ pro figurínu spolujezdce.



Obr. 49.: Celkové zrychlení v hlavě řidiče při druhém nárazovém testu tramvajovým čelníkem



Obr. 50.: Celkové zrychlení v hlavě spolujezdce při druhém nárazovém testu tramvajovým čelníkem

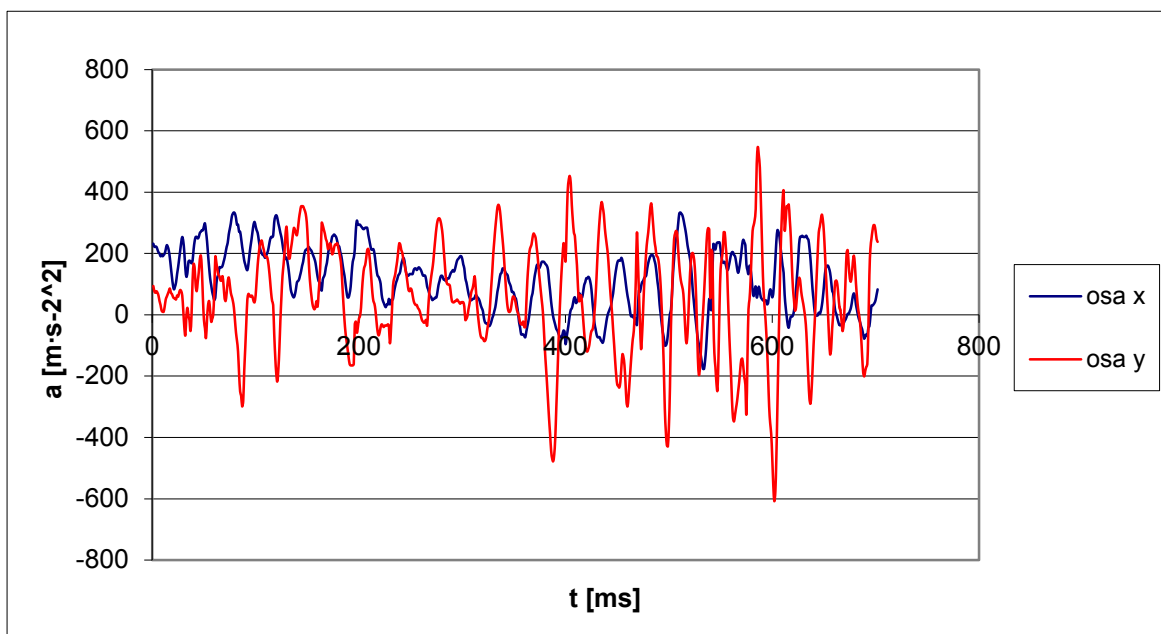
8.5.2.2. Ověření citlivosti jednotky eCall

V případě druhé série testů nekompatibilního nárazu byla ve vozidle umístěna vývojová palubní jednotka systému eCall popsaná v kapitole 8.1.3. Jednotka eCall byla umístěna na středovém tunelu vozidla mezi předními a zadními sedadly, tedy v místech s nízkou pravděpodobností deformace karoserie.

Při prvním nárazovém testu s impaktorem nedošlo k překročení limitní hodnoty zrychlení nutné k inicializaci jednotky, zahájení tísňového volání a odeslání datového souboru. To bylo způsobeno nízkou nárazovou rychlostí, při níž kinetická energie kolejového vozidla byla pohlcena ještě před vznikem plastické deformace karoserie.

Při druhém testu s tramvajovým čelníkem, vozidlová jednotka eCall detekovala náraz a zahájila tísňové volání a zároveň byly zaznamenány průběhy zrychlení měřené jednotkou

během nárazu. Tyto průběhy jsou znázorněny v grafu na obrázku 51. Směr os X a Y vychází z třírozměrné referenční soustavy vozidel.

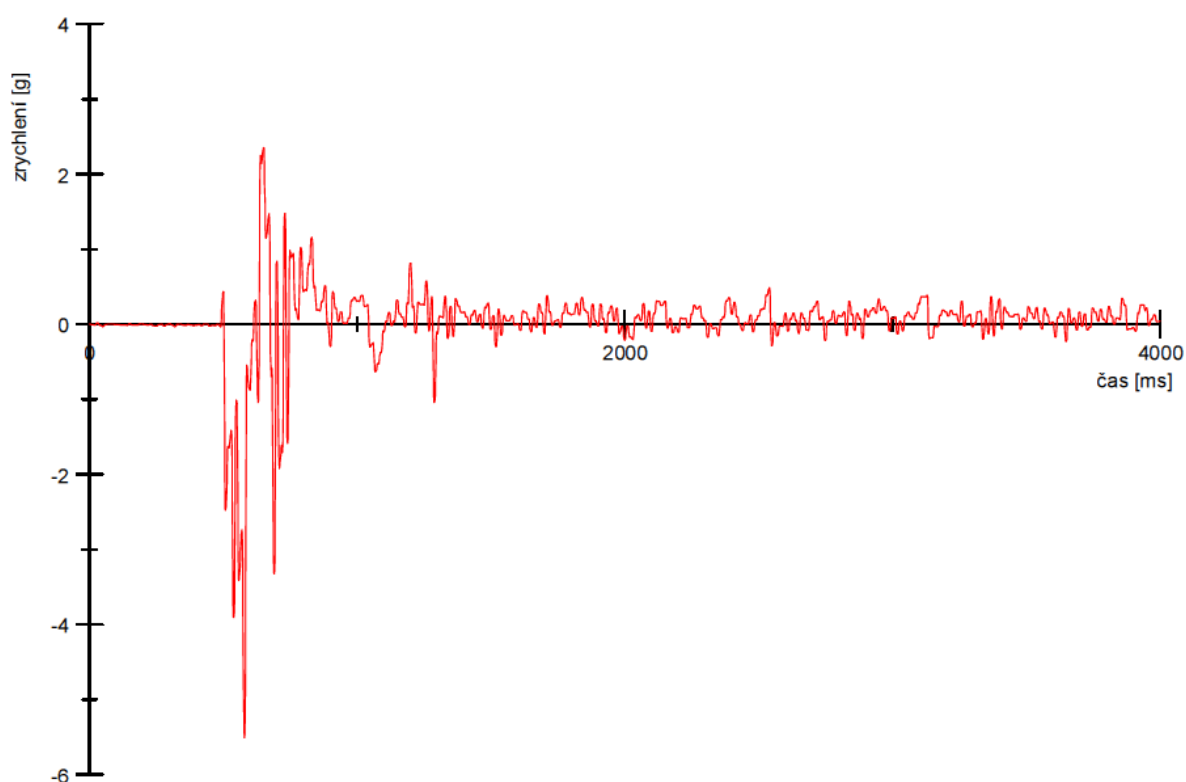


Obr. 51: Průběhy podélného a příčného zrychlení karoserie vozidla naměřené jednotkou eCall během nárazu

Průběh příčného zrychlení vozidla (osa Y) během nárazu, je v grafu znázorněn červenou křivkou. Jak je z grafu patrné, během nárazu dosáhlo toto zrychlení vysokých špičkových hodnot. K tomuto zrychlení došlo v okamžiku urychlování silničního vozidla zkušebním vagónem, kdy byl také deformován B - sloupek vozidla, charakteristický svou vysokou tuhostí. Podle obrazových záznamů byl pak automobil dále tlačěn vagónem až do jeho úplného zastavení. Vzhledem k omezené velikosti paměti jednotky eCall již tento děj není na zaznamenaném průběhu zrychlení zachycen.

Modrá křivka představuje průběh zaznamenaného podélného zrychlení automobilu (osa X) jednotkou eCall. Jelikož se jednalo o boční náraz, nedosáhlo toto zrychlení tak vysokých hodnot. Mírný nárůst podélného zrychlení je patrný v časovém intervalu 0 až 200 ms, kdy došlo k pootočení automobilu kolem svislé osy a následkem toho pak opření tramvajového čelníku o A sloupek a následně, při tlačení vozidla, k deformaci tohoto sloupku.

Na obrázku 52 je uveden průběh zrychlení karoserie vozidla, naměřený akcelemetrem umístěným na tunelu vozidla mezi řadící pákou a ruční brzdou. Při porovnání průběhu z akcelerometru s průběhem akcelerace zaznamenaným jednotkou eCall, dosahuje jednotka eCall několikanásobně vyšších naměřených hodnot zrychlení. To může být způsobeno vzniklým kmitáním jednotky během nárazu nebo vůlí plošného spoje v ochranném krytu. Z hlediska umístění jednotky ve vozidle je proto nutné dbát na její správné upevnění k rámu vozidla nebo využití externích senzorů.



Obr. 52: Průběh celkového zrychlení karoserie vozidla při nárazu tramvajovým čelníkem

8.5.2.3. Zhodnocení druhé série testů nekompatibilních nárazů

V rámci provedené série nárazových testů byla ověřena funkčnost vývojové jednotky eCall. Během prvního testu nezaznamenala zkušební jednotka eCall překročení kritického zrychlení a nebylo proto zahájeno tísňové volání a odeslány naměřená data. Při tomto testu se potvrdilo správné nastavení citlivosti jednotky, jelikož dle obrazových záznamů nedošlo

vlivem nízké nárazové rychlosti k deformaci karoserie a lze předpokládat mírné následky nezpůsobující závažná poranění posádky.

Z výsledných dat druhého nárazového testu je patrná velká závažnost kolize s nekompatibilním nárazem. Pohlcení kinetické energie zkušebního kolejového vozidla během nárazu bylo uskutečněno deformací boční deformační zóny vozidla, která probíhala při urychlování silničního vozidla vagónem. I přes deformace vzniklé na osobním vozidle byl zachován prostor pro přežití.

Přestože deformace karoserie osobního vozidla při druhém testu nebyly tak velké, je nutné brát v potaz také nízkou nárazovou rychlost kolejového vozidla. Vážnost následků se odvíjí od kinetické energie, která má v závislosti na rychlosti kvadratický růst. Při kolizi kolejového a silničního vozidla navíc veškeré deformace pohlcující kinetickou energii probíhají na karoserii osobního vozidla, což je dáno velkou tuhostí konstrukce kolejového vozidla, která je z hlediska kompatibility nárazu vůči silničnímu vozidlu značně nevýhodná. Velkým problémem kolejových vozidel je také jejich dlouhá brzdná dráha. Při reálných kolizích tak následně dochází k sunutí silničního vozidla před kolejovým, až do úplného zastavení kolejového vozidla, což má zhoršující vliv na následky kolize. Při sunutí vozidla navíc hrozí možnost vklínění osobního vozidla pod kolejové. V případě střetu tramvaje se silničním vozidlem nebývají následky tak závažné, z důvodu nižší cestovní rychlosti oproti vlaku a účinnější brzdové soustavě, kterou je však možné použít pouze v omezené míře, s ohledem na ochranu cestujících tramvaje.

Pro možné stanovení vzniku nekompatibilního nárazu jednotkou eCall je třeba sledovat charakteristické vlastnosti tohoto nárazu, kterými jsou především velké deformace karoserie a velká zrychlení. Zde lze vycházet z naměřeného zrychlení na karoserii vozidla, které se však při nižších nárazových rychlostech nemusí lišit od kompatibilního nárazu ve větší rychlosti. V případě srážky s kolejovým vozidlem může být zpřesňující informací poloha kolize, pokud ke kolizi dojde v blízkosti kolejíště nebo železničního přejezdu. Tato informace by byla vyhodnocena při dekódování datového souboru MSD v centru tísňového volání z polohy vozidla při srážce a využitím mapových podkladů (GIS). Pokud by po nárazu došlo k tlačení silničního vozidla po kolejovém svršku, může být tento fakt využit jako upřesňující informace, která tento typ kolize potvrdí. Při tlačení však nesmí dojít ke ztrátě GPS signálu

(např. při zničení antény), protože pak je výsledná poloha vozidla po kolizi odhadována z jeho trajektorie před nárazem.

