

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

DISERTAČNÍ PRÁCE

2015

Ing. Josef Mík

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Pasivní bezpečnost vozidel a vliv informačních
technologií**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Doktorská disertační práce

Ing. JOSEF MÍK

2015

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.

JMÉNO A PŘÍJMENÍ:

PODPIS:

DATUM:

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 k řešené problematice. V neposlední řadě děkuji také svým rodičům a blízkým za podporu při studiu.

Abstrakt

Disertační práce se zabývá problematikou informačních technologií se zaměřením na vyvíjený celoevropský systém tísňového volání k dopravní nehodě, systém eCall. Je zde řešena problematika zvyšování bezpečnosti vozidel na základě lepšího popsání situace při dopravní nehodě s použitím vozidlové jednotky eCall. Práce je zaměřena na problematiku čelního nárazu vozidel kategorie M1. V první části práce je popsán současný stav vyvíjeného systému eCall, jeho architektura a přehled s ním související legislativy. Dále je popsána legislativa týkající se zkoušek pasivní bezpečnosti a způsoby jejich vyhodnocení. V další části je uveden přehled nárazových zkoušek čelním nárazem vozidla do různých kolizních partnerů. Výsledky těchto zkoušek jsou využity pro následné analýzy, při řešení problematiky odhadu následků dopravní nehody systémem eCall. V práci je dále řešena vhodnost využití dat, které jsou měřeny jednotkou eCall během nárazu vozidla, k odhadu následků dopravní nehody. Ta je posuzována na základě korelační analýzy měřených signálů zrychlení a rozboru parametrů testované jednotky eCall.

Klíčová slova: eCall, nárazové zkoušky, biomechanická kritéria poranění, korelace

Abstract:

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

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

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Rozdělení bezpečnosti vozidel	3
3.	Statistika nehodovosti.....	4
3.1	Vývoj nehodovosti v EU	4
3.2	Vývoj nehodovosti v ČR	6
3.3	Vývoj nehodovosti – celkové zhodnocení.....	9
4.	Charakteristika systému eCall	11
4.1	Princip systému eCall	11
4.2	Struktura systému eCall.....	12
4.2.1	Vozidlová jednotka IVS	12
4.2.2	Datový soubor MSD.....	12
4.2.3	Centrum tísňového volání PSAP	14
4.3	Legislativní požadavky na systém eCall	16
4.4	Komerční systémy nouzového volání.....	18
4.4.1	Audi T-mobile Traffic	19
4.4.2	Mercedes-Benz TeleAid	19
4.4.3	BMW Vodafone Passo a ConnectedDrive	19
4.4.4	GM OnStar systém	20
4.4.5	Volvo On Call systém	20
4.5	Možnosti přesnějšího popsání dopravní nehody v rámci eCall.....	21
5.	Legislativní požadavky na testování vozidel z hlediska pasivní bezpečnosti23	
5.1	Norma ISO 6813.....	24
5.2	Předpis EHK/OSN 94.....	26
5.2.1	Popis testovaného vozidla	26
5.2.2	Zkušební bariéra	26

5.2.3	Hodnocení zkoušky	28
5.3	Testování vozidel podle EuroNCAP	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	33
6.3.4.	Třímilisekundové kritérium – 3ms	34
6.3.5.	Kritéria poranění končetin	34
6.4.	Hodnocení závažnosti poranění podle metodiky AIS	35
7.	Cíle práce	39
8.	Metodika.....	40
8.1.	Použitá technika.....	42
8.1.1.	Měřicí technika	42
8.1.2.	Zkušební figurína.....	44
8.1.3.	Urychlovací zařízení.....	46
8.1.4.	Pevná bariéra	46
8.2.	Nárazové testy	47
8.2.1.	Nárazový test vozidla Škoda Favorit do pevné bariéry	47
8.2.2.	Nárazový test vozidla Škoda Fabia do pevné bariéry.....	50
8.2.3.	Nárazový test vozidla Škoda Rapid při rychlosti 45 km·h ⁻¹	52
8.2.4.	Nárazový test vozidla Škoda Rapid při nízké rychlosti.....	55
8.2.5.	Nárazový test vozidla Škoda Roomster do deformovatelné bariéry	56
8.2.6.	Nárazový test vozidla Renault 5 GTD.....	57

8.2.7. Kolize automobilu Škoda Fabia s automobilem Škoda Octavia	60
8.3. Souhrnné výsledky nárazových testů	63
9. Analýza odhadu závažnosti nárazu.....	66
9.1. Korelační analýza výsledků nárazových testů.....	66
9.1.1. Závislost deformace na nárazové rychlosti	67
9.1.2. Závislost maximálního zrychlení na kinetické energii vozidla	69
9.1.3. Závislost HIC kritéria na nárazové rychlosti vozidla	71
9.2. Namáhání kabiny vozidla při nárazu	73
9.2.1. Hodnocení mechanického napětí karoserie	73
9.2.2. Hodnocení zrychlení karoserie	77
9.3. Ověření funkce vozidlové jednotky eCall	79
9.3.1. Popis jednotky eCall	79
9.3.2. Princip činnosti jednotky eCall	81
9.3.3. Test jednotky eCall při reálné nárazové zkoušce	82
9.3.4. Korelace signálů zrychlení	82
9.3.5. Zkouška jednotky eCall na urychlovacím zařízení.....	85
9.3.6. Analýza naměřených signálů zrychlení.....	89
9.3.7. Shrnutí výsledků testu jednotky eCall.....	93
10. Diskuse	95
11. Závěr.....	97
Literatura:.....	103
Seznam zkratk	109
Seznam obrázků	111
Seznam tabulek	115
Přílohy.....	116

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 například umožní informovat ostatní řidiče o vzniklé dopravní nehodě, což může přispět k větší plynulosti dopravy a k zabránění vzniku dalších nehod nebo umožní implementaci různých nadstavbových služeb.

Jak již bylo zmíněno, 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 osobních automobilů je v současnosti plánován na duben 2018. [19]

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.

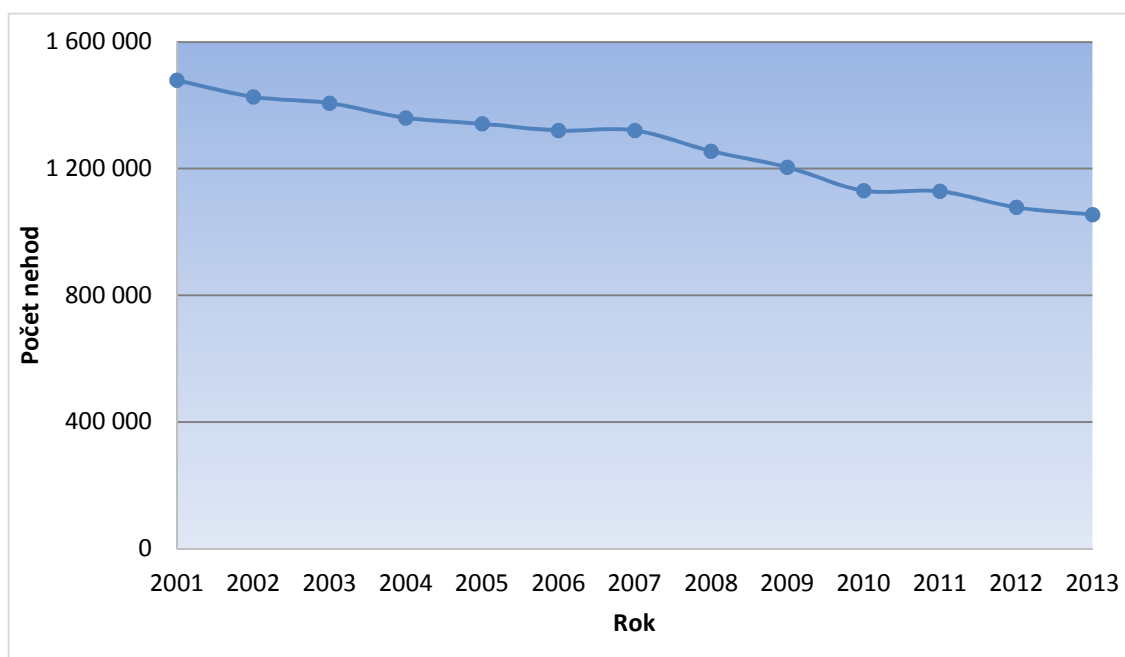
Kromě dvou výše zmíněných oblastí bezpečnosti se v současnosti rozvíjí také oblast integrované bezpečnosti, která v sobě sdružuje některé prvky aktivní a pasivní bezpečnosti a jejich vzájemným provázáním je možné vozidlo lépe připravit na blížící se kolizi, čímž je dosaženo účinnější ochrany posádky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

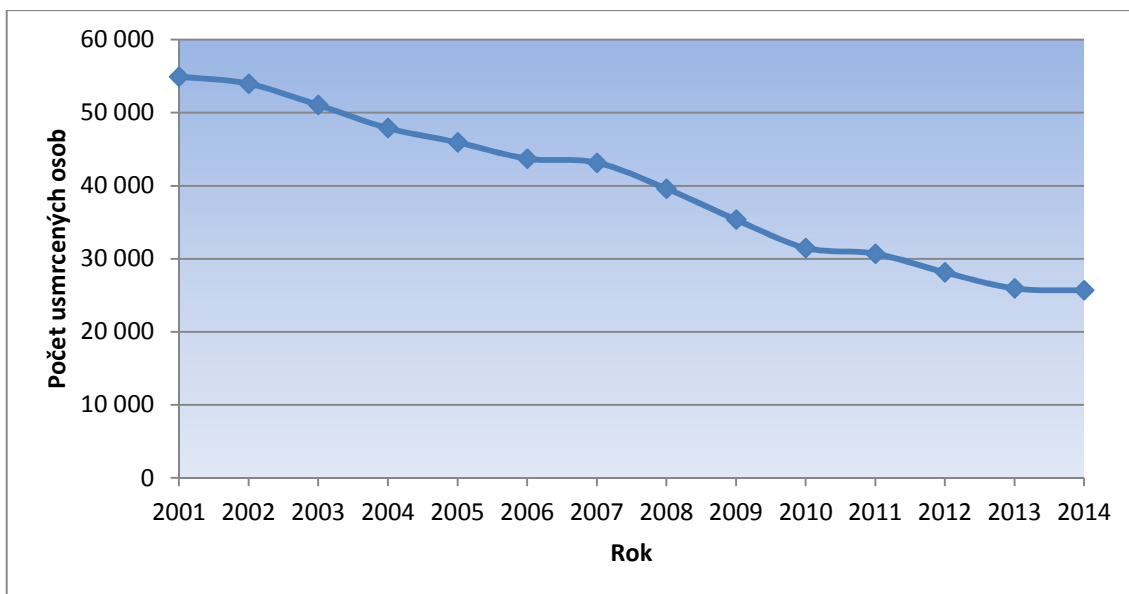
3. Statistika nehodovosti

3.1 Vývoj nehodovosti v EU

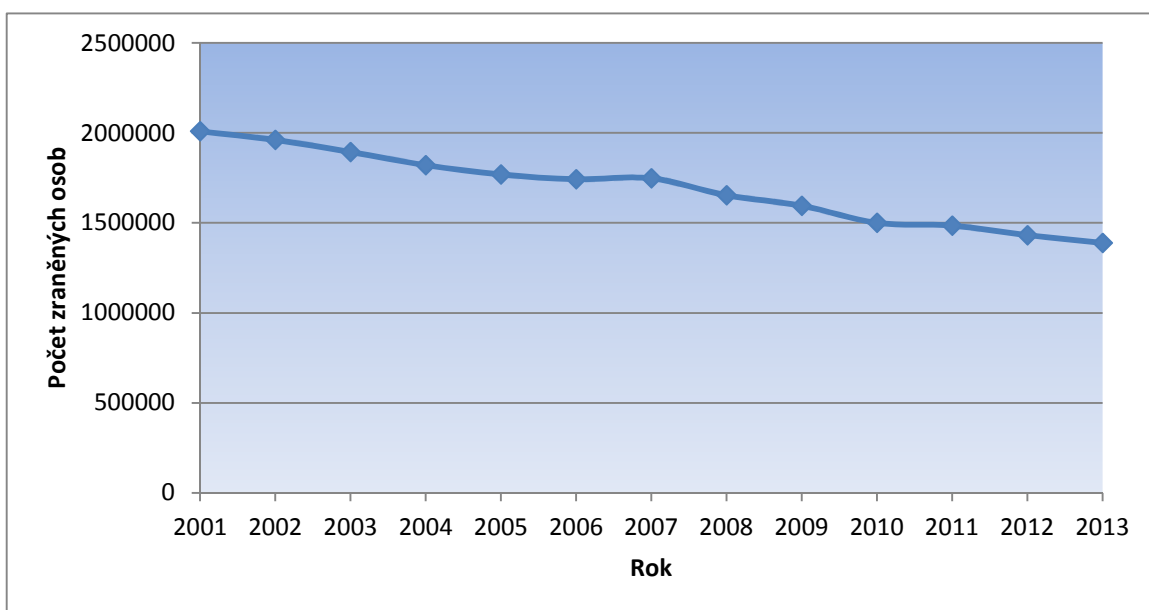
Z dlouhodobého hlediska dochází na území Evropské unie k poklesu počtu dopravních nehod, jak je patrné v grafu na obrázku 3.1. V roce 2013 byl počet nehod o 424 354 nižší oproti roku 2001, což představuje za toto období pokles o více než 28 %. Klesající trend mají v tomto období také počty usmrcených a zraněných osob při dopravních nehodách na území Evropské unie. V roce 2013 bylo v Evropské unii vlivem dopravních nehod usmrceno 25 938 osob a došlo tak k poklesu o 52,8 % oproti roku 2001, kdy počet usmrcených vlivem dopravních nehod dosáhl hodnoty 54 949 osob, což bylo nejvíce od roku 1991. V roce 2014 pak počet usmrcených osob vlivem dopravních nehod dosáhl poklesu o 1 % oproti roku 2013. Vývoj počtu usmrcených osob je patrný v grafu na obrázku 3.2. V grafu na obrázku 3.3 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 2013 bylo na Evropských silnicích celkem zraněno 1 387 957 osob. To představuje pokles o 30,9 % oproti roku 2001.



Obr. 3.1: Vývoj počtu dopravních nehod na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2013 [11]



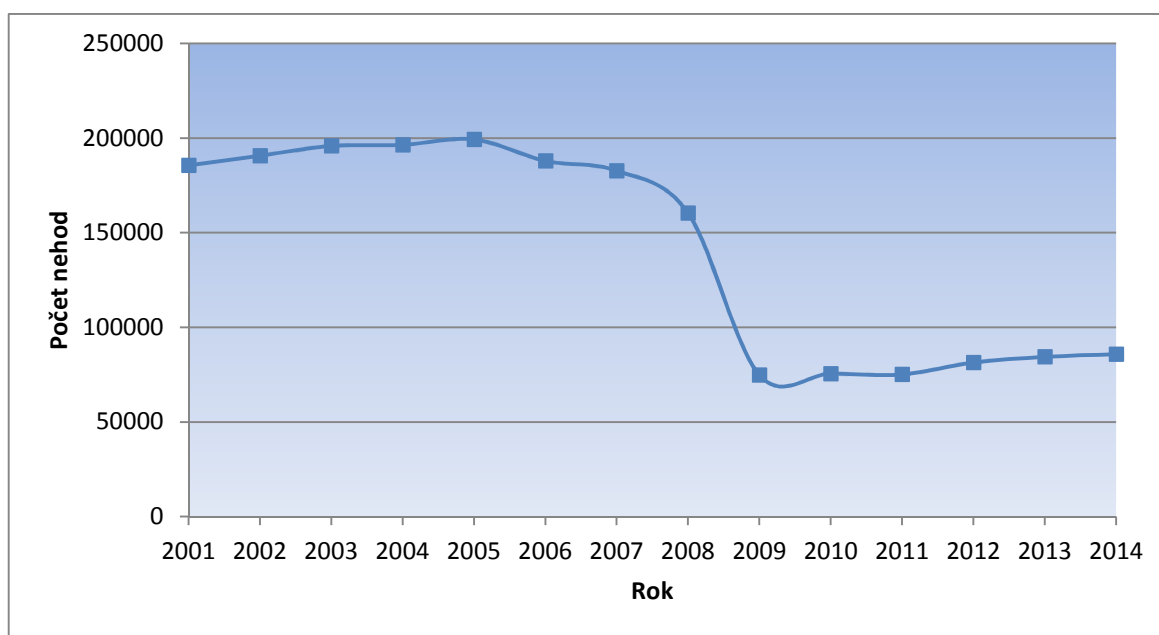
Obr. 3.2: Vývoj počtu usmrcených osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2014 [11]



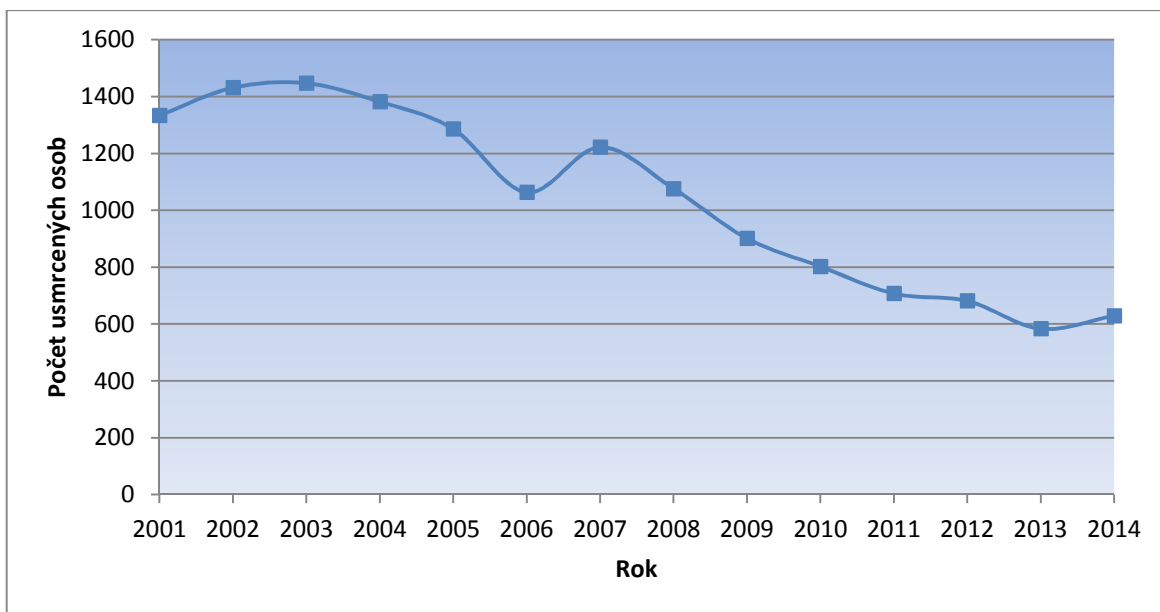
Obr. 3.3: Vývoj počtu zraněných osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2013 [11]

3.2 Vývoj nehodovosti v ČR

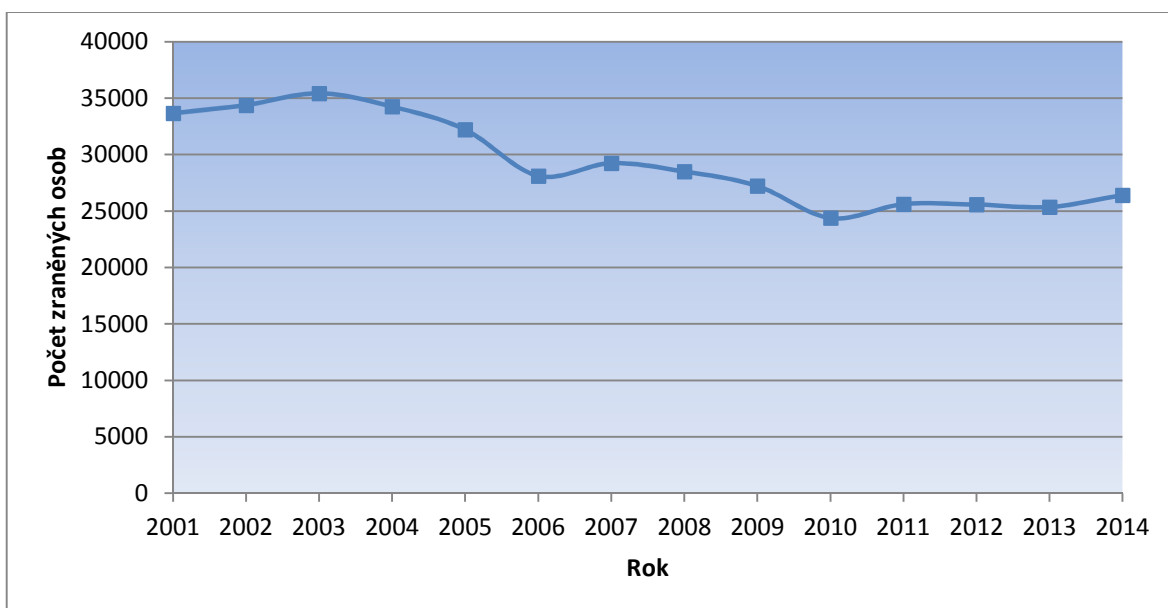
Obsahem této kapitoly je statistika dopravních nehod a jejich následků na pozemních komunikacích v České republice za období 2001 až 2014 pro možné porovnání vývoje nehodovosti v ČR a EU. Jelikož se jedná o údaje evidované Policií České republiky, nelze z nich jednoznačně stanovit přesný vývoj nehodovosti 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 3.4, 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 3.5 a 3.6, 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. 3.4: Vývoj počtu dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2014 [42]



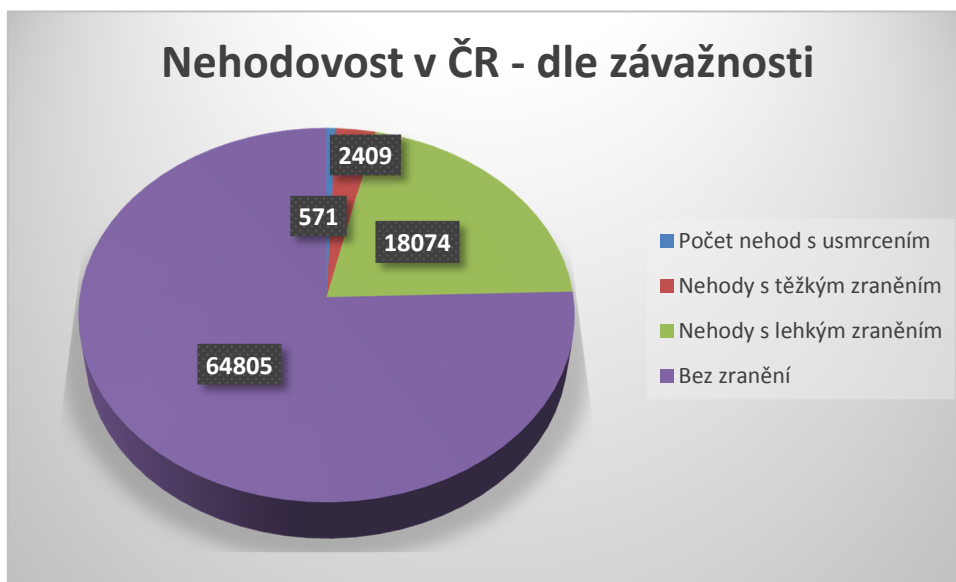
Obr. 3.5: Vývoj počtu usmrcených osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2014 [42]



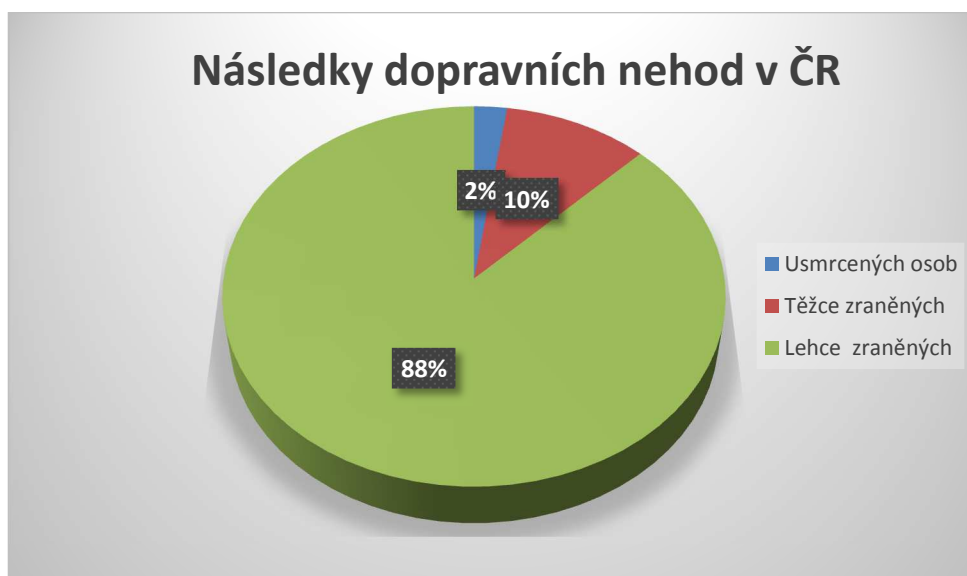
Obr. 3.6: Vývoj počtu zraněných osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2014 [42]

V následujícím grafu na obrázku 3.7 je uveden počet nehod na pozemních komunikacích v České republice v roce 2014 s jejich rozdělením podle závažnosti zranění. Celkem v tomto roce bylo evidováno 85 859 dopravních nehod, z nichž 64 805 nehod (tj. asi 75,5 %) bylo bez zranění. 20 483 nehod (tj. asi 24,5 %) v tomto roce byly nehody, při kterých došlo ke zranění, z čehož nehod s lehkým zraněním bylo 18 074 a

nehod s těžkým zraněním 2 409. V roce 2014 došlo k 571 nehodám se smrtelným zraněním, což tvoří asi 0,6 % z celkového množství dopravních nehod v tomto roce. Celkem bylo v roce 2014 při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v ČR usmrceno 629 osob, 2 762 osob bylo těžce zraněno a 23 655 osob bylo zraněno lehce. Procentuální poměr počtu usmrcených a zraněných osob je patrný z grafu na obrázku 3.8. [42]



Obr. 3.7: Množství dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR s členěním podle závažnosti poranění [42]



Obr. 3.8: Počet usmrcených a zraněných osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích ČR [42]

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 usmrcených 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 usmrcených 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 usmrcených a těžce zraněných osob při dopravních nehodách. Mezi tyto opatření patří mimo jiné také povinné zavedení systému eCall na celoevropské úrovni. [4]

V případě vývoje počtu zraněných a usmrcených osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích v ČR došlo v období mezi roky 2001 a 2013 u usmrcených osob k poklesu o 56,29 % a bylo tak dosaženo zlepšení nad hodnotou celoevropského průměru. V případě vývoje počtu zraněných osob došlo v rámci ČR k poklesu o pouhých 24,69 %, což je o 3,5 % méně než je průměrná hodnota v rámci EU. Srovnání vývoje počtu usmrcených a zraněných osob vlivem dopravních nehod za období 2001 až 2013 v EU a ČR je uvedeno v tabulce 3.1. Dále je zde uveden vývoj počtu dopravních nehod a to pouze za období 2009 – 2013, z důvodu eliminování vlivu změn v hlášení dopravních nehod Policii ČR od roku 2009.

Tab. 3.1: Srovnání vývoje dopravní nehodovosti v rámci EU a ČR [vlastní zpracování]

	V EU [%]	V ČR [%]
Vývoj počtu zraněných (2001 – 2013)	Pokles o 30,9 %	Pokles o 24,69 %
Vývoj počtu usmrcených (2001 – 2013)	Pokles o 52,79 %	Pokles o 56,29 %
Vývoj počtu dopravních nehod (2009 – 2013)	Pokles o 12,4 %	Nárůst o 12,8 %

Hlavním přínosem systému eCall z hlediska vývoje nehodovosti v rámci EU je zmírnění následků dopravní nehody, tedy snížení počtu usmrcených a těžce zraněných osob při dopravních nehodách. V rámci jednotlivých států EU budou tyto hodnoty závislé na mnoha faktorech, jako například hustota osídlení, kdy větší přínos systému

eCall je očekáván v extravilánu a v oblastech s delším dojezdem jednotek integrovaného záchranného sboru (IZS). Podle studie [45] by zavedením systému eCall v ČR mělo dojít ke snížení počtu usmrcených osob o 3 až 9 % a počtu těžce zraněných osob o 5 až 10 %, což vyplývá z předpokládaného zkrácení doby, která uplyne od vzniku dopravní nehody, po její oznámení operátorovi tísňové linky a z poskytnutí přesnějších informací o dopravní nehodě. V rámci ČR by tak zavedením systému eCall mělo dojít ke zkrácení doby příjezdu jednotek IZS o 3 až 5 minut. [45]

Studie [46], zkoumající dopravní nehody na území Španělska v květnu 2004, stanovila průměrnou dobu příjezdu jednotek ISZ k dopravní nehodě v tamních podmínkách na 25 minut. Studie dále odhaduje snížení počtu úmrtí při dopravních nehodách o 33 % na dálnicích a o 32 % na ostatních komunikacích, pokud by došlo ke snížení průměrné doby příjezdu IZS o 10 minut [46]

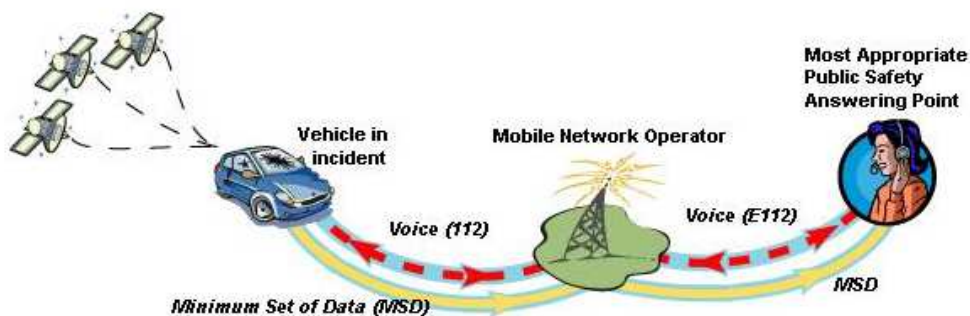
Vliv systému eCall na snížení počtu dopravních nehod pravděpodobně nebude tak vysoký, jako v případě snížení následků dopravní nehody, jelikož systém nemá primárně za cíl zabránit dopravní nehodě, ale k jeho automatické aktivaci dochází až po jejím vzniku. Ke zlepšení však může dojít vlivem včasného označení místa nehody, při propojení systému eCall s již stávajícími a plánovanými informačními technologiemi (například dopravní informace řidičům, systémy Car2Car a Car2X).

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 4.1. 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. 4.1: Princip komunikace systému eCall [16]

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.

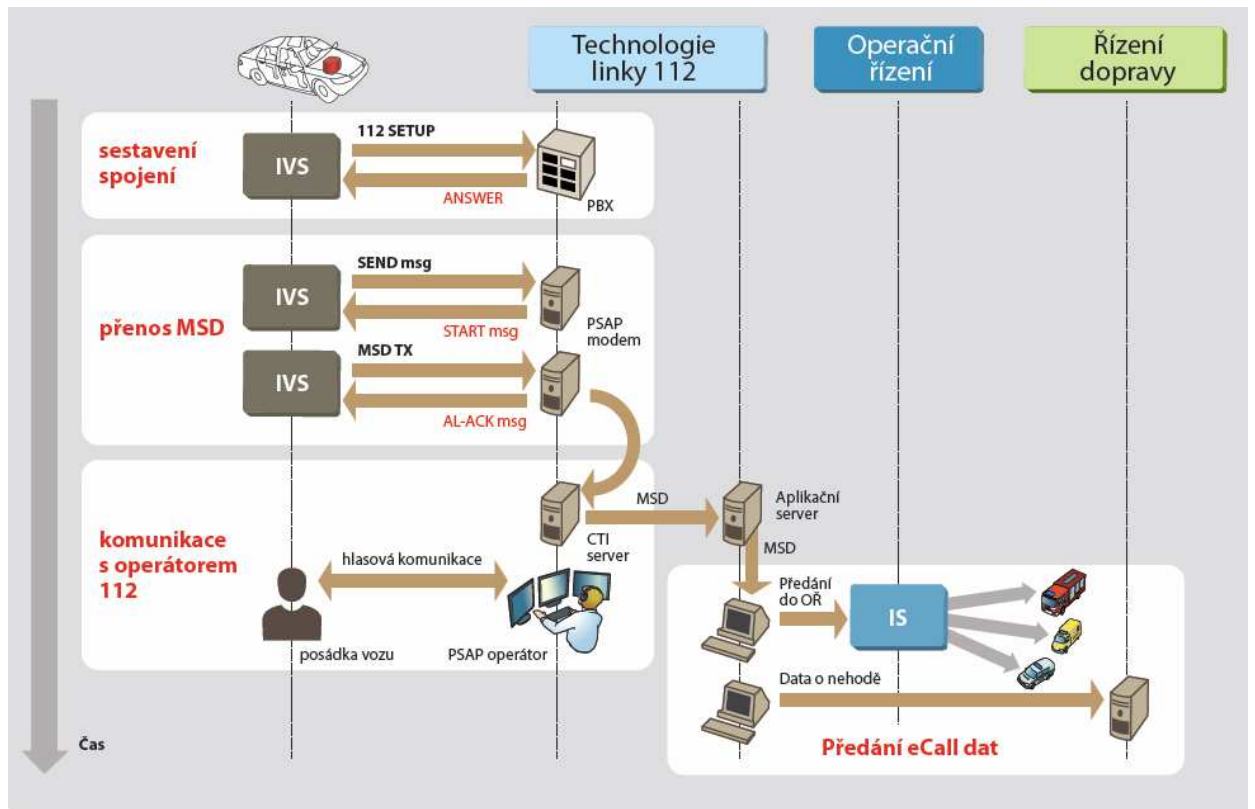
Základním prvkem IVS je palubní vozidlová jednotka umístěná ve vozidle, která na základě signálů z nárazových čidel a akcelerometrů vyhodnocuje vznik dopravní nehody a inicializuje tísňový hovor. Pro odhad vzniku dopravní nehody je také uvažováno o využití signálů ze systémů pasivní bezpečnosti vozidla (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 zahájit volání 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 na základě nastavovací zprávy obsahující tzv. eCall flag

dokáže odlišit volání z IVS od běžného volání z mobilního telefonu na tísňovou linku 112.



Obr. 4.2: Posloupnost operací při odesílání MSD a následném zpracování dat [19]

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 4.2. Struktura datové zprávy je předepsána normou EN 15722 a obsažené informace jsou popsány v tabulce 4.1.

Tab. 4.1: Informace obsažené v MSD; P = povinný, N = nepovinný údaj [13]

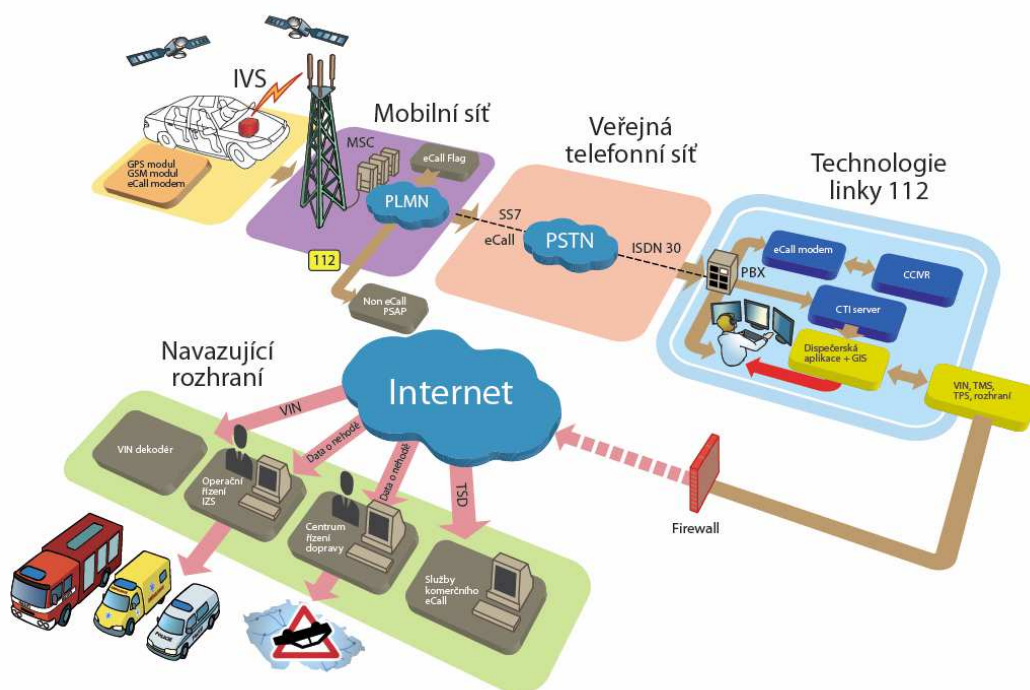
Název	Povinný údaj	Typ	Popis
ID	P	Integer	Verze formátu MSD
Message identifier	P	Integer	Identifikátor MSD zprávy
Control	P	Integer	Typ aktivace – automatická/manuální; norma/test eCall; důvěryhodnost polohy; typ vozidla
Vehicle identification	P	String	VIN kód dle normy ISO 3779
Propulsion storage type	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

4.2.3 Centrum tísňového volání PSAP

V případě tísňového volání vozidlovou palubní jednotkou systému eCall je telefonní hovor a odeslaný datový soubor směrován 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 standartní linka tísňového volání E112, tj. že operátor tísňové linky má k dispozici pouze zpřesňující data o poloze havarovaného vozidla, které mu poskytne mobilní operátor, jejichž nepřesnost se však může pohybovat v řádu stovek až tisíců metrů. 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 4.3.



Obr. 4.3: Architektura systému eCall [19]

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.).

Požadavky na centrum tísňového volání PSAP

Ze strany systému eCall jsou na centra tísňového volání PSAP a software operátora kladeny následující požadavky:

- Schopnost přijímat ověřovat a dekódovat datové zprávy MSD,

- Upozornění na nové eCall volání,
- Srozumitelné zobrazení informací z MSD (s využitím GIS a jiných podpůrných systémů),
- Možnost vyžádání opětovného zaslání MSD operátorem,
- Možnost ovládat hlasový hovor (manuální zahájení zpětného volání, ukončení hovoru, apod.). [54]

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 4.2, náplň norem je pak blíže popsána v následujících podkapitolách.

Tab. 4.2: Přehled legislativních požadavků týkajících se systému eCall [19]

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
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

EN 15722 – Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Minimální soubor dat pro eCall (MSD)

Tato norma definuje strukturu MSD, odesílanou z vozidlové jednotky do centra tísňového volání PSAP. Dodržení struktury MSD je důležité z důvodu jednotnosti při dekódování MSD v různých PSAP. Struktura datové zprávy podle EN 15722 je uvedena v tabulce 1 v kapitole 4.2.2.

EN 16062 - Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Vysokourovňové aplikační požadavky na eCall

Tato norma definuje protokoly pro jednotlivé aplikace, postupy a procesy, využívané k poskytování služby eCall prostřednictvím tísňového volání přes komunikační sítě mobilních operátorů. Tento standard je úzce obsahově spjat s normou EN 16072 a také se standardem WI00278244 (Podpora třetích stran – provozní požadavky). [14]

EN 16072 - Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Provozní požadavky na panevropský eCall

Norma definuje základní provozní požadavky a vnitřní postupy pro služby tísňového volání ve vozidle tak, aby byla při zahájení tísňového volání přenesena datová zpráva z havarovaného vozidla do centra tísňového volání (PSAP). Norma popisuje také sestavení hlasového kanálu mezi jednotkou ve vozidle a daným PSAP. [15]

EN 16102 – Inteligentní dopravní systémy - eCall - Provozní požadavky na podporu eCall třetí stranou

Jedná se o normu stanovující provozní požadavky pro službu eCall, kterou zajišťuje soukromý subjekt (třetí strana). Norma řeší způsob integrace současných a budoucích systémů eCall třetích stran do celoevropského systému eCall, standardizuje postupy pro předávání dat o nehodě a následné zajištění hlasové komunikace mezi střediskem soukromého poskytovatele TPSP (Third Party Service Provider) a PSAP.

EN 16454 – Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Testování shody v rámci celého procesu systému eCall

Norma definuje postupy při testování jednotlivých klíčových činitelů, jako jsou například vozidlový systém, mobilní operátor, PSAP či poskytovatel služeb třetích. Slouží k posouzení shody implementace systému eCall na úrovni těchto činitelů, kdy pro každého z nich jsou definovány samostatné testovací scénáře.

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. [55]

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, 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 k danému vozidlu vyšle pomoc. Operátorovi jsou zaslány informace obsahující všechny vozidlové detaily spolu s lokalizací vozidla. Ty pak v případě dopravní nehody předá nejbližšímu PSAP středisku. [44]

4.4.2 Mercedes-Benz TeleAid

System Mercedes-Benz TeleAid, který v sobě zahrnuje také funkci automatický nouzový hovor, byl vyvinut firmou Motorola pro automobily třídy S, provozované na území USA. System 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 a ConnectedDrive

Automobilka BMW nabízí v rámci asistenčních služeb službu BMW Assist, která v sobě zahrnuje bezpečnostní a správcovské služby, službu nouzového přivolání pomoci a pomoci při selhání vozidla. V případě krizové situace jsou pomocí mobilní

sítě automaticky odeslána data ve formě SMS na servisní centrum BMW. Operátor pak přenáší informace o nehodě a parametry vozidla k nejbližšímu PSAP. V případě ruční aktivace nouzového volání je řidič (posádka vozidla) spojen s operátorem v servisním centru.

V rámci systému ConnectedDrive je nabízena služba s názvem BMW Advanced eCall. Ta je určena k poskytování podrobných informací o havarovaném vozidle a nehodě pro jednotky IZS. Mezi poskytované informace patří typ kolize, použité airbagy, počet cestujících ve vozidle, či předpokládaná zranění odhadovaná na straně operátora z ostatních údajů. Informace jsou odesílány operátorovi v servisním středisku, který na jejich základě předává zprávu na tísňovou linku. [5, 51]

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. Vznik dopravní nehody je do centra OnStar oznámen přes automatický oznamovací systém (ACR - Automatic Crash Response). Systém OnStar využívá senzorů umístěných na různých místech karosérie, GPS jednotky a modulu SDM (Sensing and Diagnostic Module) vyhodnocujícího získané informace. V případě havárie je systém OnStar schopný podle rychlosti před nárazem, přetížení při náraze, 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 implementovaných v interiéru vozidla. [41]

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 přes síť mobilního operátora odesílána textovou zprávou (SMS) do Volvo On Call Alarm

Center. 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 schopen odpovědi, operátor automaticky odešle pomoc na místo nehody. Ve vozidle je obsaženo také SOS tlačítko k manuálnímu přivolání pomoci v případě naléhavé situace. [57]

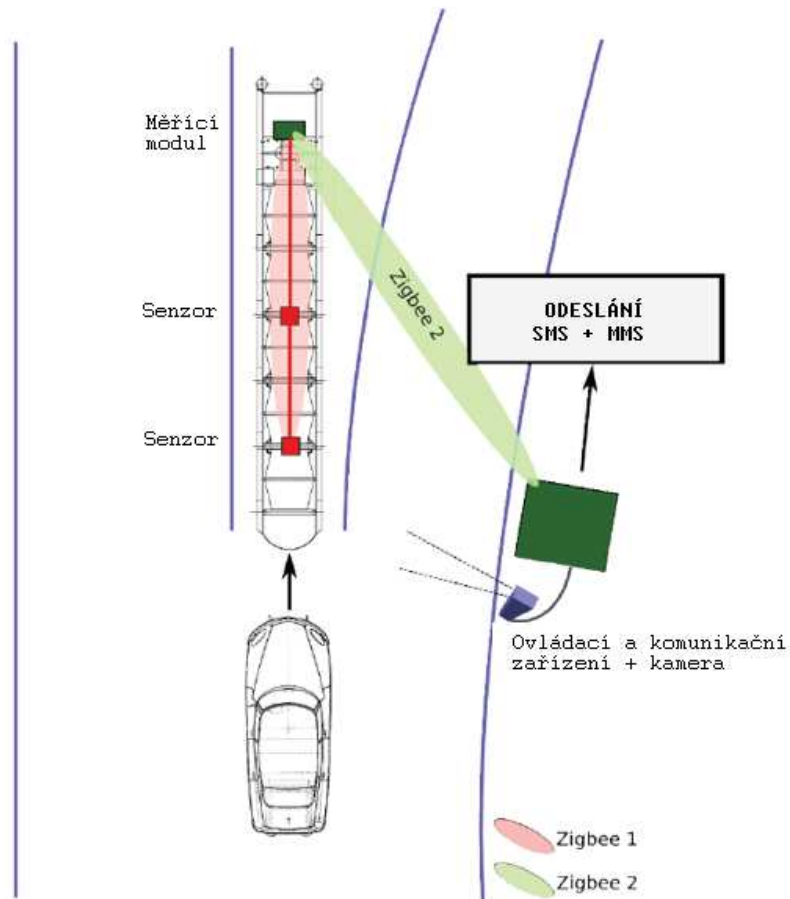
4.5 Možnosti přesnějšího popsání dopravní nehody v rámci eCall

Kromě některých výše zmíněných komerčních systémů tísňového volání k dopravní nehodě, se možností přesnějšího popsání dopravní nehody s využitím systému eCall zabývají také některé výzkumné projekty. V principu vycházejí ze získání doplňujících informací na straně havarovaného vozidla a jejich následného zahrnutí do datové zprávy odeslané operátorovi tísňové linky. Doplňující informace jsou většinou získávány na základě obrazového záznamu z několika kamer rozmístěných v interiéru vozidla. V případě aktivace tísňového volání je pak mezi posádkou havarovaného vozidla a operátorem tísňové linky aktivován video hovor, nebo jsou pořízeny fotografie interiéru a případně okolí vozidla, které jsou odeslány operátorovi tísňové linky. Možnost využití videohovoru uvádí například platforma „Car-Gateway“ jejíž jednotka zahájí tísňové volání odesláním MSD podle standardů eCall a následně zahájí video hovor s využitím datového přenosu GPRS. [32]

Podobný princip využívá otevřená platforma „SafeTRIP“, umožňující také tísňová volání v rámci systému eCall. V případě tísňového volání je k operátorovi tísňové linky přenášén videozáznam nebo fotografie z interiéru havarovaného vozidla, tyto jsou pořizovány pomocí IP kamer. [3]

Využití obrazového záznamu havarovaného vozidla pro popis dopravní nehody v sobě implementuje také systém „InfraCall“, který řeší detekci dopravní nehody na základě signálů ze senzorů zrychlení umístěných na silničních svodidlech v úsecích s vyšším výskytem dopravních nehod. V případě detekce nárazu vozidla do silničního svodidla je venkovní kamerou (fotoaparát) pořízena fotografie z místa nehody a následně odeslána společně se zprávou o nehodě do centra tísňového volání. Jednotlivé prvky systému InfraCall a jejich uspořádání jsou patrné z obrázku 4.4. Komunikace mezi jednotlivými prvky systému InfraCall probíhá pomocí bezdrátové komunikační technologie (Zigbee). Systém je navržen tak, aby bylo možné zprávy o dopravní nehodě

odesílat také do centra tísňového volání PSAP a využít jej v rámci systému eCall. Výhodou tohoto systému je možnost detekce nárazu také u vozidel, která nejsou vybavena jednotkou eCall. [10]



Obr. 4.4: Architektura systému InfraCall [10]

Další možností přesnějšiho popisu dopravní nehody je pak využití akcelerometrů umístěných ve vozidle a na základě průběhů zrychlení naměřených během nárazu dále stanovit typ nárazu. Tuto problematiku řeší například Carolina Pinart ve zdroji [42], kde popisuje přenosnou jednotku eCall typu Black-box, která umožňuje připojení externích senzorů rozmístěných na karoserii vozidla pomocí bezdrátového přenosu (Wi-Fi, Bluetooth). Na základě signálů z akcelerometrů pak jednotka odhaduje typ nárazu (čelní náraz, zadní náraz, levý a pravý boční náraz, převrácení vozidla). [43]

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.