8.6. Počítačové simulace

Počítačové modelování a simulace v oblasti vývoje a zkoušení vozidel v poslední době zažívá prudký rozvoj. Například v oblasti zkoušek pasivní bezpečnosti jsou výhody, které s sebou počítačové simulace přináší, hlavně v opakovatelnosti simulovaného děje se snadnou změnou vstupních parametrů modelu a také nízké pořizovací náklady na simulační software v porovnání s cenou crash testů s reálnými vozidly. Počítačové simulace kolizních dějů se v současnosti využívají převážně v oblasti vývoje vozidel a při zkouškách nepodléhajícím platné legislativě. V oblasti homologačních zkoušek je pomocí počítačové simulace umožněno provádět pouze zkoušku pevnosti karoserie autobusu, podle předpisu EHK/OSN č. 66. Důležitým krokem při tvorbě modelu je pak jeho validace, spočívající v ověření správnosti výsledků s reálným dějem.

V oblasti simulačního softwaru existují dva základní principy pro řešení matematických modelů:

- Metoda konečných prvků (MKP)
- Soustava tuhých těles (Multibody)

Principem metody konečných prvků je vytvořit na povrchu jednotlivých částí vymodelovaného objektu síť uzlů a hran a tím jej rozložit na jednotlivé elementy. Díky tomu je možné kontinuální povrch tělesa převést na jednoduchou konstrukci složenou z bodů a prutů, které jednotlivé body spojují. U této konstrukce lze následně řešit namáhání jednotlivých prutů a jejich deformace již jako soustavu jednoduchých rovnic. Výsledné deformace prutů jsou následně zpětně převedeny na deformace povrchu celého tělesa, které jsou následně graficky znázorněny.

Metoda soustavy tuhých těles spočívá ve vytvoření modelu reálného objektu pomocí tuhých těles, která jsou navzájem propojená pomocí silových prvků (pružiny) a kinematických dvojic. Tělesa se v závislosti na vlastnostech spojujících prvků mohou vůči sobě pohybovat. U jednotlivých těles jsou pak definovány jejich setrvačné vlastnosti, a to

pomocí hmotnosti, polohy těžiště a momentu setrvačnosti. Výhodou této metody je její využití v mnohem obecnějším měřítku oproti metodě konečných prvků. [39]

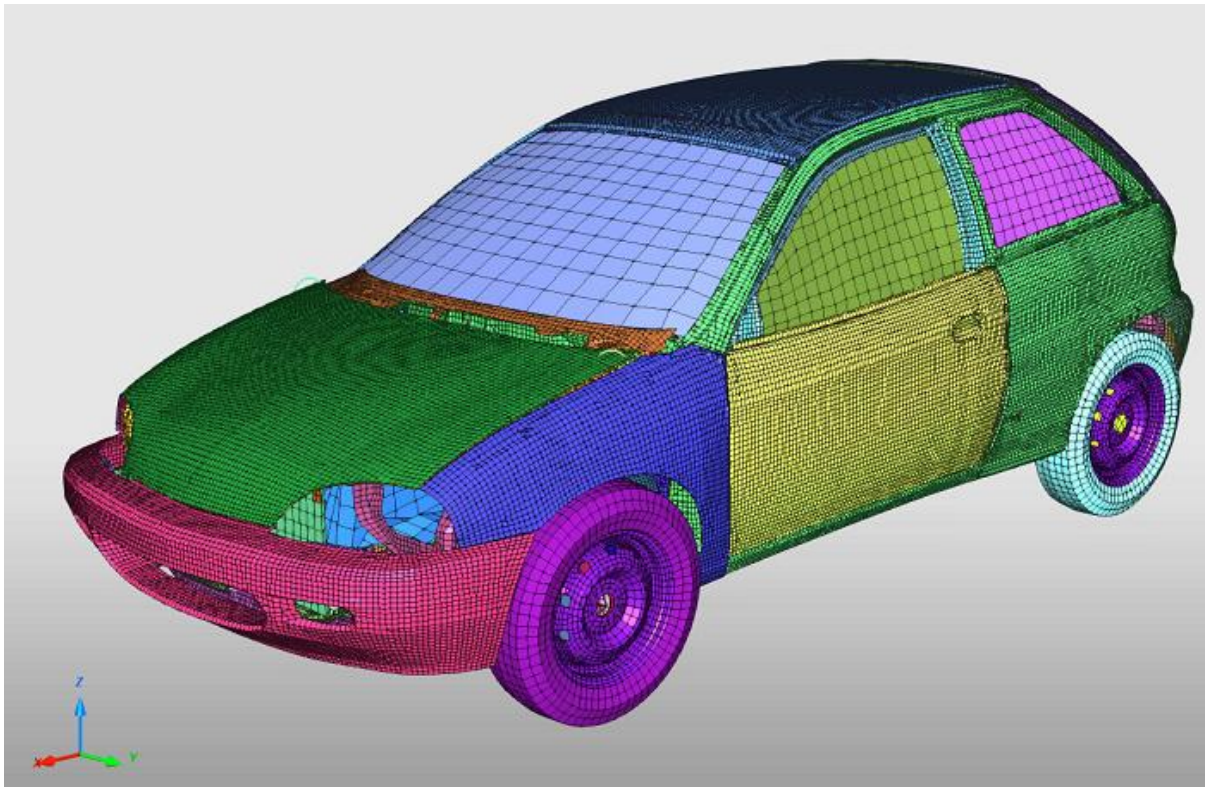
8.6.1. Použitý simulační software

Mimo dat z provedených nárazových testů jsou v této práci využity také výsledky z počítačové simulace, při níž byl nasimulován děj čelního nárazu vozidla do tuhé bariéry. Simulace byla provedena v softwarovém simulačním balíku HyperWorks, který k výpočtu pohybu těles a jejich deformací využívá metodu konečných prvků. Tento software obsahuje velmi široké spektrum aplikací a nástrojů, které umožňují například vytváření matematických modelů a jejich zpracování, řešení optimalizace těles, provádění matematických analýz a nástroje pro vytváření grafických výstupů získaných výsledků.

V rámci své disertační práce jsem z tohoto softwaru využil aplikaci HyperCrash pro úpravu, nastavení a následné vložení vstupních podmínek modelu automobilu. Následný výpočet modelu byl řešen pomocí řešiče Radioss implementovaném v tomto softwarovém balíku. Pro prezentaci a zpracování výsledků simulace pak byly použity aplikace HyperView a HyperGraph.

8.6.2. Model vozidla

Pro simulační děj byl použit model osobního automobilu Geo Metro, z archivu „Finite Element Model Archive“ americké výzkumné instituce NCAC (National Crash Analysis Center) z George Washington University, která obsahuje databázi volně dostupných konečněprvkových modelů silničních vozidel a některých prvků souvisejících s bezpečností silničního provozu. Modely v této databázi jsou pro výzkumné účely volně dostupné. Automobil Geo Metro, obsahující 193 200 prvků, byl z databáze vybrán s ohledem na optimalizaci počtu prvků modelu, zohledňující mimo jiné dobu výpočtu simulovaného děje. Vybraný model je uveden na obrázku 53.



Obr. 53: MKP model vozidla Geo Metro

Osobní automobil Geo Metro byl vyráběn v letech 1997 až 2001 automobilkou General Motors s cílovým určením hlavně pro americký trh. Základní technické parametry jsou uvedeny v následující tabulce 8.

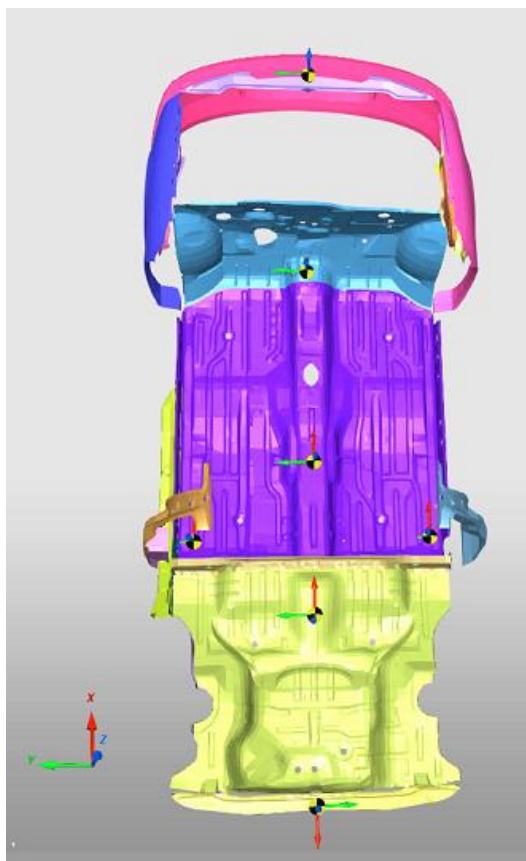
Typ karoserie	hatchback
Délka [mm]	3795
Šířka [mm]	1575
Výška [mm]	1390
Hmotnost [kg]	826
Počet dveří	2
Uložení motoru	příčně vpředu

Tab. 8: Technické parametry automobilu Geo Metro [9]

8.6.3. Příprava modelu

Příprava modelu a nastavení vstupních podmínek simulace byly provedeny v aplikaci HyperCrash. V modelu byla nadefinována vodorovná tuhá bariéra představující povrch, po kterém se vozidlo pohybuje, se součinitelem adheze 0,7 a příčná tuhá bariéra sloužící jako kolizní partner testovaného automobilu. Náraz byl situován kolmo k bariéře, celou čelní plochou vozidla. Nadefinovaná rychlost pohybu automobilu (nárazová rychlost) byla $56 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Pro možnost určení optimálního umístění jednotky eCall na karoserii vozidla byl model automobilu vybaven několika akcelerometry umístěnými na různých místech karoserie. Jejich umístění je patrné na obrázku 54. Umístění akcelerometrů bylo voleno jak z hlediska pravděpodobného zaznamenání dobrého signálu, tak také z hlediska ochrany proti případné deformaci karoserie. Pro umístění akcelerometrů byla vybrána tato místa:

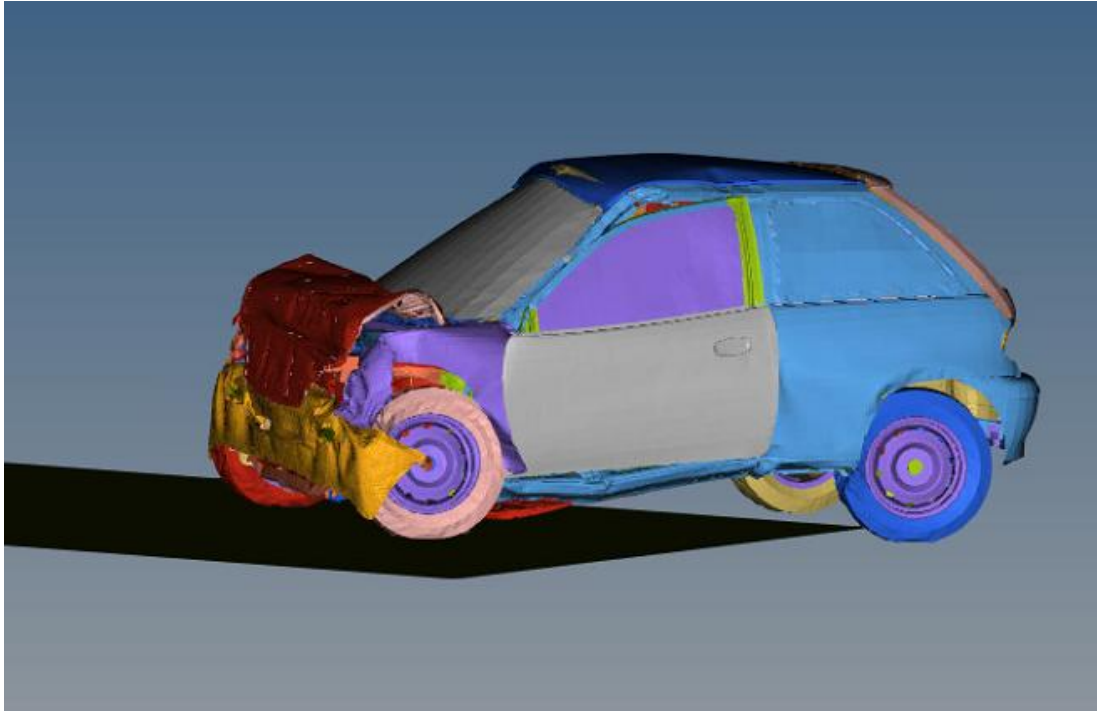
- Přední nárazník, v ose X vozidla
- Středový tunel vozidla v místech palubní desky, v ose X vozidla
- Středový tunel vozidla za ruční brzdou, v ose X vozidla
- V oblasti palivové nádrže, pod zadními sedadly, v ose X vozidla
- Zadní nárazník, v ose X vozidla
- Na podlaze vozidla u paty pravého B-slouku
- Na podlaze vozidla u paty levého B-slouku



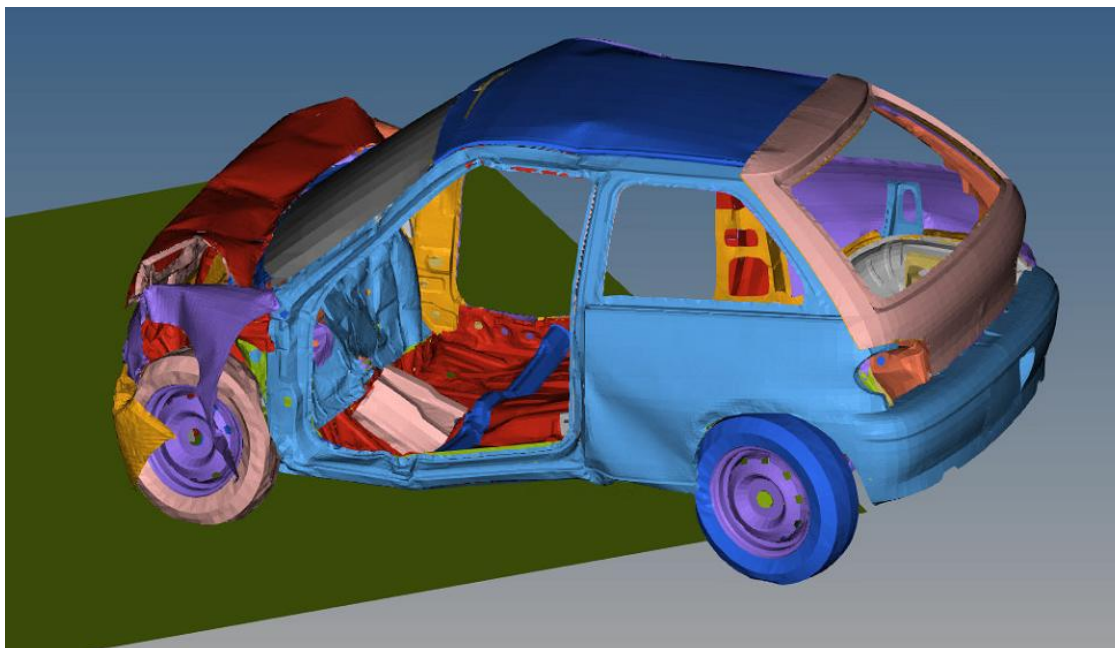
Obr. 54: MKP model vozidla Geo Metro

8.6.4. Popis simulovaného děje

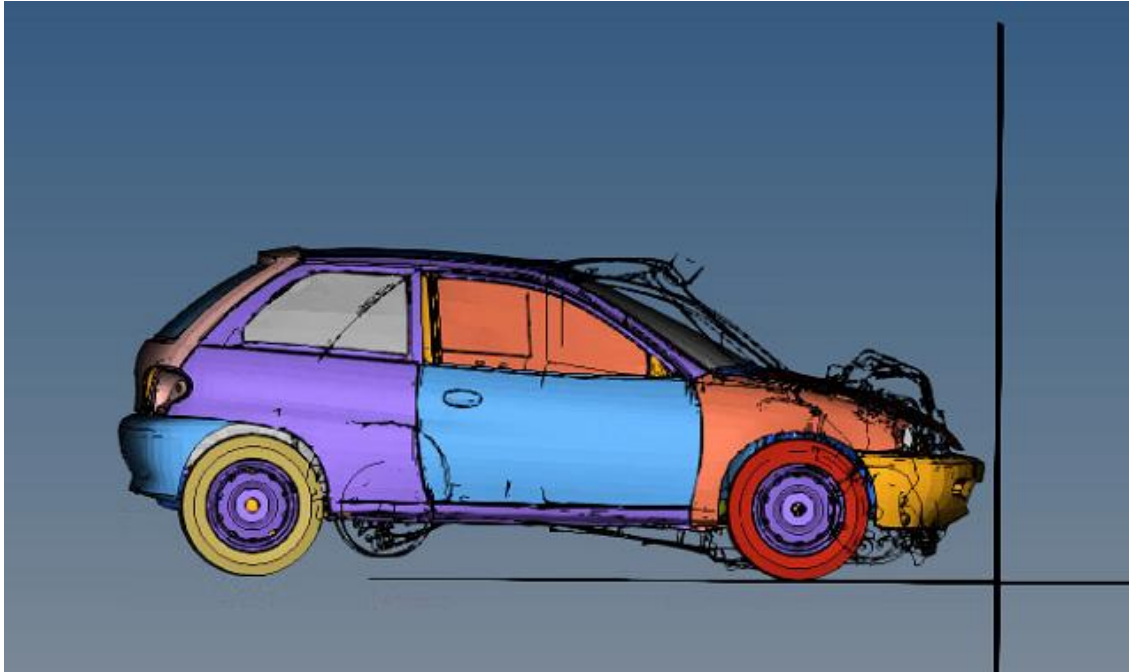
Při simulovaném nárazu rychlostí $56 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do tuhé bariéry došlo u použitého modelu automobilu k deformaci přední deformační zóny a k posunutí přední nápravy. Během nárazu došlo také k deformaci přední části kabiny, což se projevilo prohnutím A sloupku a zborcením podlahy vozidla v oblasti předních sedadel. Při nárazu byla deformována také zadní část kabiny, avšak tyto deformace nebyly tak velké, aby narušili prostor pro přežití. Výsledné deformace modelu jsou patrné na následujících obrázcích. Z obrázku 55 je patrná deformace přední části vozidla a na obrázku 56 je uveden náhled do interiéru vozidla na prolomenou podlahu. Na obrázku 57 je porovnán drátový model deformovaného vozidla v jeho konečné poloze s nedeformovaným vozidlem před nárazem.



Obr. 55: Výsledná deformace přední části modelu vozidla Geo Metro



Obr. 56: Deformace podlahy modelu vozidla Geo Metro

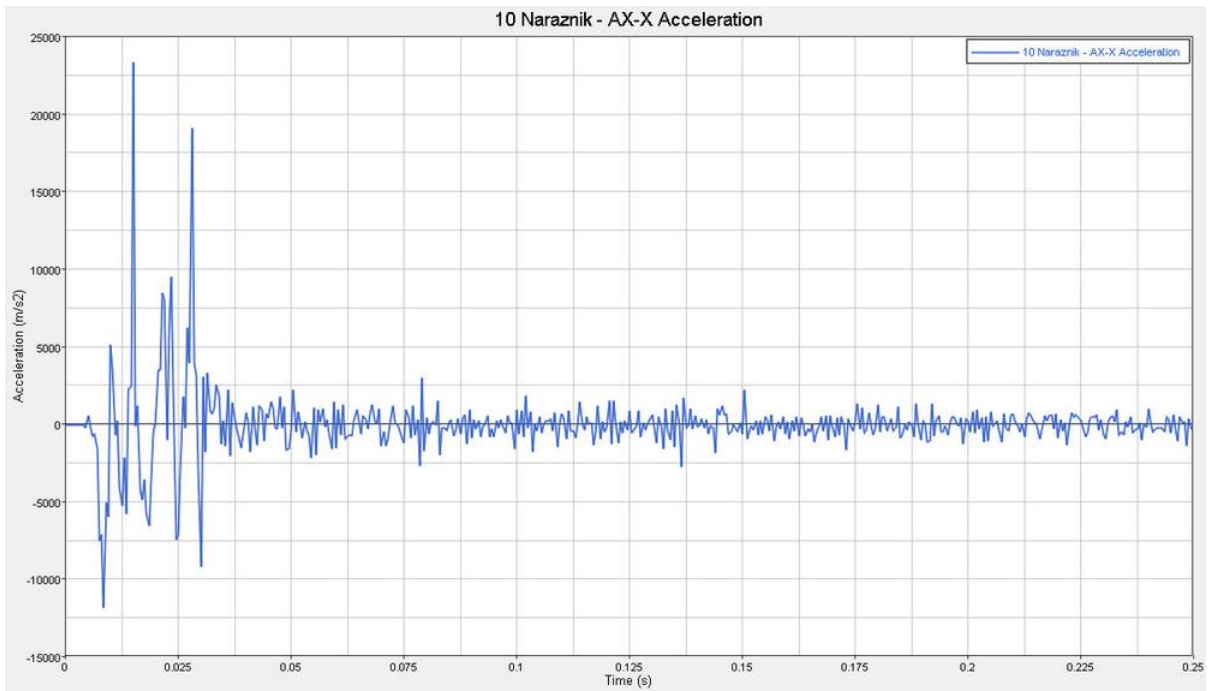


Obr. 57: Porovnání deformované a nedeformované karoserie pomocí drátového modelu

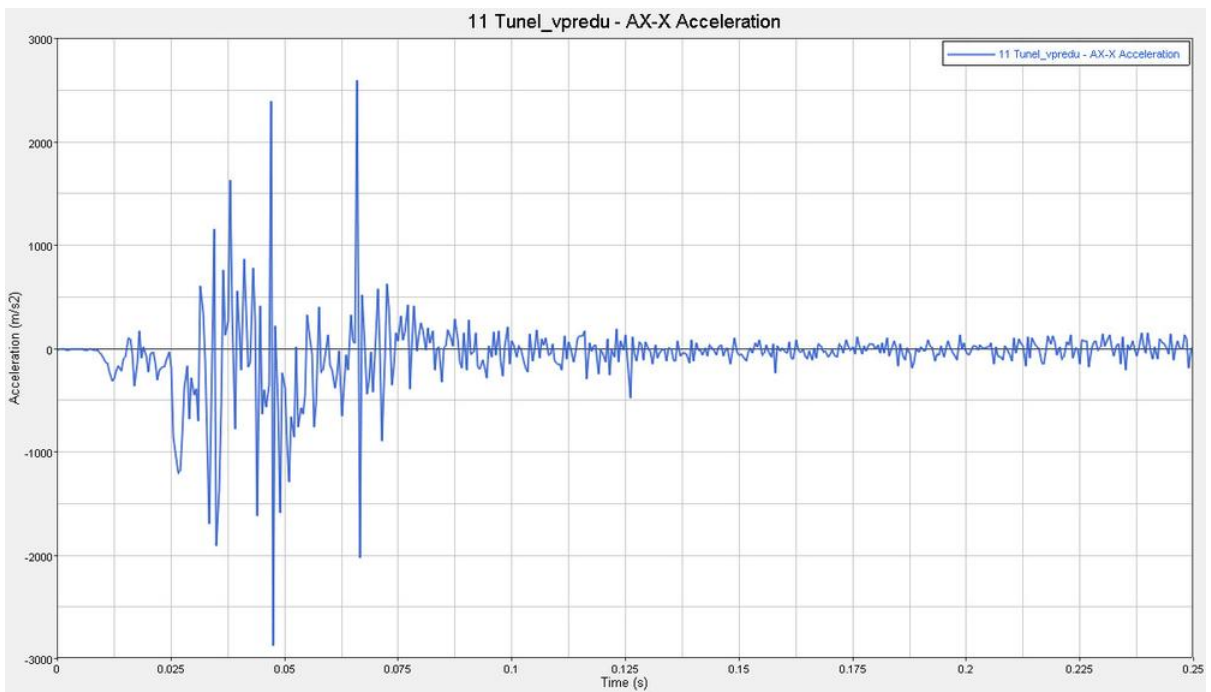
8.6.5. Průběh zrychlení karoserie

Do modelu vozidla bylo umístěno sedm akcelerometrů zaznamenávajících průběh zrychlení na různých místech karoserie během nárazu. Přehled míst, kam byly akcelerometry umístěny, je uveden v kapitole 9.3. Jelikož se jedná o simulaci čelního nárazu, jsou zde uvedeny pouze průběhy akcelerace v ose X vozidla, která je pro popsání tohoto typu nárazu nejdůležitější. Průběhy zrychlení v ostatních osách vozidla společně s celkovým zrychlením všech sledovaných bodů jsou souhrnně uvedeny v příloze 1 této práce.

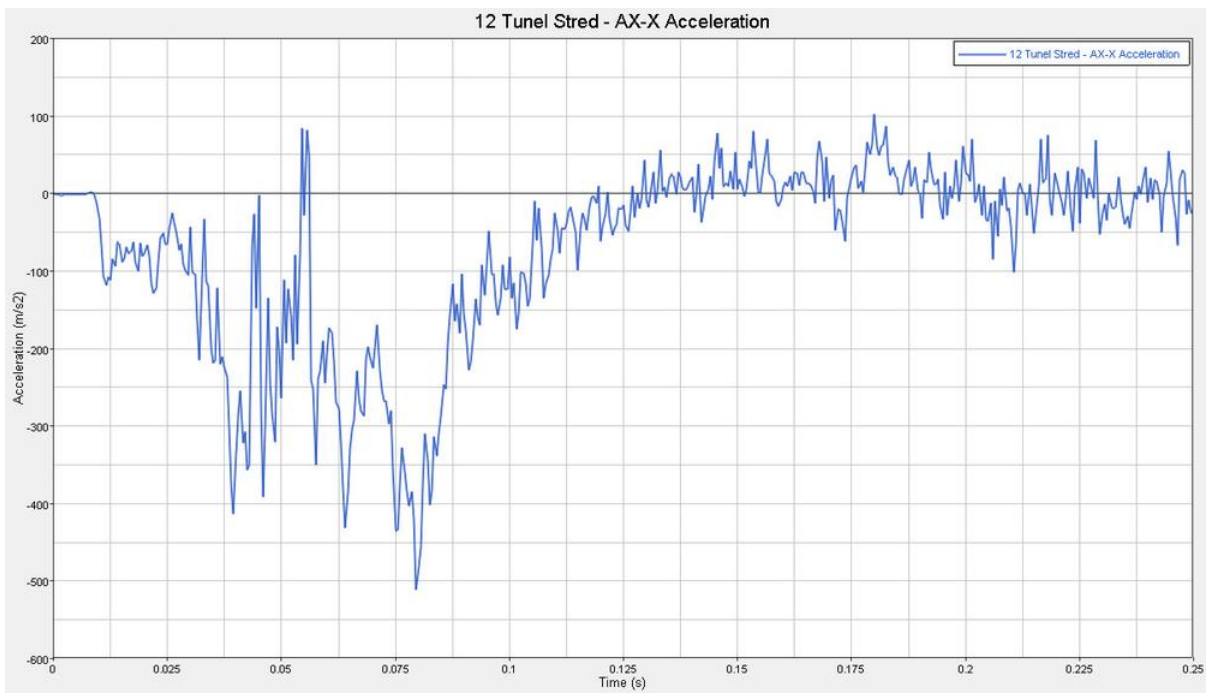
Na následujících obrázcích 58 až 64 jsou uvedeny průběhy podélného zrychlení v jednotlivých sledovaných bodech karoserie vozidla. Jak je z grafů patrné, průběhy na různých místech dosahují různých maximálních hodnot zrychlení, což závisí na deformaci karoserie v jednotlivých oblastech vozidla během nárazového děje a útlumu akcelerace.



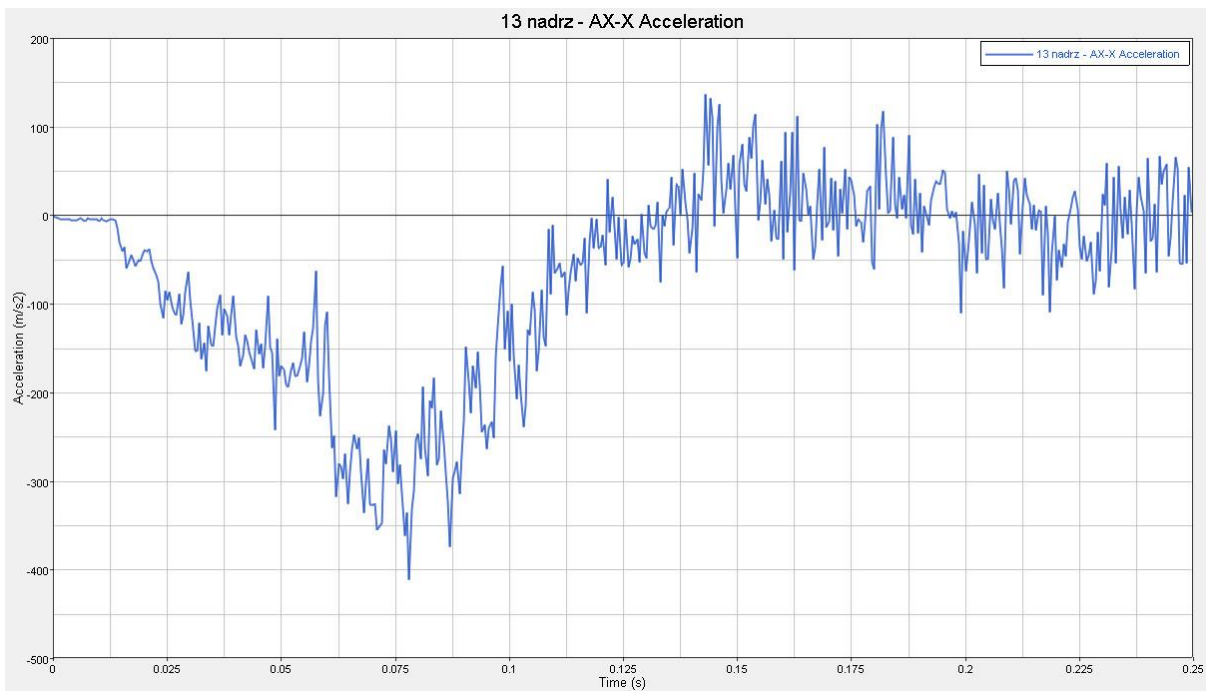
Obr. 58: Průběh podélného zrychlení na předním nárazníku vozidla



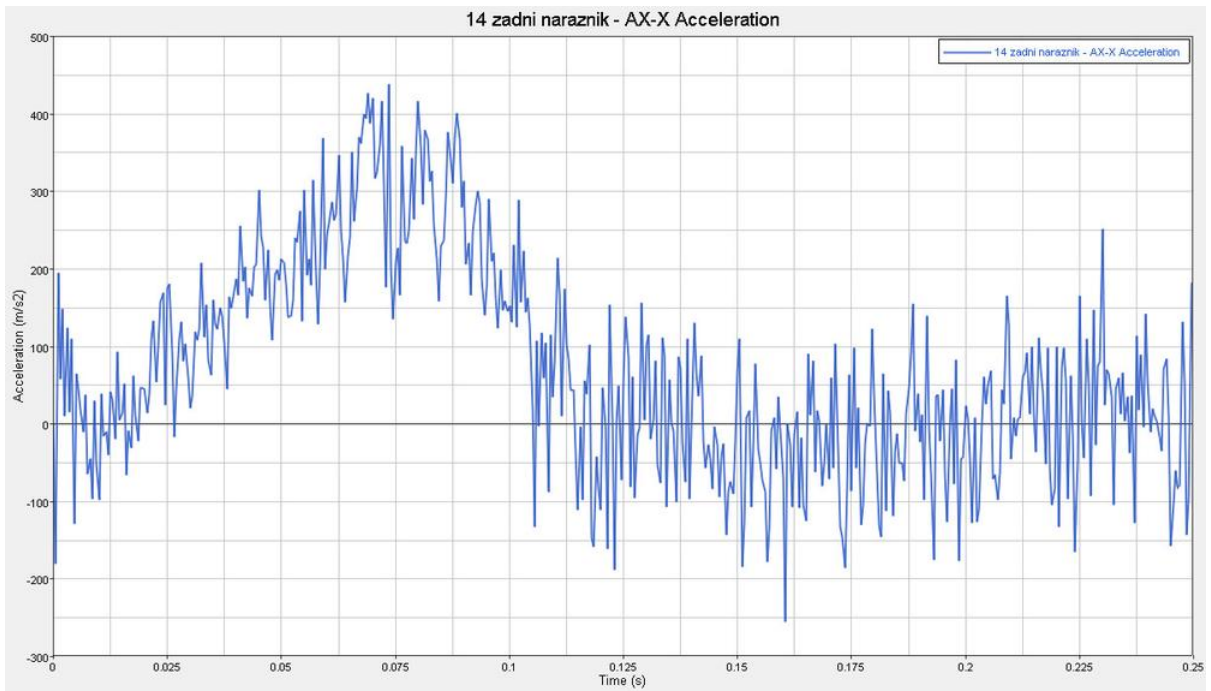
Obr. 59: Průběh podélného zrychlení na přední části středového tunelu vozidla