Problematickou pasivní bezpečnosti v oblasti silničních vozidel se zabývají následující předpisy EHK/OSN:

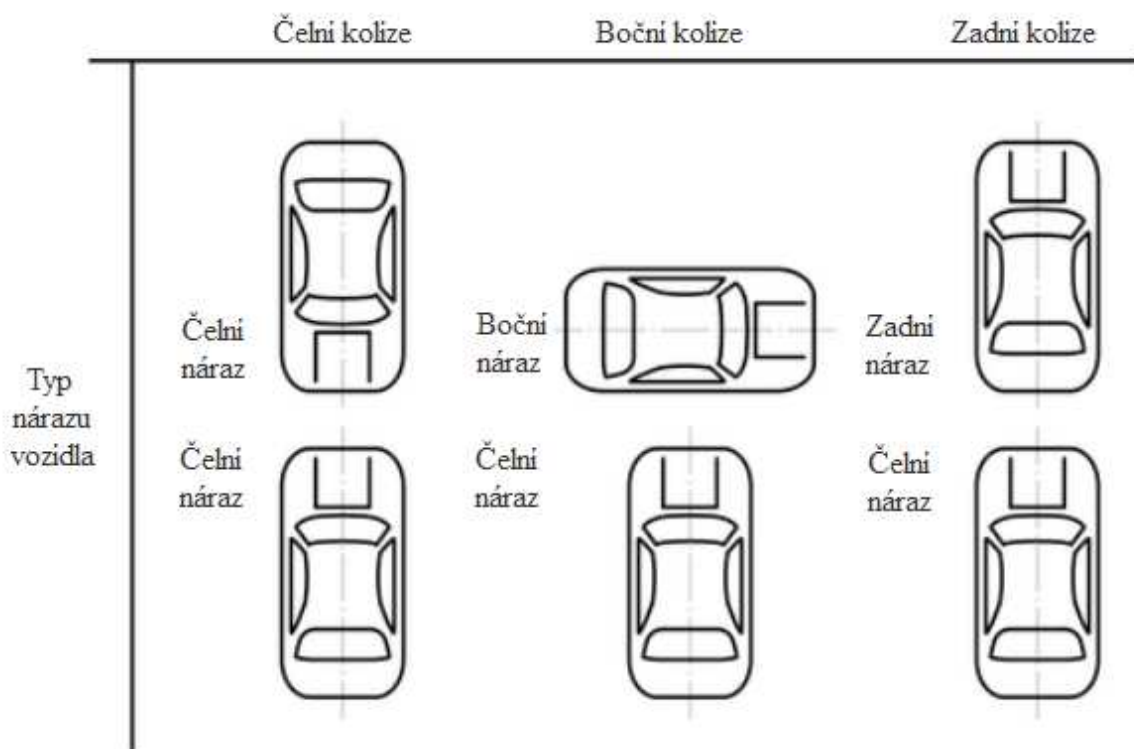
- EHK/OSN 12 – ochrana řidiče před mechanismem řízení v případě nárazu,
- EHK/OSN 14 – kotevní úchyty bezpečnostních pásů a kotevní úchyty ISOFIX,
- EHK/OSN 16 – bezpečnost pásy a zádržné systémy,
- EHK/OSN 17 – sedadla vozidel, jejich ukotvení a opěrky hlavy,
- EHK/OSN 21 – vnitřní vybavení vozidel z hlediska uspořádání prostoru pro cestující,
- EHK/OSN 25 – schvalování opěrek hlavy,
- EHK/OSN 26 – vnější výčnělky vozidel,
- EHK/OSN 29 – ochrana cestujících v kabině užitkového vozidla,
- EHK/OSN 32 – nosná konstrukce osobních vozidel z hlediska nárazu zezadu,
- EHK/OSN 33 – nosná konstrukce osobních vozidel z hlediska nárazu zepředu,
- EHK/OSN 43 – bezpečnostní zasklívací materiály a jejich montáž ve vozidlech,
- EHK/OSN 44 – zádržná zařízení pro děti cestující v motorových vozidlech,
- EHK/OSN 58 – ochrana proti podjetí zezadu,
- EHK/OSN 61 – vnější výčnělky užitkových vozidel před zadní stěnou kabiny,
- EHK/OSN 66 – pevnost nástavby velkých osobních vozidel (autobusů),
- EHK/OSN 80 – sedadla autobusů, jejich pevnost a jejich ukotvení,
- EHK/OSN 93 – ochrana proti podjetí zepředu,
- EHK/OSN 94 – ochrana cestujících při čelním nárazu,
- EHK/OSN 95 – ochrana cestujících při bočním nárazu,
- EHK/OSN 114 – moduly airbagů a náhradní airbagové systémy,
- EHK/OSN 127 – Ochrana chodců,
- EHK/OSN 135 – Boční náraz na sloup. [53]

Při reálných nárazových zkouškách poskytujících podklady pro tuto práci, bylo vycházeno ze základních parametrů homologačních zkoušek. V podkapitolách 5.1 a 5.2 jsou uvedeny nejdůležitější předpisy a normy pro tuto práci.

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 základní typy dopravních nehod na kolizní, mezi něž patří čelní, boční, zadní a jiné typy nárazů a dále pak na nekolizní, kam jsou zahrnuty požár, převrácení vozidla, aj. Základní konfigurace vozidel při kolizních dopravních nehodách jsou znázorněny na obrázku 5.1.

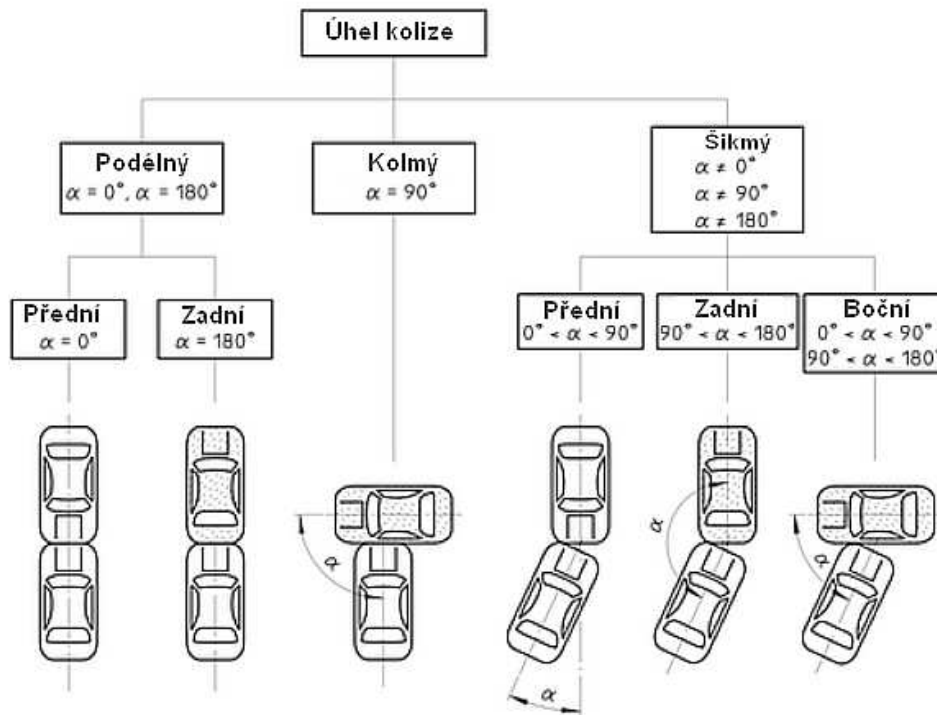


Obr 5.1: Typy nárazů silničních vozidel podle ISO 6813 [40]

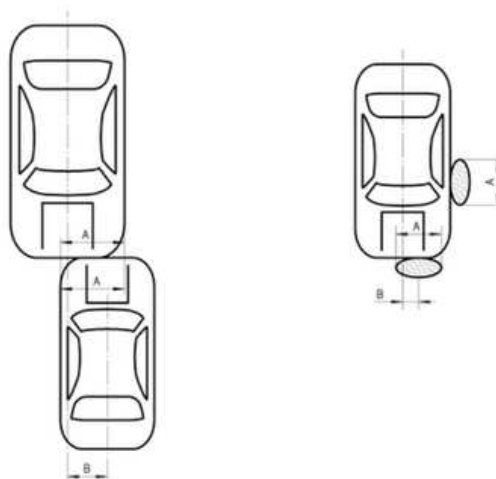
Pro výše zmíněné typy nárazů je důležitý také úhel, pod kterým došlo k nárazu dvou vozidel nebo vozidla do překážky. V případě, že se jedná o šikmý náraz, je pro jeho popis třeba definovat také úhel kolize α , který je měřen mezi dvěma svislými podélnými rovinami vozidel. V případě nárazu vozidla do 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 5.2.

Dalším parametrem, kterým je náraz definován, je odsazení os vozidel (offset) a plocha překrytí při nárazu. Jejich měření je znázorněno na obrázku 5.3.



Obr 5.2: Stanovení úhlu kolize při nárazu dvou vozidel [40]



Obr 5.3: Měření plochy překrytí „A“ a odsazení vozidel „B“ při nárazu [40]

5.2 Předpis EHK/OSN 94

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

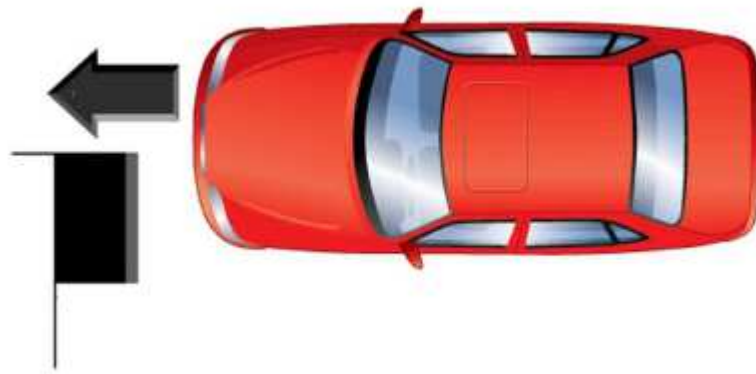
Tento předpis stanovuje zkoušení vozidel kategorie M1 čelním nárazem do pevné bariéry. Rychlost v okamžiku nárazu musí dosahovat hodnot v rozmezí $56 - 0, + 1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. V okamžiku nárazu se vozidlo pohybuje jen svou setrvačností a nesmí na něj působit žádné hnací ani řídicí síly. Uvnitř vozidla jsou umístěny minimálně dvě zkušební figuríny typu Hybrid III, 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

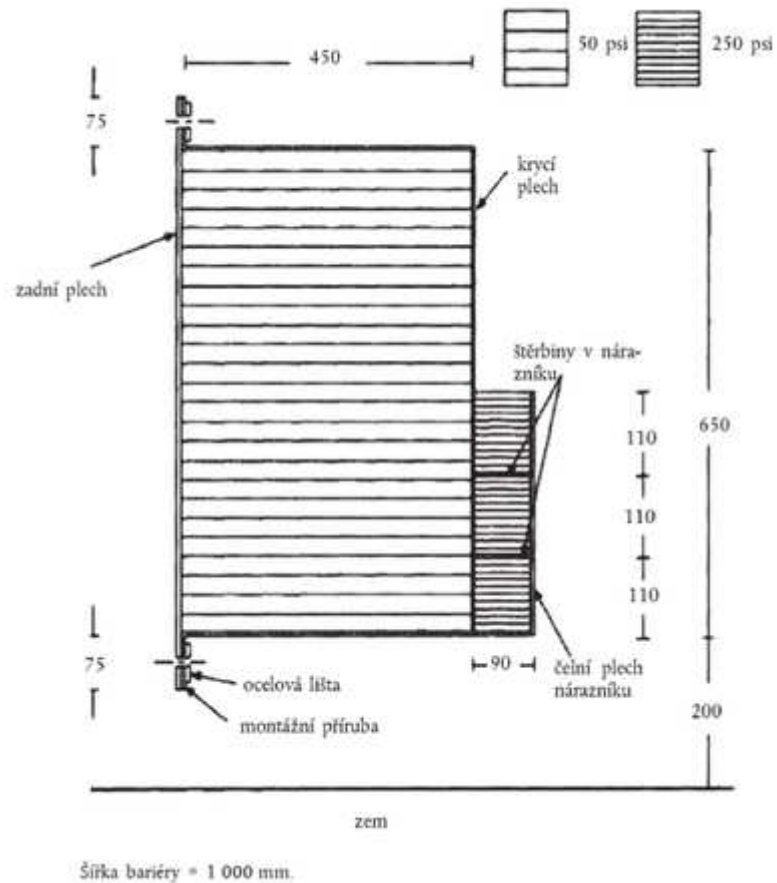
Testované vozidlo musí být shodné s provozovaným. Během zkoušky je možné použít náhradu některých komponent, musí však být zachována pohotovostní hmotnost vozidla a její rozložení. Použití náhrady nesmí také ovlivnit výsledek zkoušky. Palivová nádrž se naplní vodou do hmotnosti $90 \% \pm 1 \%$ hmotnosti 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 $40 \% \pm 20 \text{ mm}$ své čelní plochy do deformovatelné bariéry což je znázorněno na obrázku 5.4. Uspořádání a rozměry [mm] deformovatelné části bariéry jsou patrné z obrázku 5.5.



Obr. 5.4: Náraz do deformovatelné bariéry s překrytím 40 % čelní plochy vozidla [17]



Obr. 5.5: Uspořádání a rozměry deformovatelné části bariéry [12]

5.2.3 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 (HIC) 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 být vyjmuty z vozidla bez seřizování sedadel.
- Při trvalém úniku paliva nebo více druhů provozních kapalin nesmí rychlost úniku překročit hodnotu 30 g/min.

5.3 Testování vozidel podle EuroNCAP

Kromě homologačních zkoušek vozidel z hlediska pasivní bezpečnosti provádí testování vozidel také různé nezávislé organizace, v Evropě je to například organizace Euro NCAP (EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME). Jí prováděné zkoušky nepodléhají legislativním předpisům, mají spíše informační charakter pro širokou (neodbornou) veřejnost a testování vozidla organizací EuroNCAP se tak odvíjí od rozhodnutí samotného výrobce vozidla, který jej na testy přihlásí. Některé tyto testy mají odlišné parametry od homologačních zkoušek. EuroNCAP při testování účinnosti prvků pasivní bezpečnosti vozidla provádí následující zkoušky:

- Přesazený čelní náraz 40 % čelní plochy vozidla do deformovatelné bariéry při nárazové rychlosti $64 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- Čelní náraz plnou plochou do pevné bariéry při rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- Náraz vozíkem s deformovatelnou čelní plochou rychlostí $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do boku vozidla na straně řidiče.
- Boční náraz vozidla v místě B-sloupku do ocelového sloupu kruhového průřezu rychlostí $32 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- Zkouška ochrany chodců testovaná pomocí impaktorů.

Závažnost poranění při nárazových testech je vyhodnocována také podle kritérií poranění, avšak výsledky jsou prezentovány počtem bodů (hvězdiček) získaných při jednotlivých typech zkoušek a představujících stupeň ochrany prvky pasivní bezpečnosti. Kromě výsledků nárazových zkoušek Euro NCAP hodnotí také vybavenost vozidla asistenčními systémy a jejich správnou funkci.

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. [24]

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 6.1. 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 $HIC = 1000$. Často uváděnou nevýhodou tohoto kritéria je zanedbání rotačního pohybu hlavy, kdy je celkové zrychlení stanoveno na základě zrychlení hlavy v osách X, Y a Z.

$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \cdot dt \right]^{2.5} \cdot (t_2 - t_1), \quad (6.1)$$

kde: HIC hodnota kritéria poranění hlavy [-],

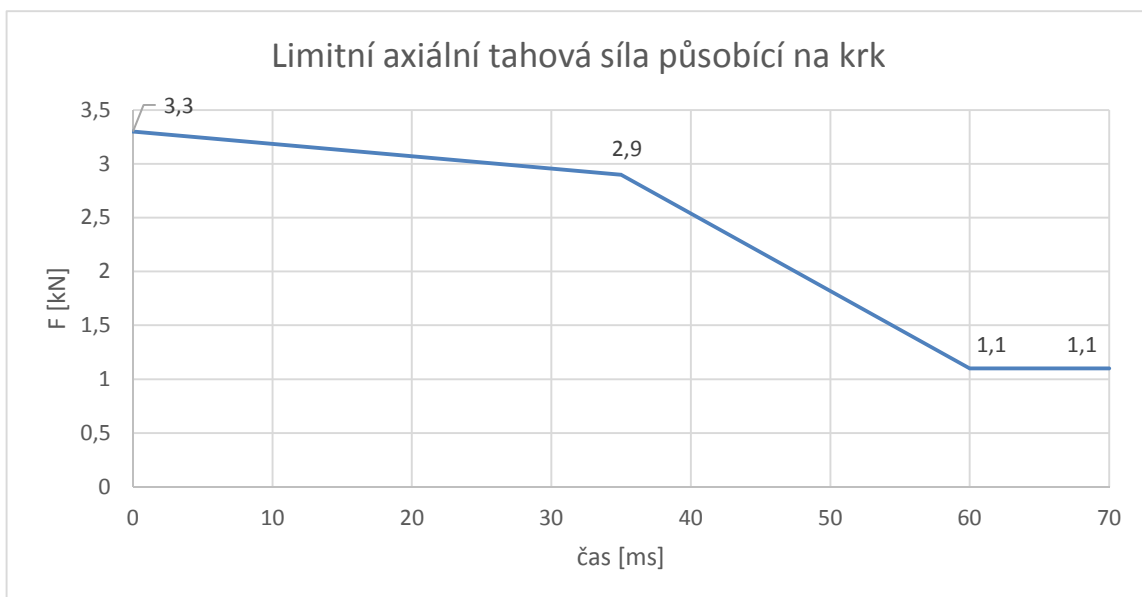
a výsledné zrychlení [g],

t_1 začátek časového intervalu pro výpočet HIC,

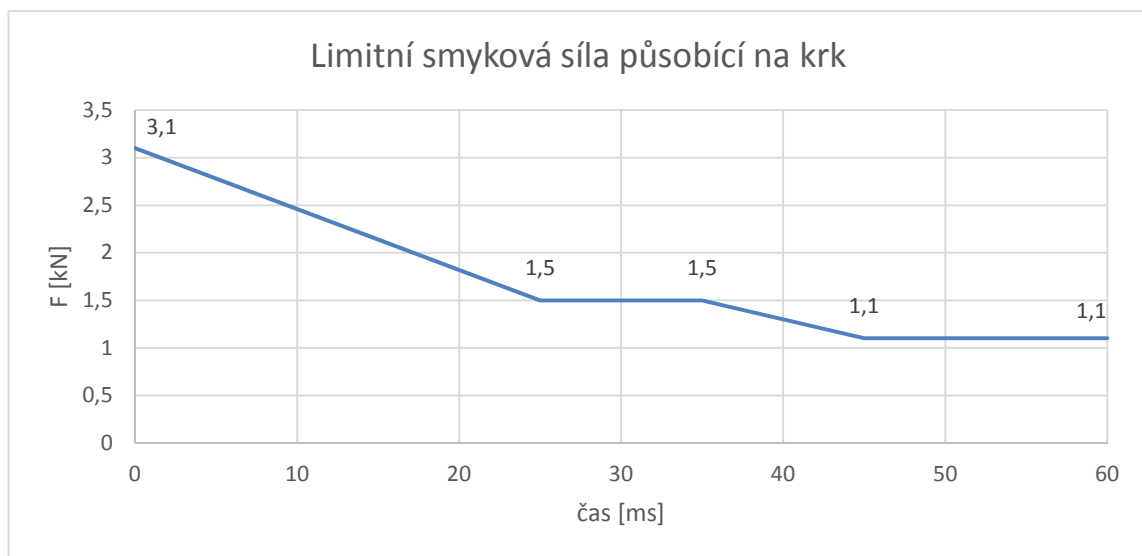
t_2 konec časového intervalu pro výpočet HIC.

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 6.1 a 6.2.



Obr. 6.1: Kritérium namáhání krku v tahu [12]



Obr. 6.2: Kritérium namáhání krku ve smyku [12]

6.3. Kritéria poranění hrudníku

6.3.1. Viskózní kritérium – VC

Poraněním hrudníku se zabývá viskózní 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 6.2. Hodnoty

poměrných a deformačních faktorů používaných pro výpočet jsou uvedeny v tabulce 6.1.

$$VC = SF \cdot \frac{Y_{CFC180}}{DF} \cdot \frac{dY_{CFC180}}{dt} [m \cdot s^{-1}] \quad (6.2)$$

kde: Y_{CFC180} deformace hrudníku [mm],

SF..... poměrný faktor (Scale Factor),

DF..... Deformation Factor.

Tab. 6.1: Konstanty pro výpočet viskózního kritéria [12]

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

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 podle předpisu EHK 94 a směrnice EHS 96/97. Maximální přípustná hodnota stlačení je 50 mm. [22]

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.

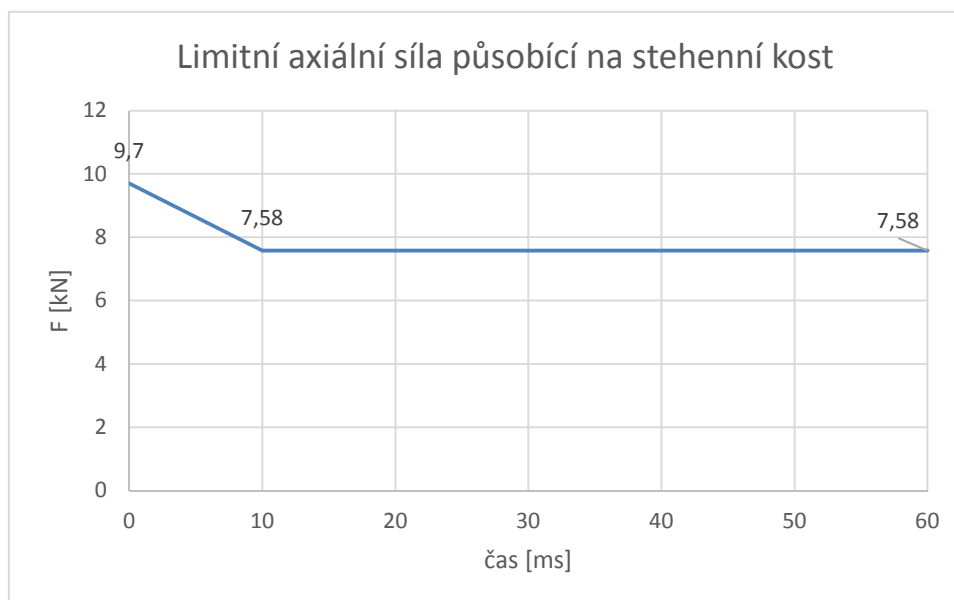
6.3.4. Třímilisekundové kritérium – 3ms

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 kolena na přístrojovou desku, kontaktem nohou 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 6.3.



Obr. 6.3: Kritérium síly působící na stehenní kost [12]

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 6.3 a 6.4 a jeho limitní hodnota je 1,3.

$$TI = \left(\frac{M_R}{(M_C)_R} \right) + \left(\frac{F_Z}{(F_C)_Z} \right), \quad (6.3)$$

$$M_R = \sqrt{(M_X)^2 + (M_Y)^2} \quad (6.4)$$

kde: M_Xohybový moment kolem osy X,

M_Yohybový 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. [23, 31, 33]

Význam jednotlivých hodnot AIS:

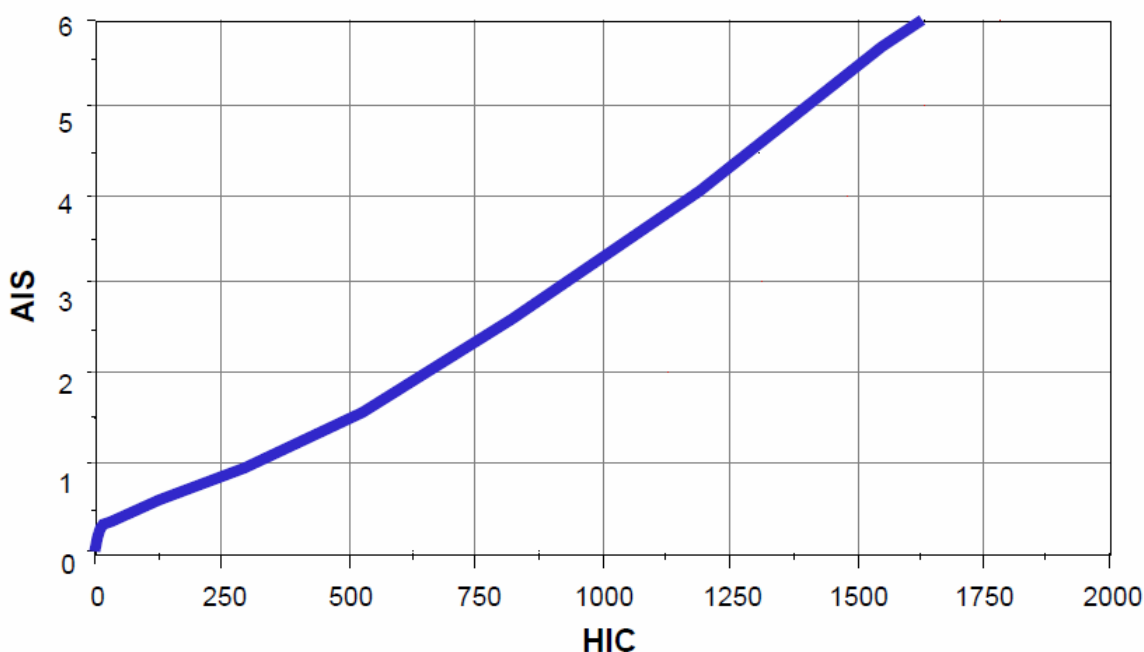
- 0 - bez zranění,
- 1 - malé zranění,
- 2 - střední zranění,
- 3 - závažné zranění,
- 4 - velmi vážné zranění,
- 5 - kritické zranění,
- 6 - maximální (nelze přežít),
- 9 – neznámé. [11]

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 6.2. Jedná se pouze o zjednodušenou verzi, úplný seznam poranění rozdělený dle metodiky AIS je více podrobný.

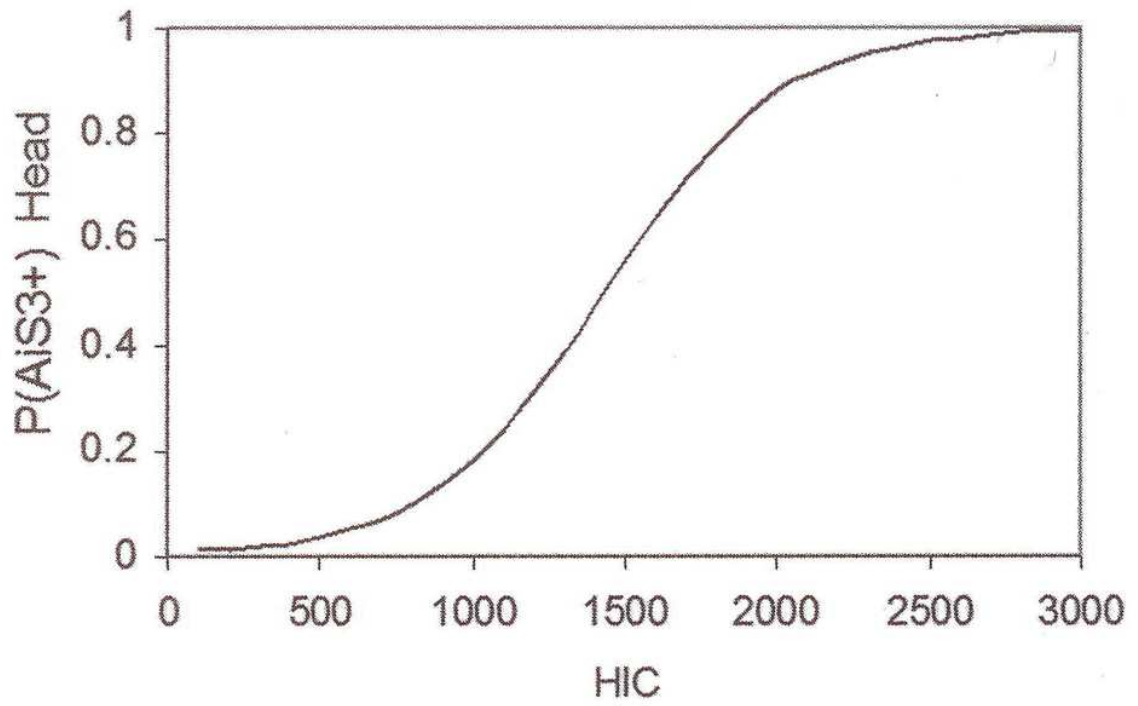
Tab. 6.2: Tabulka hodnocení závažnosti poranění podle metodiky AIS [25]

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 holenní kosti, 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, rozdrčená pánev
5	Bezvědomí >24 hod., Velký hematom (100 cm ³)	Roztržení aorty	Roztržení ledvin	Quadruplegie	Otevřené rozdrčení pánve

Jelikož lze výsledná zranění a jejich závažnost interpretovat různými způsoby, kdy dochází k prolínání různých vědních oborů, je snahou, mezi jednotlivými přístupy sumarizace výsledků hledat vzájemné vazby. V případě hodnocení závažnosti poranění hlavy je z hlediska inženýrského přístupu nejčastěji používané HIC kritérium, vycházející z měřeného výsledného zrychlení hlavy. Jednotlivé stupně AIS však vychází z lékařského hodnocení výsledného zranění, které je však do značné míry ovlivněno také fyzickými a věkovými předpoklady každého člověka. Existuje proto několik způsobů vyjádření závislosti mezi kritériem HIC a výsledným stupněm AIS. Na obrázku 6.4 je znázorněna křivka vyjadřující přímou závislost mezi těmito metodami hodnocení, vycházející z výsledků experimentálních zkoušek. Druhým způsobem vyjádření je pak pravděpodobnost vzniku poranění určitého stupně AIS v závislosti na výsledné hodnotě HIC kritéria, jak je patrné z obrázku 6.5, kde je zobrazena křivka pro AIS 3.



Obr 6.4: Korelační křivka mezi HIC a AIS hlavy [48]



Obr 6.5: *Pravděpodobnost vzniku zranění hlavy odpovídající AIS 3 v závislosti na výsledné hodnotě HIC [49]*

7. Cíle práce

Tato disertační práce je zaměřena na problematiku zvyšování bezpečnosti silničního provozu, s využitím propojení oblasti pasivní bezpečnosti vozidel a informačních technologií v silniční dopravě. Vzhledem k širokému rozpětí informačních technologií používaných v dopravě je úzce zaměřena pouze na využití systému tísňového volání k dopravní nehodě, systému eCall, který je v současné době vyvíjen a je zde možné hledat potenciál pro jeho případná rozšíření. Na základě rozboru principu činnosti jednotlivých dílčích částí vyvíjeného celoevropského systému eCall je možná varianta jeho rozšíření a přispění ke zvýšení bezpečnosti silničního provozu spatřována v možnosti lepšího popisu dopravní nehody, nad rámec struktury popisu současně vyvíjeným systémem eCall, který je definován údaji obsaženými v minimálním souboru dat.

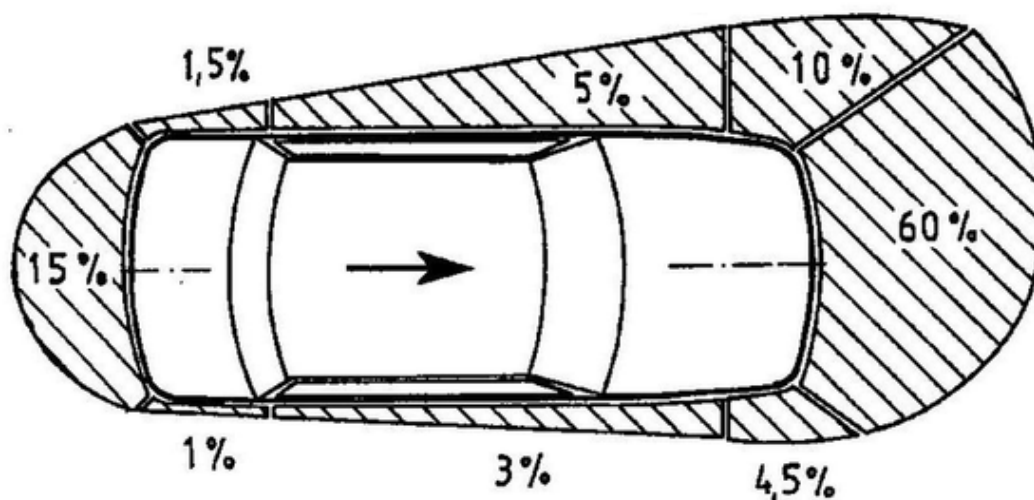
Odhad dalších parametrů dopravní nehody, které lépe popíší její případné následky, umožní zlepšení informovanosti operátora tísňové linky o vzniklé krizové situaci a bude mít vliv na přesnější rozhodnutí o struktuře pomoci, která je na základě získaných informací operátorem tísňové linky k dopravní nehodě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

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

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

8. Metodika

Kolize vozidla čelním nárazem jsou z hlediska četnosti nejčastějším typem dopravních nehod, jak je patrné z obrázku 8.1. Jak je dále z obrázku patrné, nejedná se vždy o náraz celou čelní plochou, ale o náraz pouze její částí, s převažujícími nárazy do levé části čelní plochy vozidla (na straně řidiče). Z tohoto důvodu je tato práce zaměřena pouze na problematiku kolize čelního nárazu, a to kolize vozidlo – bariéra a kolize vozidlo – vozidlo.



Obr. 8.1: Četnost nárazů v jednotlivých oblastech vozidla [25]

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

Pro stanovení regresních funkcí a výpočet hodnoty korelačního koeficientu jsou využity statistické nástroje softwaru MS Excel.

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

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

Pro získání statisticky významného souboru dat je následně provedena série testů jednotky eCall na urychlovacím zařízení, která umožňuje jejich opakovatelnost. Tyto testy jsou prováděny se stejnou jednotkou eCall, jako v případě testu v rámci nárazové zkoušky vozidla. Na urychlovací zařízení je jednotka eCall uchycena stejným způsobem, jako na vozidle při nárazové zkoušce a je zde umístěn také externí akcelerometr, pro možnost následné korelační analýzy dat. Během této zkoušky je možné přímé vyčítání dat z jednotky, což umožňuje provést přesnou synchronizaci měřených signálů v čase. Naměřené průběhy zrychlení jsou vyhodnocovány na základě

korelační analýzy, jejich zpracování je shodné se zpracováním dat při testu jednotky eCall v rámci nárazové zkoušky vozidla. Následně je provedeno vzájemné porovnání výsledků testů jednotky eCall na urychlovacím zařízení s výsledky testu jednotky v rámci nárazové zkoušky vozidla a ověřena jejich vypovídací hodnota.

8.1. Použitá technika

V této kapitole je nejprve popsána použitá měřicí technika a laboratorní vybavení, které bylo pro většinu uvedených nárazových zkoušek shodné. V dalších podkapitolách jsou pak popsány parametry a výsledky jednotlivých nárazových testů. V případě použití jiné, než zde uvedené měřicí techniky a vybavení u některého z nárazových testů, je tato skutečnost uvedena v popisu testu.

8.1.1. Měřicí technika

Při provedených nárazových testech, není-li v jejich popisu uvedeno jinak, 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 analyser system, určené pro snímání a analýzu vstupních signálů z připojených senzorů (akcelerometrů). Tato jednotka má následující parametry:

- Brüel&Kjær type 3560-B-110, sériové č. 2607067
- 5 měřících kanálů
- možnost připojení různých typů snímačů,
- 1 výstupní kanál,
- možnost vlastního napájení,
- odolnost proti mechanickému namáhání (odolnost proti zrychlení do 100 g)
- záznam a vyhodnocení dat pomocí PC. [1]

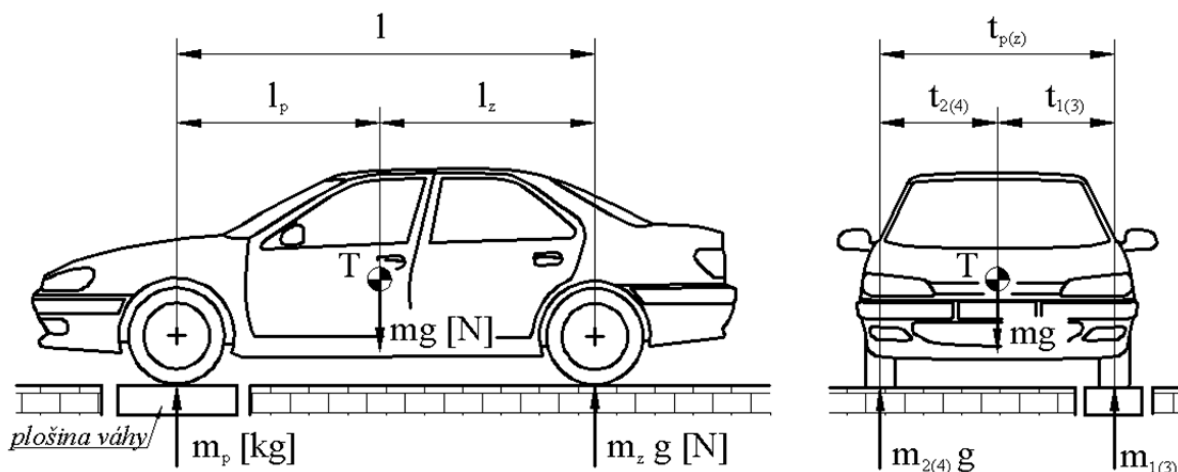
Měřicí technika byla používána pro měření a záznam průběhu akcelerace na zkušebních vozidlech a figurínách během nárazu. Pro záznam a export dat byl využit software Pulse Labshop, verze 12. Následující zpracování měřených průběhů bylo prováděno v jiných softwarech. Při měření byly používány následující akcelerometry:

- **Brüel&Kjær triaxial DeltaTrontype 4504 A** - tříosý akcelerometr s měřicím rozsahem $7500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (750g), sériové č. 30503,
- **Brüel&KjærDeltaTrontype 4514-B** - jednoosý akcelerometr s měřicím rozsahem $4900 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (500g), sériové č. 53654,
- **Brüel&KjærDeltaTrontype 4513-B** - jednoosý akcelerometr s měřicím rozsahem $4900 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (500g), sériové č. 55350.

Pro zjišťování hmotnosti zkušebních vozidel byly využity dvě tenzometrické váhy s měřicím rozsahem každé z nich 1000 kg. Váhy byly vybaveny digitálním vyhodnocovacím zařízením Teraoka, DI-162. Hmotnost byla zjišťována zvlášť pro kola přední a zadní nápravy. Následně byla stanovena rovinná poloha těžiště vozidla v osách X a Y (dle ISO 4130), podle vzorců 8.1 a obrázku 8.2. Během vážení bylo nutné ustavit vozidlo do vodorovné polohy, což bylo provedeno podložením kol vozidla, která nebyla momentálně vážena, jak je patrné z obrázku 8.3. V místě těžiště vozidla byl během testu umístěn akcelerometr snímající zrychlení karoserie, pokud tato poloha nekolidovala s jinými mechanickými prvky vozidla (např. řadicí pákou) nebo tomu nebránili struktura a tvar povrchu karoserie.

$$x = \frac{m_z}{m} \cdot l = \frac{m_z}{m_p + m_z} \cdot l \qquad y = \frac{m_{1(3)}}{m} \cdot t_{p(z)}, \qquad (8.1)$$

kde: x vzdálenost od svislé roviny procházející osou předních kol [m],
 y vzdálenost od svislé roviny procházející středem kontaktních bodů pneumatik na levé straně vozidla [m],
 m_z hmotnost na kolech zadní nápravy [kg],
 $m_{1(3)}$ hmotnost na levých kolech vozidla [kg],
 m_p celková hmotnost vozidla [kg],
 $l, l_z, t_{p(z)}$ rozměry dle obrázků 8.2 [m]. [9]



Obr. 8.2: Metoda zjišťování těžiště automobilu [17]

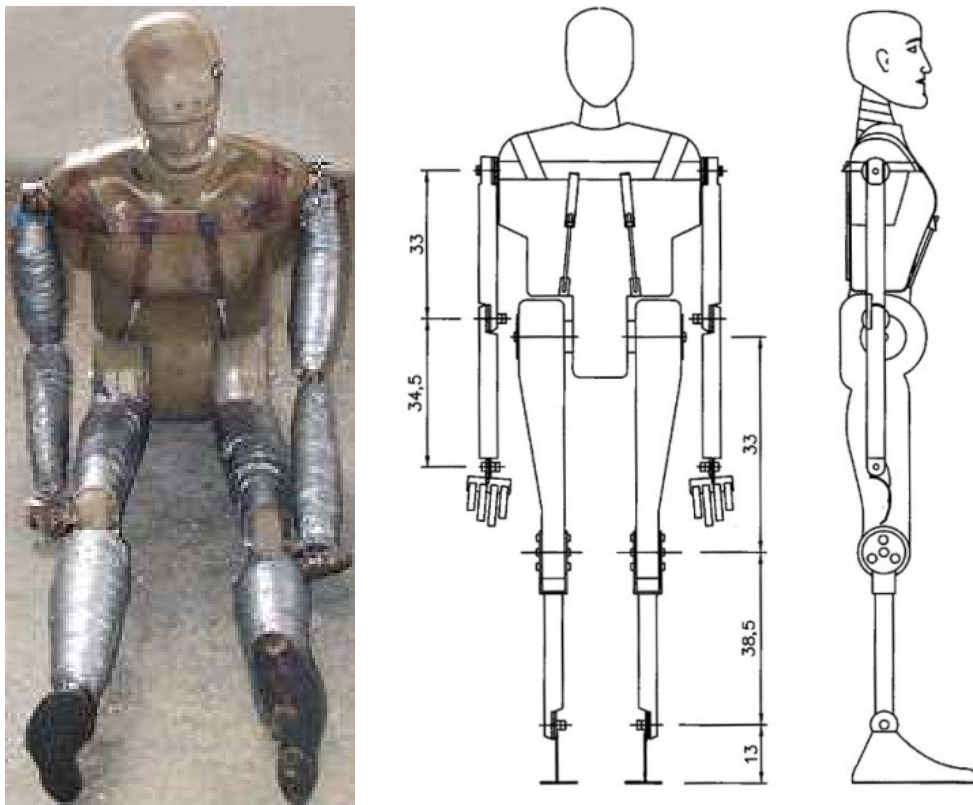


Obr. 8.3: Metoda vážení zkušební automobilu před testem, ustavení vozidla ve vodorovné poloze [vlastní zpracování]

8.1.2. Zkušební figurína

Ve většině provedených experimentů byla testovaná vozidla vybavena zkušební figurínou ÚSMD Manikin odpovídající předpisu EHK/OSN 16, která je uvedena na obrázku 8.4. Tato figurína byla upravena 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 přiblížení vlastností těchto částí fyziologickým vlastnostem lidského těla. Po provedených úpravách činí hmotnost figuríny 87 kg. Během nárazových testů byla figurína oděna do pracovního overalu. V případě měření zrychlení v hlavě figuríny, byl tříosý akcelerometr připevněn na vnitřní stěnu hlavy, a to na stranu, ze které nebyl veden náraz, aby nedošlo k přenosu netlumeného nárazu přes upevňovací šrouby vedené skrz stěnu hlavy a byly zachovány její tlumící vlastnosti. Umístění akcelerometru Brüel&Kjær triaxial DeltaTrontype 4504 A v hlavě figuríny je patrné z obrázku 8.5. Toto umístění je shodné pro všechny testy uvedené v této práci, ve kterých byla použita tato figurína a měřeno zrychlení ve všech osách hlavy.