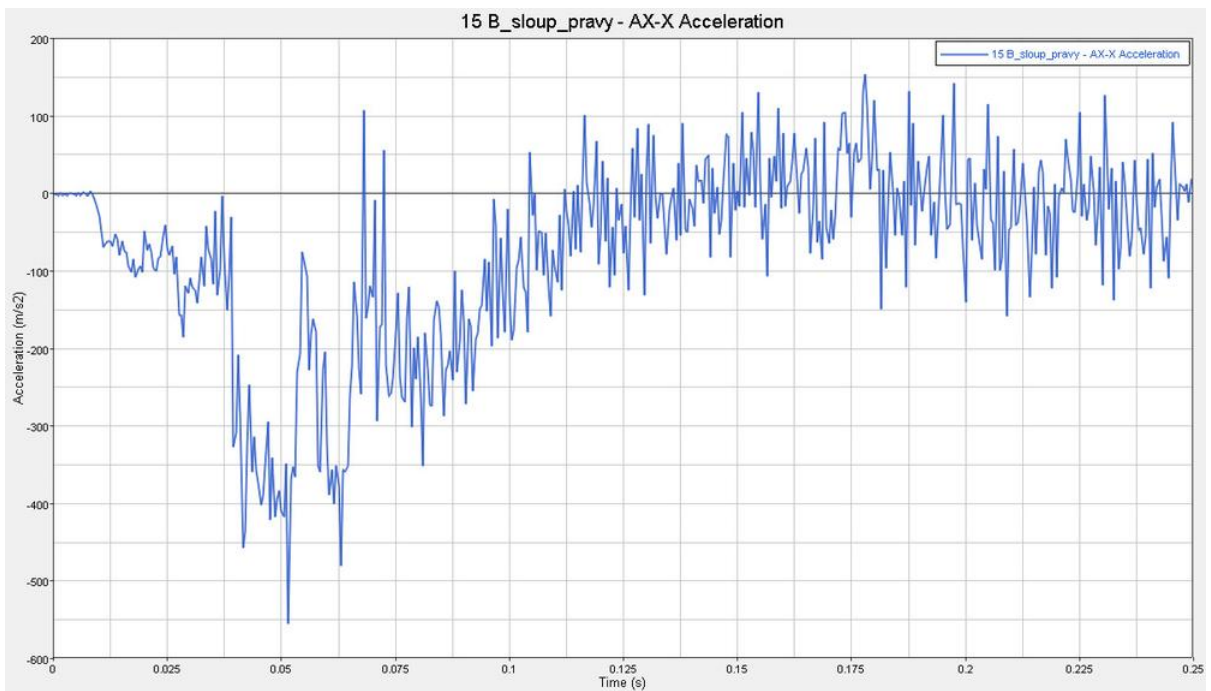
Obr. 60: Průběh podélného zrychlení na střední části středového tunelu vozidla



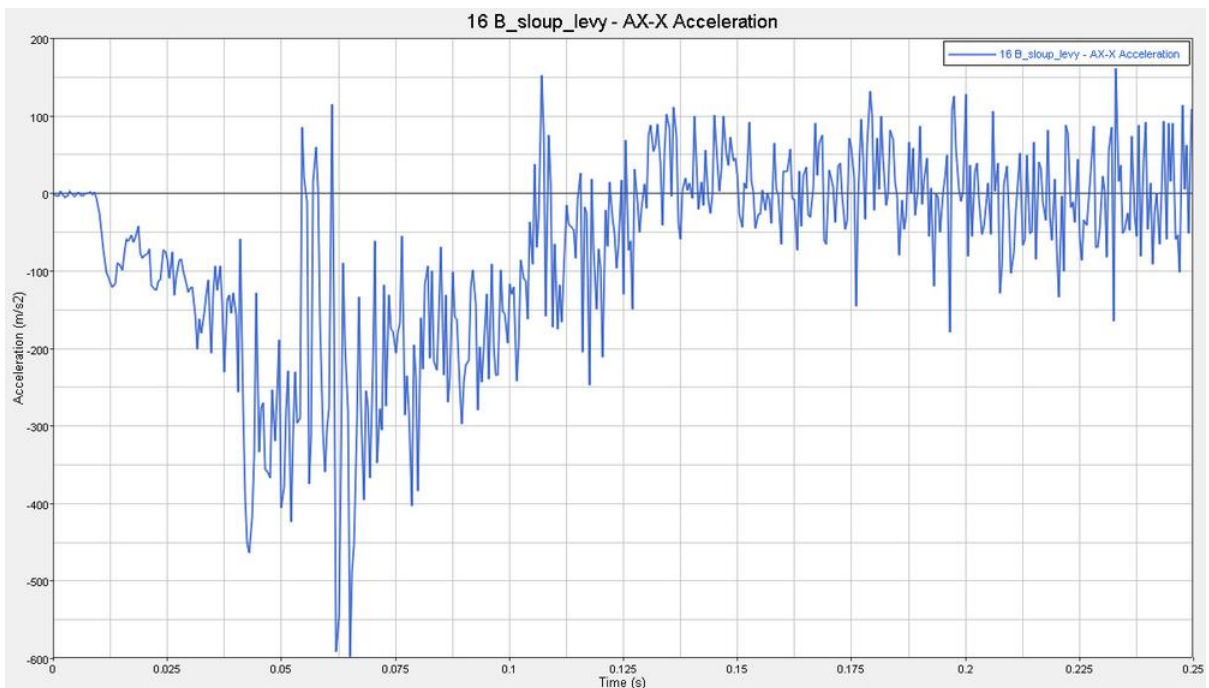
Obr. 61: Průběh podélného v místech palivové nádrže



Obr. 62: Průběh podélného zrychlení na zadním nárazníku vozidla



Obr. 63: Průběh podélného zrychlení u spodní části pravého B - sloupku



Obr. 64: Průběh podélného zrychlení u spodní části levého B - sloupku

Jak je z uvedených průběhů patrné, největšího zrychlení je při čelním nárazu dosahováno v místech předního nárazníku vozidla. Vyplyvá to z polohy nárazníku, který je umístěn před čelní deformační zónou a v případě nárazu do tuhé bariéry dochází k jeho zpomalení na nulovou rychlost v minimálním časovém intervalu, oproti ostatním částem karoserie vozidla. Zrychlení v tomto místě dosáhlo špičkových hodnot kolem $20\,000\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Dále byl akcelerometr umístěn na tunelu vozidla, v jeho přední části. V osobních automobilech bývá na tomto místě zpravidla umístěna palubní deska a ovladače pro topení a systém větrání ve vozidle. Ze sledovaných bodů na karoserii bylo v tomto místě dosaženo druhé největší hodnoty zrychlení. Simulace také prokázala vznik deformace podlahy automobilu v tomto místě, v případě vyšší nárazové rychlosti.

U ostatních průběhů zrychlení získaných z provedené simulace je patrný postupný útlum akcelerace, který je přímo úměrný zvyšující se vzdálenosti od místa nárazu, kde na karoserii působí deformační síla. U těchto akcelerometrů již k výrazným výkyvům hodnot akcelerace oproti ostatním sledovaným bodům nedocházelo, jejich maximální hodnoty se pohybovaly v řádech stovek metrů za sekundu na druhou. Z hlediska deformací karoserie

v ostatních sledovaných bodech na modelu vozidla, kde byly umístěny akcelerometry, již k výrazným deformacím karoserie nedocházelo, avšak při vyšší nárazové rychlosti, než byla použita v simulovaném ději nebo v případě jiného typu nárazu, nelze deformaci v těchto místech vyloučit.

9. Návrh umístění jednotky eCall ve vozidle

Pro optimalizaci umístění jednotky eCall je vycházeno ze získaných výsledků nárazových testů a provedené simulace. V tomto ohledu je třeba uvažovat dvě možné varianty provedení jednotky eCall:

- 1) Celý vozidlový systém je integrován do jednotky v rámci jednoho kompaktního celku
- 2) Jednotka systému eCall využívá také externí snímače a zařízení

Při návrhu vhodného umístění jednotky eCall do vozidla podle bodu 1), je nutné sledovat dva parametry. Prvním z nich je bezpečnost samotné jednotky, která musí odolat mechanickým zatížením působícím na ni během nárazu a zároveň musí být chráněna proti případným deformacím karoserie vozidla, které při nárazu vznikají. Jsou to jednak deformace v deformačních zónách automobilu, které jsou při nárazu žádoucí, protože slouží k pohlcení kinetické energie, a tím chrání posádku vozidla. Během nárazu a také po jeho skončení, musí jednotka zůstat plně funkční, nebo být funkční alespoň natolik, aby byla schopná odeslat informaci o nehodě a případně zahájit tísňové volání. Naproti tomu mohou nastat deformace karoserie také v oblasti kabiny, která je definována jako prostor pro přežití. Tyto deformace jsou již na karoserii nežádoucí, avšak, jak prokázaly výsledky nárazových zkoušek osobního automobilu s kolejovým vozidlem, mohou nastat například při nekompatibilním nárazu. Také mohou nastat v případě vyšší nárazové rychlosti vozidla, kdy deformační zóna automobilu již není schopná pohltit kinetickou energii svou deformací a ta následně pokračuje také na kabinu vozidla. Tento stav se prokázal v rámci provedené simulace nárazu modelu osobního automobilu do pevné bariéry, která byla simulována v rychlosti $56 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, při nastavení zcela tuhé bariéry. Při provedených nárazových testech nekompatibilního nárazu, kdy se jednalo o boční náraz, vznikly velké deformace boční části

automobilu, zasahující také do prostoru pro přežití. V případě čelního nárazu došlo k deformacím v kabině vozidla až při vyšší nárazové rychlosti ve vytvořené počítačové simulaci, kdy došlo k prolomení podlahy vozidla a také deformacím A sloupků. U reálných nárazových testů se tento případ neprojevil, avšak při dříve provedeném nárazovém testu vozidla Škoda 120 do pevné bariéry s nárazovou rychlostí $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ došlo k deformacím podlahy v těchto místech také. [21] Z tohoto důvodu by vymezený prostor pro umístění jednotky eCall měl být situován do jejího středu. Při provedených nárazových testech, kdy byla testována také jednotka eCall, byla umísťována na tunel vozidla za ruční brzdu. Toto místo je z hlediska ochrany jednotky při nárazu optimální, avšak nemusí být vždy vhodné z hlediska zástavby jednotky do koncepce interiéru vozu, kdy je preferováno umístění jednotky tak, aby odpovídala požadavkům ergonomie a její ovládací prvky byly v operativní vzdálenosti.

Z hlediska hodnot zrychlení, které jednotka eCall využívá pro automatické stanovení vzniku dopravní nehody, je nutné rozeznávat výsledné využití měřeného signálu. Je-li měřený signál zrychlení určen pouze pro identifikaci samotného nárazu, je výhodnější jej měřit blíže ke vzniku nárazu, tedy na okrajových částech karoserie, kde je možné zaznamenat signál s větší citlivostí, jak prokázala provedená simulace. To však není možné provést s typem jednotky, který byl v rámci této práce testován. Tento typ jednotky má senzory zrychlení implementované v sobě a při umístění do okrajových částí karoserie by hrozilo poškození jednotky a ztrátu její funkce, což by mohlo mít při nehodě velmi vážné následky. Při zavádění systému eCall je však uvažována varianta, kdy jednotka bude moci využívat také informace od ostatních systémů pasivní bezpečnosti, např. signály aktivace airbagů. V tom případě by jednotka eCall získala informaci o vzniku nárazu na základě nárazových senzorů vozidla, které jsou, v případě detekce čelního nárazu, umístěny v přední části vozu.

V případě využití naměřeného průběhu zrychlení jednotkou eCall pro další analýzu nehodového děje, je více výhodné umístit akcelerometry dále od kontaktního místa s překážkou. V případě čelního nárazu, odpovídajícímu provedené simulaci, se z hlediska využití naměřeného průběhu akcelerace při nárazu pro další analýzy více hodí průběhy z akcelerometrů ve střední části automobilu (na tunelu vozidla, u palivové nádrže a

v blízkosti B-sloupků), kde signál nedosahoval tak vysokých špičkových hodnot a lépe charakterizuje průběh zrychlení kabiny vozidla.

Pokud má jednotka eCall ovládací modul zajišťující její chod a komunikaci oddělen od snímačů zrychlení vozidla, lze podle výše popsaných kritérií jednoduše zajistit bezpečné umístění samotné jednotky ve vozidle a zároveň rozmístit snímače na karoserii tak, aby byl jednotkou vznik kolize lépe detekován. Pokud to jednotka umožňuje, je možné tyto snímače doplnit senzorem zrychlení v kabině vozidla, který může sloužit k popsání samotného průběhu nárazu a určení případných následků při kolizi vozidla.

10. Závěr

Zvyšování bezpečnosti silničního provozu je jednou z hlavních priorit, která je definována v bílé knize pro dopravu. Jednou z možností, jak tento cíl naplnit je využití telematických systémů v dopravě a to například zavedením systému tísňového volání k dopravní nehodě na celém území Evropské Unie. Očekávaným přínosem by mělo být snížení následků z dopravních nehod vlivem poskytnutí včasné pomoci posádce vozidla.

V rámci této disertační práce byla řešena problematika v současnosti vyvíjeného systému eCall se zaměřením na vozidlovou jednotku, její optimální umístění ve vozidle a její využití při odhadu následků dopravní nehody. Využity k tomu byly data z provedených nárazových testů osobního automobilu s různými kolizními partnery. V této práci byly využity výsledky testů čelního nárazu vozidla do bariéry, dále pak nekompatibilního nárazu kolize silničního a kolejového vozidla a nakonec testy převrácení vozidla. Testy čelního nárazu do pevné bariéry pak byly doplněny vytvořenou počítačovou simulací nárazu osobního vozidla do pevné bariéry při vyšší nárazové rychlosti, která byla vytvořena v simulačním softwaru HyperWorks. V rámci vytvořené simulace bylo sledováno zrychlení měřené na různých částech karoserie modelu vozidla.

Jak ukázaly výsledky testů a simulace, optimální umístění jednotky z hlediska naměřených signálů akcelerace vhodných pro popsání nehodového děje je oblast ve střední části vozidla, například na středovém tunelu nebo v místech nádrže, pod zadními sedadly. Jako výhodné se ukázalo být také umístění u spodní paty B – sloupků. Toto místo však není optimální z hlediska bezpečnosti samotné jednotky, kdy v případě silného bočního nárazu může dojít k deformacím této části karoserie.

Vývoj systému eCall probíhá současně v několika státech Evropské unie a je koordinován v rámci projektu HeERO. Česká republika se v tomto ohledu řadí mezi aktivní účastníky tohoto projektu. Díky tomu mohla být tato práce zpracovávána ve spolupráci několika českých firem a organizací, které se vývojem a zaváděním systému eCall nebo jeho částí v České republice zabývají, a to jak na úrovni využití základních funkcí systému, tak také vývojem doplňkových komerčních aplikací pro systém eCall, které budou moci řidiči v budoucnu využít. V rámci spolupráce tak mohlo být také provedeno ověření správné

funkce vozidlové jednotky eCall při některých nárazových zkouškách a byly získány průběhy zrychlení měřené jednotkou eCall.

Celkově lze tedy říci, že systém eCall má v Evropě velký potenciál. Jeho zavádění však provázejí mnohá úskalí, spočívající hlavně ve zdlouhavém zavádění legislativních předpisů a technických norem, které se týkají provedení jednotlivých částí systému a komunikačních protokolů.

Literatura:

- [1] Advanced engineering s.r.o. Crash test Kutná hora - Kolejové vozidlo vs. osobní automobil – prezentace nárazové zkoušky, 2010
- [2] Boix, E. Definition of a protocol of automatic identification and notification of road accidents and development of an advanced ecall. SAE, 2014. ISSN: 0148-7191
- [3] Brennecke, F.: eCall systems functionalities' specification, 2013, v. 1.0
- [4] Commission of the european communities. The 2nd eSafety Communication. [online] Dostupné z: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:431:FIN:EN:PDF> [2014-05-11]
- [5] European Commission: <http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm> [2014-09-27]
- [6] ECE Regulation 94. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the occupants in the event of a frontal collision
- [7] ECE Regulation 95 Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants in the event of a lateral collision
- [8] EN 15722 - Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Minimální soubor dat pro eCall (MSD)
- [9] First, J. a kol. Zkoušení automobilů a motocyklů. Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. ISBN 987-80-254-1805-5
- [10] Geo Metro: <www.auto-data.net/en/?f=showCar&car_id=10161> [2014-10-22]
- [11] Hayes J. *Calling all cars*. Engineering and Technology, Issue 3, Pages 58 – 61, 2014. ISSN: 1750-9637
- [12] HeERO: < <http://www.heero-pilot.eu/view/en/media/publications.html> >
- [13] Chorvát, R. Datové přenosy s využitím "Inband" principu v systému eCall – diplomová práce, 2007. Praha

- [14] iCarSupport. eCall [online], Dostupné z: <http://www.icarsupport.eu/ecall/> [2014-05-18].
- [15] Kennerly H. Digges, Injury Measurements and Criteria. The National Crash Analysis Center, The George Washington University
- [16] Kovanda, J. Šatochin V. Pasivní bezpečnost vozidel. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02235-8
- [17] Kovanda, J. Konstrukce automobilů. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01459-2
- [18] Kovanda, J., Mík, J., Krejčí, J. Analýza vlastností boční struktury vozidla – výsledná zpráva. 2011. FR-T11/113
- [19] Kovanda, J., Riva, R. VEHICLE – HUMAN INTERACTION. Milano: Edizioni Spiegel, 1999. ISBN 88-7660-104-X
- [20] Kovanda, J. First, J. Lenk, J. Mičunek, T. *Kolize automobil – bariéra*. zpráva o testu, 2005. VYZ616.003/05
- [21] 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.
- [22] Kramer, F. Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009. ISBN 978-3-8348-0536-2
- [23] Mašek, P. *Bezpečnost cyklistů v dopravě*. – diplomová práce, 2011. Praha
- [24] Matějka, V. *Stanovení závažnosti poranění hrudníku při dopravní nehodě pro systémy nouzového přivolání pomoci* – diplomová práce, 2010. Praha
- [25] Matoušek, P. *Využití biomechanických kritérií poranění hlavy při stanovení závažnosti dopravní nehody systémy nouzového přivolání pomoci* – Diplomová práce, 2010. Praha
- [26] *Memorandum of Understanding for Realisation of Interoperable In-Vehicle eCall* [online], dostupné z: http://www.esafetysupport.org/download/ecall_toolbox/invehicle_ecall_mou.pdf [2011-05-11]

- [27] Mík, J., Kovanda, J. Kolize osobní automobil – vlak. – zpráva o testu, 2010
- [28] Mík, J., Kovanda, J. Krejčí, J. Dynamická zkouška převrácení vozidla – zpráva o testu, 2010
- [29] 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
- [30] 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
- [31] Mík, J., Kadlecová, J. The use of information technology for vehicle frontal collision severity estimation. Conference DCIS, 2014.
- [32] MODR, J. Zavádění systému eCall v České Republice. - Diplomová práce. Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera. 2009. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/35418/1/ModrJ_Zavadeni%20systemu_NK_2009.pdf [2011-05-09]
- [33] NCAC: <<http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>>
- [34] Norma ISO 6813 - „*Silniční vozidla – Klasifikace kolize – Terminologie*“
- [35] OnStar, OnStar FMV - Owner’s manual. [online], http://www.onstar.com/tunnel-web/webdav/fmv/document_library/downloadable/owners_manual.pdf [2014-08-14]
- [36] PČR: <<http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti900835.aspx?q=Y2hudW09Mg%3d%3d>> [2014-09-27]
- [37] Pinart, C. ECALL - compliant early crash notification service for portable andnomadic device. [online], dostupné z: <http://www.tid.es/netvehicles/media/papers09/PID816763.pdf> [2012-10-15]
- [38] Potužák, M. *Odhad následků nehod systémem e-call. – diplomová práce*, 2011
- [39] Schettino, M., Gonzales E. D. Pan – European eCall Implementation Guidelis. [online], dostupné z: http://www.neip.sk/document/eCall%20implementation%20guidelines%201_2.pdf [2013-02-08]

- [40] Telematix services, a.s. *Výzkum způsobu odhadu následků dopravních nehod a jejich využití v systému eCall.*, - *Roční zpráva 2009*. Praha. 2010.
- [41] Telematix services, a.s. *Výzkum způsobu odhadu následků dopravních nehod a jejich využití v systému eCall.* - *Roční zpráva 2010*. Praha, 2011.
- [42] Vaniček, O. *Podpora volání s eCall službami třetích stran*. Prezentace na konferenci, Praha, 2013.
- [43] Velechovský, V. *eCall – celoevropský systém tísňových volání z vozidel*. Doprava, 2008. ISSN 0012-5520
- [44] Volvo On Call. Roadside assistance.[online], http://www.volvocars.com/us/sales-services/services/volvo_maintenance_services/roadside_assistance/pages/default.aspx [2014-08-09]
- [45] Výzkum a návrh systémové architektury pro rozšíření systému eCall. – zpráva projekt,. 2009. projekt č. 1F84B/036/520
- [46] Wismans, W. *Injury Biomechanics Course Notes*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, Mechanical Engineering, 1994.