Obr. 8.4: *Figurína ÚSMD Manikin [37]*



Obr. 8.5: Figurína ÚSMD Manikin – umístění tříosého akcelerometru v hlavě [vlastní zpracování]

8.1.3. Urychlovací zařízení

Při nárazových testech bylo pro rozjezd zkušebních vozidel na požadovanou nárazovou rychlost využito vodící urychlovací zařízení. To je tvořeno vodící kolejnicí, skládající se ze dvou „U“ profilů, umístěných otevřenou stranou proti sobě. Kolejnice je sestavena z jednotlivých dílčích částí o délce 3 m, které jsou na sebe postupně napojovány, aby byla dosažena dostatečná vzdálenost potřebná pro rozjezd vozidla na požadovanou nárazovou rychlost. Kolejnice je pomocí šroubů pevně spojena s živičným povrchem rozjezdové trati. Testované vozidlo je při rozjezdu vedeno vozíkem jedoucím uvnitř kolejnice, který je pomocí ocelového lana tažen jiným (tažným) vozidlem. Zkušební automobil je s tažným vozíkem propojen řetězem, upevněným na těhlicích kol přední nápravy. Na konci vodící kolejnice, který je minimálně 5 m před překážkou, dojde k vyháknutí řetězu z tažného vozíku a zkušební automobil se dále k překážce pohybuje pouze svou setrvačnou silou.

8.1.4. Pevná bariéra

V případě kolize vozidel s pevnou bariérou byla používána nehomogenní bariéra tvořená ocelovými závažími a betonovými bloky. Kolizní plocha je tvořena betonovým panelem, neumožňujícím jakékoliv deformace. Struktura bariéry je patrná

z obrázku 8.6. Bariéra není pevně spojena s povrchem zkušební dráhy, proto může při nárazu vozidla dojít k jejímu posunutí. Celková hmotnost bariéry je 25 000 kg.



Obr. 8.6: Pevná bariéra používaná při nárazových testech [vlastní zpracování]

8.2. Nárazové testy

Tato kapitola obsahuje popis jednotlivých nárazových testů kolize čelním nárazem vozidel kategorie M1 do bariéry a do jiných vozidel. Výsledky uvedených nárazových testů jsou dále použity jako vstupní data při řešení experimentální části této práce.

8.2.1. 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 $47,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Testované vozidlo bylo na nárazovou rychlost roztaženo jiným vozidlem, za použití urychlovacího zařízení popsaného v kapitole 8.1.3, při testu byla použita bariéra popsaná v kapitole 8.1.4.

Zkušebním vozidlem bylo vozidlo Škoda Favorit, vybavené tříbodovými pásy s navíječem (bez předepínače). V automobilu byla na sedadle řidiče umístěna figurína Manikin 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

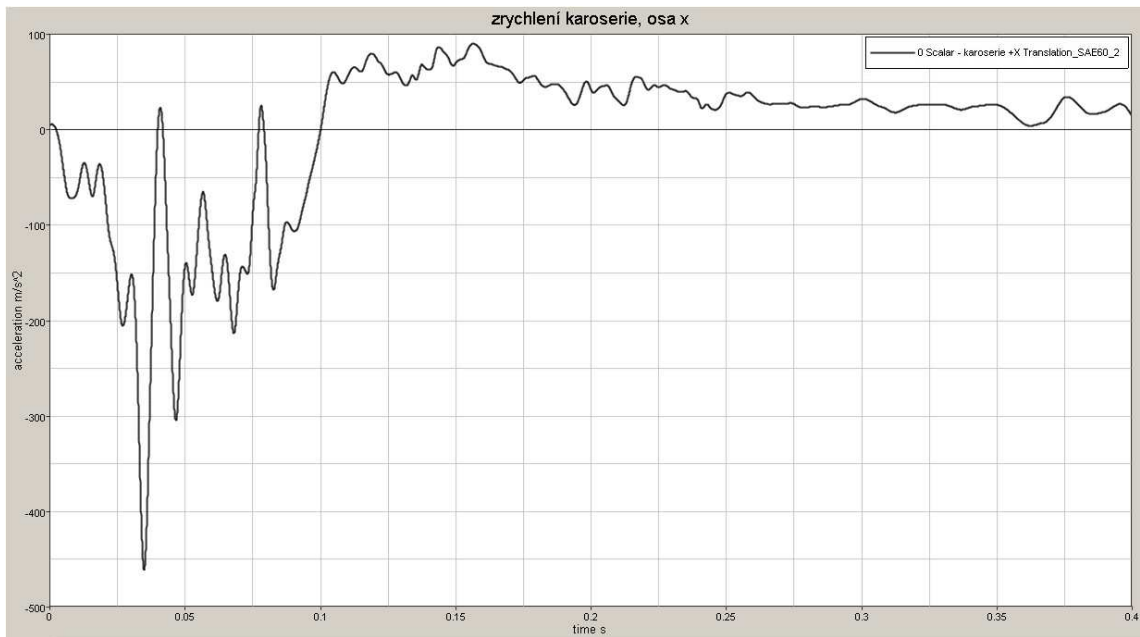
karoserii vozidla bylo měřeno jeho podélné zrychlení v ose X (dle ISO 4130) pomocí jednoosého akcelerometru umístěného na tunelu vozidla v místě mezi řadicí pákou a ruční brzdou, tedy v přibližném těžišti vozidla. Popis použité techniky pro měření zrychlení na karoserii vozidla a figuríně řidiče je uveden v kapitole 8.1.1.

Nárazová rychlost zkušebního 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.

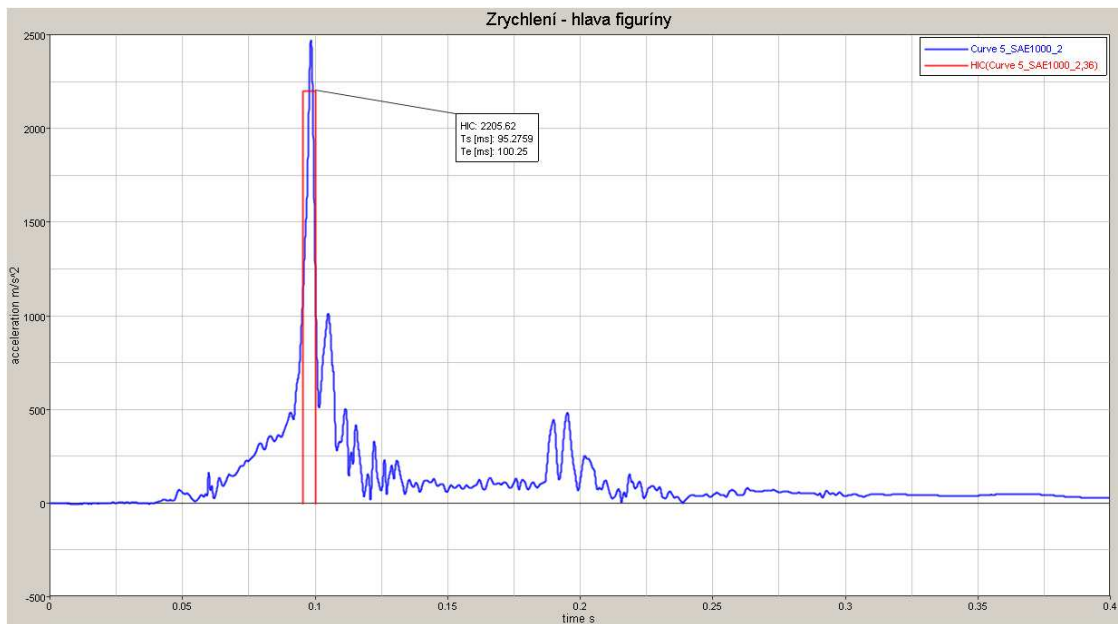
Celková deformace přední části vozidla byla 508 mm. Posun předního levého kola směrem k interiéru vozidla činil 64 mm. Výsledné deformace karoserie jsou patrné z fotografií na obrázku 8.7, průběh zrychlení karoserie v ose X je patrný z obrázku 8.8. Průběh celkového zrychlení v hlavě figuríny řidiče s vyznačenou oblastí pro výpočet výsledného HIC kritéria, je zobrazen na obrázku 8.9. Výsledná hodnota HIC kritéria pro figurínu řidiče byla $\text{HIC}_{15} = 2205,6$. Jelikož při nárazu došlo ke kontaktu hlavy figuríny řidiče s volantem vozidla, je HIC počítáno s intervalem 15 ms.



Obr. 8.7: *Finální pozice po nárazu a výsledné deformace karoserie zkušebního vozidla [vlastní zpracování]*



Obr. 8.8: Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Favorit při čelním nárazu (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování]



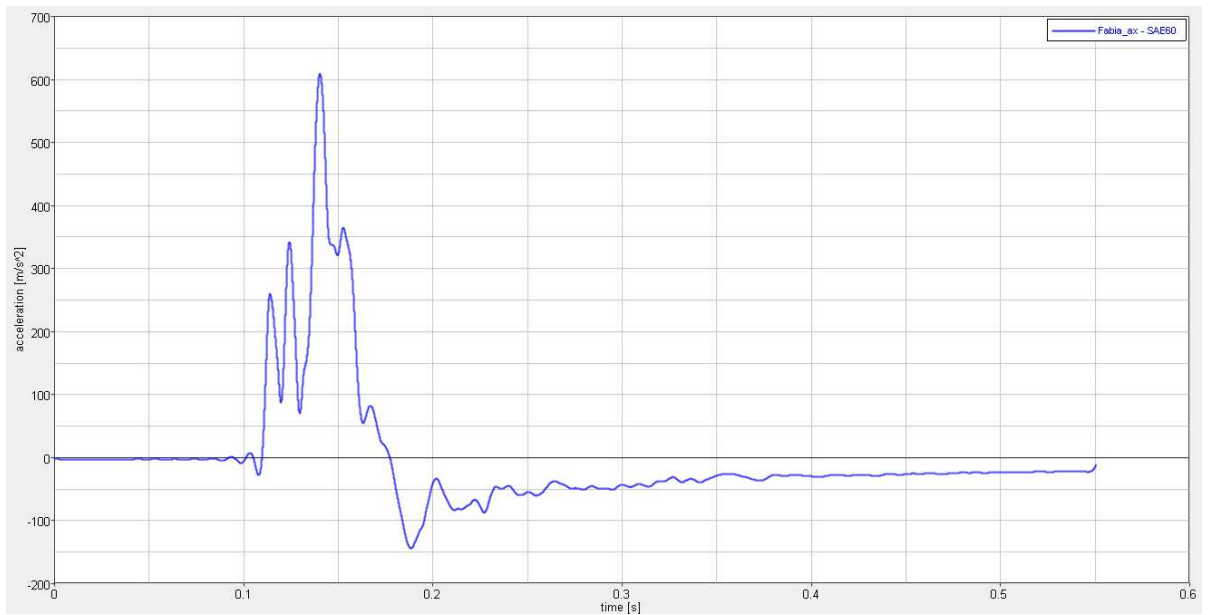
Obr. 8.9: Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Favorit - bez airbagu (použit filtr CFC 1000) [vlastní zpracování]

8.2.2. Nárazový test vozidla Škoda Fabia do pevné bariéry

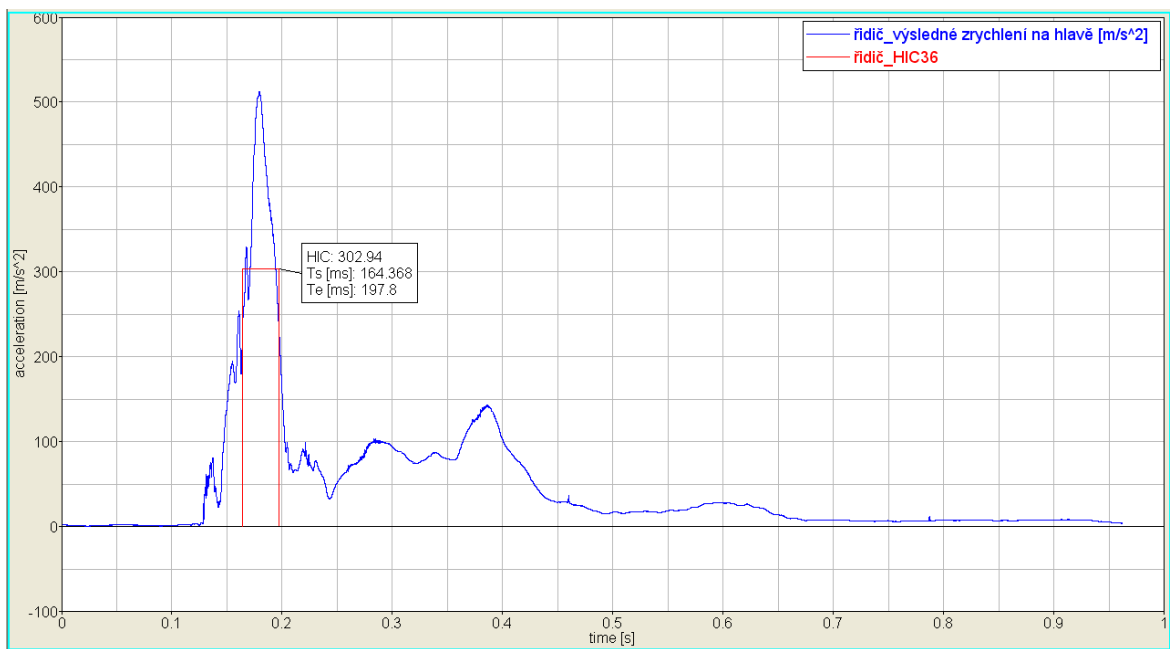
Jedná se o test čelním nárazem do tuhé bariéry v nárazové rychlosti $50,77 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Bariéra se svými parametry shoduje s bariérou popsanou v kapitole 8.1.4. Zkušebním vozidlem pro tento test bylo vozidlo Škoda Fabia 1,4 MPI, typ karoserie hatchback. Pro urychlení zkušebního vozidla na nárazovou rychlost bylo využito zařízení popsané v kapitole 8.1.3. Vozidlo bylo osazeno dvěma figurínami, figurínou Hybrid II sedící na místě řidiče a figurínou Manikin 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 tříosým akcelerometrem měřeno zrychlení působící v hlavě. Během testu byla použita měřící technika popsaná v kapitole 8.1.1. Na obrázcích 8.10 jsou uvedeny fotky vozidla před nárazem a po nárazu, kde je patrná vzniklá deformace karoserie, jejíž maximální hodnota byla 447 mm. Na obrázku 8.11 je pak uveden průběh zrychlení karoserie vozidla v ose X, průběhy celkového zrychlení v hlavě figurín jsou uvedeny v grafech na obrázcích 8.12 a 8.13.



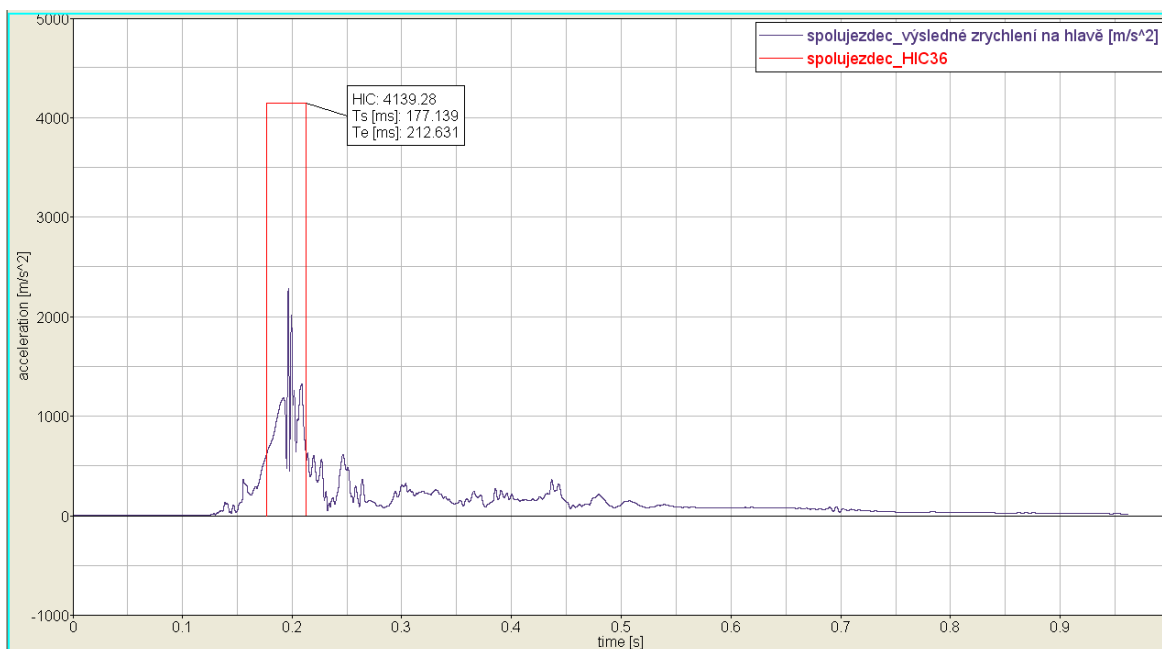
Obr. 8.10: Stav zkušebního vozidla Škoda Fabia 1,4 MPI před nárazem (vlevo) a po nárazu (vpravo) [26]



Obr. 8.11: Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Fabia při čelním nárazu (použit filtr CFC 60) [26]



Obr. 8.12: Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Fabia - airbag volantu (použit filtr CFC 1000) [26]



Obr. 8.13: Průběh zrychlení hlavě figuríny spolujezdce vozidla Škoda Fabia - bez airbagu (použit filtr CFC 1000) [26]

8.2.3. Nárazový test vozidla Škoda Rapid při rychlosti 45 km·h⁻¹

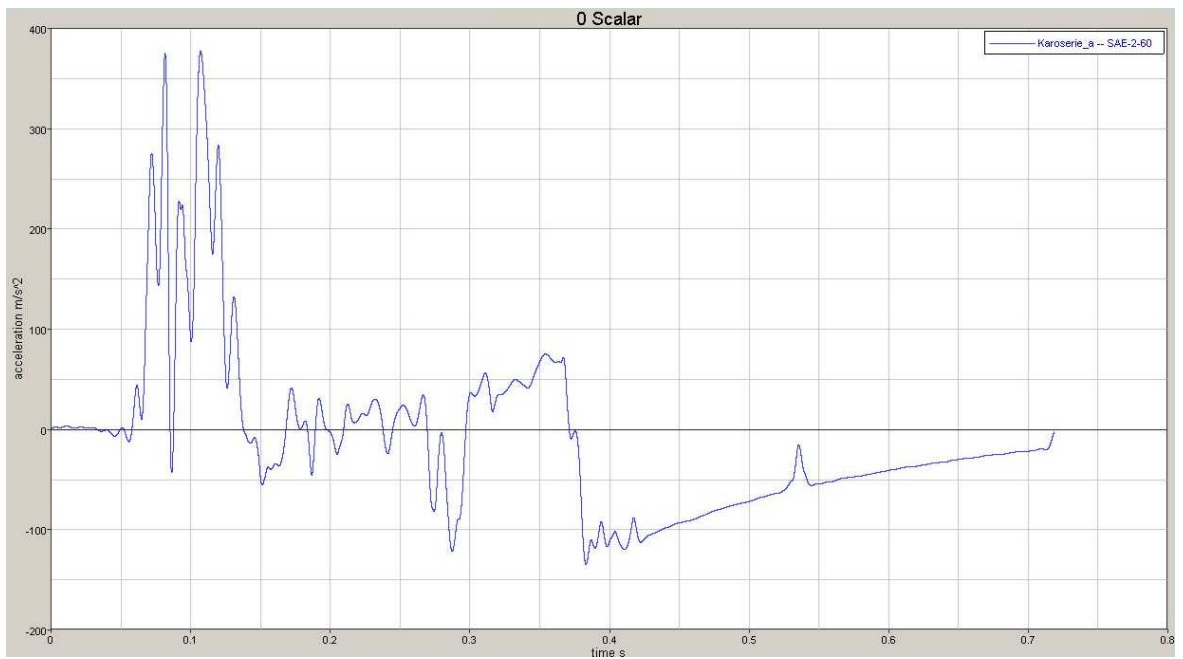
Jedná se o zkoušku čelním nárazem plnou čelní plochou do nedeformovatelné bariéry, při nárazové rychlosti 45 km·h⁻¹. Testované vozidlo bylo na nárazovou rychlost roztaženo jiným vozidlem, za použití urychlovacího zařízení popsaného v kapitole 8.1.3, při testu byla použita bariéra popsaná v kapitole 8.1.4. Zkušebním vozidlem bylo vozidlo Škoda Rapid 1,6 TDI vybavené tříbodovými pásy s navíječem a předepínačem. Vozidlo mělo během nárazu zapnuté zapalování, proto byly všechny zádržné systémy vozidla během testu aktivní. Během testu byl aktivován čelní airbag řidiče. Boční airbasy, kterými bylo vozidlo také vybaveno, aktivovány nebyly. Během testu byla na sedadle řidiče umístěna zkušební figurína Manikin, osazená tříosým akcelerometrem v hlavě a jednoosým akcelerometrem v hrudníku. Na středovém tunelu, v přibližném místě těžiště vozidla, byl umístěn jednoosý akcelerometr, měřící podélné zrychlení vozidla během nárazu. Během testu byla použita měřící technika popsaná v kapitole 8.1.1. Průběh zrychlení karoserie v ose X vozidla je uveden v grafu na obrázku 8.15, celkové zrychlení v hlavě figuríny na obrázku 8.16. Výsledná hodnota HIC kritéria je $HIC_{36} = 188$. Jelikož během nárazu došlo ke ztrátě signálu v ose X tříosého

akcelerometru, který byl umístěn v hlavě figuríny, je výsledná hodnota HIC kritéria nižší, než v případě výpočtu HIC kritéria ze zrychlení všech os hlavy figuríny.

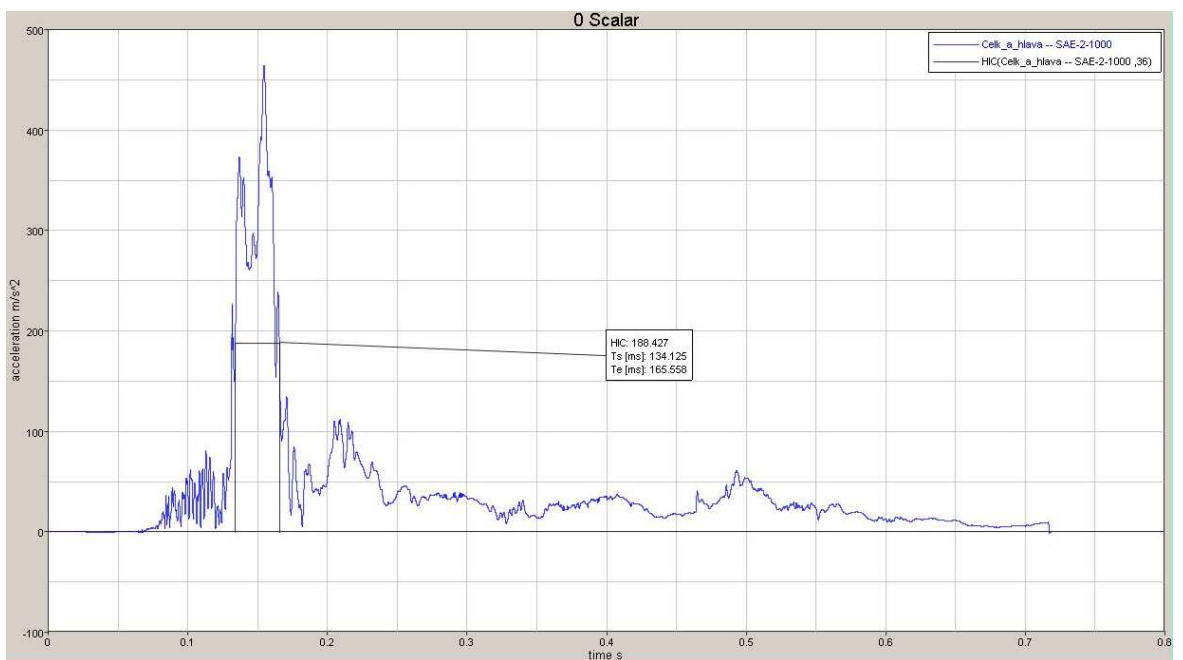
Při testu došlo k prvnímu kontaktu zkušebního vozidla s pevnou bariérou v nárazové rychlosti $45 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nejprve došlo k deformaci nárazníku, která následně přešla v plastickou deformaci podélných nosníků v motorovém prostoru. Při nárazu došlo také k utržení motoru na jednom silentbloku. Jelikož se jednalo o symetrický náraz plnou čelní plochou vozidla, vzniklé deformace probíhaly téměř souměrně. Celková deformace přední části vozidla byla 416 mm. Výsledné deformace karoserie jsou patrné z fotografií na obrázku 8.14. Prostor pro přežití posádky během nárazu narušen nebyl.



Obr. 8.14: Stav zkušebního vozidla Škoda Rapid 1,6 TDI před nárazem (vlevo) a po nárazu (vpravo) [vlastní zpracování]



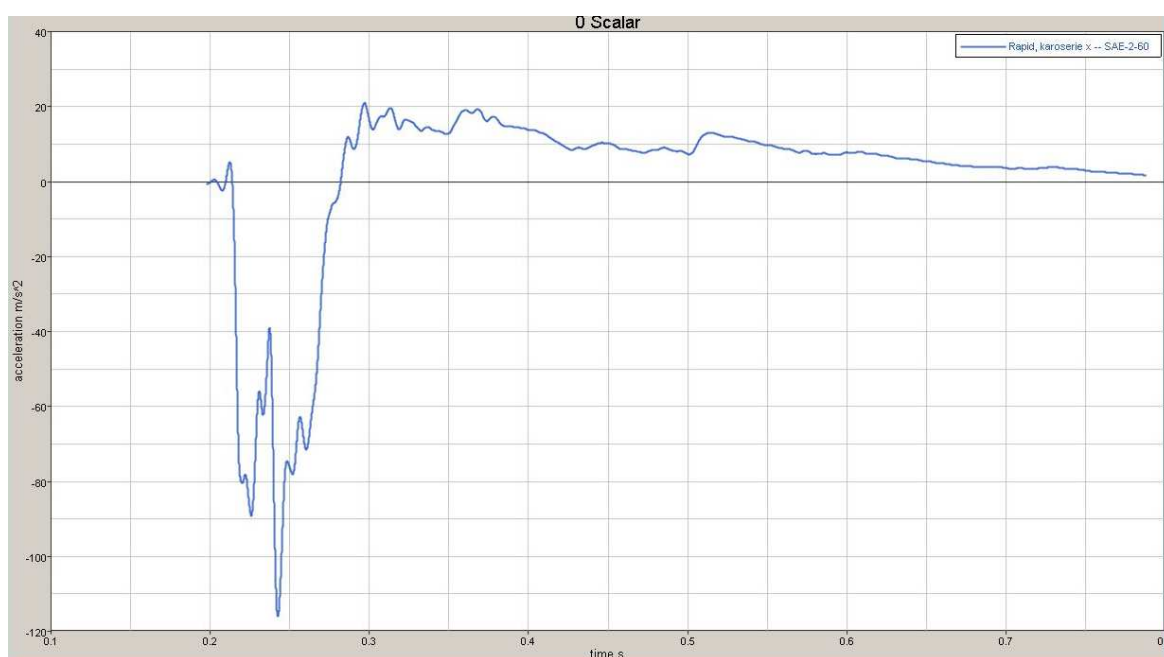
Obr. 8.15: Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Rapid při čelním nárazu do pevné bariéry (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování]



Obr. 8.16: Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Rapid - airbag volantu (použit filtr CFC 1000) [vlastní zpracování]

8.2.4. Nárazový test vozidla Škoda Rapid při nízké rychlosti

Jedná se o test nárazu vozidla do pevné bariéry celou čelní plochou, při nárazové rychlosti $14,92 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Nízká nárazová rychlost byla zvolena záměrně, aby nedošlo k aktivaci zádržných systémů vozidla (předepínačů bezpečnostních pasů a airbagů), a zároveň, aby veškeré plastické deformace přední deformační zóny proběhly pouze na předním nárazníku vozidla. Zkušebním vozidlem bylo vozidlo Škoda Rapid 1,2 TSI, typ karoserie liftback. Při testu byla použita bariéra popsaná v kapitole 8.1.4 a urychlovací zařízení popsané v kapitole 8.1.3. Během testu byla použita měřící technika popsaná v kapitole 8.1.1, kdy vozidlo bylo osazeno tříosým snímačem zrychlení, umístěným na středovém tunelu, za ruční brzdou. Ve vozidle nebyla umístěna žádná figurína. Celková hmotnost vozidla činila 1100 kg včetně měřící techniky. Celková deformace karoserie během nárazu byla 127 mm. Na obrázku 8.17 je uveden průběh zrychlení karoserie v ose X testovaného vozidla.



Obr. 8.17: Podélné zrychlení karoserie vozidla Škoda Rapid při nárazu do pevné bariéry (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování]

8.2.5. Nárazový test vozidla Škoda Roomster do deformovatelné bariéry

Jedná se o test nárazu vozidla do deformovatelné bariéry s přesahem 40 %, odpovídající předpisu EHK/OSN č 94. Deformovatelná konstrukce Cellbond, do které zkušební vozidlo narazilo, byla namontována na tuhé bariéře o hmotnosti více, než 70 t, dle požadavků předpisu. Zkušebním vozidlem bylo vozidlo Škoda Roomster 1,9 TDI, jehož nárazová rychlost byla $56,18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Vozidlo bylo během testu vybaveno dvěma kalibrovanými figurínami Hybrid III, umístěnými na předních sedadlech, na místě řidiče a spolujezdce. Celková hmotnost vozidla, včetně figurín a měřící techniky byla 1542 kg. Zkouška byla vyhodnocována na základě požadavků předpisu EHK/OSN č. 94, popsanych v kapitole 5.2. Pro měření byly použity akcelerometry ENDEVCO a ENTRAN a systém pro sběr dat Kayser-Threde Minidau 96, 32. V tabulce 8.1 jsou uvedeny výsledky vybraných kritérií poranění, stanovených během této zkoušky. Kromě kritéria poranění hlavy jsou zde uvedeny také kritéria poranění pro ostatní části lidského těla. Kritérium poranění holenní kosti je uvedeno vždy pro horní a spodní část kosti. Všechna uvedená kritéria během testu byla pod hranicí limitní hodnoty.

Tab. 8.1: Výsledné hodnoty kritérií poranění stanovené při nárazové zkoušce Škoda Roomster provedené podle Předpisu EHK/OSN č. 94 [50]

Kritérium poranění	Limitní hodnota kritéria	Stanovená hodnota – figurína řidiče	Stanovená hodnota – figurína spolujezdce
Kritérium poranění hlavy	$\text{HIC} \leq 1000$	359,25	385,64
3 ms kritérium	$a_{3\text{ms}} < 80 \text{ g}$	43,81 g	47,57 g
Kritérium stlačení hrudníku	$\text{ThCC} < 50 \text{ mm}$	24,9 mm	22,5 mm
Viskózní kritérium	$V \cdot C < 1,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$0,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$	$0,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Kritérium poranění holenní kosti	$\text{TCFC} < 8 \text{ kN}$	Levá horní – 1,37 kN Levá spodní – 1,7 kN Pravá horní – 1,07 kN Pravá spodní – 1,32 kN	Levá horní – 1,44 kN Levá spodní – 1,53 kN Pravá horní – 2,16 kN Pravá spodní – 2,46 kN

8.2.6. Nárazový test vozidla Renault 5 GTD

Nárazový test vozidla Renault 5 GTD čelním nárazem do pevné bariéry, kdy překrytí čelní plochy vozidla bariérou při nárazu činí 40 % z celkové šířky vozidla a náraz je veden na levou část vozidla (před řidičem). Při testu byla použita bariéra popsaná v kapitole 8.1.4 a urychlovací zařízení popsané v kapitole 8.1.3. Nárazová rychlost vozidla byla $52,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, hmotnost vozidla (včetně zkušebních figurín a měřící techniky) byla 938,6 kg. Během testu byla na sedadle řidiče umístěna zkušební figurína Manikin, popsaná v kapitole 8.1.2 a na levém zadním sedadle (za řidičem) dětská figurína typu P3, umístěná v dětském zádržném systému od výrobce LEAMAN Co, typ LYE-511. Vozidlo bylo vybaveno tříbodovými bezpečnostními pasy, na místě řidiče s navíječem. Během testu bylo měřeno podélné zrychlení, akcelerometrem umístěným na tunelu vozidla v místech mezi předními a zadními sedadly. Dále bylo měřeno zrychlení v ose X v hlavě figuríny řidiče (dle referenční soustavy vozidla) a zrychlení v osách X, Y a Z v hlavě dětské figuríny. Použitá měřící technika je popsána v kapitole 8.1.1. Osazené zkušební vozidlo s figurínami je uvedeno na obrázku 8.18 vlevo. Podélné zrychlení karoserie vozidla během nárazu je uvedeno na obrázku 8.20. Průběh celkového zrychlení v hlavě dětské figuríny s vyznačeným HIC kritériem je uveden na obrázku 8.21.

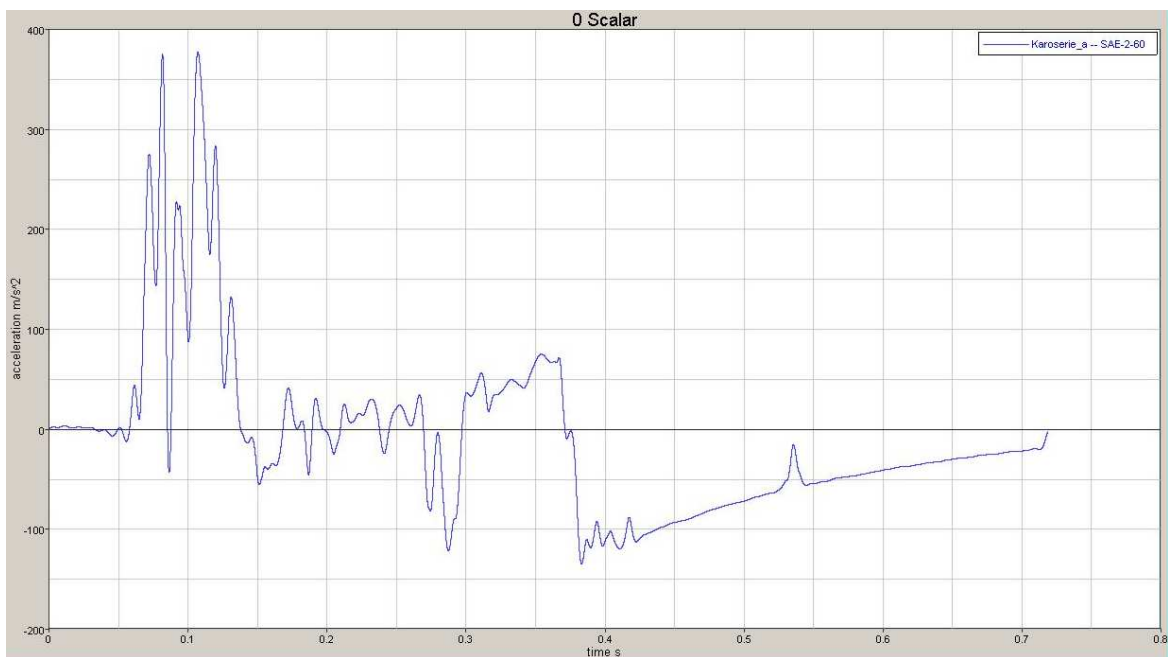
Během nárazu došlo k posunutí přední nápravy na straně řidiče, čímž byl posunut volant do interiéru vozidla, do prostoru řidiče (prostoru pro přežití). Maximální deformace přední části karoserie vozidla při nárazu byla 700 mm. Během nárazu došlo k částečné deformaci střechy vozidla na straně nárazu, tato deformace však nenarušila prostor pro přežití posádky vozidla. U figuríny řidiče došlo ke kontaktu hlavy figuríny s volantem, u dětské figuríny ke kontaktu s pevnými částmi interiéru nedošlo. Na obrázcích 8.18 vpravo a 8.19 jsou patrné výsledné a celkové deformace karoserie vozidla. Jak je z obrázku dále patrné, vlivem nárazu došlo k odpadnutí předního panelu bariéry. Pád panelu však neměl vliv na celkovou deformaci karoserie vozidla.



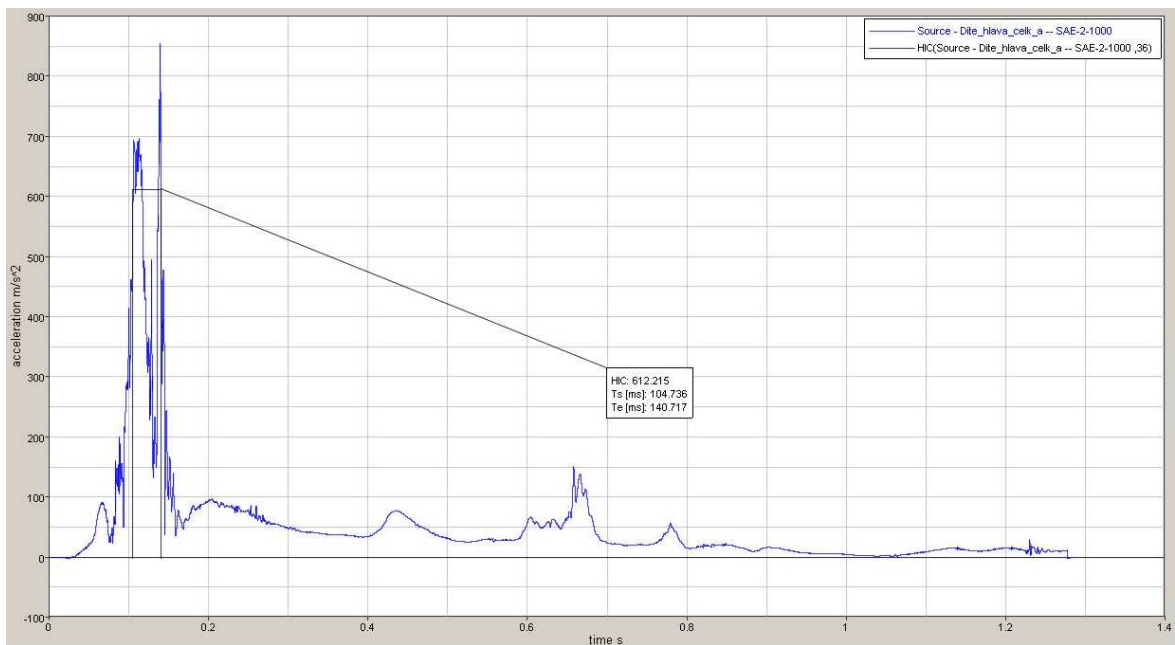
Obr. 8.18: Vozidlo Renault 5 GTD před (vlevo) a po kolizi (vpravo) [28]



Obr. 8.19: Maximální deformace karoserie vozidla během nárazu (záznam z rychlokamery) [vlastní zpracování]



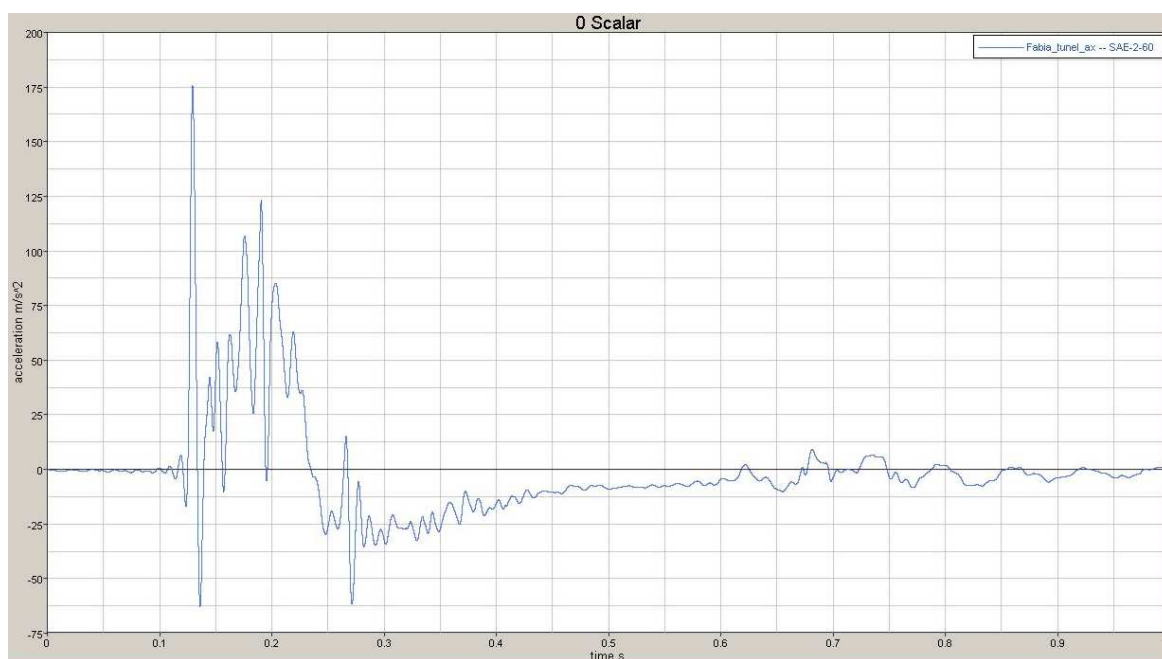
Obr. 8.20: Podélné zrychlení karoserie vozidla Renault 5 GTD při nárazu do pevné bariéry (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování]



Obr. 8.21: Průběh celkového zrychlení v hlavě figuríny P3 při nárazu vozidla Renault 5 GTD do pevné bariéry (použit filtr CFC 1000) [vlastní zpracování]

8.2.7. Kolize automobilu Škoda Fabia s automobilem Škoda Octavia

Jedná se o test čelního nárazu dvou vozidel kategorie M1, kde zkušební vozidlo Škoda Fabia Sedan bylo urychleno pomocí zařízení popsaném v kapitole 8.1.3 na nárazovou rychlost $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a následně se čelně srazilo se stojícím vozidlem Škoda Octavia combi první generace, při velikosti překrytí 33 % levou stranou čelních ploch. Vozidlo Škoda Fabia bylo vybaveno airbagem řidiče a bezpečnostními pásy s předepínačem, tyto systémy byly při nárazu aktivovány. Vozidlo bylo osazeno tříosým snímačem zrychlení umístěným na tunelu vozidla mezi řadící pákou a ruční brzdou. Dále bylo vozidlo osazeno dvěma jednoosými akcelerometry na levé a pravé straně, ve spodní části A sloupku. Použitá měřicí technika je popsána v kapitole 8.1.1. Ve vozidle byla na sedadle řidiče umístěna zkušební figurína Manikin bez snímačů zrychlení, blíže popsána v kapitole 8.1.2. Hmotnost vozidla při testu, včetně figuríny a zkušebního vybavení, byla 1157 kg. Průběh zrychlení karoserie v ose X, měřené akcelerometrem na tunelu vozidla, je uvedeno na obrázku 8.22.



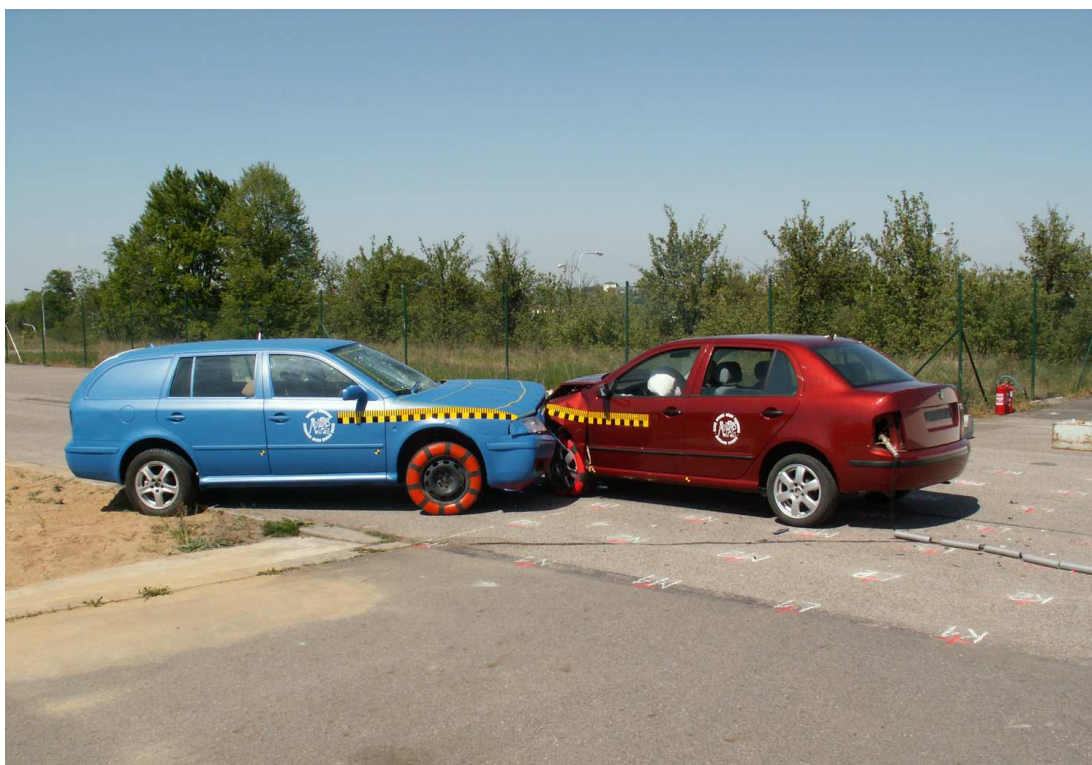
Obr. 8.22: Podélné zrychlení karoserie vozidla Škoda Fabia sedan měřené na středovém tunelu (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování]

Kolizním partnerem zkušebního vozidla bylo vozidlo Škoda Octavia combi, první generace, které bylo před nárazem ustaveno do statické polohy, čelně proti vozidlu Škoda Fabia. Při nárazu byl dosažen přesah čelních ploch vozidel 33 %.

Vozidlo bylo fixováno ve stojící poloze zařazeným prvním rychlostním stupněm (při vypnutém motoru) a zataženou ruční brzdou. Hmotnost vozidla byla 1100 kg. Toto vozidlo nebylo osazeno žádnými snímači ani zkušebními figurínami. Konfigurace vozidel a jejich vzájemná podoba po kolizi jsou patrné z obrázků 8.23 a 8.24. Výsledná deformace zkušebního vozidla Škoda Fabia na straně nárazu byla 815 mm.

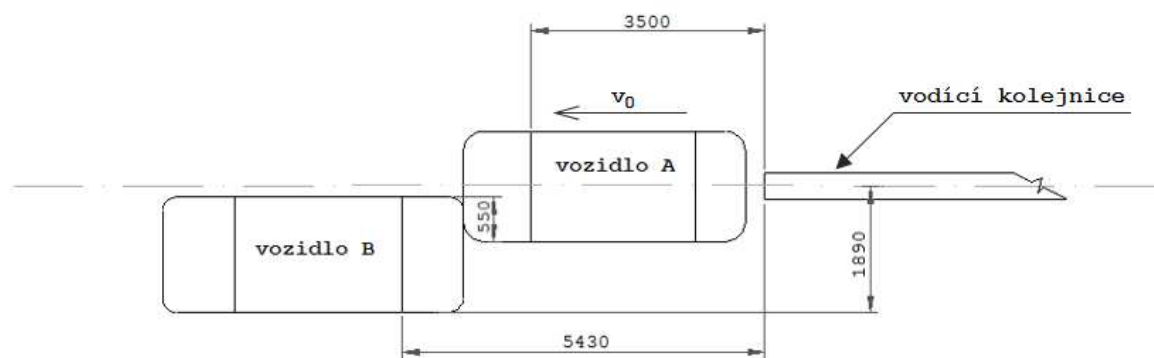


Obr. 8.23: Konfigurace zkušebních vozidel Škoda Fabia sedan a Škoda Octavia combi při testu čelním nárazem s přesahem 33 %. [27]

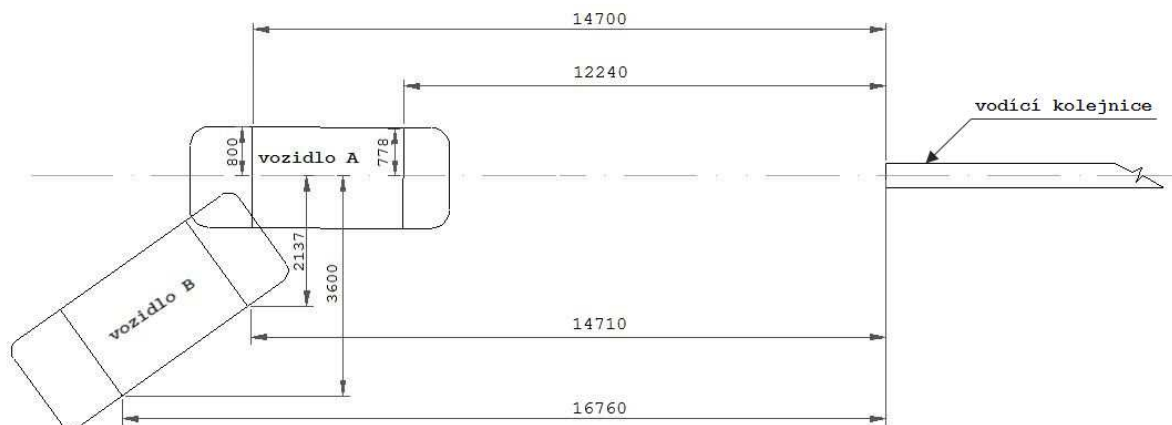


Obr. 8.24: Čelní náraz vozidla Škoda Fabia Sedan a Škoda Octavia combi při testu s přesahem 33 % - konečná poloha vozidel. [27]

Během nárazu došlo k velkému posunutí stojícího vozidla Škoda Octavia oproti původní poloze o více jak 9 metrů. Posunutí je patrné z obrázků 8.25 a 8.26, kde je zobrazeno zaměření polohy kol vozidel vůči konci vodící kolejnice urychlovacího zařízení před a po nárazu.



Obr. 8.25: Vzájemná poloha zkušebních vozidel Škoda Fabia sedan (vozidlo A) a Škoda Octavia combi (vozidlo B) před nárazem [vlastní zpracování]



Obr. 8.26: Vzájemná poloha zkušebních vozidel Škoda Fabia sedan (vozidlo A) a Škoda Octavia combi (vozidlo B) po nárazu [vlastní zpracování]

8.3. Souhrnné výsledky nárazových testů

Tato kapitola obsahuje přehled výsledků z nárazových testů vozidel kategorie M1, popsaných v kapitolách 8.1.1 až 8.1.7. Tyto data jsou v práci dále použita jako vstupní data pro odhad závažnosti kolize nehody čelním nárazem. Z uvedených nárazových testů jsou zde následující údaje:

- **Překrytí čelní plochy vozidla** – udává procentní velikost překrytí čelní plochy testovaných vozidel s kolizním partnerem.
- **Nárazová rychlost vozidla (v_0)** – je odečítána ze záznamu rychlokamery.
- **Hmotnost vozidla (m)** – stanovena vážením jednotlivých kol vozidla plošinovými váhami.
- **Kinetická energie vozidla (E_k)** – je vypočtena na základě hmotnosti vozidla a rychlosti vozidla podle vzorce 8.2.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, \quad (8.2)$$

kde: E_k kinetická energie vozidla v okamžiku nárazu [J],

m hmotnost vozidla [kg],

v nárazová rychlost vozidla [$m \cdot s^{-1}$]

- **Maximální zrychlení karoserie vozidla (a_{max})** – je odečteno z průběhu podélného zrychlení působícího na karoserii vozidla v ose X.
- **Výsledná deformace vozidla (ξ)** – je odečtena z obrazové dokumentace testovaného vozidla po nárazu (fotky, záznam z rychlokamery) na základě srovnání s fotodokumentací vozidla před nárazem.
- **Maximální zrychlení hlavy figuríny řidiče (a_{max})** – je odečteno z průběhu celkového zrychlení působícího v hlavě figuríny řidiče. Křivka celkového zrychlení je vypočítána z průběhů zrychlení v osách X, Y a Z hlavy figuríny podle vzorce 8.3. Celkový průběh zrychlení je následně filtrován standardizovaným frekvenčním filtrem CFC 1000, pro zpracování naměřených signálů v hlavě figuríny, podle požadavků předpisu EHK/OSN č. 94. Pro zpracování a filtraci měřených průběhů

byl využit software HyperGraf, obsažený v softwarovém balíku HyperWorks.

$$a_{celk} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (8.3)$$

kde: a_{celk} celkové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$],

a_x zrychlení v ose x [$m \cdot s^{-2}$],

a_y zrychlení v ose y [$m \cdot s^{-2}$],

a_z zrychlení v ose z [$m \cdot s^{-2}$].

- **Hodnota HIC kritéria figuríny řidiče** – kritérium poranění hlavy stanovené z křivky celkového zrychlení hlavy, podle vzorce 8.4. Časový interval t_1 až t_2 je volen 36 ms v případě, že nedošlo ke kontaktu hlavy figuríny s pevnou částí interiéru (stanoveno na základě záznamu z rychlokamery), v případě, že ke kontaktu došlo, je volen interval t_1 až t_2 15 ms. Výslednou hodnotou HIC kritéria je pak hodnota maximální, pro danou křivku zrychlení hlavy. Výpočet HIC kritéria byl proveden v softwaru HyperGraf.

$$HIC = \left[\frac{1}{t_1 - t_2} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right]^{2,5} \cdot (t_1 - t_2) \quad (8.4)$$

kde: HIC hodnota kritéria poranění hlavy [-],

a celkové zrychlení [g],

t_1 začátek časového intervalu pro výpočet HIC,

t_2 konec časového intervalu pro výpočet HIC.

Výše zmíněné údaje jsou následně souhrnně uvedeny v tabulce 8.2.

Tab. 8.2: Parametry a výsledky nárazových testů čelním nárazem [vlastní zpracování]

Testované vozidlo	Kolizní partner	Údaje o vozidle							Figurína řidiče		Ostatní figuríny		
		Překrytí [%]	Použití airbagu	V ₀ [km/h]	m [kg]	Ek [kJ]	a _{max} [m/s ²]	Deformace [mm]	a _{max} [m/s ²]	HIC [-]	Umístění ve vozidle	a _{max} [m/s ²]	HIC [-]
Škoda Fabia	Pevná bariéra	100	Ano	50,77	1208	120,13	620	447	510	302,94	Spolujezdec	2277	4139
Škoda Favorit	Pevná bariéra	100	Ne	47,3	875	75,53	459,8	508	2490	2205,6	Dítě	708,8	706
Škoda Rapid	Pevná bariéra	100	Ano	45	1235	96,48	378,1	416	460	180,42	Není	Ne	Ne
Škoda Rapid	Pevná bariéra	100	Ne	14,92	1122	9,64	115,6	127	Není	Není	Není	Ne	Ne
Renault 5 GTD	Pevná bariéra	40	Ne	52,2	938,6	98,67	345	700	Není	Není	Dítě	856,6	612
Škoda Roomster	Deformovatelná bariéra	40	Ano	56,18	1542	187,76	Ne	Ne	Není	359,25	Spolujezdec	Ne	385,64
Škoda Fabia	Škoda Octavia - čelní náraz	33	Ano	50	1157	111,59	176	815	Není	Není	Není	Ne	Ne

9. Analýza odhadu závažnosti nárazu

9.1. Korelační analýza výsledků nárazových testů

Zhodnocení a analýza výsledků nárazových zkoušek uvedených v kapitole 8.3 je provedena na základě korelační analýzy mezi vybranými parametry, uvedenými v tabulce 8.2, s přihlédnutím na vhodnost jejich využití při stanovení závažnosti nárazu systémem eCall.

Pro porovnání jednotlivých výsledků je využita jednoduchá lineární regrese, kde je vztah mezi dvěma proměnnými vyjádřen lineární závislostí podle rovnice 9.1. Pro určení závislosti a stanovení regresní funkce se používá metoda nejmenších čtverců, vycházející z podmínky podle rovnice 9.2.

$$\hat{y}_i = a_{yx} + b_{yx}x_i, \quad (9.1)$$

$$F(a_{yx}, b_{yx}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - a_{yx} - b_{yx}x_i)^2 = \min., \quad (9.2)$$

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

y_i empirické hodnoty,

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

Regresní koeficient b_{yx} vyjadřuje průměrnou velikost změny závisle proměnné y při jednotkové změně nezávisle proměnné x . Je stanoven na základě rovnice 9.3, parametr a_{xy} je pak vypočten podle vztahu 9.4.

$$b_{yx} = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \quad (9.3)$$

kde: b_{yx} regresní koeficient,

x_i, y_i empirické hodnoty,

n počet hodnot.

$$a_{xy} = \bar{y} - b_{yx} \cdot \bar{x} \quad (9.4)$$

Spolehlivost regresního odhadu je stanovena pomocí korelačního koeficientu r_{yx} , podle vzorce 9.5. Korelační vztah je považován za málo těsný, je-li hodnota korelačního koeficientu menší než 0,3. V případě, že je jeho hodnota větší než 0,8, je považován za velmi těsný. Pohybuje-li se korelační koeficient v tomto rozmezí, uvažujeme středně těsnou korelační závislost. [21, 30]

$$r_{yx} = \frac{S_{yx}}{S_y S_x} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)^2}{\sqrt{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2 \right]} \cdot \sqrt{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \right]}}, \quad (9.5)$$

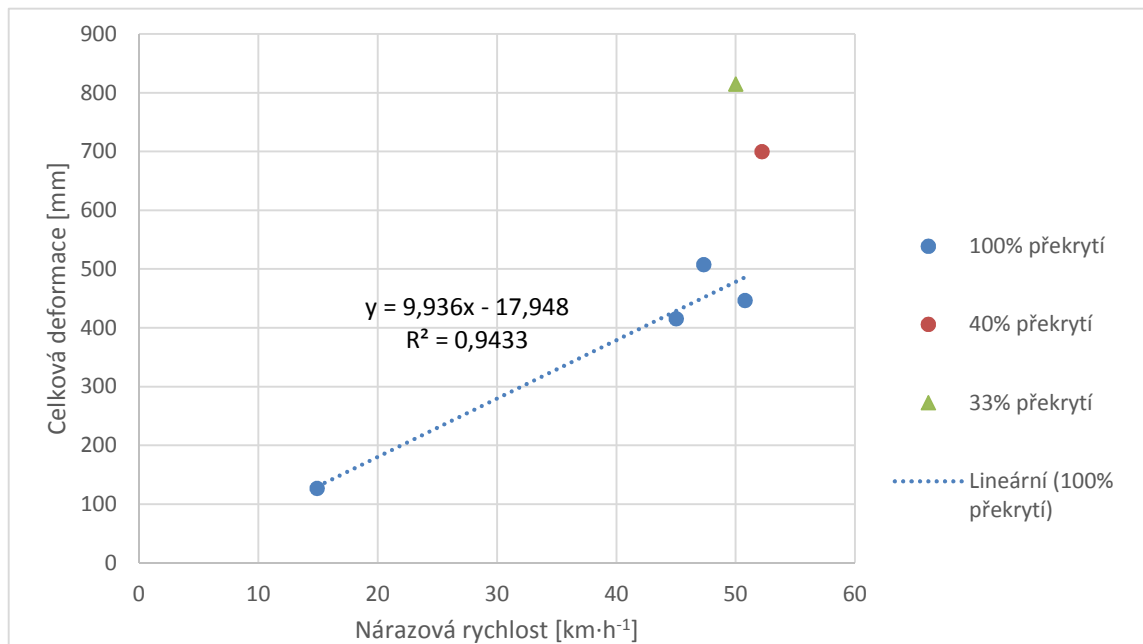
kde: r_{yx} korelační koeficient,
 S_{yx} kovariance,
 S_y, S_x směrodatné odchylky,
 y_i empirické hodnoty,
 \bar{x}_i, \bar{y}_i průměrná hodnota.

Pro provedení korelační analýzy výsledků nárazových zkoušek byla využita aplikace MS Excel umožňující proložení jednotlivých bodů spojnicí trendu a zobrazení regresní funkce. Zároveň je možné v této aplikaci zobrazit hodnotu koeficientu determinace R^2 , který udává, z kolika procent jsou změny závisle proměnné zvolenou lineární funkcí vysvětlitelné. [21] Z koeficientu determinace je možné a následně stanovit korelační koeficient R a míru těsnosti korelační závislosti.

9.1.1. Závislost deformace na nárazové rychlosti

Závislost maximální deformace karoserie vozidla na jeho nárazové rychlosti je vyjádřena v grafu na obrázku 9.1. Vzhledem k rozdílnému typu řešených nárazových testů jsou do korelační analýzy zahrnuty pouze zkoušky do pevné bariéry, s překrytím 100 % šířky vozidla. Hodnoty jsou proloženy přímkou a je zobrazena její regresní

funkce. Z hodnoty koeficientu determinace R^2 , který udává, z kolika procent jsou změny závisle proměnné vysvětlitelné zvolenou funkcí, je možné stanovit hodnotu korelačního koeficientu, která je vyjádřena ve vzorci 9.6.



Obr. 9.1: Závislost výsledné deformace karoserie na nárazové rychlosti vozidla [vlastní zpracování]

$$R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,9437} = 0,97144 \quad (9.6)$$

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

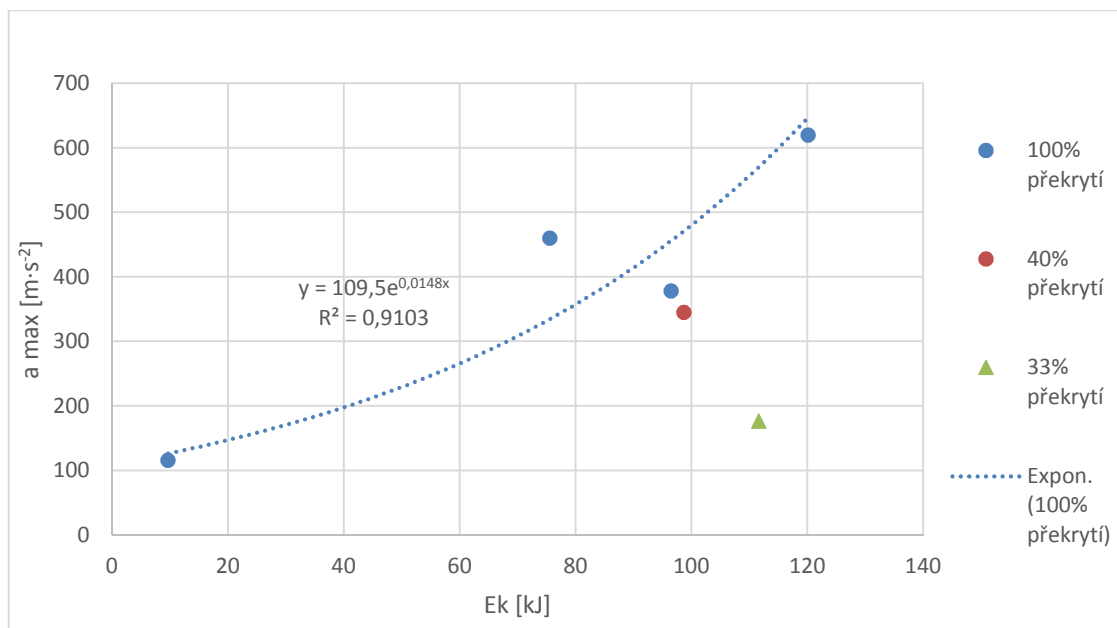
V grafu na obrázku 9.1 jsou vyneseny také hodnoty celkových deformací vozidel, které z důvodu rozdílných parametrů testu nebyly zahrnuty do korelační analýzy. Jedná se o vozidlo Renault 5 GTD, které bylo testováno nárazem do pevné bariéry s přesahem 40 % a vozidlo Škoda Fabia sedan, testované čelním nárazem do vozidla Škoda Octavia combi s překrytím 33 %. Z grafu je patrná rostoucí hodnota výsledné deformace při snižující se míře překrytí kolizních ploch, a to i v případě vozidla Škoda Fabia, kdy bylo kolizním partnerem jiné vozidlo kategorie M1 s přibližně stejnou hmotností a lze tento náraz považovat za kompatibilní.

Vztah mezi nárazovou rychlostí a celkovou deformací karoserie vozidla je důležitý z hlediska odhadu závažnosti dopravní nehody, kdy při velkých nárazových

rychlostech přechází deformační práce z deformační zóny na konstrukci kabiny vozidla, což může mít vliv na narušení prostoru pro přežití posádky. Z hlediska systému eCall může být tato informace důležitá jednak pro odhad výsledných deformací karoserie vozidla, kdy při velkých deformacích je pro vyproštění posádky nutná asistence HZS a dále pak, při narušení prostoru pro přežití, může tato skutečnost negativně ovlivnit výsledná zranění posádky. Jak již bylo zmíněno výše, uvedená regresní rovnice je v tomto případě platná pouze pro náraz plnou čelní plochou vozidla, kdy ve všech případech byla veškerá kinetická energie utlumena v rámci přední deformační zóny vozidla. Vzhledem k důležitosti této problematiky z hlediska systému eCall je problematika deformace karoserie dále hlouběji řešena v kapitole 9.2.

9.1.2. Závislost maximálního zrychlení na kinetické energii vozidla

Dalším ze sledovaných parametrů je závislost mezi hodnotou maximálního zrychlení, které působí během nárazu na karoserii vozidla a hodnotou kinetické energie vozidla, která je při nárazu přeměněna na deformaci karoserie. Hodnoty pro jednotlivá vozidla jsou vyneseny do grafu na obrázku 9.2, regresní funkce je, stejně jako v případě závislosti deformace karoserie na nárazové rychlosti, stanovena pouze pro vozidla testovaná čelním nárazem do pevné bariéry s plným překrytím. Hodnoty pro ostatní vozidla jsou však v grafu také uvedena. Pro popsání závislosti mezi kinetickou energií vozidla při nárazu a maximálním zrychlením působícím na karoserii vozidla byla zvolena exponenciální regresní funkce, s vyšší hodnotou korelačního koeficientu oproti lineární regresní funkci. Rovnice regresní funkce je zobrazena v grafu na obrázku 9.2, společně s koeficientem determinace R^2 . Z koeficientu determinace je v rovnici 9.7 stanoven korelační koeficient.



Obr. 9.2: Závislost kinetické energie na maximální hodnotě zrychlení působící na karoserii vozidla [vlastní zpracování]

$$R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,9103} = 0,954 \quad (9.7)$$

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

V grafu na obrázku 9.2 jsou uvedeny také hodnoty zrychlení pro vozidla Renault 5 GTD a Škoda Fabia sedan, s menšími překrytími čelní plochy při nárazu. Jak je z grafu patrné, maximální zrychlení působící na tyto vozidla při stejné hodnotě pohlcované kinetické energie u vozidel se 100 % překrytí je menší. U vozidla škoda Fabia sedan však byla část kinetické energie předána druhému vozidlu Škoda Octavia, které bylo při nárazu urychleno a posunuto o 9,28 metru oproti své původní poloze před nárazem. Z tohoto důvodu došlo k pozvolnějšímu zpomalování testovaného vozidla než v případě nárazu do pevné bariéry a není možné tento parametr brát jako významný.

Regresní funkci vyjadřující závislost maximálního zrychlení karoserie vozidla a kinetické energie uvedenou v grafu na obrázku 9.2 je možné systémem eCall využít pro stanovení kinetické energie vozidla. V případě využití signálů zrychlení karoserie pro identifikaci vzniku dopravní nehody vozidlovou jednotkou eCall by tak bylo možné využít tento parametr pro následné stanovení kinetické energie vozidla. Na základě stanovené hodnoty kinetické energie vozidla a známé hodnoty nárazové rychlosti by

bylo možné dále stanovit aktuální hmotnost vozidla, která má také vliv na případné deformace karoserie.

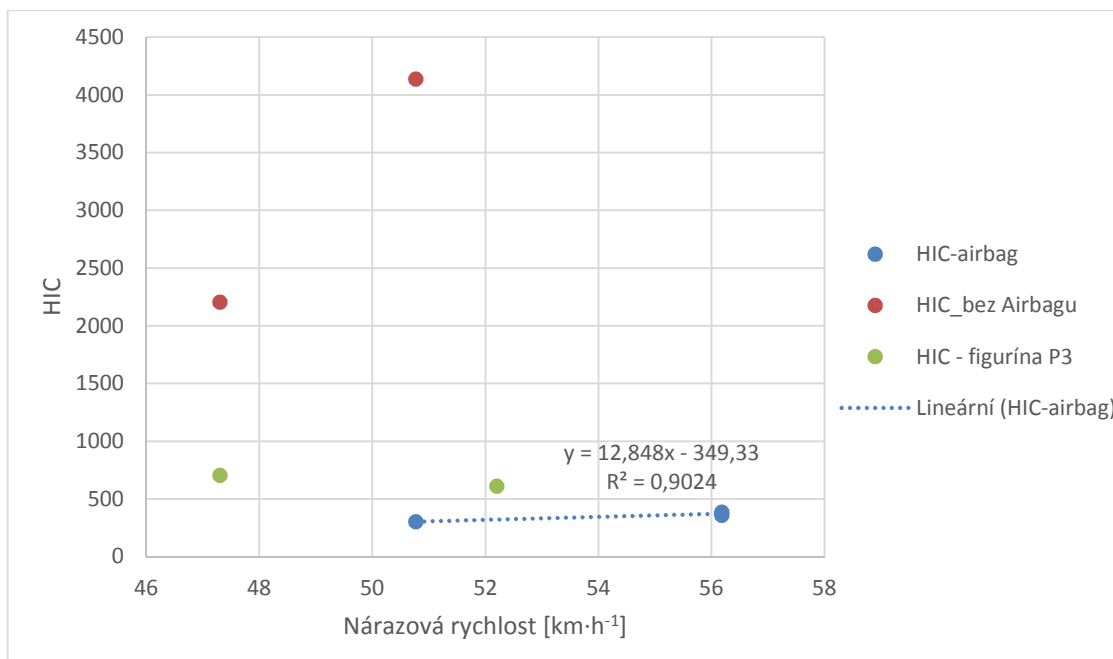
9.1.3. Závislost HIC kritéria na nárazové rychlosti vozidla

Z hlediska zkoumání závažnosti poranění posádky automobilu při dopravní nehodě je v rámci této kapitoly řešena korelace kritéria poranění hlavy s nárazovou rychlostí vozidla. Korelace je řešena pouze pro toto kritérium, protože kritéria poranění pro ostatní části lidského těla nebylo ve většině případů možné stanovit, z důvodu omezeného počtu snímacích kanálů měřící techniky.

Jelikož je z výsledků nárazových zkoušek uvedených v této práci patrný vliv airbagu na výslednou hodnotu HIC kritéria, byla korelace řešena s ohledem na jeho použití během nárazu. V grafu na obrázku 9.3 jsou uvedeny hodnoty HIC kritérií, v nichž jsou zahrnuty také hodnoty získané z figurín spolujezdce. V případě použití zádržného systému vozidla s airbagem jsou hodnoty HIC kritérií proloženy přímkou a je pro ně stanovena lineární regresní funkce uvedená v grafu. Hodnota korelačního koeficientu je vypočtena v rovnici 9.8.

$$R = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,9024} = 0,9499 \quad (9.8)$$

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



Obr. 9.3: Závislost HIC kritéria na nárazové rychlosti vozidla [vlastní zpracování]

V případě hodnot HIC kritérií bez použití airbagu nebyla korelace řešena z důvodu malého množství těchto hodnot. Z grafu na obrázku 9.3 je však patrný vliv absence airbagu na výslednou hodnotu HIC kritéria, kdy tyto hodnoty jsou několikanásobně vyšší oproti hodnotám HIC kritéria s využitím airbagu a zároveň tyto hodnoty převyšují také limitní hodnotu HIC = 1000. Dále jsou v grafu uvedeny hodnoty HIC kritérií dětských figurín typu P3, které byly v rámci dvou nárazových zkoušek umístěny na zadním sedadle (za řidičem) v dětském zádržném systému uchyceném tříbodovým bezpečnostním pasem, bez systému uchycení Isofix. Vzhledem k malému počtu hodnot nebyla u HIC kritéria dětských figurín korelace řešena. Jak je však z grafu na obrázku 9.3 patrné, výsledné hodnoty HIC kritérií u dětských figurín převyšují výsledné hodnoty dospělých jedinců při použití airbagu, avšak nepřevyšují limitní hodnotu HIC kritéria.

V případě využití korelace mezi nárazovou rychlostí vozidla a HIC kritériem pro odhad závažnosti poranění posádky vozidla systémem eCall je třeba zohlednit přítomnost airbagu v automobilu, jak je patrné z grafu na obrázku 9.3. Tento parametr je nutné brát v úvahu pouze v případě zástavby jednotky eCall do starších typů automobilů, které nemusí být těmito bezpečnostními prvky vybaveny nebo jsou vybaveny pouze airbagem řidiče. V případě absence airbagu je třeba uvažovat vyšší pravděpodobnost vzniku poranění, než v případě použití korelace s airbagem. V případě

odhadu závažnosti poranění dětí přepravovaných v dětském zádržném systému byla výsledná hodnota HIC kritéria také vyšší oproti dospělým cestujícím chráněným čelním airbagem. Z tohoto důvodu není možné využít stejnou korelaci pro obě zmíněné skupiny. Ačkoliv lze konstatovat dostatečnou ochranu dětí při použití dětského zádržného systému, může být přítomnost dětských cestujících ve vozidle důležitou informací pro jednotky IZS zasahující u dopravní nehody. Odhad přítomnosti dítěte je však v současnosti možné řešit pouze na předním sedadle spolujezdce, na základě deaktivace airbagu spolujezdce.

9.2. Namáhání kabiny vozidla při nárazu

V této kapitole je řešena problematika namáhání kabiny vozidla během nárazu. Ta je z hlediska vozidlové jednotky eCall důležitá zvláště z pohledu vhodnosti jejího umístění, kdy by jednotka měla být umístěna na co nejbezpečnějším místě vozidla. Dále je tuto problematiku důležité řešit z hlediska identifikace vzniku nárazu a jeho bližšího popisu, využívá-li pro ně jednotka eCall vlastní akcelerometry. Z hlediska odhadu závažnosti dopravní nehody je důležitá také znalost předpokládané deformace kabiny v případech, kdy není přední deformační zóna schopna pohltit veškerou kinetickou energii vozidla.

9.2.1. Hodnocení mechanického napětí karoserie

K řešení namáhání karoserie v oblasti kabiny jsou využity výsledky nárazového testu Škody Fabia do pevné bariéry, který je popsán v kapitole 8.2.2. Během tohoto testu bylo měřeno namáhání karoserie v oblasti přední části kabiny vozidla pomocí osmi odporových tenzometrů. Jejich principu spočívá ve změně elektrického odporu v závislosti na deformaci, která je přímo úměrná změně délky vodiče tenzometru. Velikost elektrického odporu připevněného na exponované části je definován podle vzorce 9.9. V důsledku deformace povrchu, na kterém je tenzometr připevněn, dochází ke změně délky vodiče a tím i změně elektrického odporu. To je vyjádřeno vztahem 9.10. Tuto změnu je možné zaznamenat a převést na mechanické napětí podle vzorce 9.11. [17]

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (9.9)$$

kde: R elektrický odpor [Ω],

ρ měrný odpor [$\Omega \cdot m$],

l délka vodiče [m],

S průřez vodiče [m^2]

$$\Delta R = R \cdot k \cdot \varepsilon, \quad (9.10)$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (9.11)$$

kde: R elektrický odpor [Ω],

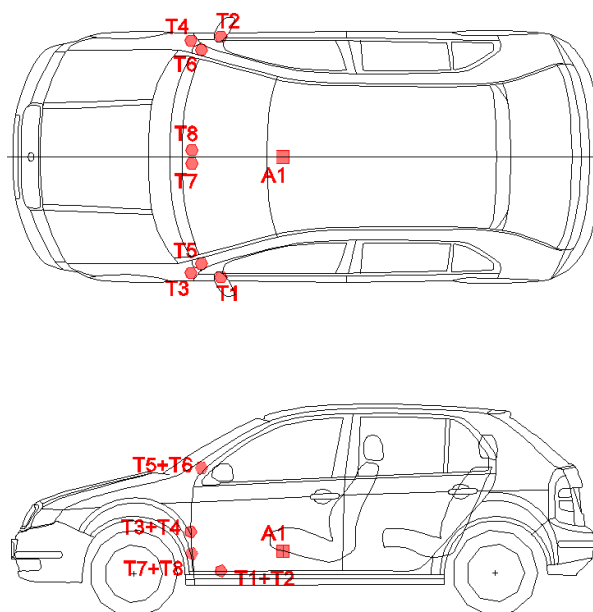
k konstanta tenzometru,

ε poměrné prodloužení [mm^{-1}],

σ zjišťované napětí [MPa],

E Youngův modul pružnosti.

Tenzometry byly na zkušebním vozidle umístěny do oblasti předních dveří, na práh a A sloupek a dále na středový tunel vozidla, před řadicí páku. Rozmístění jednotlivých tenzometrů na karoserii vozidla je znázorněno na obrázku 9.4, na obrázku 9.5 je pak patrné rozmístění a upevnění tenzometrů v oblasti levých předních dveří. Pro měření byl použit zesilovač VISHEY 2120 a měřící magnetofon TEAC CS XR 5000. Zaznamenaný signál byl následně zdigitalizován A/D kartou National Instruments PCI 6071E.



Obr. 9.4: Umístění tenzometrů na karoserii vozidla Škoda Fabia – čelní náraz vozidla Škoda Fabia do pevné bariéry [26]

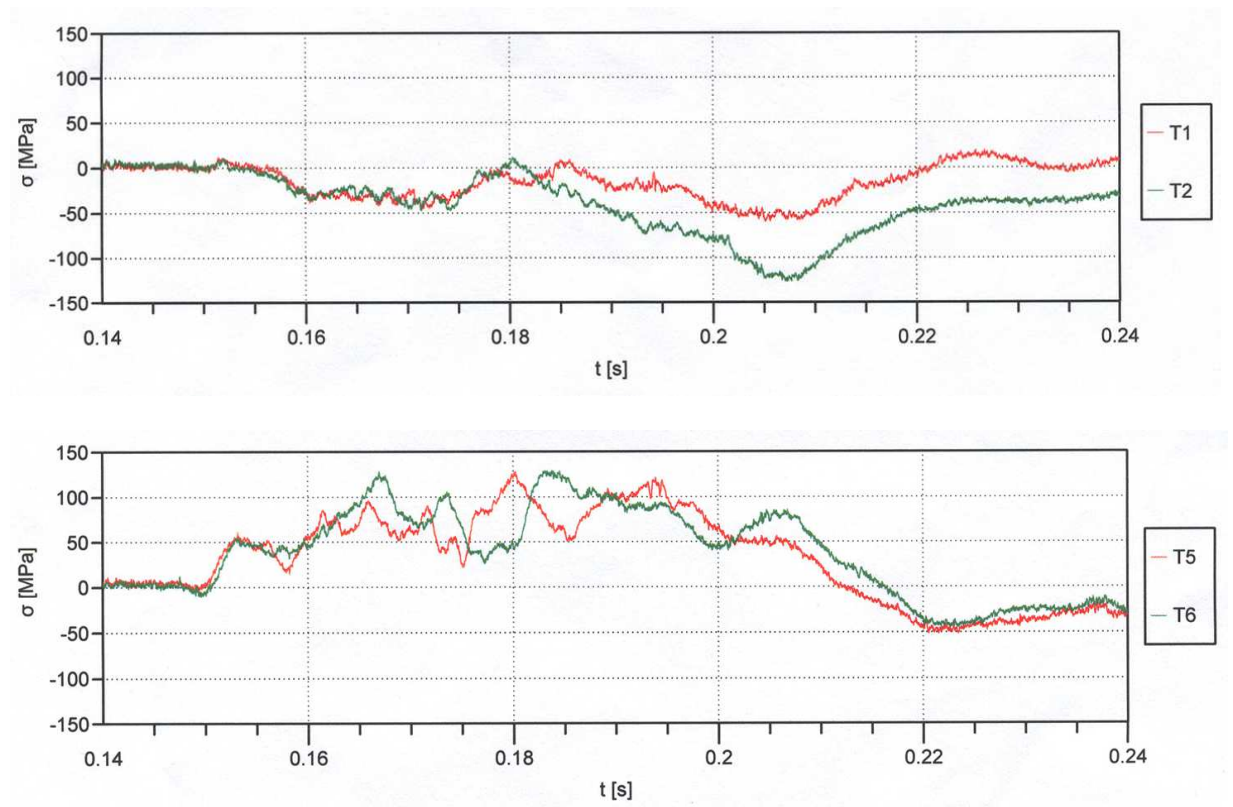
Jak je patrné z tabulky 9.1, kde je uveden přehled minimálních a maximálních naměřených hodnot napětí na jednotlivých tenzometrech, největší mechanické napětí bylo naměřeno na A sloupcích vozidla (tenzometry T5 a T6) a dále pak na prazích předních dveří (tenzometry T1 a T2). Naměřené průběhy napětí v těchto místech jsou uvedeny na obrázku 9.6. Přehled všech průběhů je uveden v příloze A této práce.



Obr. 9.5: Umístění tenzometrů na karoserii vozidla Škoda Fabia v oblasti levých předních dveří [26]

Tab. 9.1: Mezní hodnoty napětí karoserie vozidla pro jednotlivé tenzometry [vlastní zpracování]

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



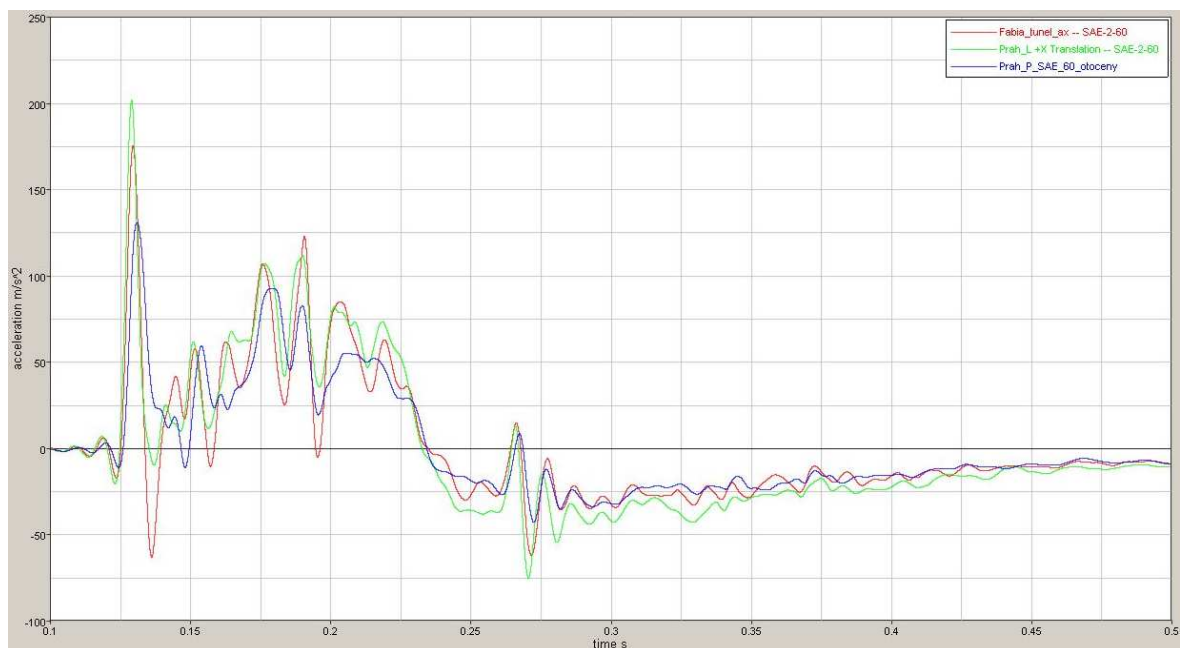
Obr. 9.6: Průběh mechanického napětí naměřený na karoserii vozidla Škoda Fabia tenzometry T1, T2, T5 a T6 [26]

Vysoké mechanické namáhání karoserie vozidla v oblasti A sloupků je mimo jiné patrné také z nárazových zkoušek čelním nárazem, kdy došlo k maximální deformaci přední deformační zóny. To se například projevilo v případě nárazového testu vozidla Renault 5 GTD popsaném v kapitole 8.2.6, kdy deformační zóna nebyla schopna pohltit veškerou kinetickou energii vozidla a následně došlo k prohnutí A sloupku a střechy vozidla. V případě větších deformací pak může dojít k narušení prostoru pro přežití posádky. Při odhadu následků dopravní nehody systémem eCall je proto nutné zahrnutí také této informace. Větší deformace karoserie lze předpokládat na základě vyšší nárazové rychlosti vozidla nebo v případě větší kinetické energie, kdy je možné zahrnout také vliv celkové hmotnosti vozidla.

9.2.2. Hodnocení zrychlení karoserie

Druhým ověřujícím nárazovým testem pro řešení problematiky namáhání kabiny vozidla je kolize vozidel Škoda Fabia sedan a Škoda Octavia combi, který je popsán v kapitole 8.2.7. Při tomto testu byly na různých místech kabiny zkušebního vozidla Škody Fabia sedan umístěny tři akcelerometry. Vozidlo bylo osazeno tříosým snímačem zrychlení umístěným na tunelu vozidla mezi řadící pákou a ruční brzdou. Dále bylo vozidlo osazeno dvěma jednoosými akcelerometry na levé a pravé straně, u paty A sloupku. Použité měřicí vybavení je shodné s vybavením popsaným v kapitole 8.1.1. Naměřené průběhy zrychlení těmito akcelerometry jsou uvedeny na obrázku 9.7, v případě tříosého akcelerometru je uveden pouze průběh zrychlení v ose X vozidla, aby mohlo být porovnáváno s průběhy ostatních akcelerometrů měřících pouze v této ose.

Jelikož se jednalo o přesazený typ nárazu, kdy se obě vozidla střetla v šířce 550 mm na své levé straně, což u vozidla Škoda Fabia činilo přesazení 33 % její šířky, lze předpokládat nesymetrické rozložení akcelerace na karoserii. Jak je z grafu na obrázku 9.7 patrné, největší zrychlení bylo naměřeno akcelerometrem na levém A sloupku (zelená křivka), tedy na straně nárazu a nejmenší akcelerometrem na pravé straně vozidla (modrá křivka). Průběh zrychlení měřeného na středovém tunelu vozidla je v grafu znázorněn červenou křivkou. Hodnoty maximálních zrychlení jsou pak uvedeny v tabulce 9.2.



Obr. 9.7: Průběhy zrychlení na různých místech karoserie – kolize vozidel Škoda Fabia a Škoda Octavia [vlastní zpracování]

Tab. 9.2: Maximální hodnoty zrychlení vozidla Škoda Fabia sedan měřené v různých částech karoserie [vlastní zpracování]

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

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

9.3. Ověření funkce vozidlové jednotky eCall

V rámci nárazové zkoušky vozidla Škoda Favorit do pevné bariéry, která je popsána v kapitole 8.2.1, byla ve zkušebním vozidle umístěna testovací verze jednotky eCall. Úkolem bylo otestovat funkčnost jednotky a získání průběhu zrychlení, který je naměřen jednotkou eCall při reálném nárazu vozidla a na jehož základě jednotka rozhoduje o zahájení tísňového volání. Data z nárazové zkoušky byla dále doplněna sérií zkoušek jednotky eCall na urychlovacím zařízení. Tato kapitola obsahuje popis obou typů zkoušek s uvedenými výsledky a jejich vzájemné srovnání.

9.3.1. Popis jednotky eCall

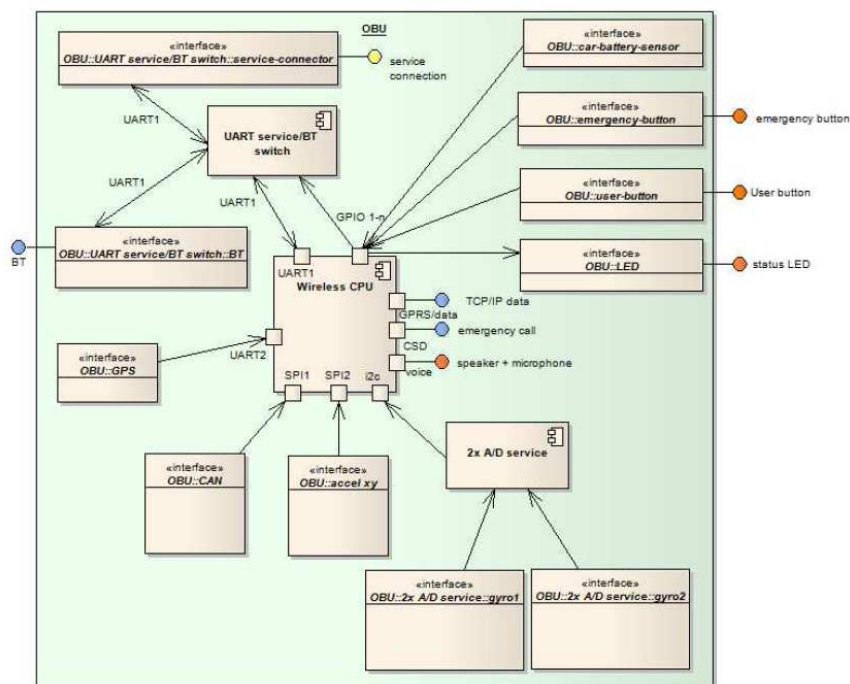
Použitá jednotka eCall představuje kompaktní systém, kde celý vozidlový systém eCall je implementován v rámci jednoho zařízení (Black box). Výhodou této jednotky je možnost implementace do jakéhokoliv vozidla. Jednotka je vybavena následujícími prvky:

- Dvouosý akcelerometr měřící podélné a příčné zrychlení vozidla, které slouží pro určení vzniku nárazu vozidla.
- GPS modul pro určení aktuální polohy a rychlosti vozidla.
- GSM modul pro komunikaci s operačním střediskem přes mobilní telefonní síť a pro možnost odeslání dat o nehodě.
- Rozhraní pro připojení komunikačního zařízení, umožňující připojení sluchátek a mikrofonu a uskutečnění telefonického hovoru s přednastaveným telefonním číslem (v budoucnu číslo 112).
- Tlačítko pro manuální zahájení tísňového volání v rámci systému eCall (emergency button).
- Vlastní zdroj napájení (baterie) - pro případ přerušení napájení z palubní sítě vozidla. Slouží k zajištění chodu jednotky po nezbytně nutnou dobu, aby bylo možné zpracovat a odeslat data a následně uskutečnit případný telefonický hovor. Primárně je však jednotka napájena z palubní sítě vozidla.
- Bluetooth rozhraní (BT) - umožňuje stahování an ukládání aktuálně měřených dat v průběhu provozu jednotky eCall.
- Možnost komunikace s ostatními systémy vozidla přes sběrnici CAN.

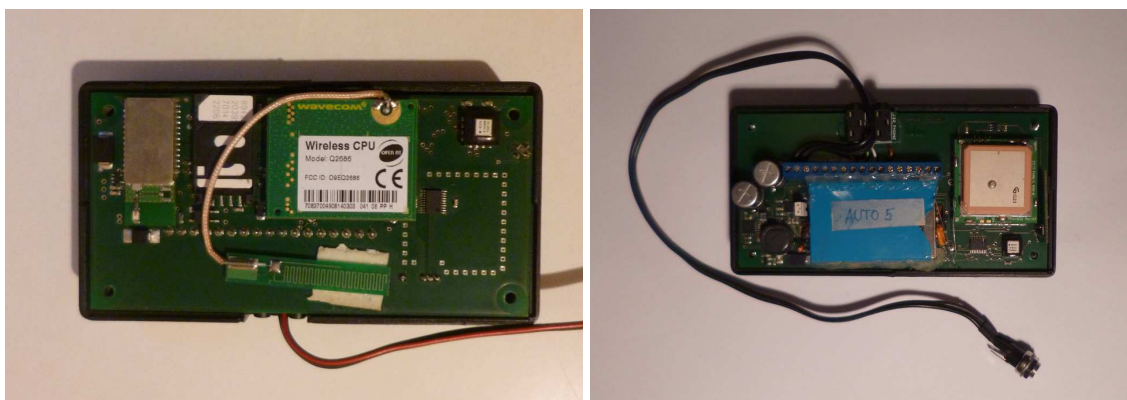
- Gyroskop (interface gyro 1 a gyro 2) pro rozpoznání dopravní nehody s převrácením vozidla.

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°C. Všechny elektronické části jednotky jsou implementovány jako jeden díl v rámci jednoho tištěného spoje, jak je patrné z obrázku 9.9.

Blokové schéma použité jednotky eCall s vyznačením dostupných rozhraní je znázorněno na obrázku 9.8.



Obr. 9.8: Schéma dostupných rozhraní jednotky eCall [41]



Obr. 9.9: Hardware použité jednotky eCall [vlastní zpracování]

9.3.2. Princip činnosti jednotky eCall

Použitá jednotka eCall na základě aktuálně měřených hodnot zrychlení automobilu v osách X a Y vyhodnocuje vznik nárazu vozidla. Pro měření aktuálních hodnot zrychlení jednotkou je používán implementovaný kapacitní akcelerometr ADIS16204. Jedná se o dvouosý programovatelný akcelerometr, umožňující měřit zrychlení v rozsahu 70 g v ose X a 37 g v ose Y, avšak při analogovém vyčítání, které je v jednotce eCall používáno, umožňuje překročení tohoto rozsahu o osminásobek v každé ose. Osy akcelerometru jsou při navrhovaném umístění jednotky eCall do automobilu otočeny, tj. podélná osa vozidla je měřena v rámci osy Y akcelerometru a maximální měřitelná amplituda podélného zrychlení vozidla je 296 g. Akcelerometr umožňuje automatickou vnitřní kalibraci a korekci měřených hodnot v závislosti na okolní teplotě.

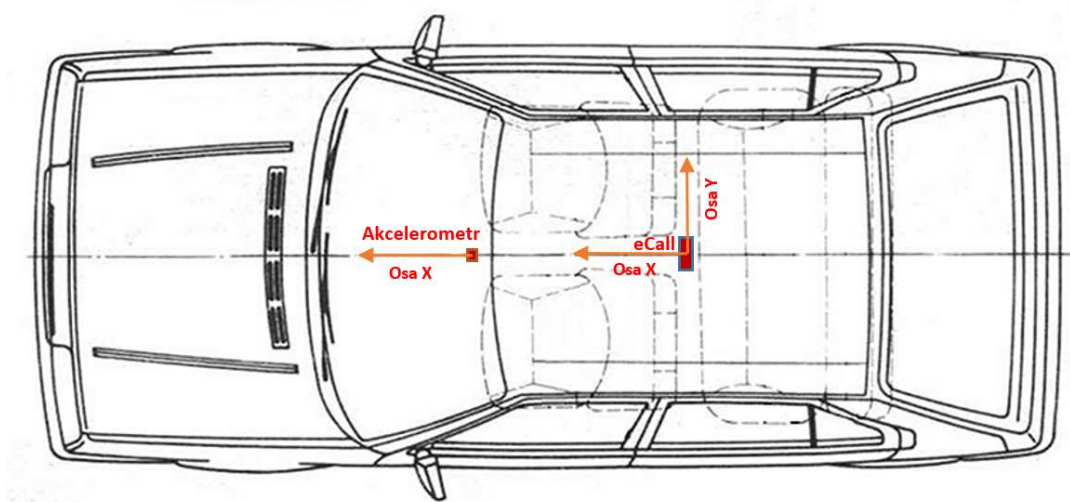
O zahájení tísňového volání jednotka rozhoduje na základě překročení limitní hodnoty zrychlení, která byla nastavena na hodnotu 5 g. Tato hodnota byla zvolena z důvodu možnosti zaznamenat nárazy už při malých rychlostech a zároveň z důvodu eliminace spuštění tísňového volání v situacích, jako jsou prudké brzdění nebo „drcnutí“ do jiného vozidla velmi malou rychlostí v průběhu parkování.

V případě inicializace tísňového volání jednotka vytvoří datový soubor se strukturou MSD a odesílá jej na přednastavené telefonní číslo (ekvivalent čísla tísňové linky 112). Zároveň také do interní paměti zaznamená průběhy zrychlení, které jsou měřeny akcelerometrem jednotky během nárazu. Naměřené průběhy jednotka následně odesílá přes rozhraní GPRS na serverové úložiště. Jednotka umožňuje zaznamenání až 1024 hodnot pro každou měřenou osu se vzorkovací frekvencí 4000 hodnot za sekundu. Je tedy možné zaznamenat průběh zrychlení s maximální délkou trvání 256 ms. Počátek zaznamenaného průběhu zrychlení je 100 hodnot před překročením limitní hodnoty zrychlení, což představuje časový úsek o délce 25 ms. Konec zaznamenaného průběhu zrychlení je buď stanoven jednotkou eCall, pokud dojde k utlumení akcelerace působící na jednotku pod limitní hodnotu, nebo je dán naplněním paměti jednotky (1024 zaznamenaných hodnot). V případě, že není překročena nastavená limitní hodnota zrychlení, nutná pro zahájení tísňového volání, není měřený průběh zrychlení zaznamenáván a odesílán v rámci datového souboru.

Jednotka eCall umožňuje také stahování a ukládání aktuálně měřených dat v průběhu jejího provozu. K tomuto je využita komunikace s Bluetooth rozhraním. Tato varianta však během testů nebyla využívána. Dále jednotka zahrnuje rozhraní pro komunikace s ostatními systémy vozidla přes sběrnici CAN (interface CAN), ty však během testu nebyly využívány.

9.3.3. Test jednotky eCall při reálné nárazové zkoušce

V rámci nárazové zkoušky vozidla Škoda Favorit do pevné bariéry, popsané v kapitole 8.2.1, byla ve zkušebním vozidle umístěna testovací verze jednotky eCall, popsané v kapitole 9.3.1. Jednotka byla umístěna na středovém tunelu vozidla, ve stejné ose s jednoosým akcelerometrem snímajícím zrychlení karoserie v ose X (dle ISO 4130), který byl umísťován do přibližné polohy těžiště vozidla, vycházející na tunel vozidla do míst mezi řadící pákou a ruční brzdou. Jednotka eCall pak byla umístěna za ruční brzdou mezi předními a zadními sedadly, jak je znázorněno na obrázku 9.10. Pro měření zrychlení karoserie byl použit akcelerometr Brüel&Kjær DeltaTrontype 4513-B v rámci měřící aparatury popsané v kapitole 8.1.1.



Obr. 9.10: Umístění jednotky eCall a akcelerometru v testovaném vozidle [vlastní zpracování]

9.3.4. Korelace signálů zrychlení

Úkolem této kapitoly je stanovit závislost mezi průběhem zrychlení měřeným na karoserii vozidla a průběhem měřeným jednotkou eCall v ose X vozidla. K tomu je

využita korelační analýza s cílem ověřit těsnost závislosti mezi oběma křivkami. Pro úpravu obou signálů a provedení korelační analýzy byl použit software MATLAB.

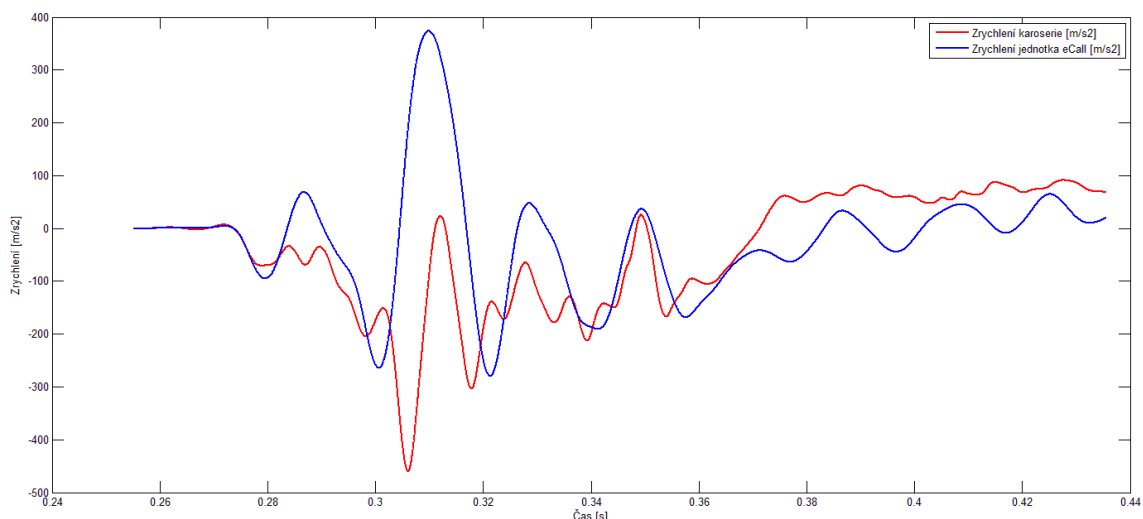
Pro možnost provedení korelační analýzy signálů byla nejprve provedena synchronizace signálů podle jedné časové osy. Jelikož je záznam měřeného zrychlení jednotkou eCall zahájen automatickým triggerem při překročení limitní hodnoty zrychlení 5 g, následně zapsán do paměti jednotky a odeslán v datové zprávě na server, není možné provést přímé vyčítání hodnot podle stejné časové řady s hodnotami separátního akcelerometru, který byl umístěn na tunelu vozidla ve stejné ose s jednotkou eCall. Průběhy zrychlení proto byly srovnány podle první amplitudy signálu, kterou oba měřicí systémy zaznamenaly a kde lze na časové ose očekávat počátek nárazu. Vzhledem k rozdílným vzorkovacím frekvencím, kdy jednotka eCall zaznamenala průběh zrychlení vzorkovací frekvencí 4000 hodnot za sekundu, zatímco průběh zrychlení měřený akcelerometrem na karoserii vozidla byl vzorkován frekvencí 32 768 hodnot za sekundu, byl signál z jednotky eCall převzorkován pomocí lineární interpolace na vzorkovací frekvenci 32 768 hodnot za sekundu. Oba signály byly následně vyfiltrovány normalizovaným frekvenčním filtrem CFC 60, předepsaným předpisem EHK/OSN č. 94 pro filtraci signálu zrychlení karoserie vozidla při nárazových testech. Výsledné upravené průběhy jsou uvedeny na obrázku 9.11.

Následně stanovená závislost mezi hodnotami zrychlení obou signálů byla vyjádřena pomocí lineární regresní funkce, která je uvedena ve vzorci 9.12. Princip stanovení regresní funkce je popsán v kapitole 9.1 této práce, využívá metody nejmenších čtverců.

$$y = 0,22 \cdot x - 12, \quad (9.12)$$

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

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



Obr. 9.11: Porovnání průběhů zrychlení měřených jednotkou eCall a akcelerometrem na karoserii vozidla [vlastní zpracování]

Na základě korelační analýzy byla následně pro oba synchronizované signály stanovena spolehlivost výsledné hodnoty korelačního koeficientu r_{xy} . Princip výpočtu korelačního koeficientu je popsán v kapitole 8.3.1. Výsledná hodnota korelačního koeficientu je $r_{xy} = 0,22569$. Budeme-li uvažovat hodnocení míry těsnosti podle zdroje [30], které je uvedeno v kapitole 8.3.1, lze korelační vztah považovat za málo těsný, což platí pro interval korelačního koeficientu $0 < r \leq 0,3$.

Dále byla stanovena p-hodnota a okrajové meze, na jejichž základě dojde k potvrzení nebo vyvrácení nulové hypotézy. Pro jejich stanovení byly také použity statistické funkce softwaru MATLAB. P-hodnota představuje minimální hladinu významnosti, na které lze ještě danou nulovou hypotézu zamítnout. Obecně platí, že je-li vypočtená hladina významnosti menší než zvolená hladina významnosti α , bude nulová hypotéza zamítnuta. [21]

Definovaná nulová hypotéza předpokládá, že data jsou nekorelovatelná, tedy že hodnota korelačního koeficientu je rovna nule. Alternativní hypotéza pak předpokládá existenci korelace mezi oběma křivkami, tj. korelační koeficient nabývá nenulových hodnot. Obě hypotézy jsou uvedeny ve vztazích 9.13.

$$H_0: \rho = 0 \qquad H_1: \rho \neq 0 \qquad (9.13)$$

Výsledná hodnota vypočtené hladiny významnosti P-hodnota je $p = 3,4233e^{-69}$, tedy se limitně blíží nule. Při zvolení obvykle používané hladiny významnosti $\alpha = 0,05$ platí, že $p < \alpha$ a lze tedy konstatovat zamítnutí nulové hypotézy, že porovnávaná data jsou nekorelovatelná.

Dále byly stanoveny okrajové meze pro určení intervalu spolehlivosti korelačního koeficientu. Interval spolehlivosti nabývá mezních hodnot od 0,2014 (dolní mez) do 0,2497 (horní mez). Jelikož interval $0,2014 < \rho < 0,2497$ v sobě nezahrnuje nulovou hodnotu, potvrzuje zamítnutí stanovené nulové hypotézy na hranici významnosti $\alpha = 0,05$, která byla vyřčena v předchozích odstavcích.

9.3.5. Zkouška jednotky eCall na urychlovacím zařízení

Alternativní metodou ověření vlastností vývojové jednotky eCall popsané v kapitole 9.3.1 bylo provedení série pokusů na urychlovacím zařízení „Rázová komora“, které je znázorněno na obrázku 9.12. Jedná se o zařízení, které je primárně určeno k výzkumu šíření rázové vlny v různém prostředí a je umístěno na Katedře vozidel a pozemní dopravy, Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze. Toto zařízení funguje na principu padostroje, kdy závaží o hmotnosti 20 kg je pomocí kladkostroje vytaženo do definované výšky a následně po odjištění aretačního mechanismu padá vlastní tíhou uvnitř vodícího tubusu. Výška závaží nad nádobou, po jeho vytažení vzhůru do počáteční polohy při testu je měřena pomocí lankového snímače vzdálenosti. V prostoru pod vodícím tubusem je umístěna tlustostěnná ocelová nádoba kruhového tvaru shora hermeticky uzavřena kruhovým víkem, v jehož středu je umístěn píst umožňující vyvolat tlakovou vlnu v kapalině uvnitř nádoby. Celá nádoba je posuvně upnuta na čtyři svislé tyčové segmenty umožňující svislý pohyb nádoby a její vedení na dráze dlouhé 0,5 metru. Vodící mechanismus nádoby umožňuje její aretaci o horní hranu tyčových segmentů. Je-li nádoba umístěna ve své horní poloze, dojde k nárazu padajícího závaží na kruhový píst ve víku nádoby, jeho částečnému stlačení a předání zbytku kinetické energie nádobě, čímž dojde k odjištění aretace nádoby a následně jejímu pádu po dráze definované vodícími tyčemi. Dopad nádoby je tlumen molitanovou podložkou.



Obr. 9.12: Zařízení „rázová komora“ využitě pro testování jednotky eCall [vlastní zpracování]

V rámci této práce byla provedena série testů jednotky eCall s cílem ověřit její vlastnosti během nárazu a ovlivnění měřeného zrychlení samotnou jednotkou. Pro pokusy bylo využito zařízení „Rázová komora“, kdy byla jednotka eCall upevněna na ocelovou nádobu stejným způsobem, jako při nárazové zkoušce automobilu a bylo měřeno zrychlení v ose X jednotky, odpovídající stejné ose při jejím umístění v automobilu. Nádoba nebyla během testů naplněna kapalinou, aby ji bylo možné při dopadu závaží co nejvíce urychlit. Píst umístěný ve víku nádoby, na nějž dopadá závaží, byl při provedených zkouškách maximálně stlačen do zasunuté krajní polohy, aby nedocházelo k útlumu nárazu při dopadu závaží. Průběh zrychlení z akcelerometru jednotky eCall bylo při těchto testech možné kontinuálně vyčítat a zaznamenávat bez použití vnitřní paměti jednotky. Společně s jednotkou eCall byl na ocelové nádobě upevněn externí jednoosý akcelerometr Brüel&Kjær DeltaTrontype 4514-B, který byl zapojen v rámci měřicí aparatury popsané v kapitole 8.1.1, a který snímal zrychlení nádoby ve stejné ose, jako jednotka eCall. Jelikož byly oba měřené signály zrychlení zaznamenávány na jednom počítači, bylo možné provést synchronizaci podle jedné časové osy.

Při zpracování naměřených signálů byla dodržena metodika, která je v souladu se zpracováváním signálů zrychlení karoserie vozidla v rámci nárazových zkoušek. Oba signály byly nejprve filtrovány frekvenčním filtrem CFC 60 v softwaru Hypergraf. Následná lineární korelační analýza obou signálů byla provedena v softwaru Matlab.

Během této zkoušky bylo provedeno 15 měření, kdy byla použita různá výška dopadu závaží na ocelovou nádobu s připevněnou jednotkou eCall. Bylo provedeno měření z výšky 0,24 m, což je nejnižší možná výška, kterou lze na zařízení zdvihajícím závaží do jeho počáteční polohy nastavit. Následně bylo provedeno měření s dopadovou výškou závaží 0,5 m a ověřovací měření z výšky 0,4 m. Z počáteční výšky závaží byla s přesností $\pm 5\%$ určena rychlost jeho dopadu na nádobu podle vzorce 9.14.

$$v = \sqrt{2 \cdot h \cdot g}, \quad (9.14)$$

kde: v rychlost dopadu [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

h počáteční výška [m],

g tíhové zrychlení ($g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

Následně byla provedena korelační analýza obou měřených signálů, a to pro průběh zrychlení celého děje, který zahrnuje urychlení nádoby dopadem závaží a dopad nádoby na molitanovou podložku, kdy došlo ke třem až čtyřem odrazům, vlivem elasticity podložky a následnému ustálení nádoby v klidové poloze. Vzhledem k parametrům jednotky eCall byl korelační koeficient počítán pro tři varianty. U každého měření byl určen korelační koeficient signálu zrychlení zahrnující celý děj a dále byl určen korelační koeficient pro signály zrychlení v časovém intervalu 256 ms od počátku nárazu, což představuje délku průběhu zrychlení, který je možné jednotkou eCall zaznamenat při využití její vnitřní paměti. Korelační koeficient pro signály zrychlení v délce 256 ms byl určen pro případ synchronizace signálů podle časové osy a dále také pro synchronizaci podle první amplitudy obou signálů, jako v případě korelace výsledků z nárazové zkoušky, kdy nebylo možné provést přesnou synchronizaci podle jednotné časové osy. Výsledné hodnoty korelačních koeficientů jsou uvedeny v tabulkách 9.3 až 9.5. V posledním řádku tabulek 9.3 a 9.4, jsou dále uvedeny hodnoty aritmetického průměru naměřených a vypočtených dat. Ty byly vypočteny na základě vzorce 9.15. Průběhy naměřených zrychlení popisující celý pád nádoby a průběhy v časovém

intervalu 256 ms pro jednotlivá měření, jsou pak uvedeny v příloze B této práce. Průběhy jsou označeny číslem měření stejným jako v tabulkách 9.3 až 9.5.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (9.15)$$

kde: \bar{x} aritmetický průměr měřených hodnot,

x_i měřené hodnoty,

n počet hodnot.

Tab. 9.3: Výsledné hodnoty korelačních koeficientů při zkouškách jednotky eCall na urychlovacím zařízení, nastavovaná výška závaží 0,24 m [vlastní zpracování]

č. měření	výška pádu [m]	nárazová rychlost [m·s ⁻¹]	Korelační koeficient r_{xy}		
			časová synchronizace (celý průběh)	časová synchronizace ($\Delta t = 256$ ms)	synchronizace 1. amplitudy ($\Delta t = 256$ ms)
1	0,2427	2,182	0,93464	0,38401	0,80228
2	0,24406	2,188	0,94245	0,43592	0,73444
3	0,2428	2,183	0,939	0,42259	0,75835
4	0,24303	2,183	0,93893	0,43164	0,75692
5	0,24266	2,181	0,93805	0,41346	0,7537
6	0,24264	2,181	0,93979	0,4234	0,79507
7	0,24262	2,182	0,9457	0,41323	0,78095
8	0,24263	2,182	0,94084	0,45523	0,72248
9	0,24265	2,182	0,94444	0,46583	0,72575
10	0,24261	2,182	0,948	0,46278	0,70589
11	0,24261	2,182	0,94611	0,39233	0,74305
Průměrná hodnota	0,24283	2,183	0,94163	0,42731	0,75263

Tab. 9.4: Výsledné hodnoty korelačních koeficientů při zkouškách jednotky eCall na urychlovacím zařízení, nastavovaná výška závaží 0,5 m [vlastní zpracování]

č. měření	výška pádu [m]	nárazová rychlost [m·s ⁻¹]	Korelační koeficient r _{xy}		
			časová synchronizace (celý průběh)	časová synchronizace (Δt = 256 ms)	synchronizace 1. amplitudy (Δt = 256 ms)
a1	0,50033	3,133	0,91445	0,42791	0,70081
a2	0,50035	3,133	0,91218	0,38455	0,71261
a3	0,50032	3,133	0,92181	0,41881	0,77759
a4	0,50034	3,133	0,91856	0,38893	0,75872
a5	0,50033	3,133	0,90973	0,36827	0,69618
Průměrná hodnota	0,50033	3,133	0,91534	0,39769	0,72918

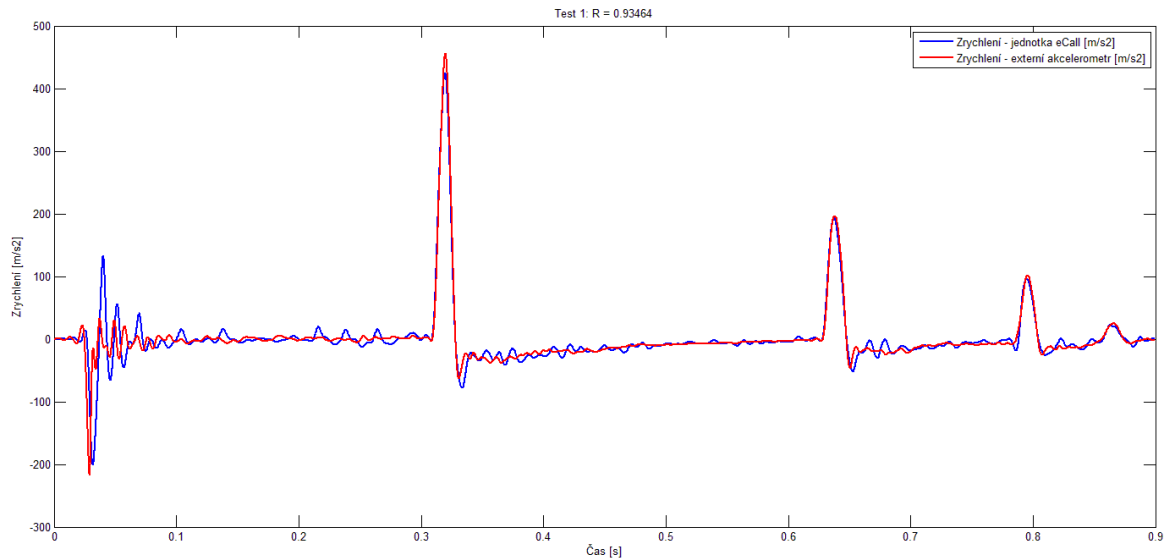
Tab. 9.5: Výsledné hodnoty korelačních koeficientů při zkouškách jednotky eCall na urychlovacím zařízení, nastavovaná výška závaží 0,4 m [vlastní zpracování]

č. měření	výška pádu [m]	nárazová rychlost [m·s ⁻¹]	Korelační koeficient r _{xy}		
			Časová synchronizace (celý průběh)	časová synchronizace (Δt = 256 ms)	synchronizace 1. amplitudy (Δt = 256 ms)
a6	0,40039	2,803	0,9261	0,35209	0,73891

9.3.6. Analýza naměřených signálů zrychlení

Na obrázku 9.13 jsou uvedeny průběhy zrychlení jednotky eCall a externího akcelerometru v průběhu celého děje naměřené při prvním testu (č. měření: 1) s výškou dopadu závaží 0,2427 m. V tomto grafu jsou měřené průběhy synchronizovány podle času. Z grafu je patrná velká shodnost obou průběhů, přičemž průběh zrychlení měřený jednotkou eCall vykazuje vyšší náchylnost na překmitý oproti průběhu měřenému externím akcelerometrem. To může být způsobeno rozkmitáním jednotky během nárazu. Největší rozdíl měřených akcelerací je však patrný v časovém intervalu 0 až 0,1 sekundy, kdy dochází k urychlení nádoby vlivem dopadu závaží a velkému rozkmitání jednotky eCall upevněné na nádobě. Záznam zrychlení měřený v tomto časovém úseku je však z hlediska hodnocení jednotky eCall velice významný, protože při nastavení záznamu dat jednotkou pro reálný náraz vozidla, je průběh zrychlení v tomto časovém úseku zaznamenán do paměti jednotky. V časovém úseku od 0,1 sekundy do konce záznamu probíhal volný pád nádoby a následný dopad na molitanovou podložku se třemi odrazy nádoby, které jsou v grafu patrné podle vysokých amplitud kladného

zrychlení. V tomto intervalu vykazují oba měřené signály zrychlení velkou těsnot. Celková hodnota korelačního koeficientu stanoveného korelačního koeficientu je $r_{xy} = 0,93464$.

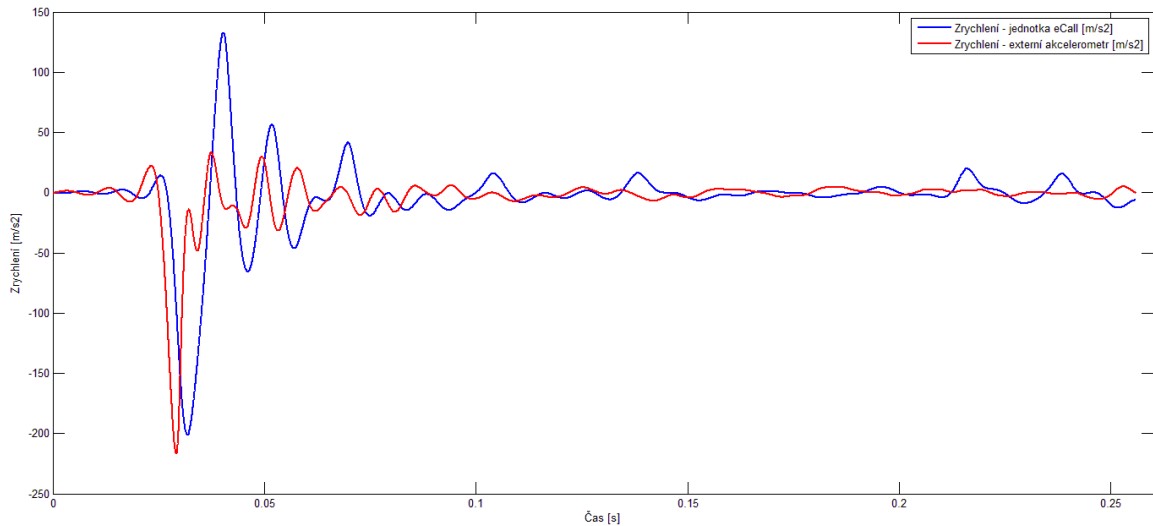


Obr. 9.13: Průběh zrychlení měřený jednotkou eCall (modrá křivka) a externím akcelerometrem (červená křivka) při testu na rázové komoře. [vlastní zpracování]

V grafu na obrázku 9.14 jsou uvedeny totožné průběhy zrychlení, jako na obrázku 9.13, avšak v časovém intervalu 0 až 256 ms. Tento interval představuje maximální dobu záznamu, kterou je možné uložit do interní paměti jednotky v případě reálného nárazu vozidla a následně analyzovat. Zároveň je na začátku tohoto intervalu zahrnut časový úsek 25 ms, který je přičten při spuštění záznamu signálu zrychlení triggerem jednotky eCall v případě reálného nárazu vozidla, jak je popsáno v kapitole 9.3.2. Výsledná hodnota korelačního koeficientu v tomto případě vyšla $r_{xy} = 0,38401$, což představuje středně těsnou závislost obou signálů.

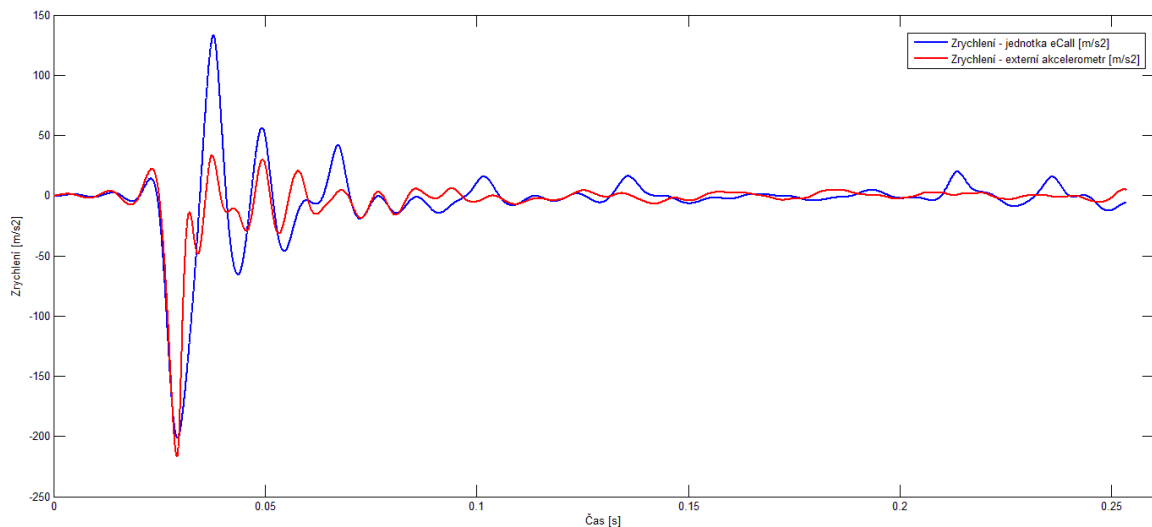
Z grafu na obrázku 9.14 je patrné zpoždění mezi první amplitudou zrychlení ocelové nádoby a první amplitudou jednotky eCall. Toto zpoždění bylo zaznamenáno u všech provedených měření na rázové komoře, kdy nárůst první amplitudy signálu měřeném jednotkou eCall byl opožděn oproti první amplitudě signálu externího akcelerometru o 2,5 ms bez rozdílu dopadové výšky závaží. Lze se tedy domnívat, že při synchronizaci signálů zrychlení měřených jednotkou eCall a externím

akcelerometrem v rámci jejího testování při reálné nárazové zkoušce, by při správné synchronizaci podle času byly oba signály vůči sobě také zpožděné. Jelikož však nebylo možné při nárazové zkoušce určit okamžik zahájení záznamu měřených zrychlení jednotkou eCall s dostatečnou přesností, tuto synchronizaci nebylo možné provést.



Obr. 9.14: Průběh zrychlení měřený jednotkou eCall (modrá křivka) a externím akcelerometrem (červená křivka) v časovém intervalu 256 ms při testu na rázové komoře, synchronizovaný podle času. [vlastní zpracování]

Totožné signály zrychlení v časovém intervalu 0 až 256 ms, jako jsou uvedeny na obrázku 9.14, avšak synchronizované podle prvních amplitud obou signálů, jsou uvedeny v grafu na obrázku 9.15. Tyto průběhy vykazují, při použití stejného časového intervalu voleného podle kapacity paměti jednotky eCall, větší těsnost oproti průběhům synchronizovaným podle času. Výsledná hodnota korelačního koeficientu v tomto případě vyšla $r_{xy} = 0,80228$ a vztah mezi oběma křivkami proto vykazuje těsnou závislost.



Obr. 9.15: Průběh zrychlení měřený jednotkou eCall (modrá křivka) a externím akcelerometrem (červená křivka) v časovém intervalu 256 ms při testu na rázové komoře, synchronizovaný podle první amplitudy. [vlastní zpracování]

Metodika zpracování naměřených signálů při použití jejich synchronizace podle prvních amplitud plně odpovídá metodice zpracování signálů naměřených v rámci zkoušky jednotky eCall během nárazového testu vozidla Škoda Favorit. Při testu jednotky eCall na rázové komoře bylo možné zajistit opakovatelnost měření s vyšší hladinou statistické významnosti výsledků oproti testu jednotky eCall při nárazové zkoušce reálného vozidla, kde je zajištění opakovatelnosti měření velice obtížné a finančně nákladné. Správnost této metodiky potvrzuje obdobný charakter signálů zrychlení naměřených jednotkou eCall při nárazovém testu a při zkouškách na rázové komoře, kdy po první amplitudě zpomalení, která je přibližně stejně velká, jako v případě průběhu zrychlení měřeného externím akcelerometrem, následuje překmit do opačného směru, avšak s několikanásobně vyšší maximální hodnotou oproti průběhu měřenému externím akcelerometrem. Přesto, podle výsledných hodnot korelačních koeficientů, průběhy zrychlení naměřené při reálné nárazové zkoušce vozidla vykazaly menší těsnost oproti zkouškám jednotky eCall na rázové komoře. Jak je patrné z výsledků testů jednotky eCall na rázové komoře, uvedených v tabulkách 9.3 až 9.5, těsnost měřených signálů zrychlení se zmenšuje při zvyšující se nárazové rychlosti, která byla při této zkoušce vyjádřena rychlostí dopadu závaží. Další důvod menší těsnosti signálů zrychlení měřených při reálné nárazové zkoušce vozidla s jednotkou eCall, lze spatřovat také ve složitějších konstrukčních vazbách mezi jednotkou eCall a

externím akcelerometrem a dále také ve složitějším průběhu působícího zrychlení, vlivem postupných deformací jednotlivých částí karoserie.

9.3.7. Shrnutí výsledků testu jednotky eCall

Provedená korelační analýza signálu zrychlení v podélné ose vozidla, který byl zaznamenán jednotkou eCall, prokázala existenci korelace mezi zrychlením měřeným akcelerometrem na karoserii vozidla a akcelerometrem jednotky eCall. Jelikož však bylo možné provést pouze jedno měření v rámci nárazového testu vozidla, byl tento test doplněn testem jednotky eCall na urychlovacím zařízení „rázová komora“, kde bylo možné zajistit opakovatelnost měření a získat soubor dat s vyšší vypovídající hodnotou. Při porovnání signálů zrychlení měřených jednotkou eCall při reálném nárazu a při zkouškách na urychlovacím zařízení, se prokázala velká podobnost průběhů zrychlení obou měřených signálů, která potvrdila správnost metodiky zkoušek na jednotky eCall na urychlovacím zařízení. Výsledné hodnoty korelačních koeficientů pak prokázaly vysokou těsnost signálů zrychlení měřených jednotkou eCall a externím akcelerometrem. Korelační analýza signálů zrychlení měřených v rámci testů na rázové komoře byla provedena ve třech variantách řešení, pro ověření těsnosti signálů zrychlení v rámci reálných nárazů vozidel má největší vypovídací hodnotu průběh zrychlení s dobou trvání 256 ms a synchronizovaný podle první amplitudy obou signálů. Průměrné hodnoty korelačního koeficientu v tomto případě nabývají hodnot v rozmezí $r_{xy} = 0,729$ až $0,753$, což lze považovat za dostatečně těsný vztah.

Při nárazové zkoušce vozidla Škoda Favorit, ve kterém byla testována jednotka eCall, se potvrdila správná funkce jednotky. Jednotka na základě měřeného zrychlení správně vyhodnotila vznik dopravní nehody a zahájila tísňové volání. Vzhledem k následkům této kolize, které jsou popsány v kapitole 8.2.1, je její reakce zcela adekvátní s požadavky kladenými na systém eCall. Jednotka zaznamenala vysokou hodnotu zrychlení karoserie vozidla, která odpovídá velkým deformacím karoserie. Během testu došlo ke kontaktu hlavy zkušební figuríny řidiče s volantem vozidla, což se projevilo na vysoké hodnotě HIC kritéria, převyšující jeho limitní hodnotu. Při současném nastavení a vyžití pouze informace o zrychlení působícím na karoserii vozidla však není jednotka eCall schopna tento fakt postihnout. V případě, že by vozidlo bylo vybaveno čelním airbagem, je možné uvažovat nižší závažnost poranění posádky, při správném použití zádržných systémů vozidla posádkou. Avšak při

zrychlení působícím na karoserii vozidla vybaveného čelními airbasy, které bude srovnatelné ze zrychlením jako v případě zkušebního vozidla vybaveného jednotkou eCall, lze následnou aktivaci tísňového volání také považovat za správnou reakci jednotky eCall.

Z hlediska parametrů signálu zrychlení měřeného jednotkou eCall je pro další zpracování signálu a jeho analýzy vzorkovací frekvence 4000 hodnot za sekundu dostatečná. Časová délka zaznamenaného průběhu zrychlení je v případě popsání nárazového děje čelního nárazu vozidla dostatečná. Jednotka eCall je schopná zaznamenat oblast maximálních hodnot zrychlení, při kterých dochází k deformacím karoserie, a které mají největší vliv na závažnost poranění posádky. U zkoumaných vozidel se tato oblast pohybovala v rozmezí od 80 ms do 100 ms. Při využití naplnění celé velikosti paměti jednotky eCall, tj. záznamu 1024 hodnot, je jednotka schopna zaznamenat průběh zrychlení v době trvání 256 ms, přičemž tento záznam zahrnuje také čas 25 ms, tj. 100 hodnot předřazených době od spuštění ukládání záznamu triggerem jednotky eCall. V předřazeném úseku signálu zrychlení by hodnoty zrychlení neměly přesáhnout 5 g, a toto zrychlení by proto nemělo mít velký vliv na následná zranění posádky. Pokud by však bylo nutné zaznamenat celý náraz vozidla jednotkou eCall, včetně jeho zpětného odražení od kolizního objektu, paměť na záznam signálu zrychlení by bylo nutné zvýšit. To by pak znamenalo větší nároky na přenos dat z jednotky, případně by bylo nutné zvolit jiný způsob vyčítání paměti (například následné vyčtení paměti po ukončení nárazového testu).

Provedená zkouška jednotky eCall prokázala dostatečnost rozsahu použitého akcelerometru. Během nárazu nedošlo k dosažení maximální možné hodnoty zrychlení měřené tímto akcelerometrem, avšak v případě využití již digitálně zpracovaného signálu, který použitý akcelerometr také umožňuje, by byl rozsah akcelerometru pro následný bližší popis nehody nedostatečný (nikoliv však pro inicializaci tísňového volání).

10. Diskuse

V experimentální části práce byla nejprve řešena problematika volby parametrů pro odhad následků dopravní nehody. Zvolené parametry pro odhad závažnosti dopravní nehody byly voleny s ohledem na vstupní data, kterými jsou výsledky nárazových testů, jež měl autor této práce k dispozici. Vzhledem k omezené struktuře dat však nepokrývají všechny oblasti, které by bylo možné v případě odhadu nárazu sledovat. Z hlediska závažnosti poranění posádky by proto bylo vhodné hledat vazby pro závažnost poranění také ostatních částí lidského těla, kde jsou umístěny životně důležité orgány, jejichž poškození může vést k rychlé ztrátě životních funkcí těla. Z tohoto hlediska by bylo vhodné stanovení vazeb také pro ostatní kritéria poranění, jako například kritéria poranění hrudníku.

Jak prokázaly výsledky nárazových zkoušek, výsledné hodnoty kritérií poranění jsou závislé na stupni výbavy vozidel prvky pasivní bezpečnosti. Stanovená regresní funkce vyjadřující závislost mezi HIC kritériem a nárazovou rychlostí vozidla je platná pouze pro cestující sedící na předních sedadlech vozidla, které je vybaveno čelními airbasy. V případě vozidel bez airbagu tato závislost stanovena nebyla z důvodu příliš malého množství hodnot, avšak jak prokázaly výsledky provedených nárazových zkoušek, výsledné hodnoty HIC kritérií u vozidel bez čelních airbagů několikanásobně převyšovaly výsledné hodnoty HIC kritérií u vozidel airbagem vybavených. Proto by v případě odhadu následků dopravní nehody jednotkou eCall mělo být možné tento parametr zohlednit.

I přesto, že korelační koeficienty zvolených regresních funkcí prokázaly velmi těsnou závislost, je nutné brát v úvahu malé množství vstupních hodnot, vyplývající z malého množství testů, které ne vždy obsahovaly stejnou strukturu dat. Pro upřesnění získaných funkcí by proto bylo nutné doplnit tyto data o hodnoty z více nárazových testů. Zvolené regresní funkce jsou navíc platné pouze pro čelní náraz, na který byly experimenty zaměřeny, ostatní typy nárazu v práci nebyly řešeny.

Provedené korelace jednotlivých parametrů dopravní nehody jsou v práci řešeny pouze na úrovni havarovaného vozidla. Při jejich zahrnutí do systému eCall je však důležité umožnění přenosu odhadnutých informací mezi vozidlem a centrem tísňového volání a následně jejich vhodná interpretace operátorovi tísňové linky, případně dalším osobám podílejícím se na záchranných operacích. Z tohoto hlediska je možné využít

datový soubor MSD odesílaný vozidlovou jednotkou eCall do centra tísňového volání, který obsahuje prostor velikosti 31 byte určený k přenosu volitelných informací pro poskytovatele služeb. Pro popis závažnosti a rozsahu zranění posádky vozidla je možné volit více metod jejího vyjádření, které je možné hodnotit jak z hlediska vhodnosti interpretace této informace, tak z hlediska náročnosti na její přenos. Kromě vyjádření výslednou hodnotou příslušného kritéria poranění může být vhodnější využití vyjádření závažnosti poranění podle metodiky AIS, která je popsána v kapitole 6.4. Tato metodika hodnotí závažnost poranění jednotlivých částí těla číselnou stupnicí hodnot v intervalu 0 až 6, kdy každé číslo zároveň zahrnuje definovaný rozsah zranění.

Dále byla v experimentální části této práce na základě nárazového testu vozidla Škoda Favorit ověřena funkčnost vozidlové jednotky eCall. Ačkoliv byla tato jednotka testována ve vozidle staršího typu, lze tuto zkoušku považovat za dostatečně věrohodnou, protože použitý typ jednotky eCall (black box) je uzpůsoben pro montáž do jakéhokoliv vozidla a je vybaven vlastními snímači zrychlení a gyroskopem, umožňujícími vyhodnotit vznik nárazu bez použití informace od systémů zádržných systémů vozidla (řídící jednotky airbagů). Použitá jednotka eCall umožňovala záznam měřeného signálu zrychlení, který byl v práci použit pro další analýzu. Provedená korelační analýza však prokázala velkou odlišnost mezi průběhem zrychlení měřeným jednotkou eCall a laboratorním akcelerometrem umístěným na karoserii vozidla. Výsledná hodnota korelačního koeficientu byla $r_{xy} = 0,22569$, což podle [30] představuje slabou korelační závislost. Jako alternativní řešení může být použití externích senzorů umístěných na karoserii vozidla. Je však potřeba dodržet požadavek připevnění snímače na pevnou část karoserie, aby během nárazu nedocházelo k jeho vibracím. Tuto možnost popisuje například Carolina Pinart ve zdroji [42], která používá externích bezdrátových senzorů rozmístěných na karoserii ke stanovení typu nárazu jednotkou eCall. V případě využití více externích snímačů na karoserii vozidla je pak možné lépe rozeznat nesymetrický náraz, pouze částí čelní plochy vozidla. Jak potvrdily výsledky uvedených nárazových testů, se snižujícím se procentem přesazení nárazové plochy vozidla, dochází k větším deformacím karoserie oproti nárazům celou čelní plochou vozidla.

11. Závěr

V rámci této disertační práce byla řešena problematika v současnosti vyvíjeného systému tísňového volání k dopravní nehodě, systému eCall, kdy byly prozkoumány možnosti využití tohoto systému pro bližší odhad následků dopravní nehody a její závažnosti. Definovaným cílem této práce bylo stanovení parametrů nárazu vhodných pro odhad závažnosti dopravní nehody osobního automobilu systémem eCall se zaměřením na problematiku čelního nárazu vozidel kategorie M1.

Rešeršní část práce je členěna do několika tematických celků, týkajících se řešené problematiky. V první části je definována problematika bezpečnosti vozidel a její členění do skupin aktivní a pasivní bezpečnosti. Přičemž systém tísňového volání k dopravní nehodě je zahrnut do oblasti ponehodové bezpečnosti, která má za úkol zajistit následnou bezpečnost posádce vozidla po vzniklé dopravní nehodě v místě jejího vzniku. Podle základního členění jsou prvky ponehodové bezpečnosti součástí bezpečnosti pasivní.

V další části práce je uveden statistický vývoj nehodovosti silničních vozidel. Ten je uveden pro území celé Evropské unie a následně také na území České republiky. V kapitole je uveden vývoj počtu dopravních nehod a jejich závažnosti, který má v posledních letech klesající trend. Při zavedení systému eCall do provozu pak lze očekávat snížení počtu usmrcených osob vlivem dopravních nehod a zmírnění závažnosti poranění díky včasnému příjezdu záchranných složek. Jeho přínos však bude pro různé územní celky rozdílný, větší přínos lze očekávat v oblastech s menší hustotou obyvatelstva a tedy i menší hustotou provozu. Vliv systému eCall na snížení počtu dopravních nehod pravděpodobně nebude tak vysoký, jako v případě snížení následků dopravní nehody, jelikož systém nemá primárně za cíl zabránit dopravní nehodě. Ke zlepšení však může dojít vlivem včasného označení místa nehody, při propojení systému eCall s ostatními ITS systémy a informačními technologiemi.

V další kapitole jsou popsány principy a funkce vyvíjeného celoevropského systému tísňového volání k dopravní nehodě, s podrobným popisem jednotlivých částí systému a jejich vzájemné komunikace. Dále jsou v této kapitole práce popsány stávající komerční systémy tísňového volání s popisem jejich funkcí a poskytovaných služeb. Následuje souhrnný popis již řešených projektů, zabývajících se možnostmi přesnějšího popsání dopravní nehody v rámci systému eCall. Vzhledem k návaznosti

experimentální části této práce na vyvíjený celoevropský systém eCall, je tato kapitola významná z hlediska hledání možných variant využití systému eCall při odhadu následků dopravní nehody.

V kapitole „Legislativní požadavky na testování vozidel z hlediska pasivní bezpečnosti“ jsou popsány požadavky a zkušební metody na zkoušky vozidel z hlediska ochrany posádky při nárazu, se zaměřením na čelní náraz. Dále jsou zde uvedeny typy nárazů a jejich členění podle normy ISO 6813.

V návaznosti na kapitolu popisující legislativní požadavky zkoušek pasivní bezpečnosti jsou v následující kapitole uvedena kritéria poranění používaná pro vyhodnocení nárazových zkoušek vozidel kategorie M1 čelním nárazem. Kritéria poranění se kromě zkoušek automobilů z hlediska pasivní bezpečnosti využívají také v jiných vědeckých oblastech zabývajících se biomechanikou poranění osob, kdy na základě jejich výsledné hodnoty je stanoven případný rozsah zranění vlivem působení mechanického zatížení a stanovení účinnosti bezpečnostního prvku. Dále je v této kapitole uvedena metodika AIS, hodnotící závažnost poranění podle sedmibodové stupnice. Jedná se o ekvivalent hodnocení závažnosti poranění pomocí kritérií poranění. Metodika AIS je využívána také v medicíně, proto je výhodná z hlediska interpretace výsledku popisujícího následky poranění osob při dopravní nehodě systémem eCall, kdy je nutné zajistit jednoduché a srozumitelné předání této informace osobám různého odborného zaměření. Vztahem mezi výslednou hodnotou příslušného kritéria poranění a jí odpovídajícím stupněm AIS se zabývá také řada studií, v této práci je uvedena například [47].

V další části jsou stanoveny cíle práce. Pro jejich dosažení jsou využity výsledky provedených nárazových testů čelním nárazem vozidel kategorie M1. Ve většině případů se jedná o nestandardní typy čelních nárazů s různými kolizními partnery a různým procentem přesazení čelní plochy. To umožňuje hodnotit tento typ nárazu v širší oblasti dopravních nehod čelním nárazem. V případě nestandardních zkoušek je v zde také popsán princip jejich provádění a použitá měřicí technika. Uvedené nárazové zkoušky byly prováděny s vozidly různých značek a různého stáří, což však vzhledem k zobecnění práce na problematiku nárazu při dopravních nehodách není na škodu. Využití dat z různých vozidel navíc prokázalo nutnost zohlednit vybavení rozdílnost ve výbavě systémy a prvky pasivní bezpečnosti. V rámci této kapitoly je na závěr uveden

souhrnný přehled výsledků uvedených nárazových zkoušek, které jsou využity pro následné analýzy k dosažení cílů práce.

V kapitole „Analýza odhadu závažnosti nárazu“ jsou analyzována data z nárazových testů. Tato kapitola je tematicky členěna na tři části. V první části je řešena problematika odhadu následků nárazu vozidla na základě určení vztahu mezi zvolenými parametry nárazu vozidla. Řešené parametry byly voleny s ohledem na jejich využití systémem eCall pro stanovení závažnosti dopravní nehody. Jednotlivé dvojice parametrů byly voleny vždy v kombinaci veličiny, kterou je možné při dopravní nehodě jednotkou eCall měřit a veličiny, kterou je třeba odhadnout. Závislost mezi zvolenými parametry byla popsána regresní funkcí a její těsnost ověřena hodnotou korelačního koeficientu. V rámci této kapitoly byly řešeny závislosti velikosti deformace karoserie na nárazové rychlosti vozidla a závislosti HIC kritéria na nárazové rychlosti vozidla. Tyto závislosti byly popsány lineární regresní funkcí. Dále byla v práci řešena závislost maximálního zrychlení vozidla na jeho kinetické energii, která byla popsána exponenciální regresní funkcí. U všech tří variant byla ověřena těsnost vztahu hodnotou koeficientu korelace r_{xy} , který vždy vyšel ve všech případech vyšší než 0,8 a lze tedy zvolené závislosti považovat za velmi těsné. U výsledku je však třeba brát v úvahu také malé množství hodnot, na jejichž základě byla korelační analýza prováděna, což snižuje vypovídací hodnotu výsledku. Pro zvýšení vypovídací hodnoty vztahu by bylo nutné provést korelaci z většího množství nárazových testů, při různých nárazových rychlostech.

Ve druhé části této kapitoly je řešena analýza namáhání kabiny vozidla při nárazu. K řešení této problematiky byly využity výsledky dvou nárazových testů, kdy bylo možné namáhání kabiny ověřit dvěma různými metodami, stanovením namáhání karoserie vozidla tenzometry a stanovením namáhání karoserie na základě zrychlení v různých částech kabiny. Během nárazových testů byly tenzometry a akcelerometry na karoserii umístěny v oblasti přední části kabiny, tj. na středovém tunelu vozidla, v oblasti předních dveří a A sloupků, které jsou při čelním nárazu vozidla nejvíce namáhány. Výsledky měření namáhání karoserie prokázaly, že u sledovaných částí karoserie došlo k nejmenšímu namáhání v oblasti středového tunelu vozidla. Z hlediska bezpečnosti jednotky eCall je proto vhodné její umístění právě na středový tunel vozidla, aby byla splněna podmínka její maximální ochrany při nárazu. Maximální napětí pak bylo naměřeno na A sloupcích vozidla. To bylo ověřeno také na základě

záznamu rychlokamery v rámci některých nárazových zkoušek, při kterých došlo k úplné deformaci přední deformační zóny a následné deformace, které přešly do oblasti kabiny vozidla, byly maximální v oblasti A sloupků a střechy vozidla.

Následující část této práce zahrnuje ověření správné funkce vývojové verze vozidlové jednotky eCall při testu čelním nárazem vozidla Škoda Favorit a analýzu průběhu zrychlení měřeného jednotkou eCall během nárazu, z hlediska jeho využití pro následné popsání nárazu a pro odhad závažnosti následků dopravní nehody. Z hlediska základních funkcí, vyplývajících z požadavků kladených na vozidlové jednotky v rámci celoevropského systému eCall, testovaná jednotka pracovala podle požadavků. Na základě překročení limitní hodnoty zrychlení během nárazu vozidla jednotka iniciovala tísňové volání na přednastavené telefonní číslo, které během testu nahrazovalo číslo tísňové linky 112. Zároveň byl na externí datové úložiště jednotkou eCall odeslán datový soubor obsahující průběh zrychlení vozidla, zaznamenaný do vnitřní paměti jednotky eCall během nárazu zkušebního vozidla. Následně byl průběh zrychlení, který byl měřen jednotkou eCall během nárazu, porovnán s průběhem zrychlení měřeným laboratorním akcelerometrem umístěným na karoserii vozidla. Provedená korelační analýza prokázala existenci korelace s malou těsností mezi oběma signály. Výsledná hodnota korelačního koeficientu byla $r_{xy} = 0,22569$ a koeficient je proto považován za málo těsný.

Z důvodu nemožnosti opakovat test jednotky eCall při reálném nárazu vozidla, byla provedena série ověřovacích testů na urychlovacím zařízení „rázová komora“, kde byla jednotka eCall uchycena stejným způsobem, jako na karoserii vozidla. Tyto testy byly prováděny z důvodu prokázání statistické významnosti testů jednotky eCall prováděných při nárazových testech vozidla. Celkem bylo provedeno 15 zkoušek při různých nárazových rychlostech. Při porovnání výsledných průběhů zrychlení měřených jednotkou eCall byla konstatována velká podobnost charakteristických rysů signálů zrychlení, což potvrdilo správnost metodiky zkoušek jednotky eCall na urychlovacím zařízení. V případě zkoušek na urychlovacím zařízení prokázaly výsledné hodnoty korelačních koeficientů vysokou těsnost signálů zrychlení měřených jednotkou eCall a externím akcelerometrem. Korelační analýza signálů zrychlení měřených v rámci testů na rázové komoře byla provedena ve třech variantách řešení, pro ověření těsnosti signálů zrychlení v rámci reálných nárazů vozidel má největší vypovídací hodnotu průběh zrychlení s dobou trvání 256 ms, který je synchronizovaný podle první

amplitudy obou signálů. Průměrné hodnoty korelačního koeficientu v tomto případě nabývají hodnot v rozmezí $r_{xy} = 0,729$ až $0,753$, což lze považovat za dostatečně těsný vztah.

Důvod menší těsnosti signálů zrychlení měřených při reálné nárazové zkoušce vozidla s jednotkou eCall lze spatřovat ve složitějších konstrukčních vazbách mezi jednotkou eCall a externím akcelerometrem a dále také ve složitějším průběhu působícího zrychlení, vlivem postupných deformací jednotlivých částí karoserie. Lze předpokládat, že při umístění externího akcelerometru na karoserii vozidla blíže jednotce eCall, by byla dosažena větší těsnost signálů zrychlení měřených jednotkou eCall a externím akcelerometrem. Tuto variantu by však bylo nutné ověřit v rámci opětovného provedení nárazového testu, který však autor nemohl provést.

Mezi ostatní parametry jednotky eCall, které byly hodnoceny z hlediska vhodnosti pro odhad závažnosti následků dopravní nehody, byly vzorkovací frekvence a velikost paměti pro ukládání měřených hodnot zrychlení během nárazu. Při provedené nárazové zkoušce se prokázalo, že velikost paměti jednotky eCall je při vzorkovací frekvenci 4000 hodnot za vteřinu dostatečná pro záznam časové oblasti maximálního zrychlení, ve které dochází k největším deformacím karoserie vozidla a zraněním posádky. Pokud by bylo potřeba zaznamenat průběh zrychlení pro celý nehodový děj, kapacita paměti jednotky by již nebyla dostatečná a bylo by nutné použít paměť s větší kapacitou, což by zvýšilo nároky na přenos dat.

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, které mohly být v této práci následně analyzovány. Celkově lze tedy říci, že systém eCall má v Evropě velký potenciál. Jeho zavádění však provázají mnohá úskalí, spočívající hlavně ve zdoluhavém zavádění legislativních předpisů a technických norem, které se týkají provedení jednotlivých částí systému a komunikačních protokolů.

Tato disertační práce se zabývá možnostmi rozšíření systému eCall z hlediska přesnějšího popisu dopravní nehody s odhadem jejích následků a zranění posádky vozidla, při použití jednotky eCall typu Black box. Přínos autora práce lze spatřovat ve stanovení parametrů dopravní nehody, které mohou ve vazbě na vyvíjený systém eCall a dodatečně budované systémy přispět k lepšímu popsání následků dopravní nehody a tím zefektivnit systém poskytované pomoci u dopravních nehod. Dále lze přínos práce spatřovat v provedení zkoušek ověřujících funkce jednotky eCall typu Black box z hlediska jejich využití pro následnou analýzu dopravní nehody a odhad jejích následků. Tato jednotka je vyvinuta i pro dodatečnou montáž do jakéhokoliv vozidla, a proto je třeba předpokládat také variantu, kdy nebude moci pro stanovení vzniku dopravní nehody a jejích následků využít informace od systémů pasivní bezpečnosti vozidel. Proto bylo v práci řešena možnost stanovení následků dopravní nehody na základě hodnot měřitelných pouze senzory jednotky eCall.

Možnosti dalšího výzkumu v oblasti odhadu závažnosti dopravní nehody spatřuji ve zpřesnění již získaných výsledků a jejich doplnění o data z jiných nárazových testů nebo o matematické simulace nárazu vozidel, s využitím vhodných matematických modelů. S jejich využitím by v rámci následného výzkumu bylo možné rozšířit odhad závažnosti poranění také o další části lidského těla, které obsahují důležité životní orgány. Řešenou problematiku by bylo vhodné rozšířit také o jiné typy nárazů a dopravních nehod, například o boční náraz nebo převrácení vozidla. Vzhledem k již započaté spolupráci s firmami zabývajícími se vývojem vozidlových jednotek systému eCall a jejich nadstavbových funkcí, by se autor této oblasti chtěl i nadále věnovat.

Literatura:

- [1] Advanced engineering s.r.o.: *Crash test Kutná hora - Kolejové vozidlo vs. osobní automobil – prezentace nárazové zkoušky*, 2010
- [2] Analog Devices: *ADIS16204 – Programmable High-g Digital Impact Sensor and Recorder*. Dostupné z: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/obsolete-data-sheets/ADIS16204.pdf> [cit. 2015-09-12]
- [3] Beeharee, A. a kolektiv: *Enabling Next Generation Emergency Call Service*. Transport Research Area – Europe, 2012. ISSN 1877-0428
- [4] BÍLÁ KNIHA - Plán jednotného evropského dopravního prostoru – vytvoření konkurenceschopného dopravního systému účinně využívajícího zdroje Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0144:FIN:CS:PDF> [cit. 2014-08-27]
- [5] BMW: http://cn.bmw.com/com/en/insights/technology/connecteddrive/2010/safety/emergency_call/emergency_call_highlight.html [cit. 2015-05-22]
- [6] 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
- [7] Brennecke, F.: *eCall systems functionalities' specification*, 2013, v. 1.0, Dostupné z: http://www.heero-pilot.eu//ressource/static/files/heero2_wp2_del_d2_2_functional_specification_v1.0.pdf [cit. 2014-06-25]
- [8] Chorvát, R. *Datové přenosy s využitím "Inband" principu v systému eCall – diplomová práce*, Praha: FD ČVUT v Praze, 2007
- [9] Commission of the european communities: *The 2nd eSafety Communication*. Dostupné z: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:431:FIN:EN:PDF> [cit. 2014-05-11]

- [10] Dupin, F. Andrieu, C. Besnier, J. Duplan, F.: *InfraCall: ECall for the infrastructure*. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Spain, 2012., ISSN 1931-0587 str. 488 – 493
- [11] European Commission: *Statistics – accidents data*. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm> [cit. 2015-08-24]
- [12] ECE Regulation 94: *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the occupants in the event of a frontal collision*
- [13] EN 15722: *Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Minimální soubor dat pro eCall (MSD)*
- [14] EN 16062: *Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Vysokoúrovňové aplikační požadavky na eCall*
- [15] EN 16072: *Inteligentní dopravní systémy - eSafety - Provozní požadavky na Panevropský eCall*
- [16] eSafety: *Memorandum of Understanding for Realisation of Interoperable In-Vehicle eCall*, dostupné z: http://www.esafetysupport.org/download/ecall_toolbox/invehicle_ecall_mou.pdf [cit.: 2012-05-11]
- [17] First, J. a kol.: *Zkoušení automobilů a motocyklů*. Praha: S&T CZ s.r.o., 2008. ISBN 987-80-254-1805-5
- [18] Hayes J. *Calling all cars*. Engineering and Technology, Issue 3, Pages 58 – 61, 2014. ISSN: 1750-9637
- [19] HeERO: Dostupné z : <http://www.heero-pilot.eu/view/en/media/publications.html> [cit. 2014-06-02]
- [20] iCarSupport.: *eCall* Dostupné z: <http://www.icarsupport.eu/ecall/> [cit. 2014-05-18].

- [21] Kába, B. Svatošová, L.: *Statistika*. Praha: ČZU v Praze, 2004. ISBN 80-213-0746-3
- [22] Kennerly H. Digges: *Injury Measurements and Criteria*. The National Crash Analysis Center, The George Washington University, 1999. ISBN 92-837-1017-7
- [23] Kovanda, J. Šatochin V.: *Pasivní bezpečnost vozidel*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02235-8
- [24] Kovanda, J.: *Konstrukce automobilů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-01-01459-2
- [25] Kovanda, J., Riva, R.: *VEHICLE – HUMAN INTERACTION*. Milano: Edizioni Spiegel, 1999. ISBN 88-7660-104-X
- [26] Kovanda, J. First, J. Lenk, J. Mičunek, T.: *Kolize automobil – bariéra*. zpráva o testu. FD ČVUT v Praze, 2005. VYZ616.003/05
- [27] Kovanda, J. First, J. Schejbalová, Z. Šotola, M.: *Kolize automobil – automobil II*. zpráva o testu. FD ČVUT v Praze, 2008. VYZ616.004/07
- [28] Kovanda, J. First, J. Kovandová, H. Schejbalová, Z. Šotola, M.: *Kolize automobil – bariéra III*. zpráva o testu. FD ČVUT v Praze, 2008. VYZ616.005/08
- [29] 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, str. 193-202.
- [30] Kožíšek, J. Stieberová, B.: *Statistická a rozhodovací analýza*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2014. ISBN 978-80-01-05509-0
- [31] Kramer, F.: *Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2009. ISBN 978-3-8348-0536-2

- [32] Madrid, N. a kolektiv: *Integration of an advanced emergency call subsystem into a car-gateway platform*. Proceedings of the Conference on design, automation and test in Europe. 2009. ISSN 1530-1591, str. 1100 - 1105
- [33] Mašek, P.: *Bezpečnost cyklistů v dopravě*. – diplomová práce, 2011. ČZU v Praze
- [34] Matějka, V.: *Stanovení závažnosti poranění hrudníku při dopravní nehodě pro systému nouzového přivolání pomoci* – diplomová práce, 2010. FD ČVUT v Praze
- [35] Matoušek, P.: *Využití biomechanických kritérií poranění hlavy při stanovení závažnosti dopravní nehody systému nouzového přivolání pomoci* – Diplomová práce, 2010. FD ČVUT v Praze
- [36] Mík, J., Kadlecová, J.: The use of information technology for vehicle frontal collision severity estimation. Conference DCIS, 2014. ISBN 978-1-4673-6727-1
- [37] Mík, J., Kovanda, J. Krejčí, J. Dynamická zkouška převrácení vozidla – zpráva o testu, 2010
- [38] 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
- [39] MODR, J.: *Zavádění systému eCall v České Republice* - Diplomová práce. Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera. 2009.
- [40] Norma ISO 6813 - „*Silniční vozidla – Klasifikace kolize – Terminologie*“
- [41] OnStar, *OnStar FMV - Owner's manual*. Dostupné z: http://www.onstar.com/tunnel-web/webdav/fmv/document_library/downloadable/owners_manual.pdf [cit. 2014-08-14]
- [42] PČR: *Statistika nehodovosti*. Dostupné z: <http://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti900835.aspx?q=Y2hudW09Mg%3d%3d> [cit. 2015-08-24]

- [43] Pinart, C. Calvo, J. C. Nicholson, L. Villaverde, J. A.: *ECALL - Compliant Early Crash Notification Service for Portable and Nomadic Devices*. IEEE 69th Vehicular Technology Conference, 2009. ISSN 1550-2252.
- [44] Potužák, M.: *Odhad následků nehod systémem e-call – diplomová práce*. 2011. ČZU v Praze
- [45] Riley, P. Holubová, A. Babbie, J.: Ex-ante evaluation of an emergency call system in the Czech republic. Dostupné z: <http://i2tern.plan.aau.dk/doks/paper/paper121.pdf> [cit. 2015-09-04]
- [46] Sánchez-Mangas, R. a kolektiv: The probability of death in road traffic accidents. How important is a quick medical response?. Madrid, Spain, 2009. doi:10.1016/j.aap.2009.12.012
- [47] Schettino, M., Gonzales E. D.: *Pan – European eCall Implementation Guidelis*. http://www.neip.sk/document/eCall%20implementation%20guidelines%201_2.pdf [2013-02-08]
- [48] Shojaati, M.: *Correlation between injury risk and impact severity index ASI*. STRC - 3rd Swiss Transport Research Conference. Monte Verita / Ascona, 2003. Dostupné z: <http://www.strc.ch/conferences/2003/shojaati.pdf> [cit. 2015-06-15]
- [49] Seiffert, U. Gonter, M.: *Integrated Automotive Safety Handbook*. Warrendale, USA. SAE International, 2014. ISBN 978-0-7680-6437-7
- [50] Škoda-auto a.s.: *Výsledky nárazových zkoušek vozidla Škoda Roomster, zkušební protokol*
- [51] Telematix services, a.s.: *Výzkum způsobu odhadu následků dopravních nehod a jejich využití v systému eCall., - Roční zpráva 2009*. Praha. 2010.
- [52] Telematix services, a.s.: *Výzkum způsobu odhadu následků dopravních nehod a jejich využití v systému eCall. - Roční zpráva 2010*. Praha, 2011.

- [53] TÜV SÜD - *Mezinárodní předpisy*. Dostupné z: <http://mezinarodni-predpisy.tuv-sud.cz/>
- [54] Tvrzský, T.: State of the art analysis, operational and functional requirements. verze 1.0. 2011. Dostupné z: <http://www.heero-pilot.eu/view/en/media/publications.html> [cit. 2014-06-28]
- [55] Vaníček, O.: *Podpora volání s eCall službami třetích stran*. Prezentace na konferenci, Praha, 2013.
- [56] Velechovský, V. *eCall – celoevropský systém tísňových volání z vozidel*. Doprava, 2008. ISSN 0012-5520
- [57] Volvo On Call. *Roadside assistance.*, http://www.volvocars.com/us/sales-services/services/volvo_maintenance_services/roadside_assistance/pages/default.aspx [2014-08-09]
- [58] Výzkum a návrh systémové architektury pro rozšíření systému eCall. – zpráva projektu. 2009. projekt č. 1F84B/036/520
- [59] Wismans, W.: *Injury Biomechanics Course Notes*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, Mechanical Engineering, 1994.

Seznam zkratek

ACR	Automatic Crash Response
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
ITS	Intelligent Transport Systems
IVS	In Vehicle System
IZS	Integrovaný záchranný sbor
KVPD	Katedra vozidel a pozemní dopravy
MDS	Sensing and Diagnostic Module
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. 3.1: Vývoj počtu dopravních nehod na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2013 [11]	4
Obr. 3.2: Vývoj počtu usmrcených osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2014 [11].....	5
Obr. 3.3: Vývoj počtu zraněných osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích v EU-27 za období 2001 až 2013 [11].....	5
Obr. 3.4: Vývoj počtu dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2014 [42].....	6
Obr. 3.5: Vývoj počtu usmrcených osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2014 [42].....	7
Obr. 3.6: Vývoj počtu zraněných osob vlivem dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR za období 2001 až 2014 [42]	7
Obr. 3.7: Množství dopravních nehod na pozemních komunikacích ČR s členěním podle závažnosti poranění [42]	8
Obr. 3.8: Počet usmrcených a zraněných osob při dopravních nehodách na pozemních komunikacích ČR [42].....	8
Obr. 4.1: Princip komunikace systému eCall [16].....	11
Obr. 4.2: Posloupnost operací při odesílání MSD a následném zpracování dat [19]	13
Obr. 4.3: Architektura systému eCall [19].....	15
Obr. 4.4: Architektura systému InfraCall [10].....	22
Obr 5.1: Typy nárazů silničních vozidel podle ISO 6813 [40].....	24
Obr 5.2: Stanovení úhlu kolize při nárazu dvou vozidel [40].....	25
Obr 5.3: Měření plochy překrytí „A“ a odsazení vozidel „B“ při nárazu [40].	25
Obr. 5.4: Náraz do deformovatelné bariéry s překrytím 40 % čelní plochy vozidla [17].....	27
Obr. 5.5: Uspořádání a rozměry deformovatelné části bariéry [12]	27

Obr. 6.1: Kritérium namáhání krku v tahu [12].....	32
Obr. 6.2: Kritérium namáhání krku ve smyku [12]	32
Obr. 6.3: Kritérium síly působící na stehenní kost [12].....	34
Obr. 6.4: Korelační křivka mezi HIC a AIS hlavy [48].....	37
Obr. 6.5: Pravděpodobnost vzniku zranění hlavy odpovídající AIS 3 v závislosti na výsledné hodnotě HIC [49].....	38
Obr. 8.1: Četnost nárazů v jednotlivých oblastech vozidla [25].....	40
Obr. 8.2: Metoda zjišťování těžiště automobilu [17].....	44
Obr. 8.3: Metoda vážení zkušebního automobilu před testem, ustavení vozidla ve vodorovné poloze [vlastní zpracování].....	44
Obr. 8.4: Figurína ÚSMD Manikin [37].....	45
Obr. 8.5: Figurína ÚSMD Manikin – umístění tříosého akcelerometru v hlavě [vlastní zpracování]	46
Obr. 8.6: Pevná bariéra používaná při nárazových testech [vlastní zpracování]	47
Obr. 8.7: Finální pozice po nárazu a výsledné deformace karoserie zkušebního vozidla [vlastní zpracování]	48
Obr. 8.8: Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Favorit při čelním nárazu (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování]	49
Obr. 8.9: Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Favorit - bez airbagu (použit filtr CFC 1000) [vlastní zpracování]	49
Obr. 8.10: Stav zkušebního vozidla Škoda Fabia 1,4 MPI před nárazem (vlevo) a po nárazu (vpravo) [26]	50
Obr. 8.11: Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Fabia při čelním nárazu (použit filtr CFC 60) [26]	51
Obr. 8.12: Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Fabia - airbag volantu (použit filtr CFC 1000) [26]	51
Obr. 8.13: Průběh zrychlení hlavě figuríny spolujezdce vozidla Škoda Fabia - bez airbagu (použit filtr CFC 1000) [26]	52

Obr. 8.14:Stav zkušebního vozidla Škoda Rapid 1,6 TDI před nárazem (vlevo) a po nárazu (vpravo) [vlastní zpracování].....	53
Obr. 8.15:Průběh zrychlení na karoserii vozidla Škoda Rapid při čelním nárazu do pevné bariéry (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování]	54
Obr. 8.16:Průběh zrychlení hlavě figuríny řidiče vozidla Škoda Rapid - airbag volantu (použit filtr CFC 1000) [vlastní zpracování]	54
Obr. 8.17:Podélné zrychlení karoserie vozidla Škoda Rapid při nárazu do pevné bariéry (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování].....	55
Obr. 8.18:Vozidlo Renault 5 GTD před (vlevo) a po kolizi (vpravo) [28].....	58
Obr. 8.19:Maximální deformace karoserie vozidla během nárazu (záznam z rychlokamery) [vlastní zpracování].....	58
Obr. 8.20:Podélné zrychlení karoserie vozidla Renault 5 GTD při nárazu do pevné bariéry (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování]	59
Obr. 8.21:Průběh celkového zrychlení v hlavě figuríny P3 při nárazu vozidla Renault 5 GTD do pevné bariéry (použit filtr CFC 1000) [vlastní zpracování]	59
Obr. 8.22:Podélné zrychlení karoserie vozidla Škoda Fabia sedan měřené na středovém tunelu (použit filtr CFC 60) [vlastní zpracování]	60
Obr. 8.23:Konfigurace zkušebních vozidel Škoda Fabia sedan a Škoda Octavia combi při testu čelním nárazem s přesahem 33 %. [27].....	61
Obr. 8.24:Čelní náraz vozidla Škoda Fabia Sedan a Škoda Octavia combi při testu s přesahem 33 % - konečná poloha vozidel. [27]	61
Obr. 8.25:Vzájemná poloha zkušebních vozidel Škoda Fabia sedan (vozidlo A) a Škoda Octavia combi (vozidlo B) před nárazem [vlastní zpracování].....	62
Obr. 8.26:Vzájemná poloha zkušebních vozidel Škoda Fabia sedan (vozidlo A) a Škoda Octavia combi (vozidlo B) po nárazu [vlastní zpracování].....	62
Obr. 9.1: Závislost výsledné deformace karoserie na nárazové rychlosti vozidla [vlastní zpracování]	68
Obr. 9.2: Závislost kinetické energie na maximální hodnotě zrychlení působící na karoserii vozidla [vlastní zpracování].....	70

Obr. 9.3: Závislost HIC kritéria na nárazové rychlosti vozidla [vlastní zpracování]	72
Obr. 9.4: Umístění tenzometrů na karoserii vozidla Škoda Fabia – čelní náraz vozidla Škoda Fabia do pevné bariéry [26].....	75
Obr. 9.5: Umístění tenzometrů na karoserii vozidla Škoda Fabia v oblasti levých předních dveří [26].....	75
Obr. 9.6: Průběh mechanického napětí naměřený na karoserii vozidla Škoda Fabia tenzometry T1, T2, T5 a T6 [26]	76
Obr. 9.7: Průběhy zrychlení na různých místech karoserie – kolize vozidel Škoda Fabia a Škoda Octavia [vlastní zpracování]	78
Obr. 9.8: Schéma dostupných rozhraní jednotky eCall [41].....	80
Obr. 9.9: Hardware použité jednotky eCall [vlastní zpracování]	80
Obr. 9.10: Umístění jednotky eCall a akcelerometru v testovaném vozidle [vlastní zpracování]	82
Obr. 9.11: Porovnání průběhů zrychlení měřených jednotkou eCall a akcelerometrem na karoserii vozidla [vlastní zpracování].....	84
Obr. 9.12: Zařízení „rázová komora“ využité pro testování jednotky eCall [vlastní zpracování]	86
Obr. 9.13: Průběh zrychlení měřený jednotkou eCall (modrá křivka) a externím akcelerometrem (červená křivka) při testu na rázové komoře. [vlastní zpracování]	90
Obr. 9.14: Průběh zrychlení měřený jednotkou eCall (modrá křivka) a externím akcelerometrem (červená křivka) v časovém intervalu 256 ms při testu na rázové komoře, synchronizovaný podle času. [vlastní zpracování]	91
Obr. 9.15: Průběh zrychlení měřený jednotkou eCall (modrá křivka) a externím akcelerometrem (červená křivka) v časovém intervalu 256 ms při testu na rázové komoře, synchronizovaný podle první amplitudy. [vlastní zpracování]	92

Seznam tabulek

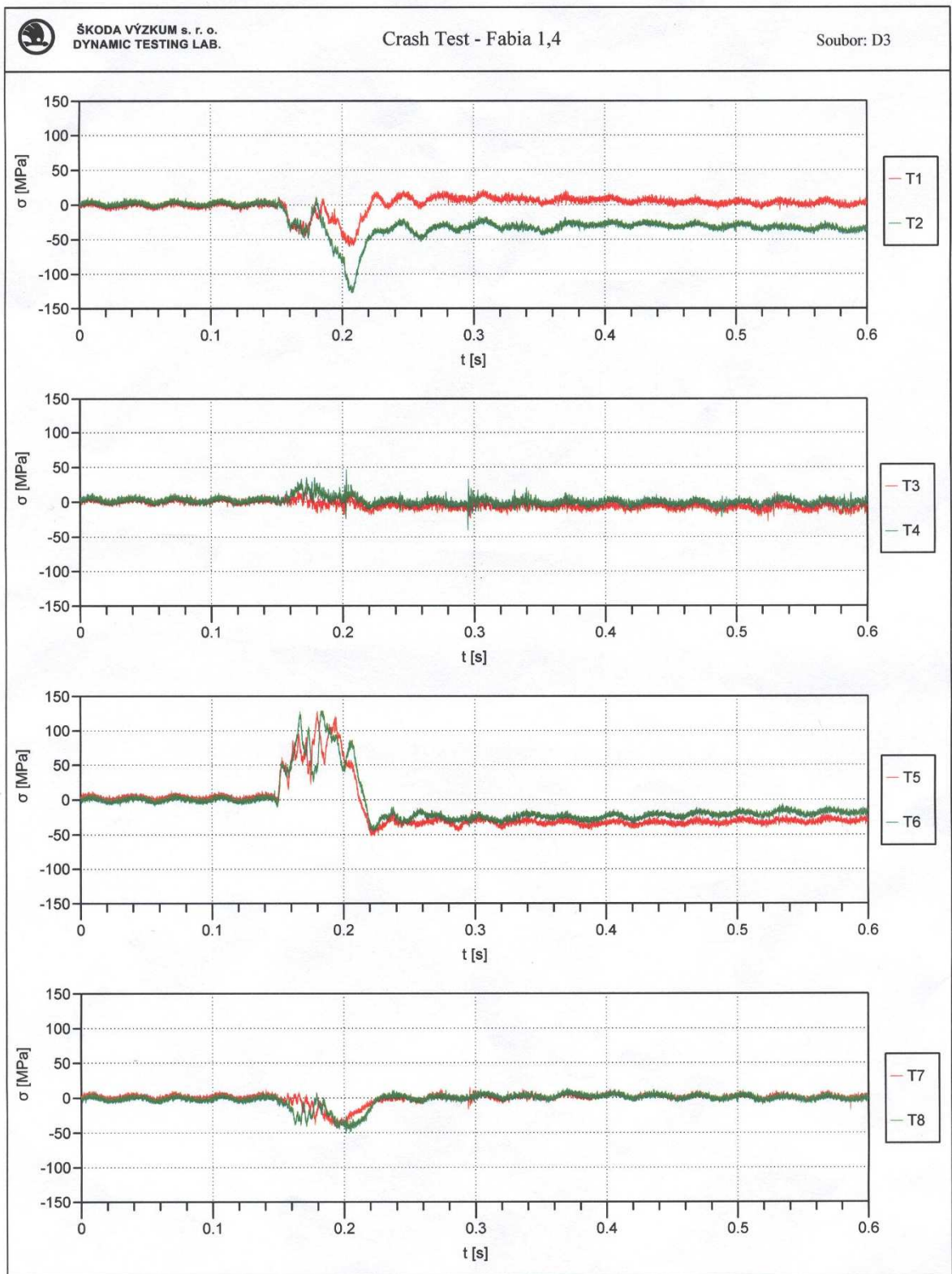
Tab. 3.1: Srovnání vývoje dopravní nehodovosti v rámci EU a ČR [vlastní zpracování]	9
Tab. 4.1: Informace obsažené v MSD; P = povinný, N = nepovinný údaj [13]	14
Tab. 4.2: Přehled legislativních požadavků týkajících se systému eCall [19].....	16
Tab. 6.1: Konstanty pro výpočet viskózního kritéria [12].....	33
Tab. 6.2: Tabulka hodnocení závažnosti poranění podle metodiky AIS [25]	36
Tab. 8.1: Výsledné hodnoty kritérií poranění stanovené při nárazové zkoušce Škoda Roomster provedené podle Předpisu EHK/OSN č. 94 [50]	56
Tab. 8.2: Parametry a výsledky nárazových testů čelním nárazem [vlastní zpracování]	65
Tab. 9.1: Mezní hodnoty napětí karoserie vozidla pro jednotlivé tenzometry [vlastní zpracování]	76
Tab. 9.2: Maximální hodnoty zrychlení vozidla Škoda Fabia sedan měřené v různých částech karoserie [vlastní zpracování].....	78
Tab. 9.3: Výsledné hodnoty korelačních koeficientů při zkouškách jednotky eCall na urychlovacím zařízení, nastavovaná výška závaží 0,24 m [vlastní zpracování]	88
Tab. 9.4: Výsledné hodnoty korelačních koeficientů při zkouškách jednotky eCall na urychlovacím zařízení, nastavovaná výška závaží 0,5 m [vlastní zpracování]	89
Tab. 9.5: Výsledné hodnoty korelačních koeficientů při zkouškách jednotky eCall na urychlovacím zařízení, nastavovaná výška závaží 0,4 m [vlastní zpracování]	89

Přílohy

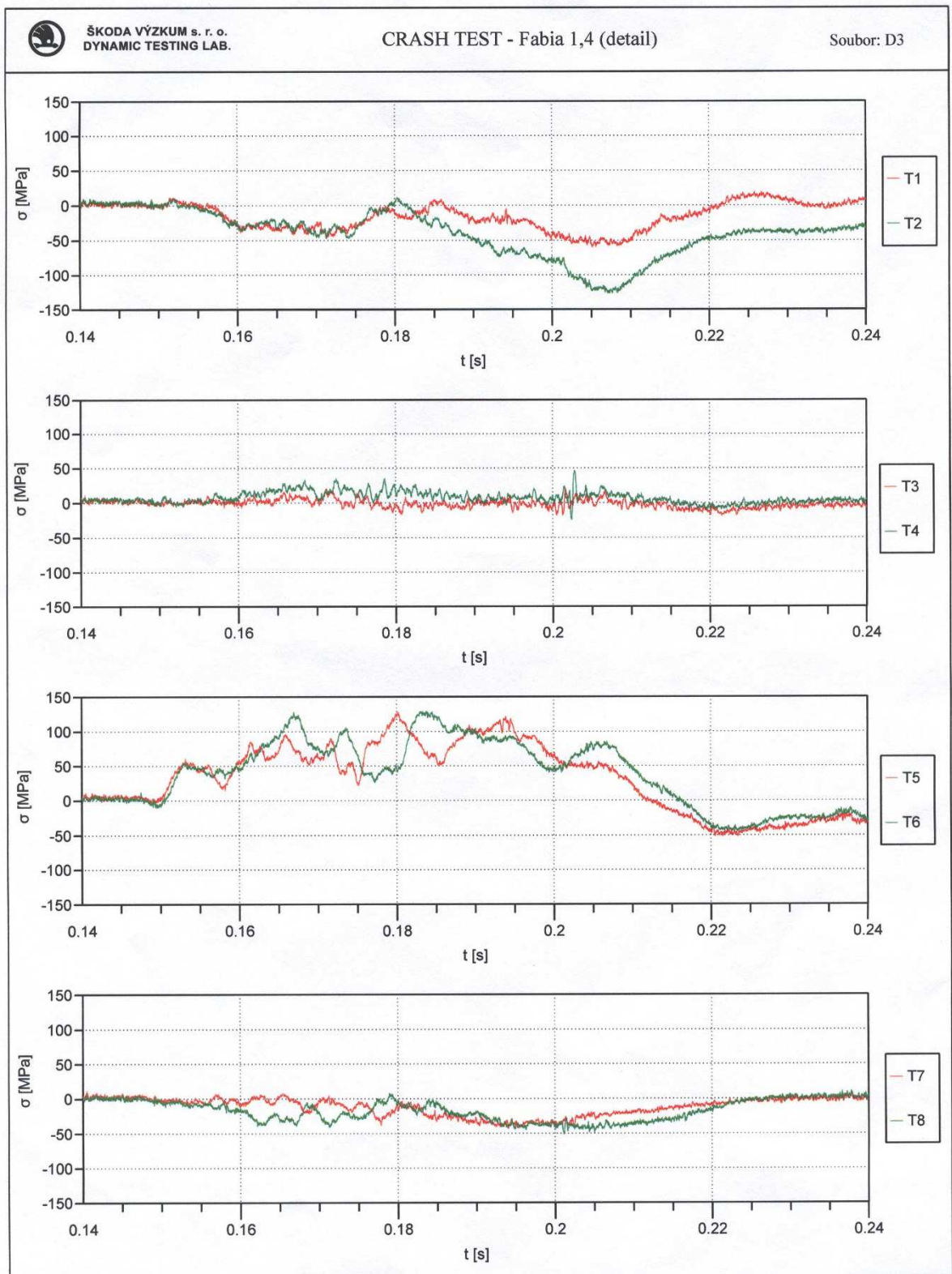
Příloha A – Průběhy napětí na karoserii vozidla Škoda Fabia popsané v kapitole 8.2.2 měřené tenzometry T1 – T8 [26]

Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data

Příloha A – Průběhy napětí na karoserii vozidla Škoda Fabia popsané v kapitole 8.2.2
měřené tenzometry T1 – T8 [26]



Příloha A – Průběhy napětí na karoserii vozidla Škoda Fabia popsané v kapitole 8.2.2
měřené tenzometry T1 – T8 [26]

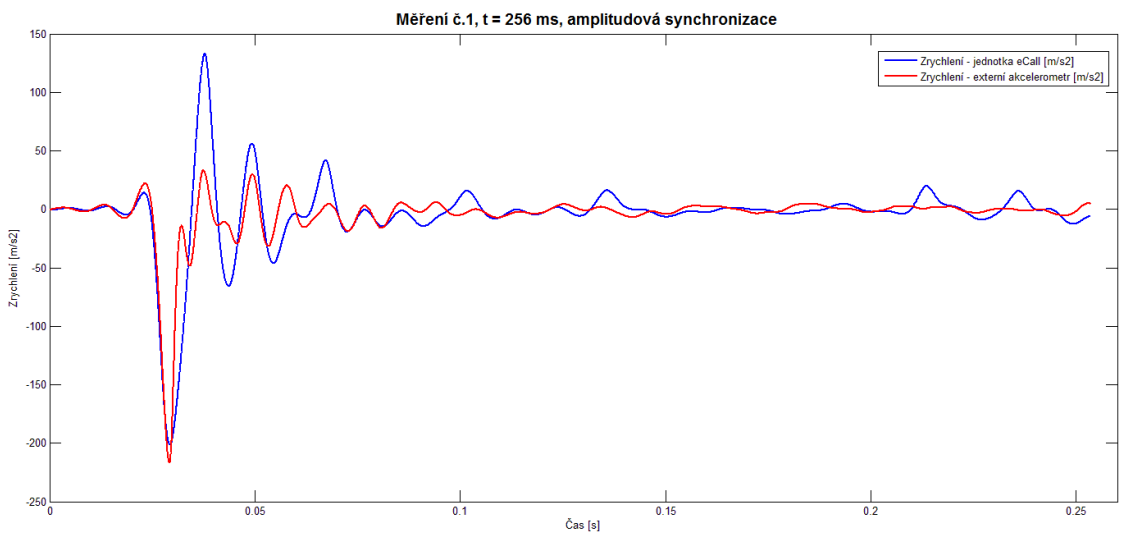
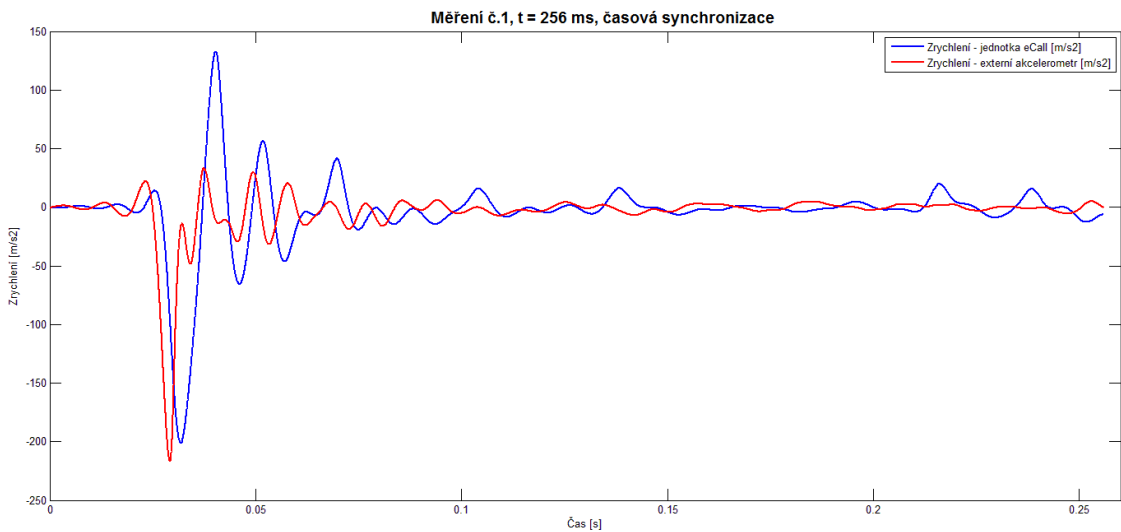
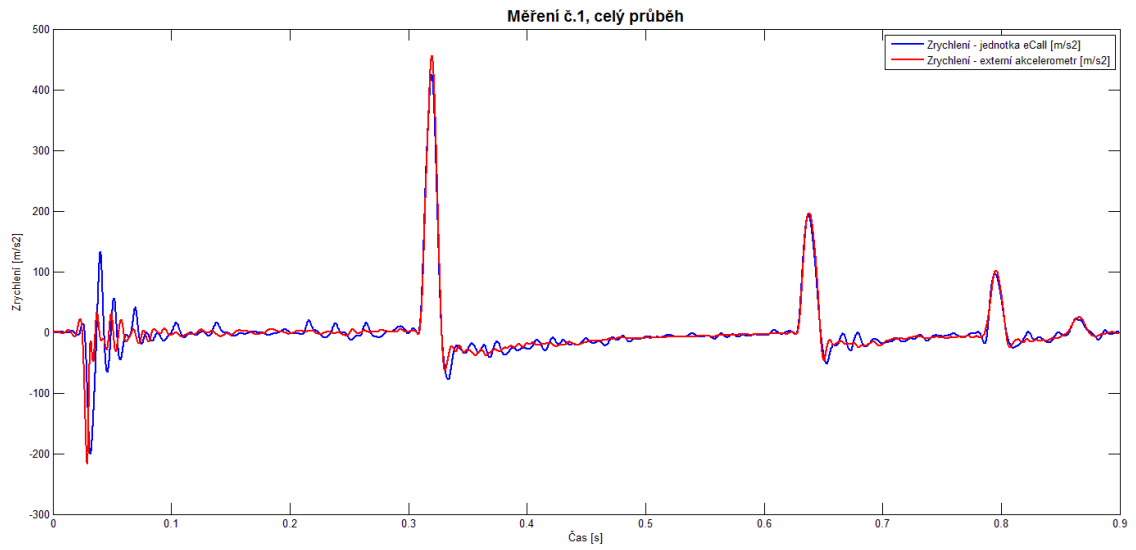


Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data

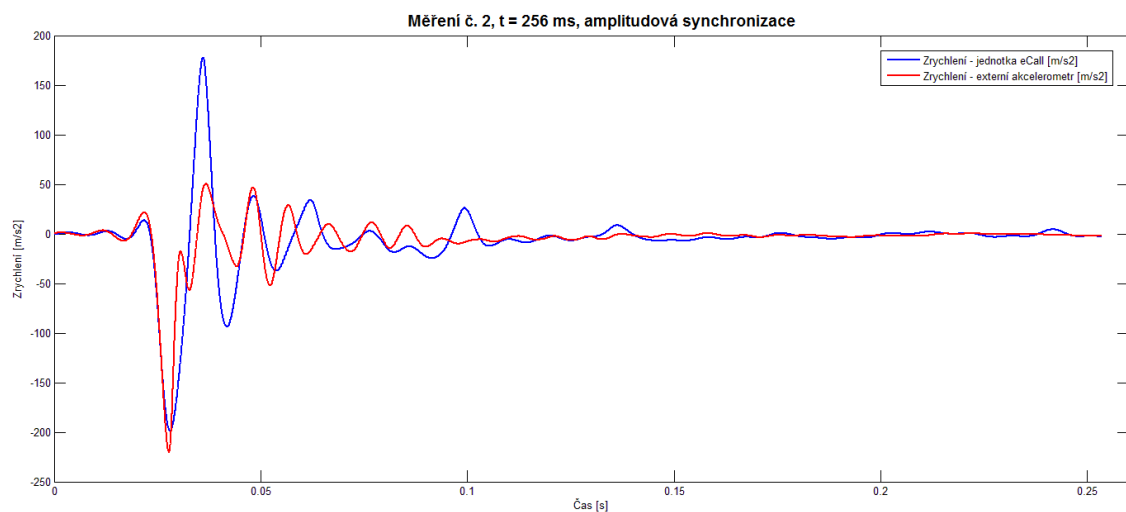
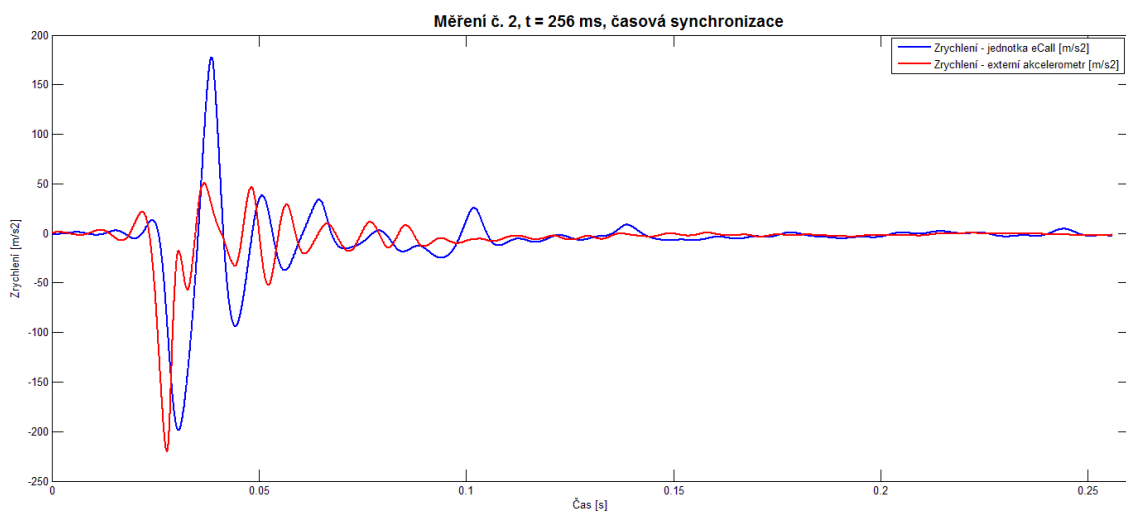
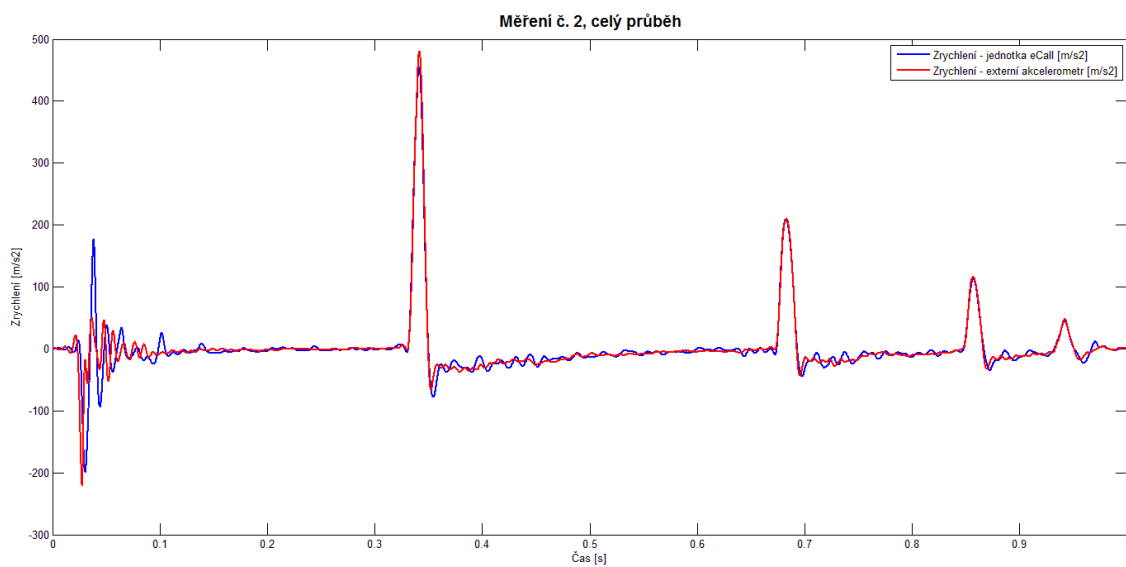
Přehled provedených měření a výsledných hodnot korelačních koeficientů:

č. měření	výška pádu [m]	nárazová rychlost [m·s ⁻¹]	Korelační koeficient r_{xy}		
			časová synchronizace (celý průběh)	časová synchronizace ($\Delta t = 256$ ms)	synchronizace 1. amplitudy ($\Delta t = 256$ ms)
1	0,2427	2,182	0,93464	0,38401	0,80228
2	0,24406	2,188	0,94245	0,43592	0,73444
3	0,2428	2,183	0,939	0,42259	0,75835
4	0,24303	2,183	0,93893	0,43164	0,75692
5	0,24266	2,181	0,93805	0,41346	0,7537
6	0,24264	2,181	0,93979	0,4234	0,79507
7	0,24262	2,182	0,9457	0,41323	0,78095
8	0,24263	2,182	0,94084	0,45523	0,72248
9	0,24265	2,182	0,94444	0,46583	0,72575
10	0,24261	2,182	0,948	0,46278	0,70589
11	0,24261	2,182	0,94611	0,39233	0,74305
a1	0,50033	3,133	0,91445	0,42791	0,70081
a2	0,50035	3,133	0,91218	0,38455	0,71261
a3	0,50032	3,133	0,92181	0,41881	0,77759
a4	0,50034	3,133	0,91856	0,38893	0,75872
a5	0,50033	3,133	0,90973	0,36827	0,69618
a6	0,40039	2,803	0,9261	0,35209	0,73891

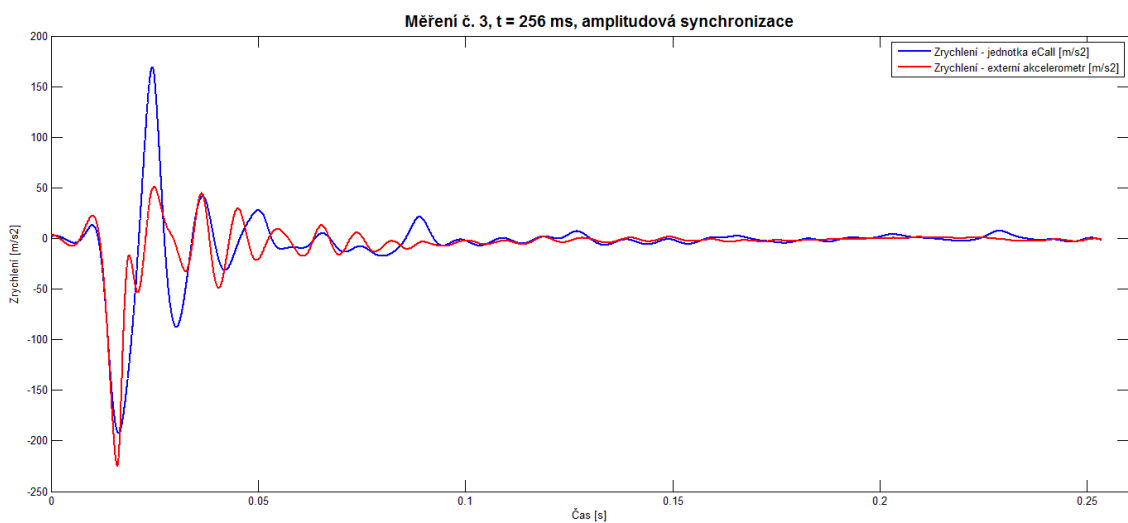
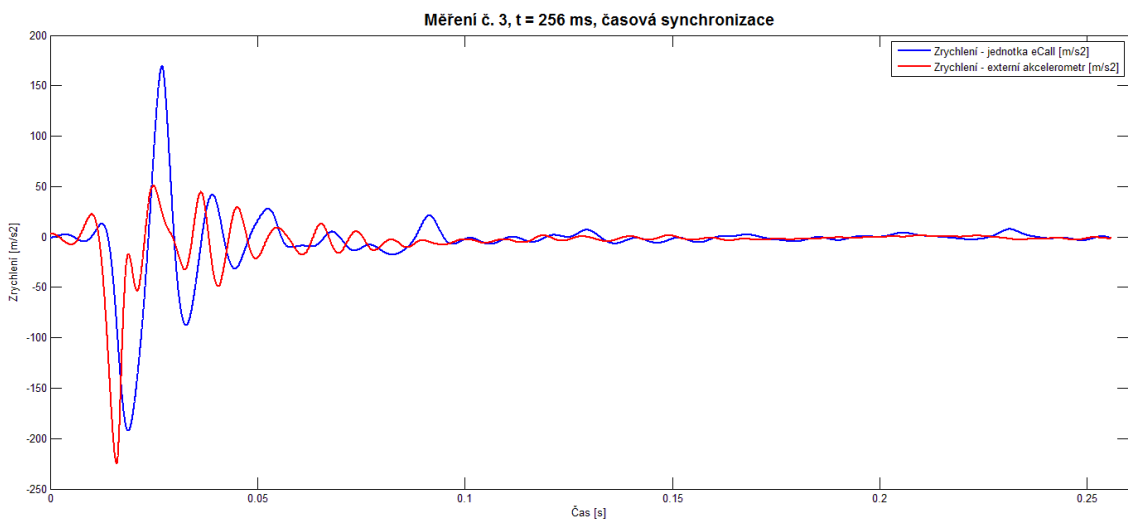
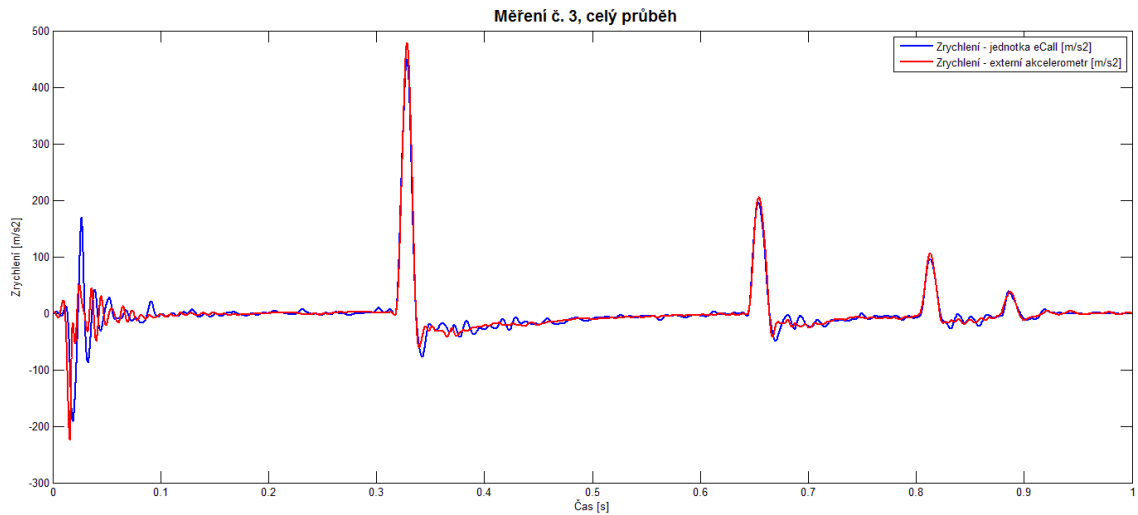
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



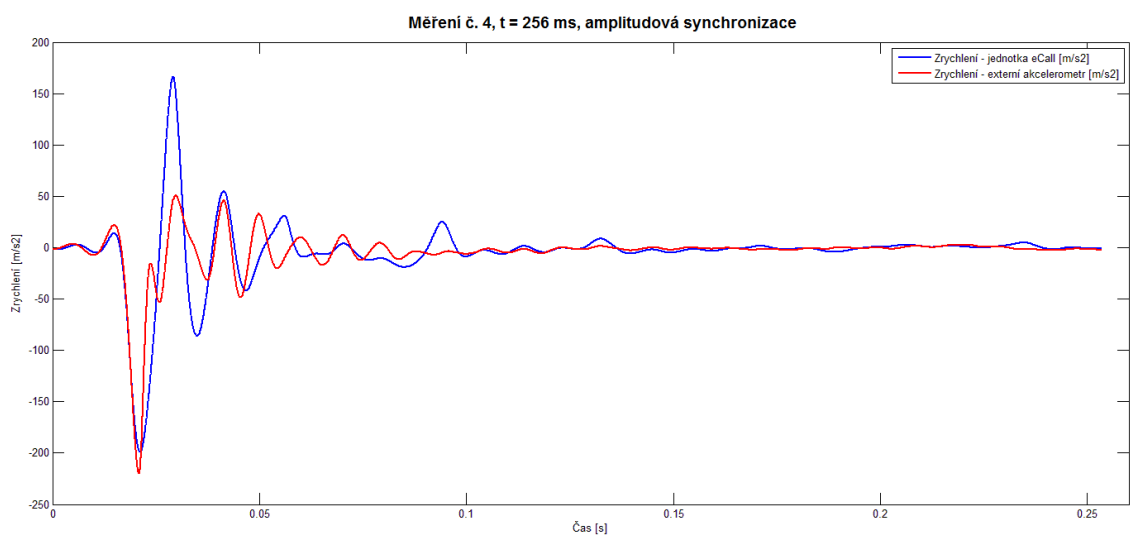
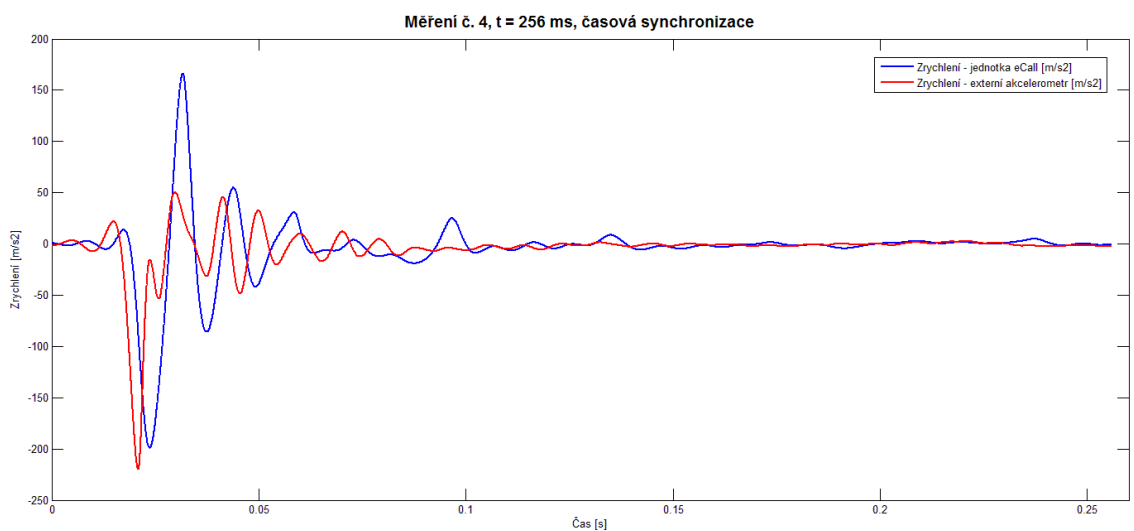
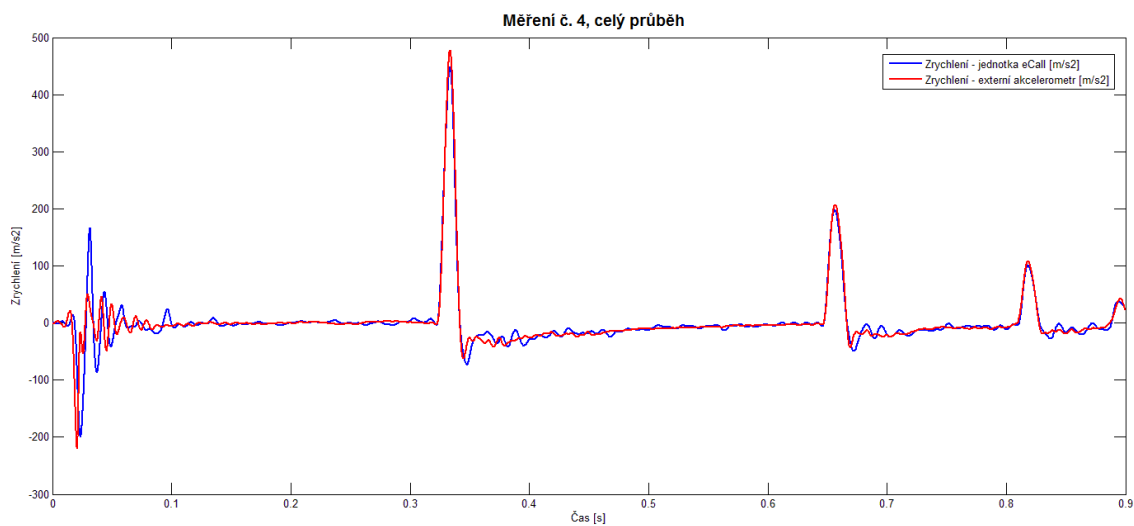
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



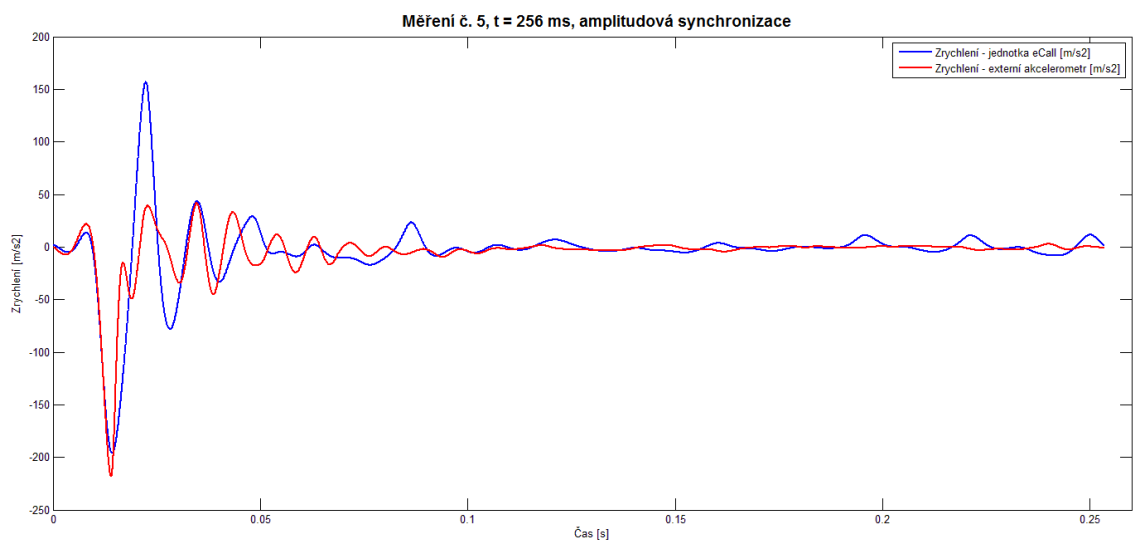
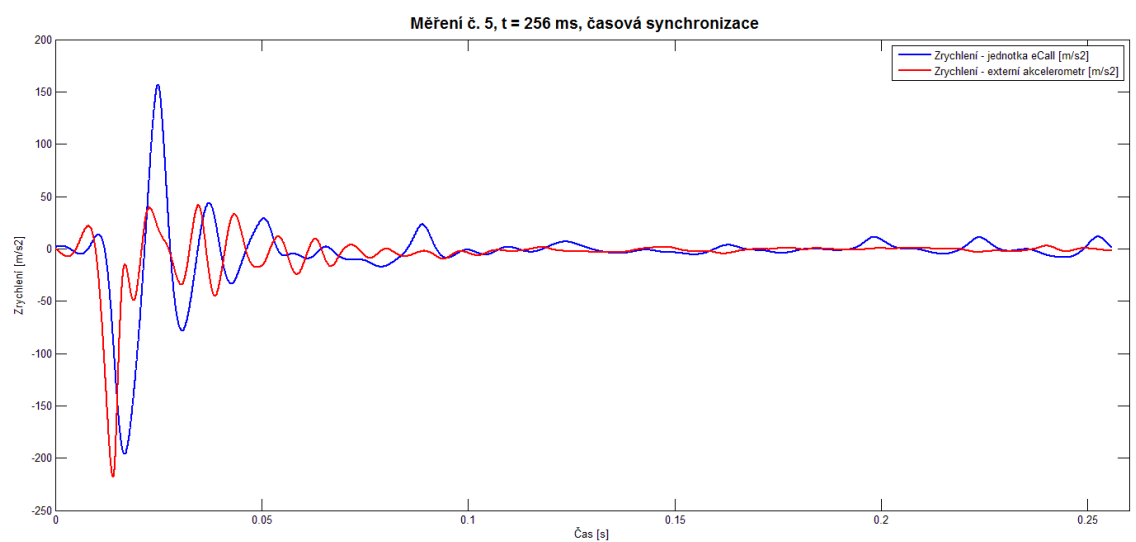
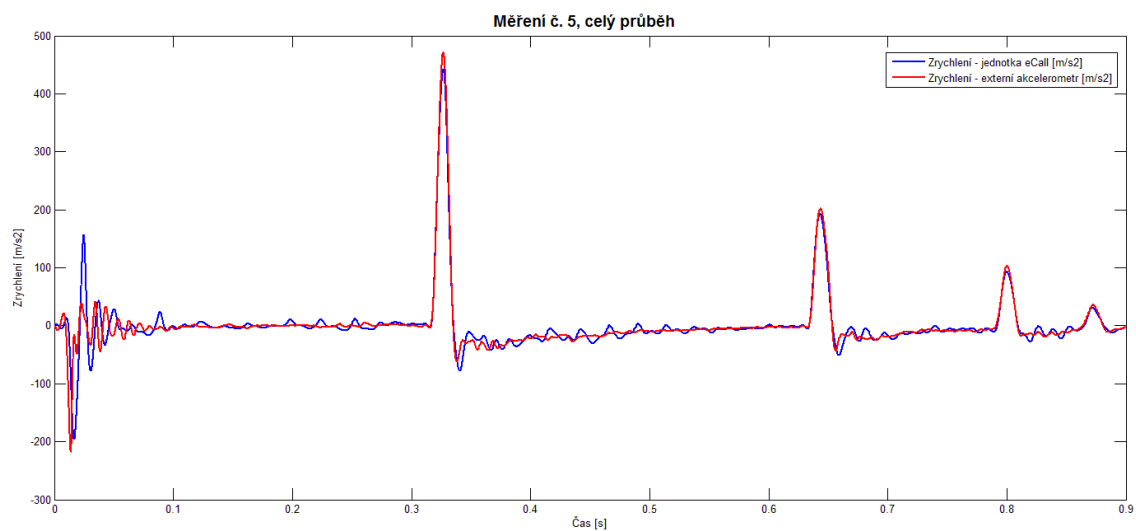
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



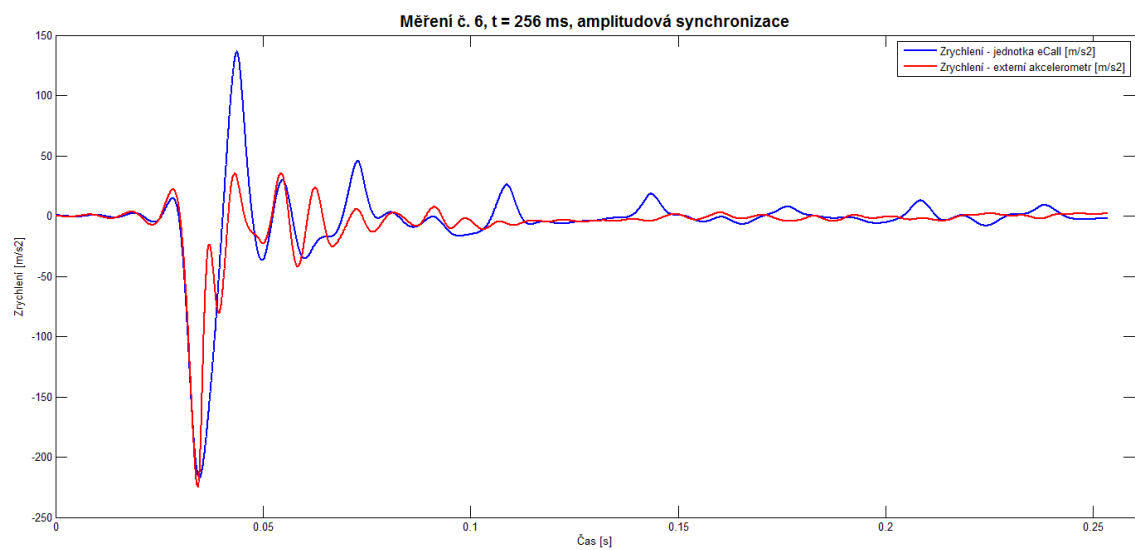
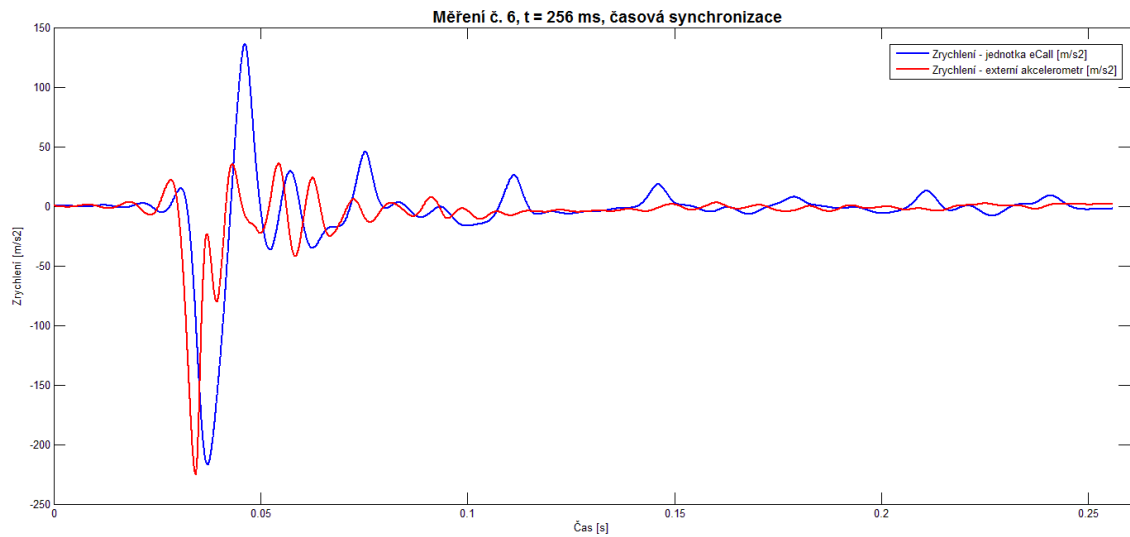
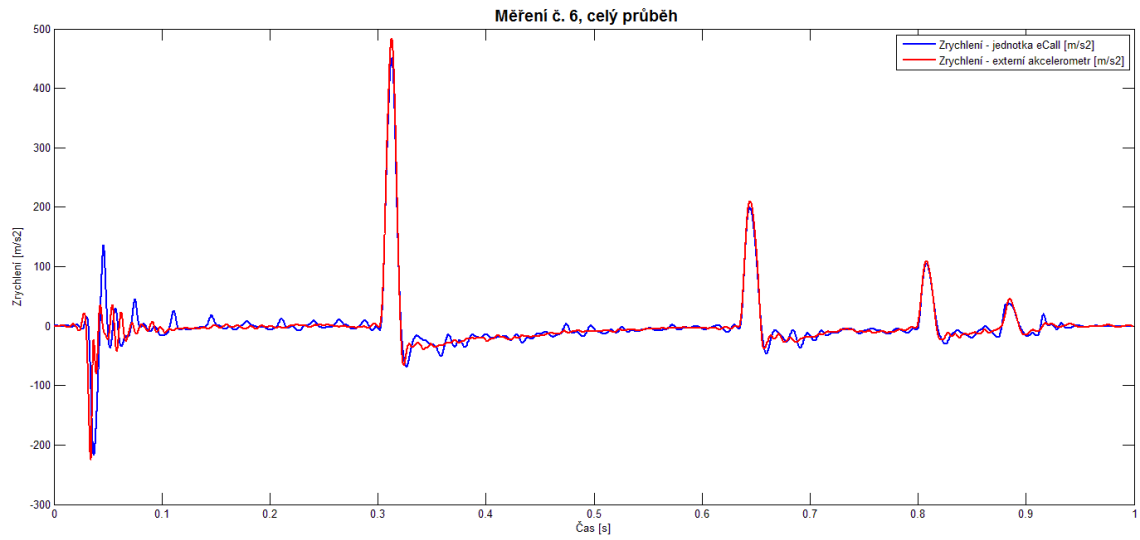
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



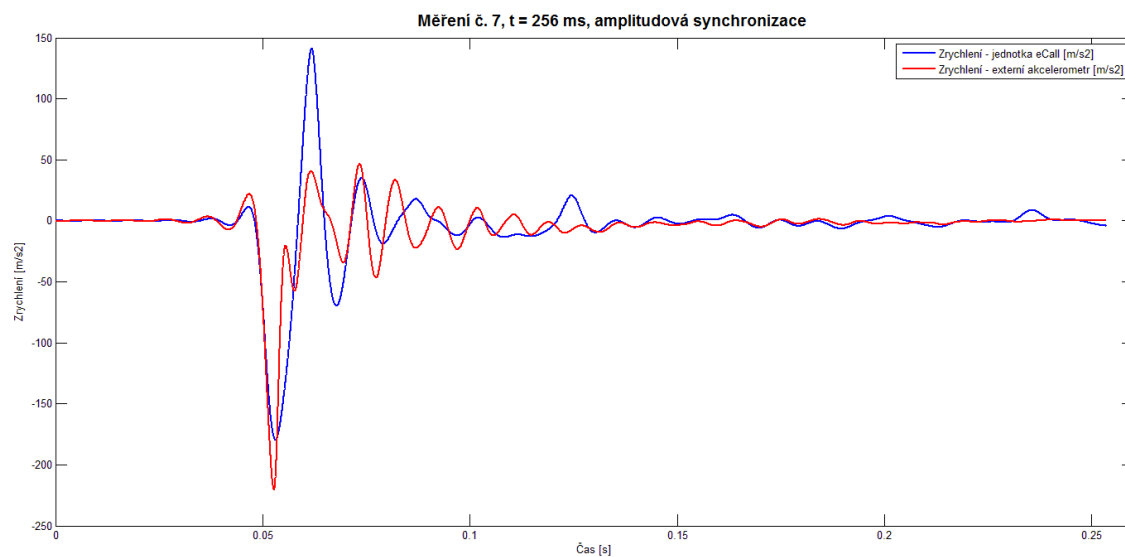
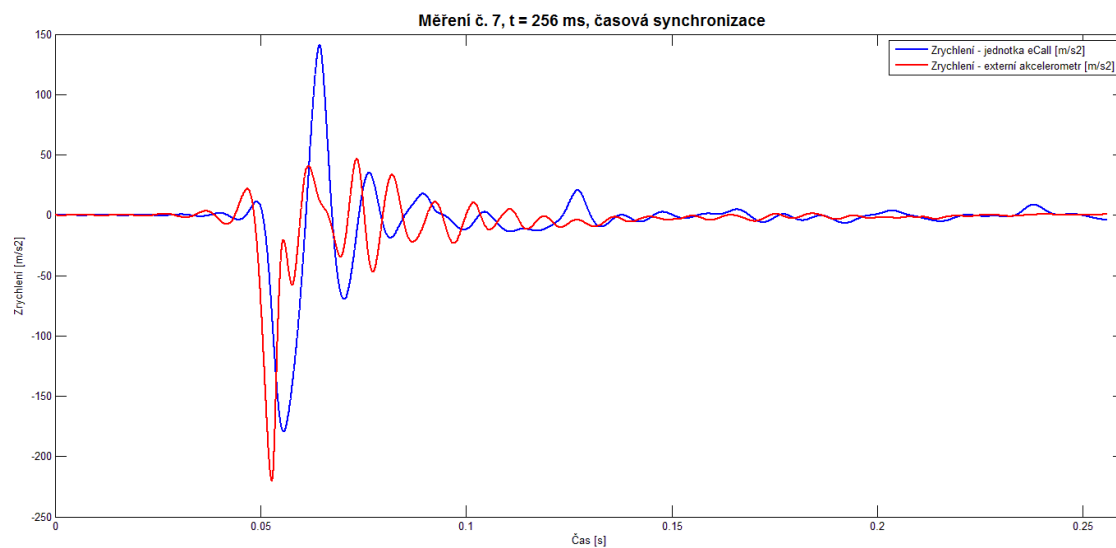
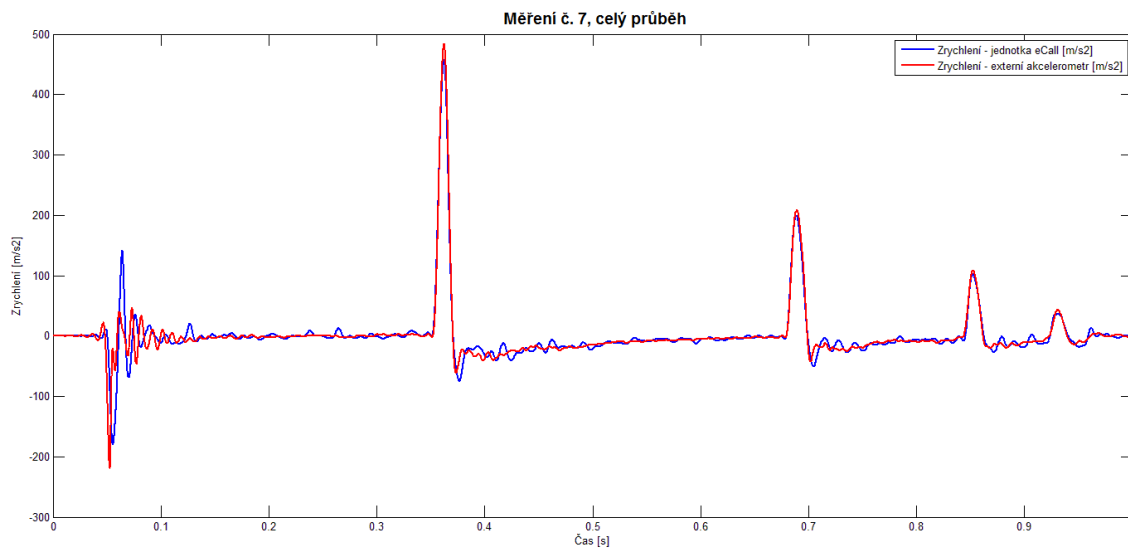
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



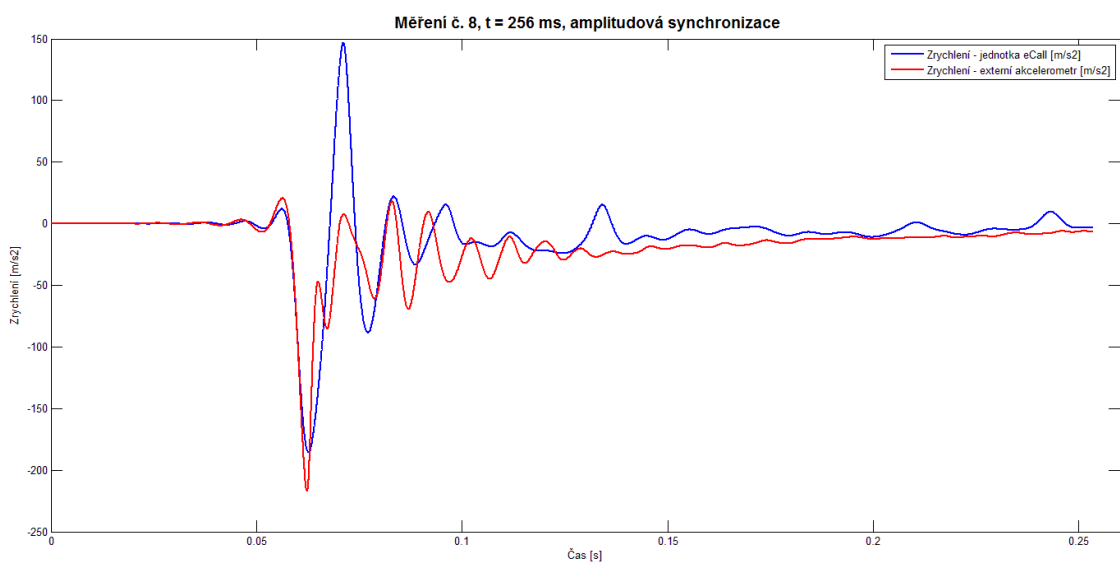
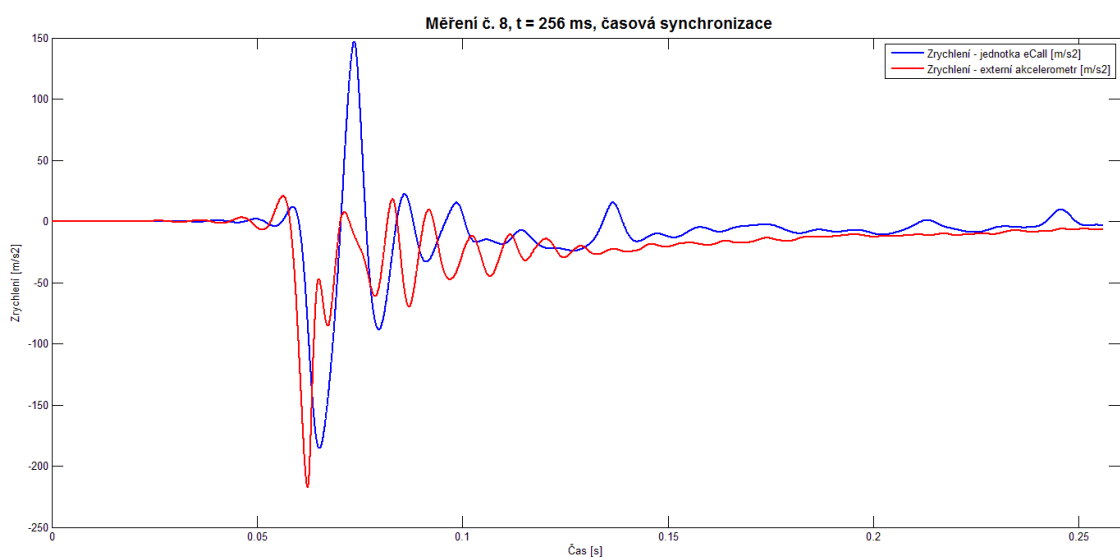
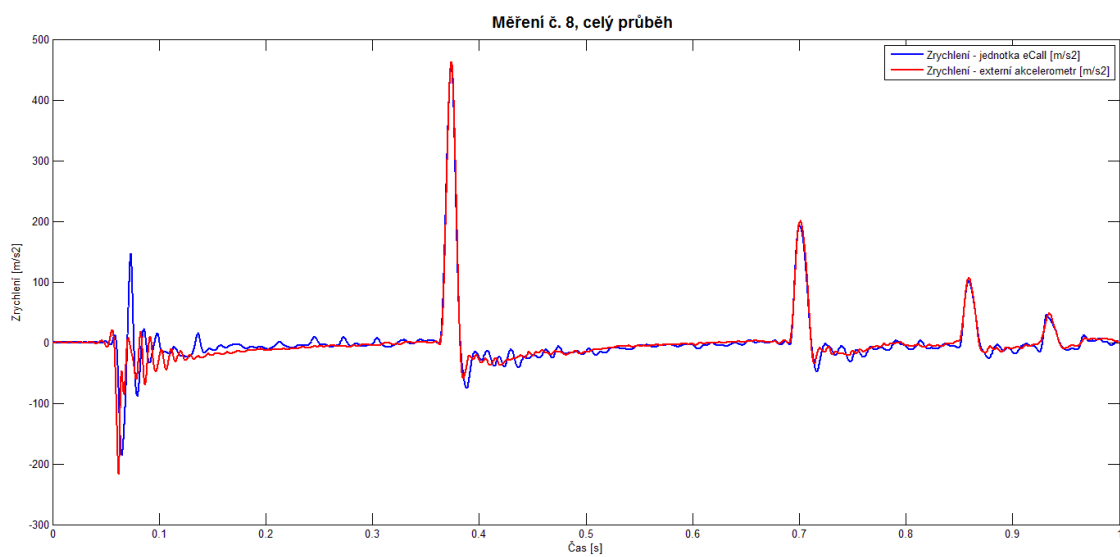
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



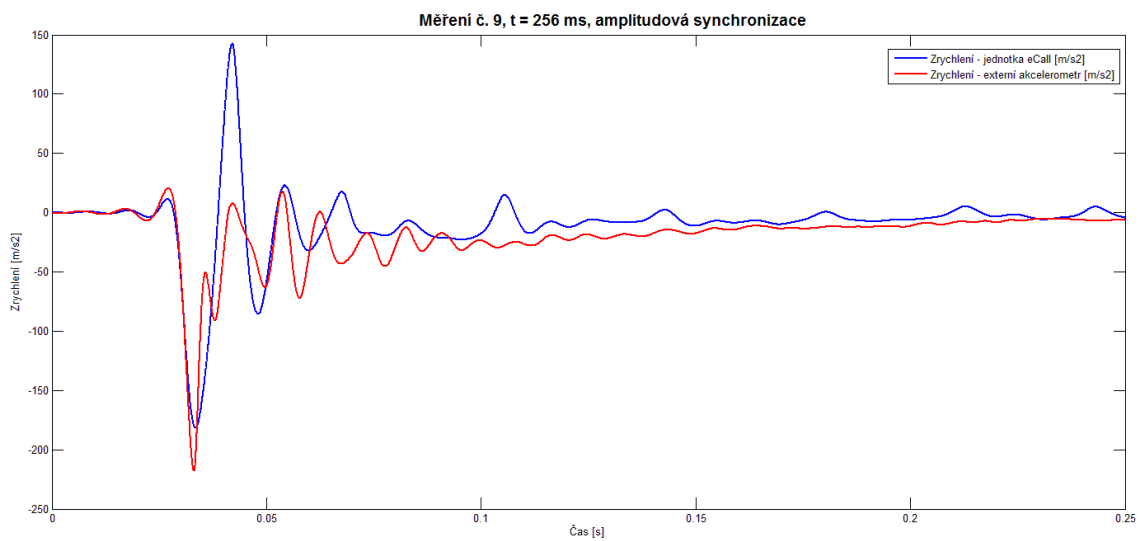
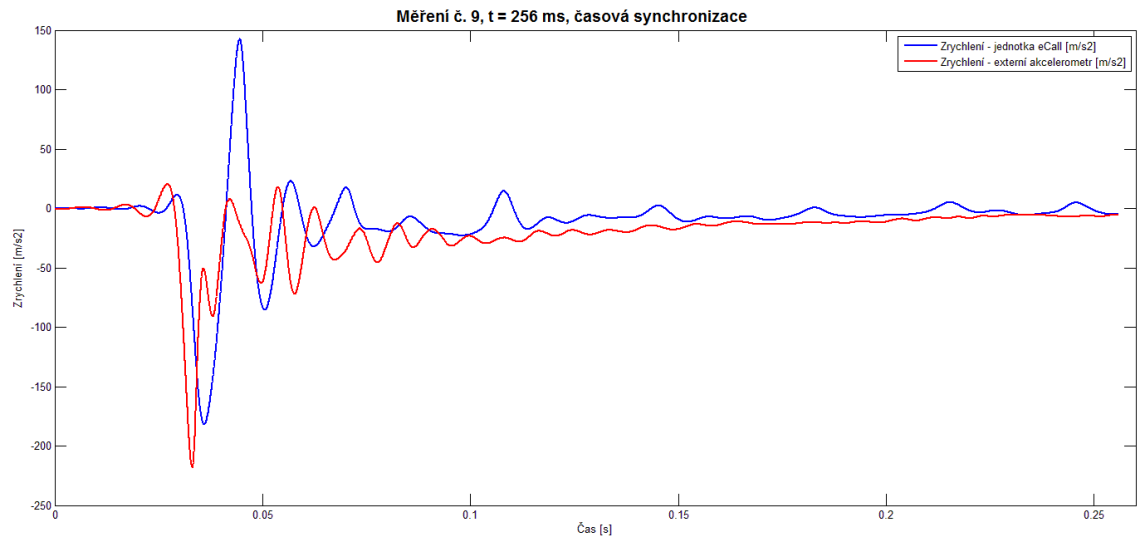
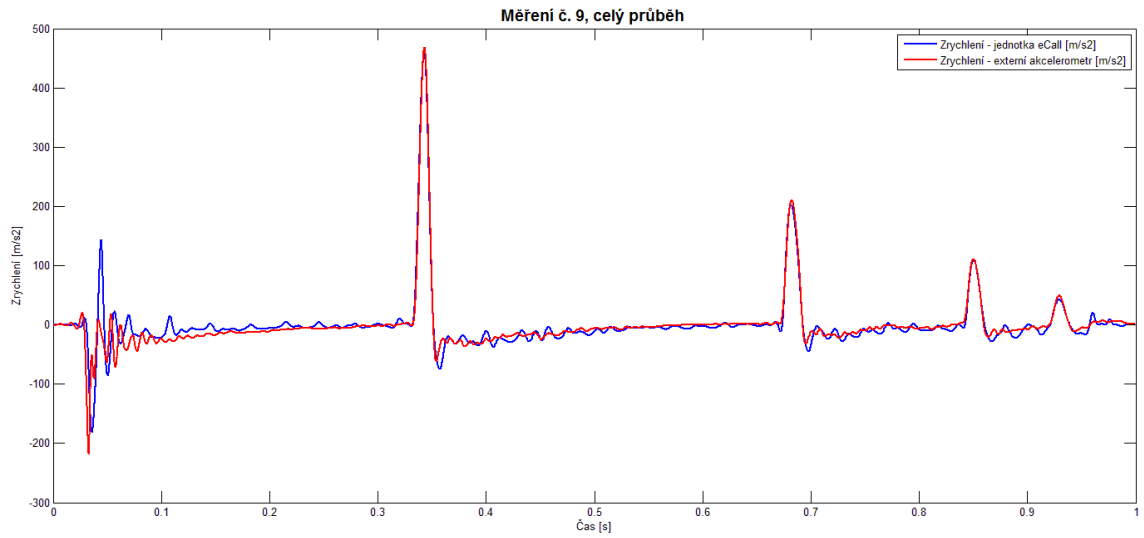
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



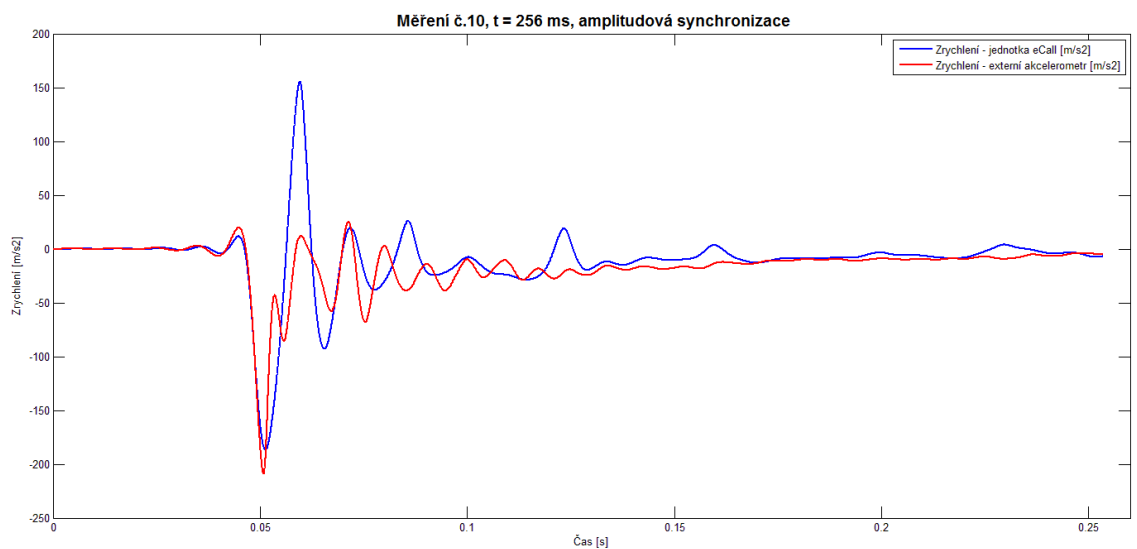
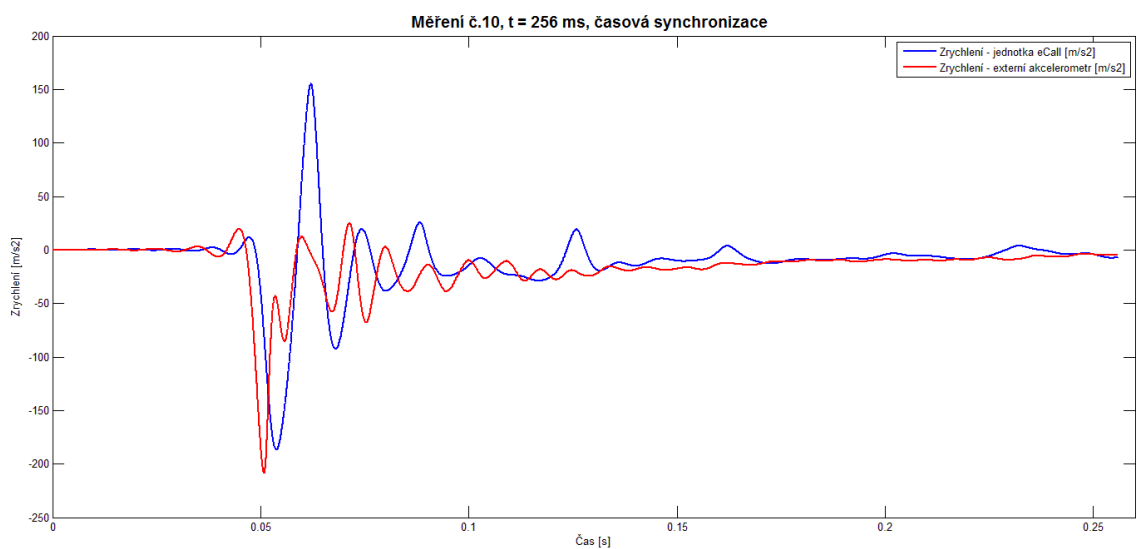
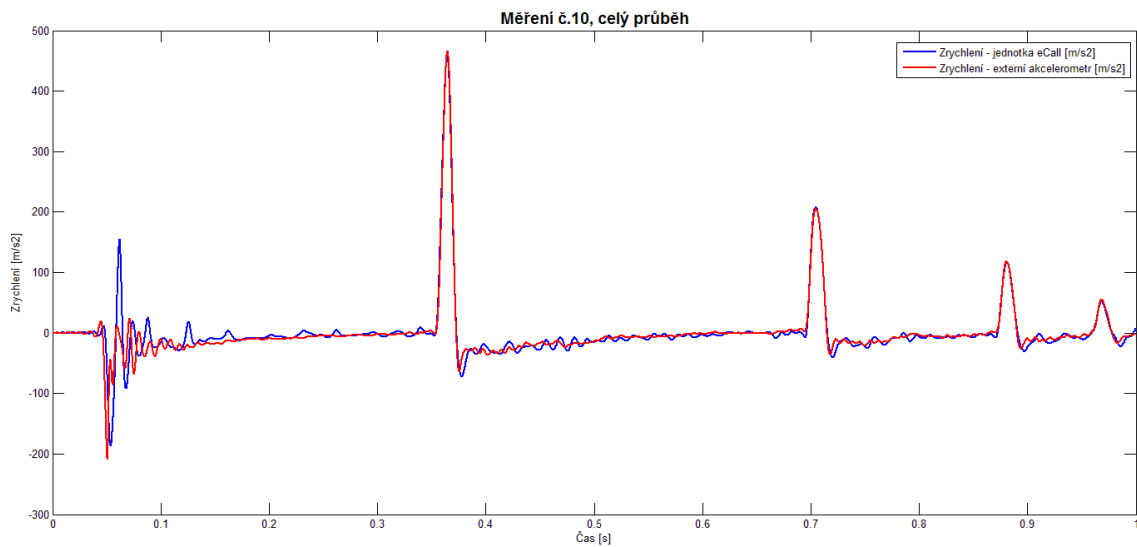
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



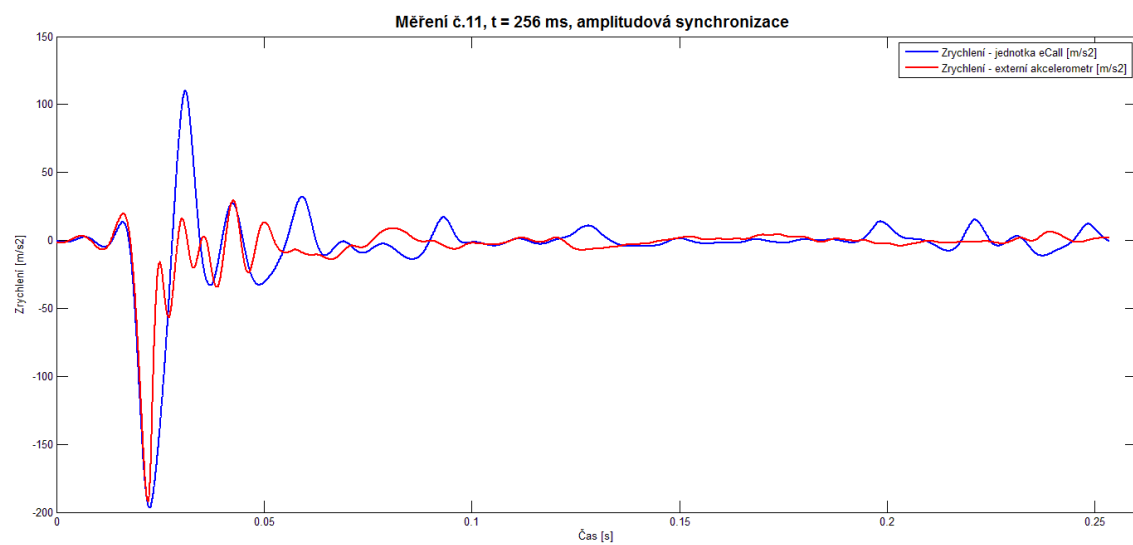
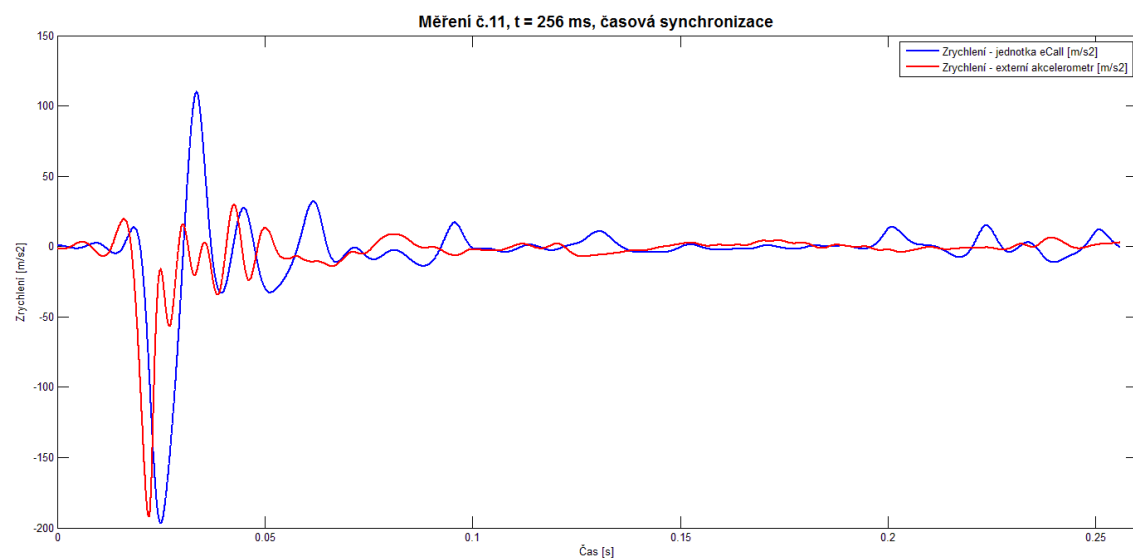
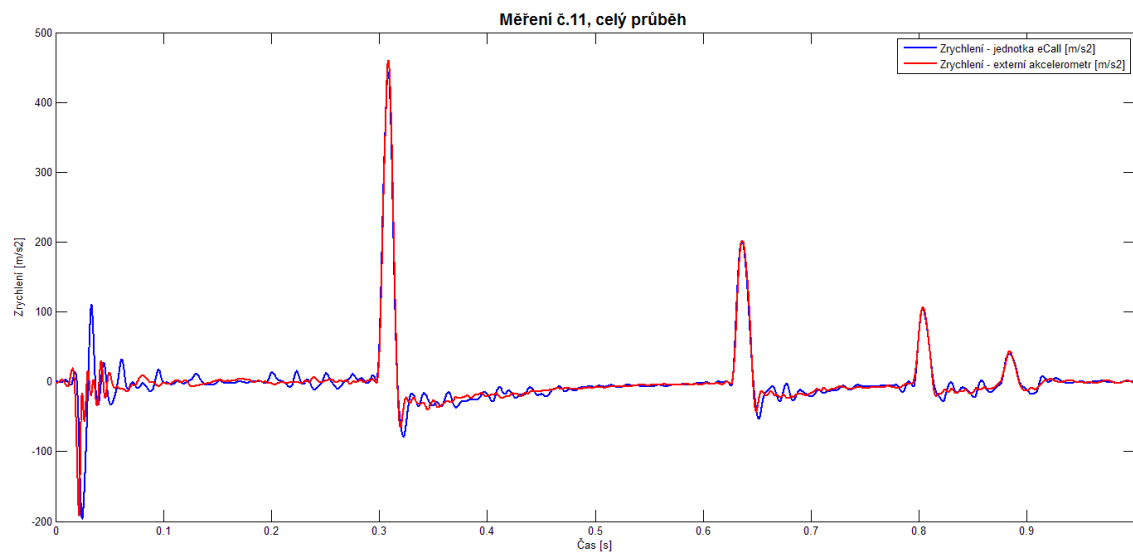
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



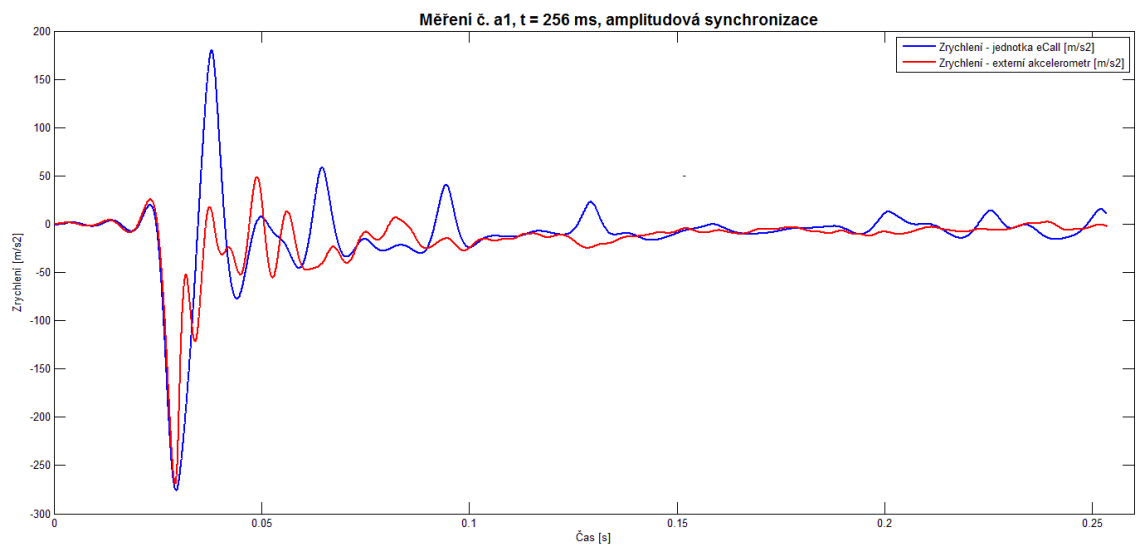
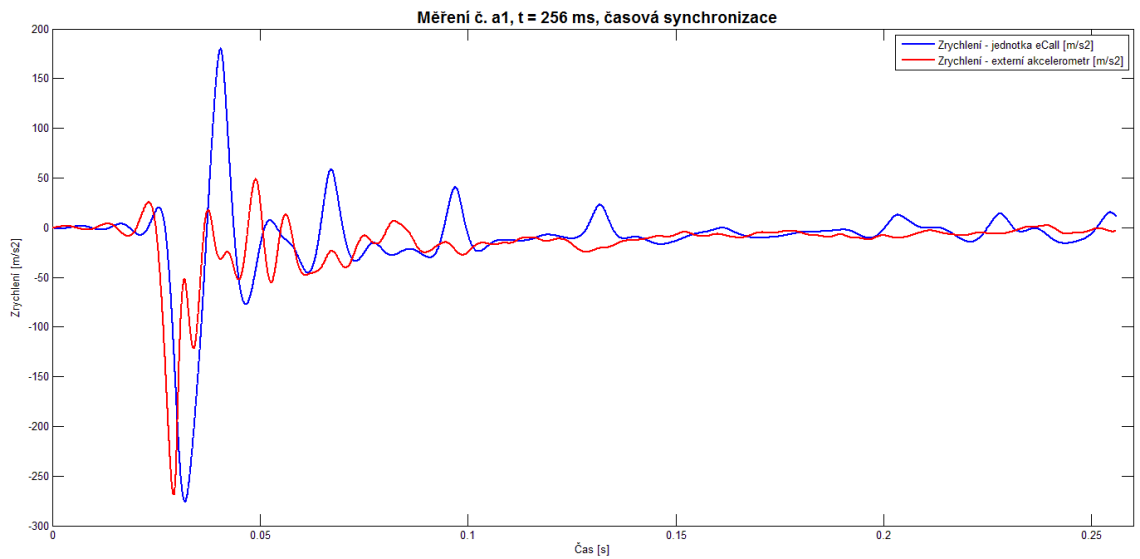
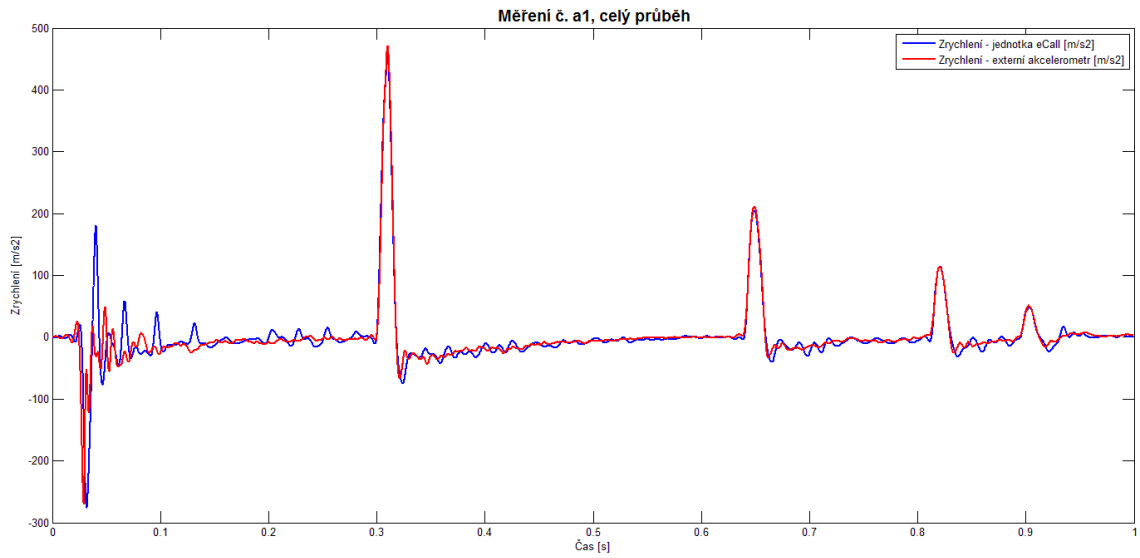
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



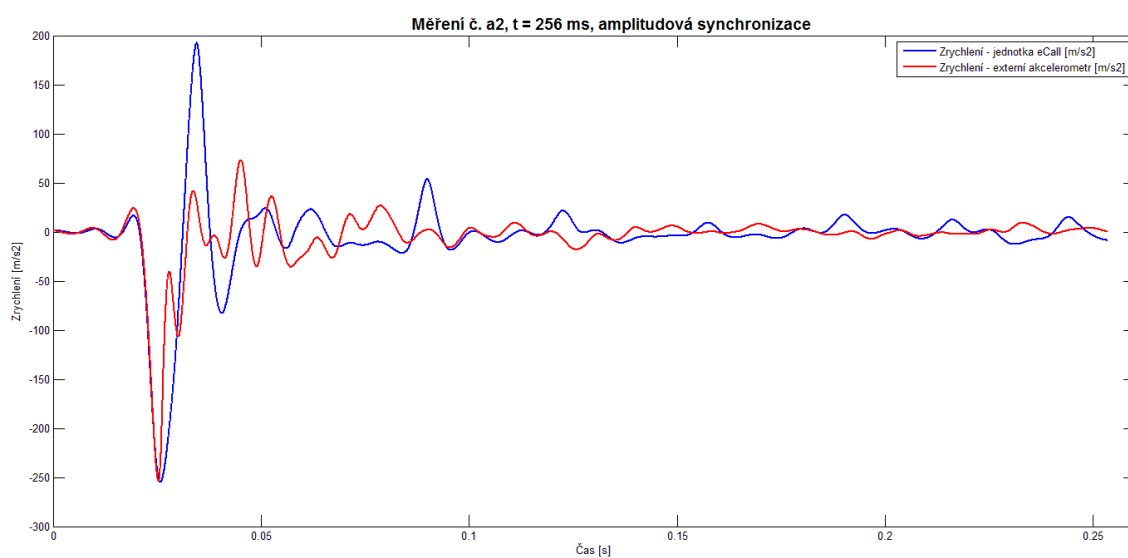
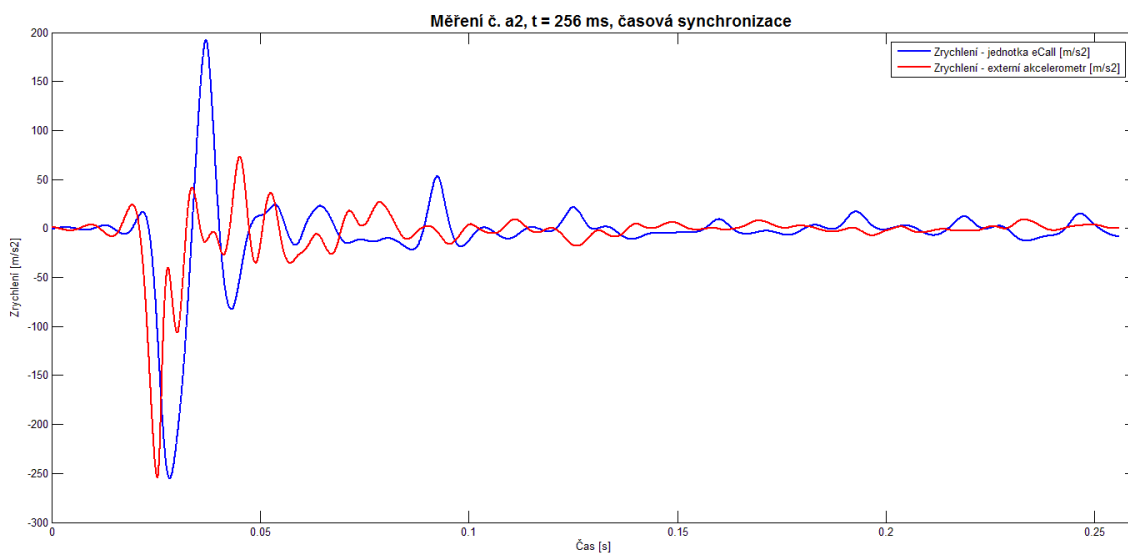
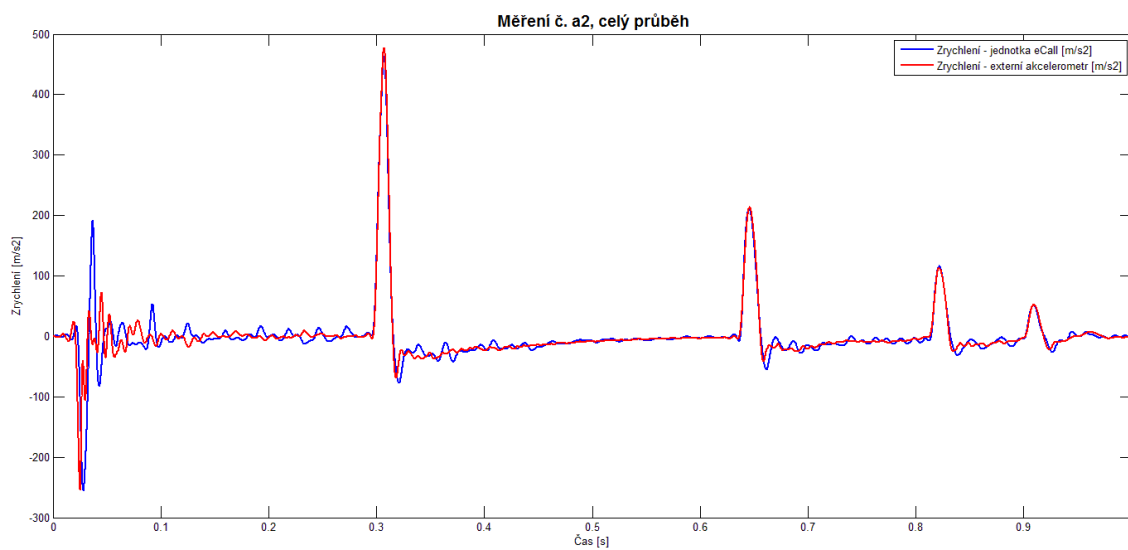
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



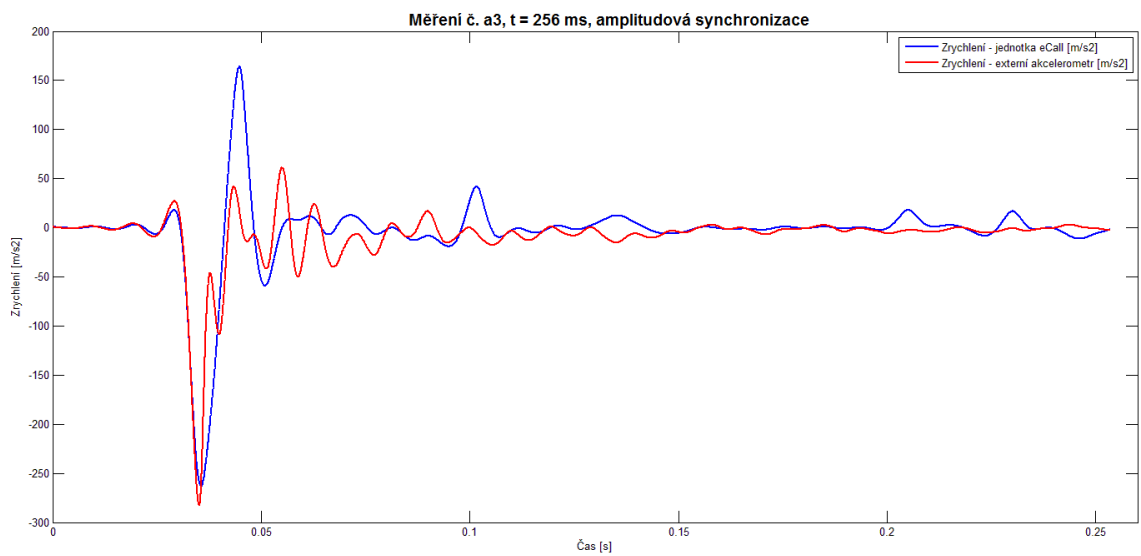
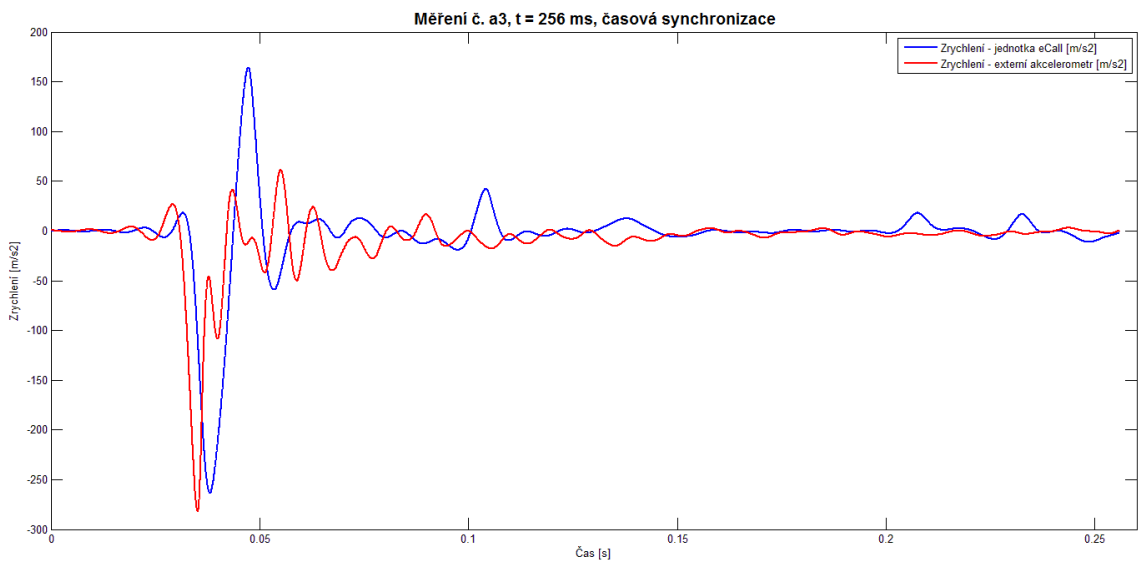
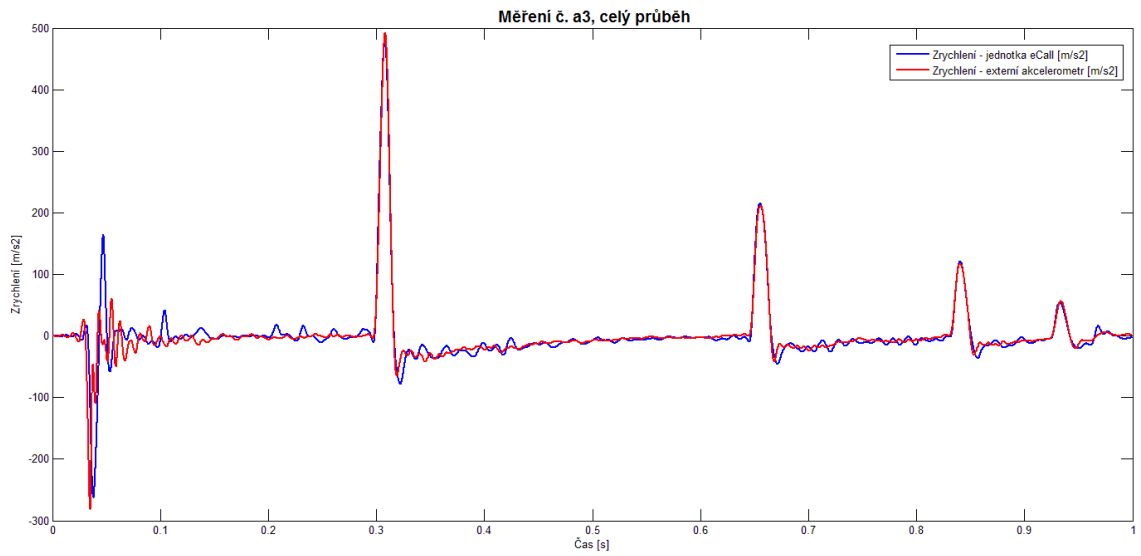
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



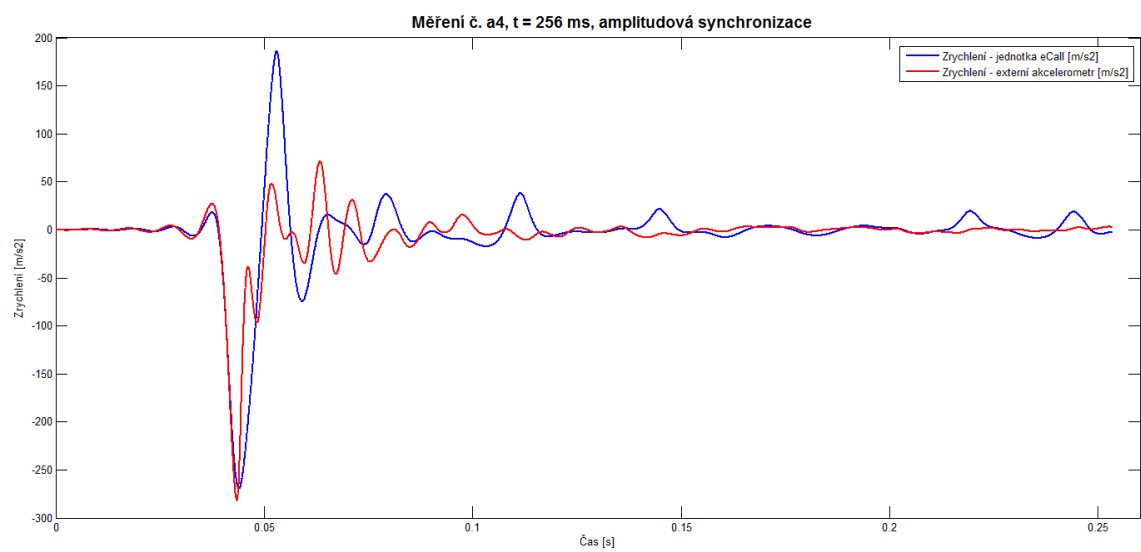
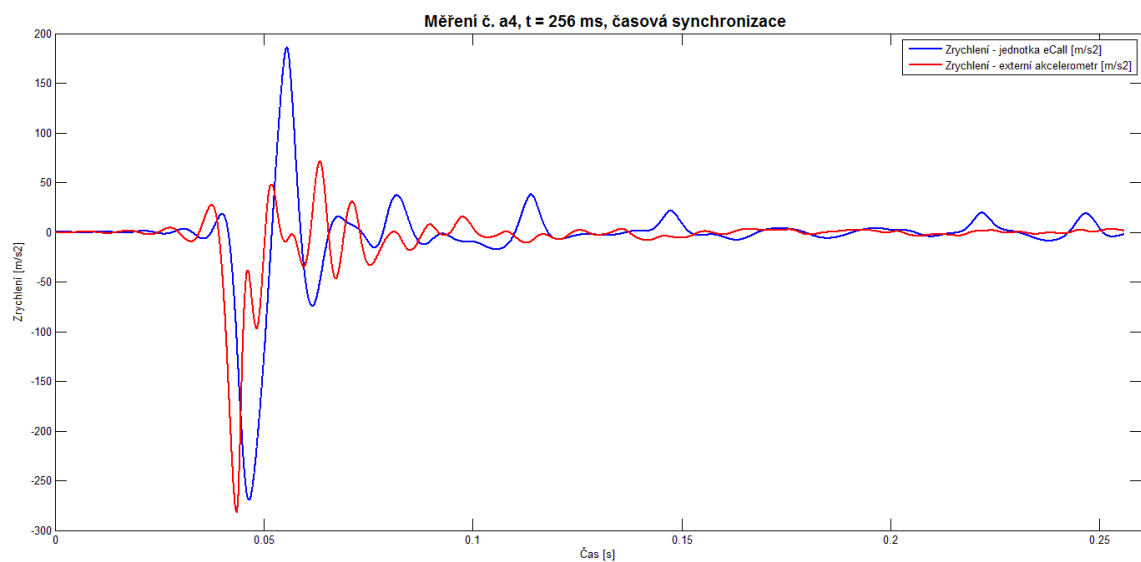
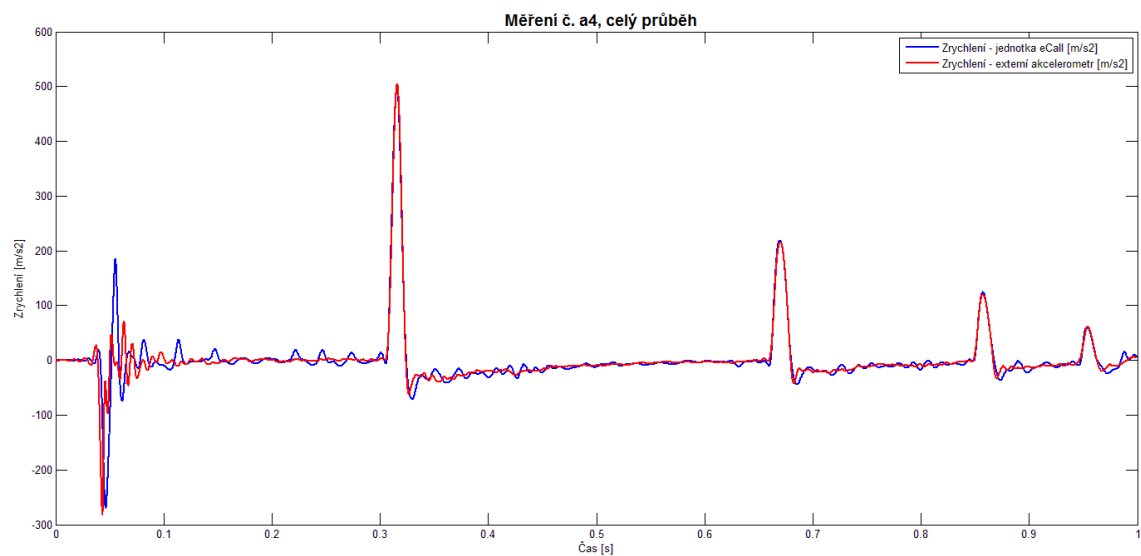
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



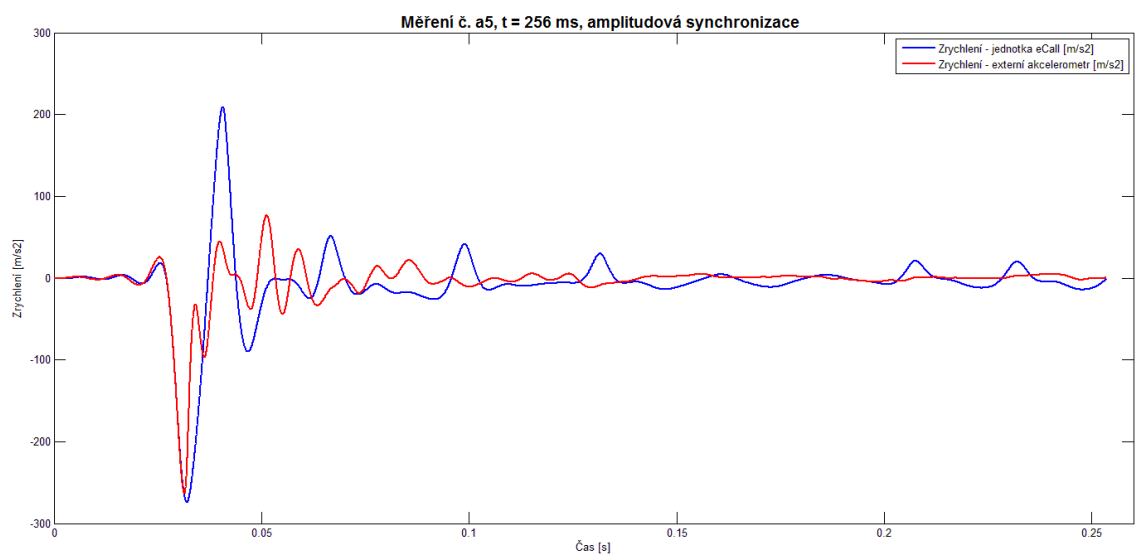
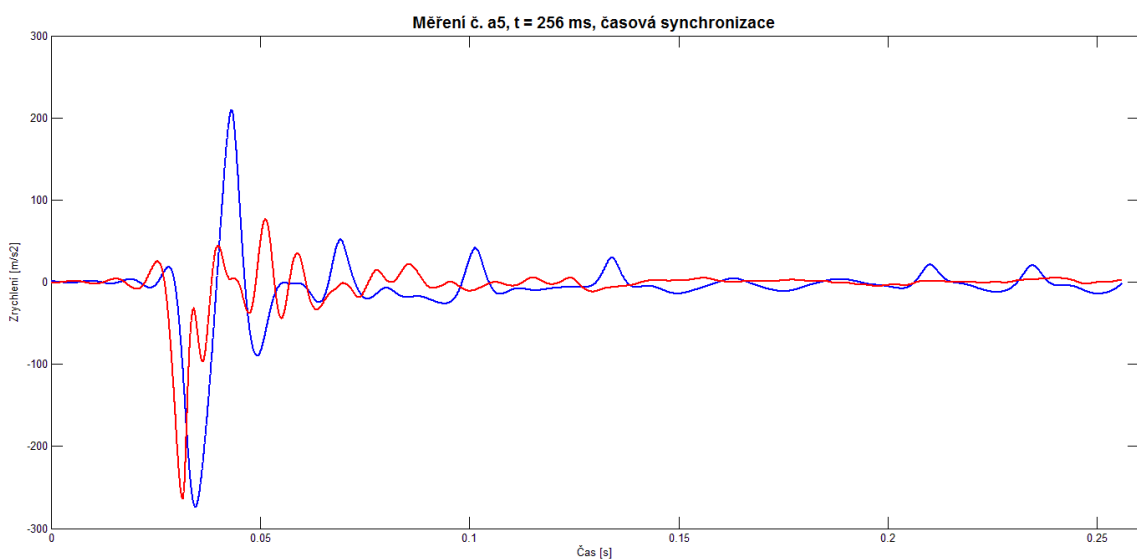
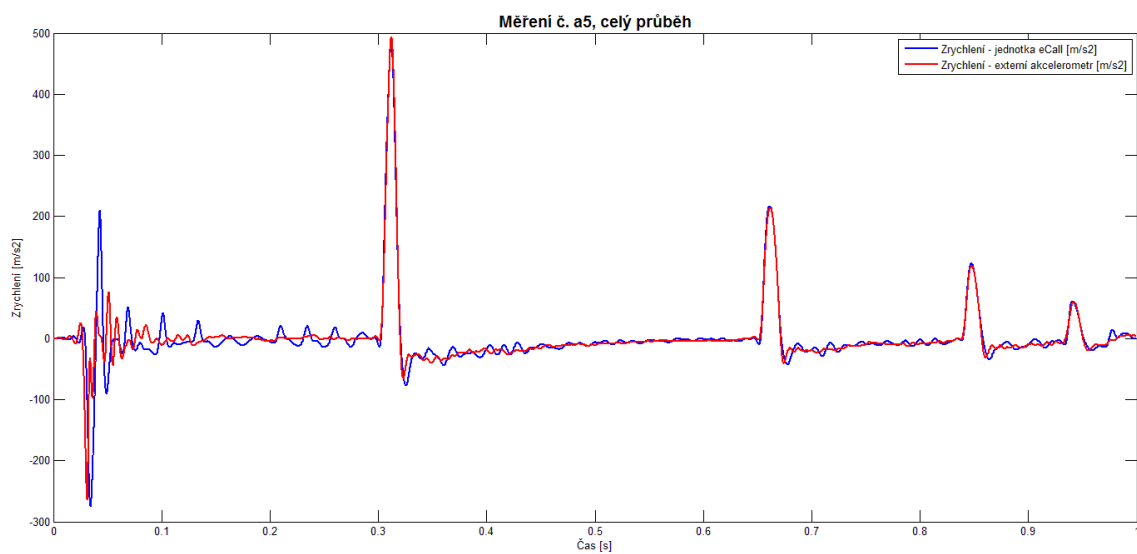
Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data



Příloha B – Test jednotky eCall na urychlovacím zařízení (rázové komoře) – výsledná data