Seznam zkratek

ACN	Automatický spěšný oznamovací systém
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.
AIS	Abbreviated Injury Scale
CAN (CAN-BUS)	Controller Area Network
CEN	European Committee for Standardization
CFC	Channel Frequency Class
EHK	Evropská hospodářská komise
EMS	Emergency Medical Service
FPC	Femur Performance Criterion
GIS	Geografický informační systém
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
HIC	Head Injury Criterion
HPC	Head Performance Criterion
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IVS	In Vehicle System
IZS	Integrovaný záchranný sbor
KVPD	Katedra vozidel a pozemní dopravy
MDS	Sensing and Diagnostic Module

MKP	Metoda konečných prvků
MSD	Minimum Set of Data
NIC	Neck Injury Criterion
OBU	On Board Unit
OSN	Organizace spojených národů
PSAP	Public Safety Answering Point
TCFC	kritérium poranění holení kosti
ThAC	Thorax Acceptability Criterion
ThCC	Thorax compression criterion
ThPC	Thorax performance criterion
TI	Tibia
TPS	Third Party Supported
TPSP	Third Party Service Provider
VC	Viscous Criterion
VIN	Vehicle identification number

Seznam obrázků

Obr. 1: Vývoj počtu dopravních nehod na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2012 [5]	4
Obr. 2: Vývoj počtu usmrcených osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2012 [5]	4
Obr. 3: Vývoj počtu zraněných osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2012 [5]	5
Obr. 4: Vývoj počtu dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2013 [36]	6
Obr. 5: Vývoj počtu usmrcených osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2013 [36]	6
Obr. 6: Vývoj počtu zraněných osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2013 [36]	7
Obr. 7: Množství dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR s členěním podle závažnosti poranění [36]	8
Obr. 8: Počet usmrcených a zraněných osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích ČR [36]	8
Obr. 9: Princip komunikace systému eCall [26].....	11
Obr.10: Posloupnost operací při odesílání MSD a následném zpracování dat [12].....	12
Obr. 11: Architektura systému eCall [12]	14
Obr 12: Typy nárazů silničních vozidel podle ISO 6813 [34]	21
Obr 13: Stanovení úhlu kolize při nárazu dvou vozidel [34]	22
Obr 14: Měření plochy překrytí „A“ a odsazení vozidel „B“ při nárazu [34].....	22

Obr. 15: Náraz do deformovatelné bariéry s překrytím 40 % čelní plochy vozidla [9]	24
Obr. 16: Uspořádání a rozměry deformovatelné části bariéry [6]	24
Obr 17: Nárazová část pohyblivé bariéry [7]	27
Obr 18: Nárazová část pohyblivé bariéry [7]	28
Obr. 19 Kritérium namáhání krku v tahu [6]	32
Obr. 20 Kritérium namáhání krku ve smyku [6]	32
Obr. 21 Kritérium síly působící na stehenní kost [6]	35
Obr. 22: Figurína ÚSMD Manikin [28]	40
Obr. 23: Vývojová verze jednotky eCall používaná při nárazových zkouškách	41
Obr. 25: Umístění jednotky eCall v testovaném vozidle	43
Obr. 26: Četnost nárazů v jednotlivých oblastech vozidla [19]	44
Obr. 27: Finální pozice po nárazu a výsledné deformace karoserie zkušebního vozidla	45
Obr. 28: Průběh zrychlení karoserie vozidla měřený akcelerometrem (průběh nahoře) a jednotkou eCall (průběh dole)	46
Obr. 29: Stav zkušebního vozidla Škoda Fabia 1,4 MPI před nárazem (vlevo) a po nárazu (vpravo)	47
Obr. 30: Vliv nárazové rychlosti na deformaci vozidla při čelním nárazu do bariéry	49
Obr. 31: Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Fabia při čelním nárazu (použit filtr CFC 60)	51
Obr. 32: Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Favorit při čelním nárazu (použit filtr CFC 60)	51

Obr. 33: Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Favorit - bez airbagu (použit filtr CFC 1000)	53
Obr. 34: Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Fabia - airbag volantu (použit filtr CFC 1000) [20].....	53
Obr. 35: Průběh zrychlení hlavě figuríny spolujezdce vozidla Škoda Fabia - bez airbagu (použit filtr CFC 1000) [20]	54
Obr. 36.: Zkušební svah použitý pro test převrácení vozidla	55
Obr. 37: Výsledná deformace vozidla Škoda Octavia comby po převrácení	56
Obr. 38: Průběh celkového zrychlení v hlavě řidiče při převrácení vozidla	57
Obr. 39: Počáteční poloha vozidla Škoda Favorit před testem převrácení.....	58
Obr. 40: Umístění zkušebních figurín při testu převrácení	58
Obr. 41.: Finální poloha a deformace vozidla po testu	59
Obr. 42: Zkušební vozidlo (Škoda Favorit) po prvním testu	63
Obr. 43: Zkušební vozidlo (Škoda Favorit) po druhém testu.....	64
Obr. 44: Zkušební vozidlo (Škoda Superb) po třetím testu	66
Obr. 45: První nárazový test - zkušební impaktor (vlevo), konečná poloha objektů po nárazu (vpravo)	68
Obr. 46: Celkové zrychlení v hlavě řidiče při prvním nárazovém testu impaktorem.....	69
Obr. 47: Celkové zrychlení v hlavě spolujezdce při prvním nárazovém testu impaktorem....	70
Obr. 48.: Druhý nárazový test - tramvajový čelník (vlevo), výsledná deformace karoserie silničního vozidla (vpravo)	71
Obr. 49.: Celkové zrychlení v hlavě řidiče při druhém nárazovém testu tramvajovým čelníkem	71

Obr. 50.: Celkové zrychlení v hlavě spolujezdce při druhém nárazovém testu tramvajovým čelníkem	72
Obr. 51: Průběhy podélného a příčného zrychlení karoserie vozidla naměřené jednotkou eCall během nárazu	73
Obr. 52: Průběh celkového zrychlení karoserie vozidla při nárazu tramvajovým čelníkem ...	74
Obr. 53: MKP model vozidla Geo Metro	78
Obr. 54: MKP model vozidla Geo Metro	80
Obr. 55: Výsledná deformace přední části modelu vozidla Geo Metro.....	81
Obr. 56: Deformace podlahy modelu vozidla Geo Metro.....	81
Obr. 57: Porovnání deformované a nedeformované karoserie pomocí drátového modelu..	82
Obr. 58: Průběh podélného zrychlení na předním nárazníku vozidla.....	83
Obr. 59: Průběh podélného zrychlení na přední části středového tunelu vozidla	83
Obr. 60: Průběh podélného zrychlení na střední části středového tunelu vozidla.....	84
Obr. 61: Průběh podélného v místech palivové nádrže.....	84
Obr. 62: Průběh podélného zrychlení na zadním nárazníku vozidla.....	85
Obr. 63: Průběh podélného zrychlení u spodní části pravého B - sloupku.....	85
Obr. 64: Průběh podélného zrychlení u spodní části levého B - sloupku	86

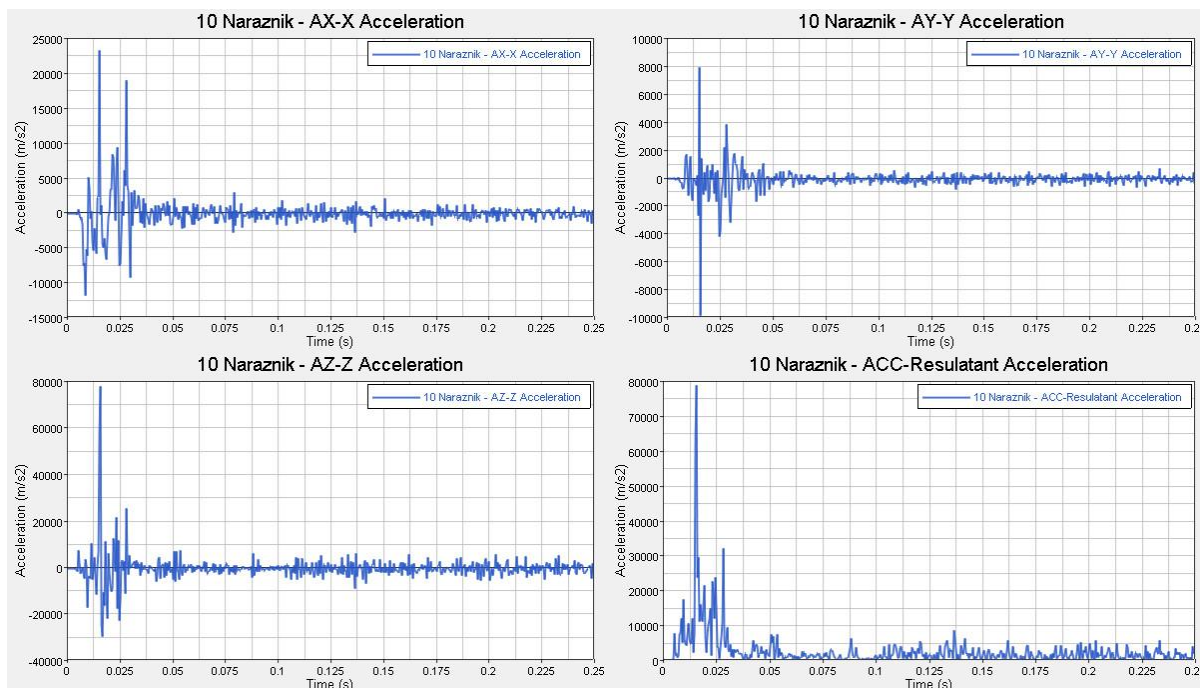
Seznam tabulek

Tab. 1: Informace obsažené v MSD; P = povinný, N = nepovinný údaj [8]	13
Tab. 2: Přehled legislativních požadavků týkajících se systému eCall [12]	16
Tab. 3: Veličiny měřené na figuríně.....	25
Tab. 4: Veličiny měřené na figuríně.....	29
Tab. 5: Konstanty pro výpočet viskózního kritéria [6], [7]	33
Tab. 6: Tabulka hodnocení závažnosti poranění podle metodiky AIS [19]	37
Tab. 7: Přehled parametrů a měřených veličin vozidel při nárazu do tuhé bariéry	50
Tab. 8: Technické parametry automobilu Geo Metro [9]	78

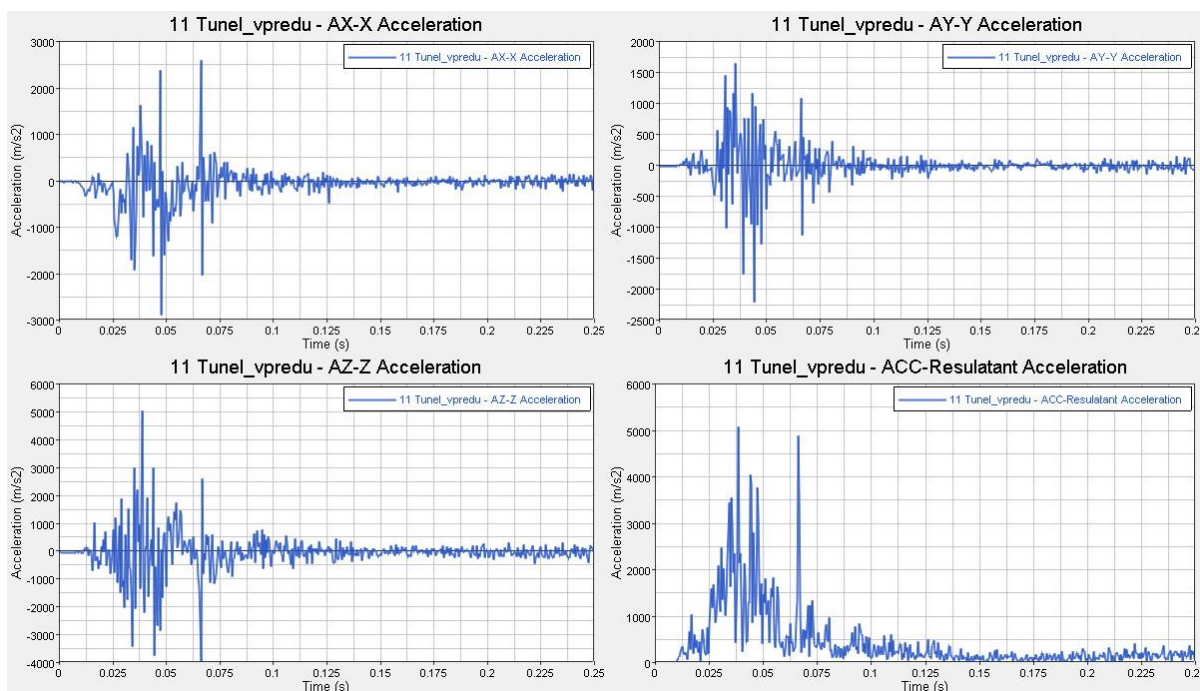
Přílohy

Příloha 1 – Úplné průběhy zrychlení v jednotlivých částech počítačového modelu vozidla

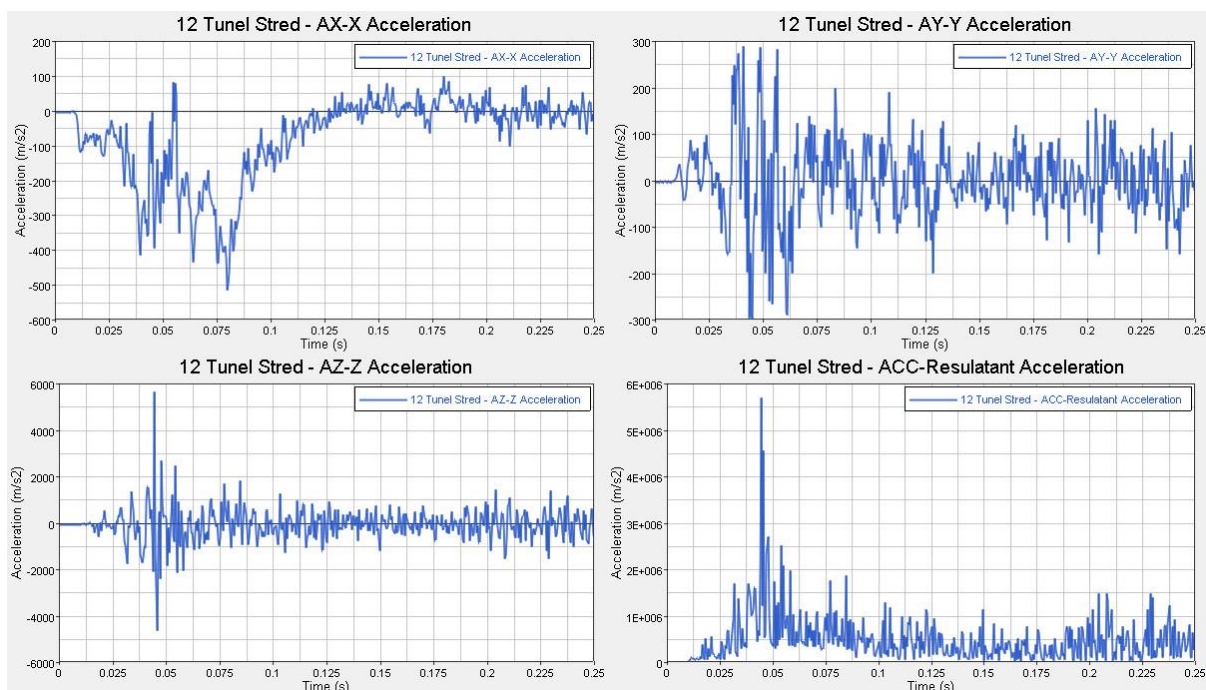
Průběh zrychlení na předním nárazníku:



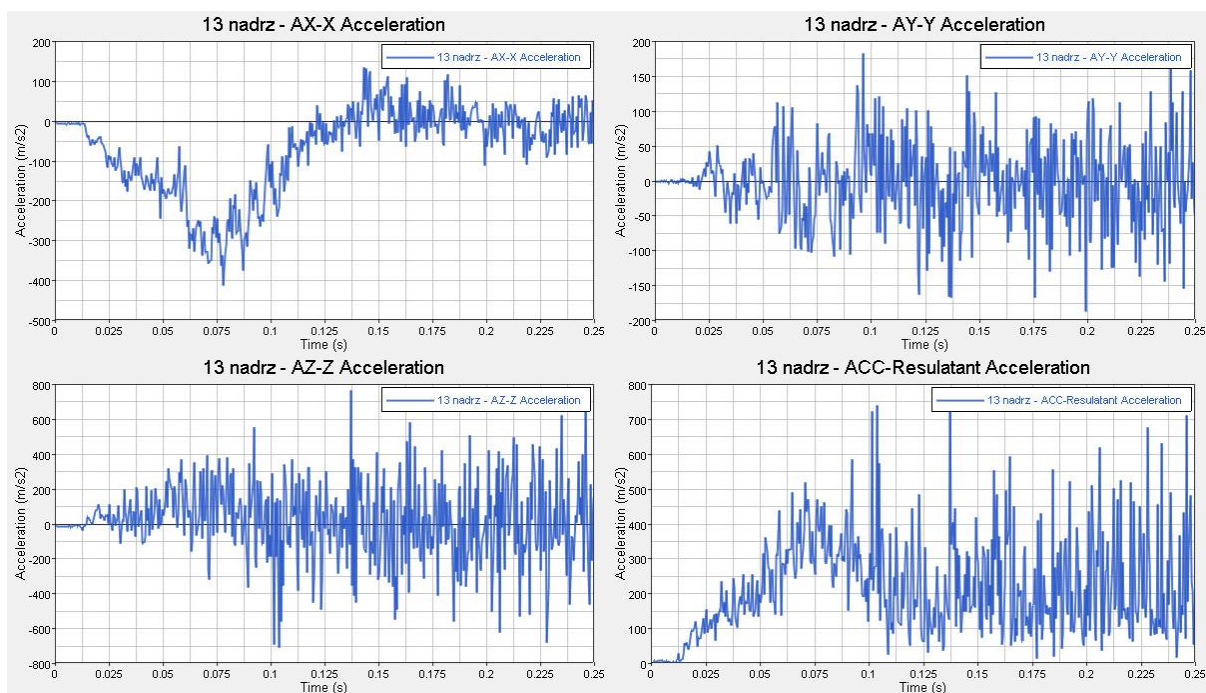
Průběh zrychlení na středovém tunelu vozidla v místech palubní desky:



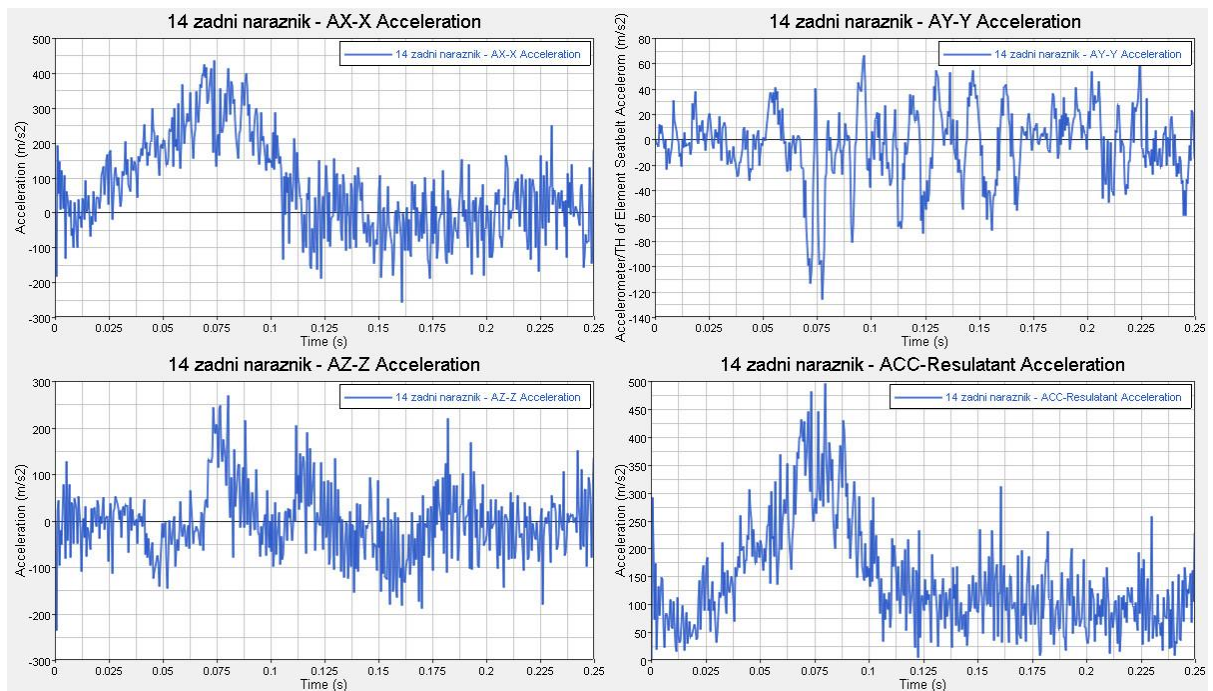
Průběh zrychlení na středový tunel vozidla za ruční brzdou:



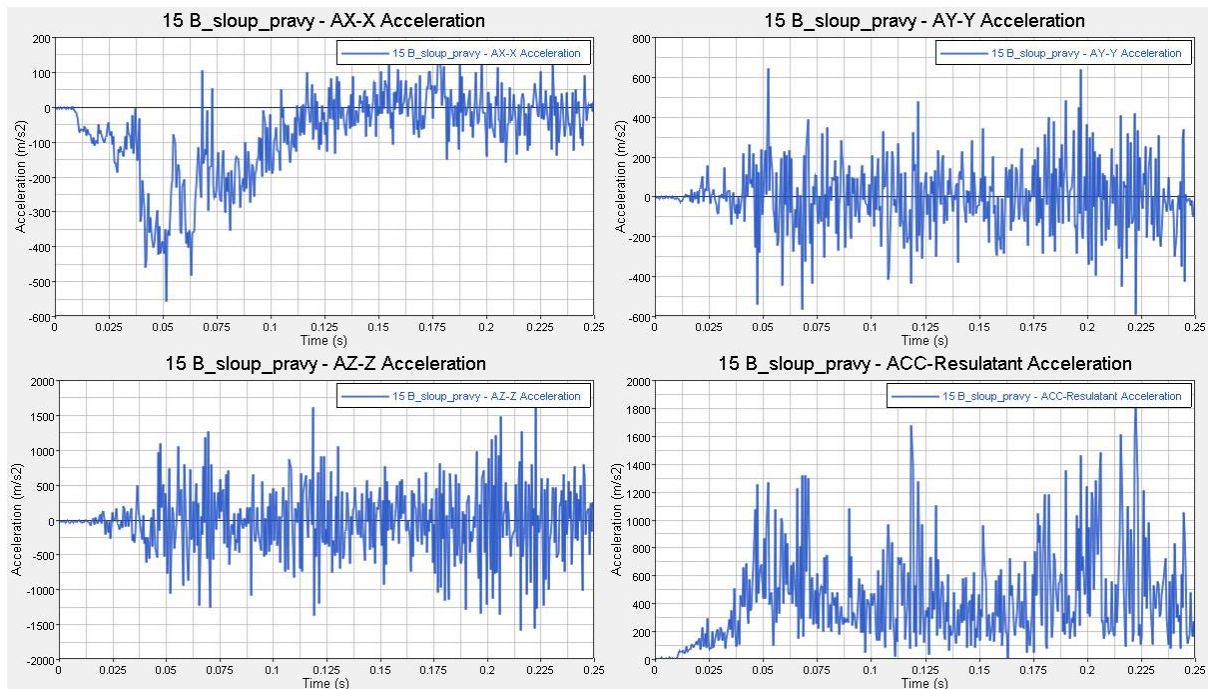
Průběh zrychlení v oblasti palivové nádrže, pod zadními sedadly:



Průběh zrychlení na zadním nárazníku:



Průběh zrychlení na podlaze vozidla u paty pravého B-slouku:



Průběh zrychlení na podlaze vozidla u paty levého B-slouku:

