



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Ústav dopravních prostředků

Kabina simulátoru deceleračních zkoušek

The cabin of Simulator's Deceleration Tests

Diplomová práce

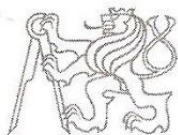
Vedoucí práce: Ing. Jiří First

Studijní program: B3710 Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Dopravní systémy a technika

Praha, květen 2015

Petr Suk



K616.....**Ústav dopravních prostředků**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Petr Suk

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Kabina simulátoru deceleračních zkoušek**

Název tématu (anglicky): The Cabin of Simulator's Deceleration Tests

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Uvedte typy nárazových a deceleračních zkoušek silničních dopravních prostředků
- Zaměřte se na decelerační zkoušky osobních automobilů a popište jejich význam
- Seznamte se se simulátory deceleračních zkoušek a proveďte jejich rešerši
- Navrhněte kabinu pro decelerační zkoušky na simulátoru
- Navrhněte úpravu kabiny automobilu Škoda Rapid pro simulátor
- Vhodným způsobem proveďte ověření deceleračního jevu pro navrhovaný simulátor

- Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: FIRST, J. : Zkoušení automobilů a motocyklů. 1. vydání. Praha : S&T CZ, 2008. 348 s. ISBN: 8025418502
- VLK, F. : Karoserie motorových vozidel. Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno 2001.
- KOVANDA, J. : Pasivní bezpečnost vozidel. 1. vydání. Praha : ČVUT, 2000. ISBN: 8001022358

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří First

Datum zadání diplomové práce:

26. června 2014

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

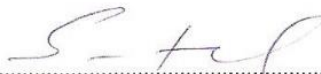
Datum odevzdání diplomové práce:

31. května 2015

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

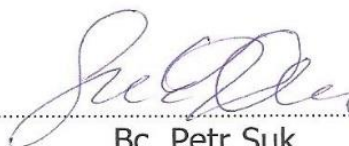


.....
doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků



.....
prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



.....
Bc. Petr Suk
jméno a podpis studenta

V Praze dne26. června 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 31.05.2015

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Jiřímu Firstovi a Ing. Josefu Míkovi za jejich odborné vedení, cenné rady a především trpělivost při zpracování tématu této diplomové práce.

Dále děkuji všem autorům zdrojů, ze kterých jsem čerpal a nacházel v nich zajímavé informace.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

KABINA SIMULÁTORU DECELERAČNÍCH ZKOUŠEK

Diplomová práce

Květen 2015

Bc. Petr Suk

Abstrakt

Hlavním tématem teoretické části diplomové práce jsou nárazové zkoušky silničních dopravních prostředků včetně legislativních předpisů a řešení simulátorů deceleračních zkoušek. Hlavním tématem praktické části je konstrukce modelu urychlovacího zařízení, který bude sloužit k simulování nárazových zkoušek, tzn. k simulování různých akcelerací a decelerací a ke zjišťování vlivu těchto účinků na bezpečnost posádky vozidla. Další součástí praktické části je měření na modelu urychlovacího zařízení a jejich vyhodnocování.

Klíčová slova: urychlovací zařízení, zrychlení, nárazové zkoušky, simulace

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

THE CABIN OF SIMULATOR'S DECELERATION TESTS

Master's thesis

Mai 2015

Bc. Petr Suk

Abstract

The main topic of theoretical part of this master's thesis are crash tests of road vehicles including legislative regulations and research of the simulator's deceleration tests. The main topic of practical part is construction of model of acceleration apparatus, which will serve on the transport faculty for the simulation of accelerations and decelerations and for the finding out of the influence of acceleration on the security of the vehicle's crew. Another topic of the practical part is measurement and evaluation of data on the model of simulator's deceleration tests.

Keywords: acceleration apparatus, acceleration, crash tests, simulations

Obsah

1 Úvod	9
2 Vymezení základních pojmů	10
3 Nárazové zkoušky vozidel.....	12
4 Legislativa.....	12
4.1 Předpisy zajišťující vnitřní pasivní bezpečnost cestujících EHK/OSN	13
4.1.1 Předpisy pro osobní vozidla	13
4.1.1.1 EHK/OSN č. 12 - Ochrana řidiče při nárazu na mechanismus řízení	13
4.1.1.2 EHK/OSN č. 14 - Kotevní úchyty bezpečnostních pásů.....	14
4.1.1.3 EHK/OSN č. 17 - Pevnost sedadel, úchyty a opěrek hlavy	15
4.1.1.4 EHK/OSN č. 21 - Vnitřní vybavení (výčnělky) vozidel	15
4.1.1.5 EHK/OSN č. 44 - Dětské zádržné systémy	16
4.1.1.6 EHK/OSN č. 16 - Bezpečnostní pásy	16
4.1.1.7 EHK/OSN č. 25 - Opěrky hlav	16
4.1.1.8 EHK/OSN č. 43 - Bezpečnostní skla a zasklívací materiály	17
4.1.2 Předpisy pro nákladní vozidla	17
4.1.2.1 EHK/OSN č. 29 - Pevnost kabin nákladních automobilů.....	17
4.1.3 Předpisy pro autobusy	18
4.1.3.1 EHK/OSN č. 66 - Pevnost karoserie autobusů.....	18
4.1.3.2 EHK/OSN č. 80 - Pevnost sedadel autobusů a jejich úchyty	19
4.2 Figuríny používané při nárazových zkouškách	20
4.2.1 Figurína Hybrid III	20
4.2.2 Figurína ES2.....	22
4.2.3 Figurína pro ověřování zůstatkového prostoru	24
5 Typy poranění související s ochranou cestujících při nárazu a kritéria jejich hodnocení....	25
5.1 Kritéria poranění.....	25
6 Typy nárazových a deceleračních zkoušek osobních automobilů	28
6.1 Čelní náraz (Frontal impact)	29
6.2 Boční náraz (Car to car side impact)	30
6.3 Boční náraz do sloupu (Pole side impact).....	31
7 Simulátory deceleračních zkoušek.....	33
8 Návrh modelu simulátoru deceleračních zkoušek a jeho konstrukce.....	35
8.1 Fyzikální veličiny potřebné pro vývoj simulátoru a veličiny použité při simulaci.....	35
8.2 Mechanika nárazu	38
8.2.1 Podmínky a rozdíly od reálných kolizí	38
8.2.2 Dynamika nárazu	39

8.2.3 Dynamika reálných kolizí	40
8.3 Dráha	42
8.4 Dynamická plošina	43
8.5 Upevnění kolejnic k podkladové desce	43
8.6 Akcelerace dynamické plošiny.....	44
8.7 Decelerace dynamické plošiny	45
9 Úprava kabiny modelu vozu Škoda Rapid pro simulátor	46
10 Upevnění kabiny na dynamickou plošinu	47
11 Simulace deceleračního jevu	48
11.1 Uspořádání měřicího pracoviště	48
11.2 Měřicí technika	49
11.3 Podmínky měření	49
11.4 Metodika zkoušky.....	49
11.4.1 Měření rychlosti.....	50
11.4.2 Měření zrychlení	50
11.5 Vyhodnocení měření č. 4.....	50
11.6 Vyhodnocení měření 1-3 a 5-9	54
11.6.1 Měření č. 1.....	55
11.6.2 Měření č. 2.....	56
11.6.3 Měření č. 3.....	57
11.6.4 Měření č. 5.....	58
11.6.5 Měření č. 6.....	59
11.6.6 Měření č. 7.....	60
11.6.7 Měření č. 8.....	61
11.6.8 Měření č. 9.....	62
12 Závěr	64
13 Použité zdroje	65
14 Seznam použitých zkratk a veličin	66
15 Seznam obrázků.....	67
16 Seznam tabulek	69
17 Seznam grafů	70
18 Seznam příloh.....	71

1 Úvod

Bezpečnost dopravy je vědní obor, kterému je v současnosti věnována velká pozornost. Posuzována je podle několika ukazatelů, jimiž jsou zejména:

- počet usmrcených účastníků dopravních nehod,
- závažnost poranění při dopravní nehodě,
- věcná škoda.

Podíl na dopravní nehodě je přisuzován několika subjektům dopravy. Těmi jsou dopravní infrastruktura, dopravní prostředek, systém řízení, osoby jako subjekty i objekty dopravní nehody.

V konstrukci dopravních prostředků jsou vyvíjeny a montovány prvky aktivní i pasivní bezpečnosti. Jejich účinnost je ověřována více způsoby. Nejúčinnější ověření poskytuje nárazová zkouška neboli crash test. Tato zkouška je velice nákladná a lze ji provést až na definitivním dopravním prostředku v konečné sériové podobě. Proto během vývoje prvků pasivní bezpečnosti je výhodné provádět některé dílčí zkoušky a ověření pomocí simulace dopravní nehody. K takové simulaci může posloužit zařízení, pomocí kterého lze vyvolat akcelerační a decelerační děj, podobný reálné dopravní nehodě.

V průběhu řešení projektu se změnila podmínka v tom smyslu, že nebylo možné řešení na reálných objektech. Jelikož na fakultě dopravní ČVUT nejsou dosud k dispozici prostory a prostředky pro realizaci projektu ve skutečné velikosti, je tato práce zaměřena na vývoj modelu urychlovacího zařízení v měřítku 1:18. Projekt simulační kabiny vozidla tak byl rozšířen o konstrukci a zhotovení modelu urychlovacího zařízení.

2 Vymezení základních pojmů

Automobil

Motorové vozidlo, které má 4 nebo více kol, obvykle používané pro

- dopravu osob a nákladu,
- tažení přípojných vozidel používaných pro dopravu osob nebo nákladů.

Dle vyhlášky MDCR č. 341/2002 Sb. jsou automobily charakterizovány kategoriemi M a N.

Urychlovací zařízení

Zařízení, které vede a urychluje vozidlo, jeho část, nebo mobilní bariéru na střetovou rychlost dle požadavků jednotlivých zkoušek.

Zrychlení

Zrychlení je definováno jako změna velikosti rychlostí dělená časem, který je potřeba k této změně. Značí se „ a “ a jednotkou je $[m/s^2]$.

Bezpečnost

Ochrana života, zdraví a majetku. Preferována je bezpečnost osob (zdraví, života) a teprve za ní bezpečnost majetku, zvěře atd.

Pasivní bezpečnost

Pasivní bezpečností rozumíme souhrn všech konstrukčních a výrobních opatření, jejichž hlavní funkcí je omezení možnosti poranění a ztrát na lidských životech, popř. i snížení hmotných ztrát, dojde-li k nehodě, ať již zaviněné lidským činitelem, vozovkou, či technickým stavem vozidla. (1)

Simulace

Zobrazení zkoumaného děje pomocí modelu nebo softwaru pracujícího s virtuální realitou. Simulace by měla věrně napodobit skutečný zkoumaný děj.

Kabina vozidla

Kabina vozidla je prostor vozidla určený k ovládní vozidla řidičem a k pobytu spolucestujících.

Nárazová zkouška – Crash test

Nárazová zkouška je bezpečnostní zkouška, při které se zkoumá vliv vnějších deformačních sil na karoserii vozidla a tím i na bezpečnost posádky vozidla.

Dopravní nehoda

Dopravní nehoda je událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu. (2)

Figurína

Trojdimenzionální maketa člověka, která by měla věrně napodobit chování lidského těla při působení vnějších sil.

Bariéra

Bariéra je nárazový modul, který věrně napodobuje kolizního partnera při dopravních nehodách např. příď vozidla, strom atd.

Bariéry se při zkouškách pasivní bezpečnosti dělí na tři základní typy. Pevné, pevné s deformačním blokem a mobilní.

3 Nárazové zkoušky vozidel

Již při samotné výrobě osobních automobilů je kladen velký důraz na bezpečnost posádky při vzniku dopravní nehody nebo jiné nechtěné události. Z toho důvodu jsou vozidla vybavována stále dokonalejšími prvky aktivní či pasivní bezpečnosti. Aby vozidla mohla vůbec přijít na trh, musí obstát v řadě zkušebních testů. Jedním z těchto testů je nárazová zkouška – crash test. Z naměřených dat je možné určit kritická místa automobilu, která nejvíce ohrožují život posádky vozidla. Organizací, které se nárazovými zkouškami zabývají, je celá řada, nejznámější jsou evropská organizace Euro NCAP, americká organizace NHTSA a australská ANCAP. Nárazové zkoušky se provádějí také u nákladních vozidel a autobusů. Proto, abychom nemuseli provádět crash testy, které jsou velice nákladnou záležitostí, lze tyto zkoušky modelovat v různých počítačových softwarech nebo pomocí urychlovacího zařízení.

4 Legislativa

Zákony zcela přesně stanovují standardy pasivní bezpečnosti vozidel. Legislativní ustanovení týkající se bezpečnosti vozidel se soustřeďují převážně na jejich konstrukci a funkčnost jejich zádržných systémů. Tyto zákony nalezneme v předpisech EHK – Evropské hospodářské komise. Kromě těchto standardizujících předpisů obsahují ustanovení i striktně danou zkušební metodiku, včetně podmínek pro provádění statických a dynamických nárazových zkoušek, které jsou vykonávány na předepsaných zkušebních zařízeních. Podmínkou pro realizaci těchto testů je i jejich umístění v mezinárodních certifikovaných homologovaných zkušebnách. Zkoušky mohou být prováděny na celém vozidle nebo pouze na konkrétní skupině bezpečnostních prvků. V případě, že výsledky testovaných zařízení budou v souladu s legislativou, obdrží Evropskou homologační značku. (1) (3)

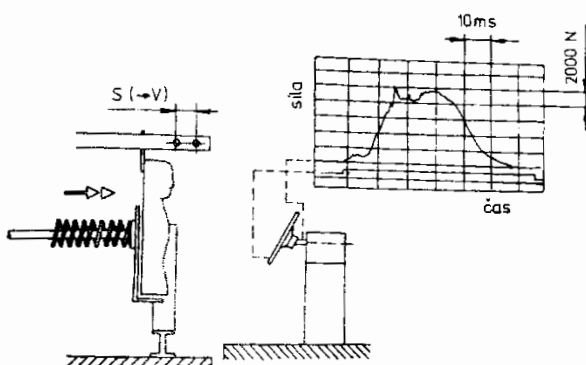
4.1 Předpisy zajišťující vnitřní pasivní bezpečnost cestujících EHK/OSN

4.1.1 Předpisy pro osobní vozidla

4.1.1.1 EHK/OSN č. 12 - Ochrana řidiče při nárazu na mechanismus řízení

Kritéria bezpečného řízení jsou uvedena v předpisu EHK-R 12, jenž blíže upřesňuje chování řídicího ústrojí osobních automobilů, je-li vystaveno dvěma druhům sil:

- a) Silám generovaným při čelním nárazu, jež mohou zapříčinit zpětný pohyb řídicího ústrojí.
- b) Silám vyvolaným setrvačností trupu řidiče ve chvíli na nárazu na volant (zkouška nárazem torza). 1. kritérium se posuzuje při bariérové zkoušce, kdy automobil o pohotovostní hmotnosti, bez modelu torza narazí na betonovou bariéru rychlostí 48,3 km/h a zkoumá se zpětný vodorovný posuv horního konce sloupku řízení vůči podélné ose vozidla, tj. proti potencionálnímu řidiči. Tento posuv nesmí přesáhnout 127 mm. Při zkoušce nárazem torza je specifická část trupu figuríny naražena na volant rychlostí 24,1 km/h a síla působící na figurínu nesmí přesáhnout 11,1 kN. (1) (3)



Obr. 1 - Schéma zkoušky nárazem torza podle předpisu EHK – R 12. (1)

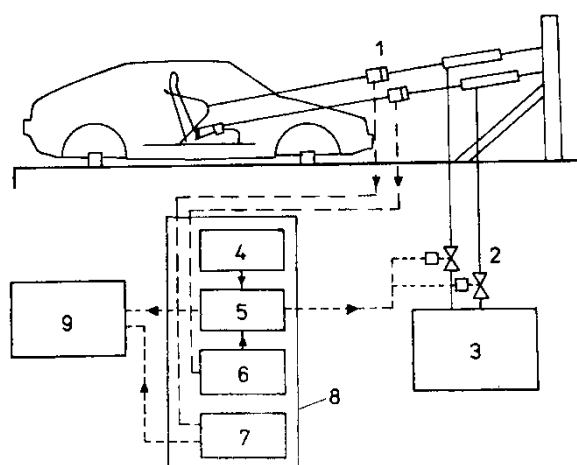
Kritéria a hodnocení ochrany řidiče při nárazu na mechanismus řízení jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 - Limitní hodnoty při zkoušce nárazu na mechanismus řízení. (1)

	Zkušební rychlost	Horizontálně	Vertikálně	Síla	Zpomalení po dobu 3 ms	Zpomalení max.
	[km.h ⁻¹]	[mm]	[mm]	[N]	[g]	[g]
Výchylka sloupku řízení - náraz na bariéru	48,3	< 127	< 127		-	-
Síla v torzu těla	24,1	-	-	11,1	-	-
Zpomalení v nárazové hlavici	24,1	-	-		80	120

4.1.1.2 EHK/OSN č. 14 - Kotevní úchyty bezpečnostních pásů

Podmínky pro kontrolu zakotvení bezpečnostních pásů shrnuje předpis EHK-R 14, včetně kontroly umístění a odolnosti upevňovacích míst, a podmínek pro zkušební zařízení. Nad vodorovnou rovinou působí tažná síla pod úhlem $10 \pm 5^\circ$ a v co nejkratším čase dojde ke zkušebnímu zatížení, jemuž musí upevnění bezpečnostních pásů odolat nejméně po dobu 0,2 s. Podmínkou zkoušky je i umístění sedadel do nejzadnější polohy a upevňovací místa stejné skupiny sedadel se musí zkoušet současně. Pásky jsou rovněž zatíženy figurínou, blíže specifikovanou předpisy. Dvoubodový břišní pás s upevněním na podlaze se zkouší zatížením silou $22,3 \pm 0,2$ kN. Tříbodový pás se dvěma upevňovacími místy na podlaze a jedním bočním se zatěžuje silou $13,5 \pm 0,2$ kN na každou část pásu tj. břišní a ramenní. Při doplňkové zkoušce se zatěžuje diagonální hrudní pás silou $22,5 \pm 0,2$ kN. (1) (3)

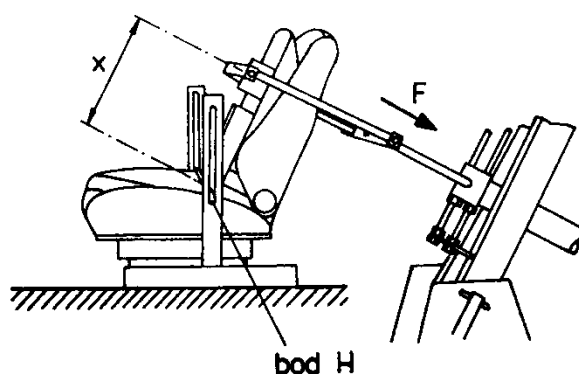


Obr. 2 - Schéma zkušebního stavu pro kontrolu zakotvení bezpečnostních pásů podle předpisu EHK – R 14. (1)

Bezpečnostní pásy a jejich upevnění vyhovují v případě, že jsou rezistentní vůči vyvolaným zatěžovacím silám při zkoušce, popřípadě pokud dojde k jejich poškození až po stanovené zkušební době. (1)

4.1.1.3 EHK/OSN č. 17 - Pevnost sedadel, úchytnů a opěrek hlavy

Předpis EHK-R 17 stanovuje podmínky pevnosti sedadel a jejich ukotvení do podlahy. Ústrojí pro úhlové nastavení opěradla je kontrolováno pomocí zkušební figuríny zatěžováním momentem 530 Nm vůči H - bodu. Další statické zkoušky testují seřizování a blokovací mechanismus sedadel v podélném směru včetně pevnosti kostry vlastního sedadla, jež je zatěžována v těžišti celého sedadla dvacetinásobkem jeho váhy. Tyto testy obsahují i výpočty kontrolující seřizovací a blokovací mechanismus proti samovolnému odjištění při působení přetížení 20 g. (1) (3)



Obr. č. 3 - Stav pro zkoušky sedadel podle předpisu EHK – R 17. (1)

4.1.1.4 EHK/OSN č. 21 - Vnitřní vybavení (výčnělky) vozidel

Předpis EHK-R 21 se týká vnitřního vybavení vozidla a uspořádání ovládacích orgánů, střechy, opěradel a zadní části opěradel. Předpis určuje tzv. referenční oblast nárazu hlavy, včetně všech nezasklených ploch interiéru vozidla, jež mohou přijít do styku s maketou hlavy o průměru 165 mm, která je součástí zkušebního zařízení. Veškeré výčnělky nacházející se v přední části prostoru pro cestující včetně referenční oblasti musí být předpisově zaobleny. Výčnělky musí být zatlačeny do

základové desky nebo odděleny a nesmějí mít žádné ostré hrany a jiné nebezpečné výčnělky. Testuje se i míra vstřebávané energie přístrojovou deskou v oblastech možného nárazu hlavy cestujících v přední části vozidla a částmi opěradel předních sedadel, jež jsou v oblasti nárazu hlavy cestujících v zadní části vozu. Tento test se dělá stejně jako test opěrek hlavy, tedy že kulová hlavice zkušebního zařízení narazí do opěradla rychlostí 24,1 km/h a její přetížení nesmí přesáhnout 80 g spojitě po dobu maximálně 3 ms. (1) (3)

4.1.1.5 EHK/OSN č. 44 - Dětské zadržné systémy

Předpis EHK-R 44 shrnuje podmínky pro montáž zadržovacích systémů pro děti. Vlivy zařízení na dětský organismus se testují zkušebními figurínami, jež simulují děti ve věku 9 měsíců, 3, 6 a 10 let. (1)

4.1.1.6 EHK/OSN č. 16 - Bezpečnostní pásy

Předpis EHK-R 16 určuje homologační standarty bezpečnostních pásů pro dospělé osoby. Testují se všechny části pásů, tj. uzavírací přezka, seřizovací zařízení, přípevňovací kování, popř. další části a vlastní popruhy. U pevných částí se testuje statická pevnost v tahu, spolehlivost a rezistence vůči atmosférickým vlivům. Podmínky statických zkoušek v tahu musí splňovat i popruhy a zároveň odolávat světlu, chladu, teple a účinkům vody. Celý mechanismus bezpečnostního pásu podléhá i dynamickým zkouškám, kdy je zkušební vozík s připoutanou figurínou zabrzděn z rychlosti 50 km/h nárazem tak, aby brzdná dráha vozíku byla 400 ± 50 mm. (1) (3)

4.1.1.7 EHK/OSN č. 25 - Opěrky hlav

Předpis EHK-R 25 shrnuje zásady pro pevnost a geometrii opěrek hlavy a je spjatý se zkouškou sedadel. Tyto zásady se týkají všech opěrek, ať jsou trvalou součástí sedadel nebo odnímatelnou. Testuje se velikost a poloha opěrky ve vztahu k H -

bodů. Provádí se statická zkouška, při které na opěrku účinkuje přes kulovou hlavici přípravku moment 374 Nm k bodu H, kdy deformace nesmí překročit 102 mm. Zátěž se zvyšuje dokud nedosáhne síly 885 N. Nejenže se opěrka nesmí poškodit ale zároveň se kontroluje absorpce nárazové energie, kdy kulovitá hlavice kyvadla nebo jiného zařízení narazí do opěrky v dosedací ploše rychlostí 24,1 km/h a je zaznamenán průběh zpoždění na kulové hlavici, jejichž maximální hodnota může být 80 g po dobu 3 ms. (1) (3)

4.1.1.8 EHK/OSN č. 43 - Bezpečnostní skla a zasklívací materiály

Předpis EHK-R 43 stanovuje podmínky pro zkoušení tříštivosti, mechanické pevnosti, odolnosti vůči prostředí, optické vlastnosti a odolnost vůči ohni pro vozidlová skla. (1)

pozn.: EHK/OSN č. 94 a č. 95 - Ochrana proti čelnímu (bočnímu) nárazu jsou podrobně popsány v kapitole č. 6 - Typy nárazových a deceleračních zkoušek osobních automobilů

4.1.2 Předpisy pro nákladní vozidla

4.1.2.1 EHK/OSN č. 29 - Pevnost kabin nákladních automobilů

Předpis EHK-R 29 stanovuje podmínky pro pevnost budek nákladních automobilů o celkové hmotnosti větší než 7000 kg.

Zkouší se

- a) odolnost proti čelnímu nárazu (zavěšené kyvadlo narazí na přední spodní část budky momentem 44 kNm),
- b) odolnost střechy při převrácení (střecha budky je zatížena rovnoměrně rozloženým statickým zatížením, které odpovídá polovině maximální tíhy vozidla, nejvýše však 98,1 kN),

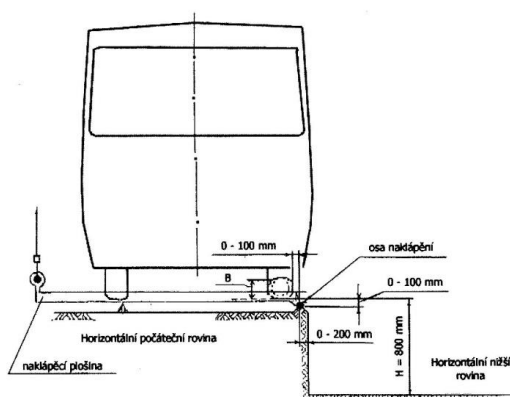
- c) odolnost zadní stěny budky proti posunutí nákladu (zadní stěna je zatížena rovnoměrně rozloženým tlakem – vodorovně a rovnoběžně k střední podélné rovině vozidla, a to 1,96 kN na 1 tunu užitečné hmotnosti).

Při zkouškách a) a c) je kabina připevněna k celému vozidlu; zkouška b) může být provedena také na odděleném rámu; vozidlo a rám musí být při zkoušce upevněny. Kabina řidiče se během zkoušek nesmí oddělit od podvozku a nesmí dojít k otevření žádných dveří. Po zkoušce musí budka zaručovat prostor pro přežití, který se měří 50 % figurínou (definovaná v kapitole 4.2.3). Při zaměření odpovídá bod H bodu R. (1) (3)

4.1.3 Předpisy pro autobusy

4.1.3.1 EHK/OSN č. 66 - Pevnost karoserie autobusů

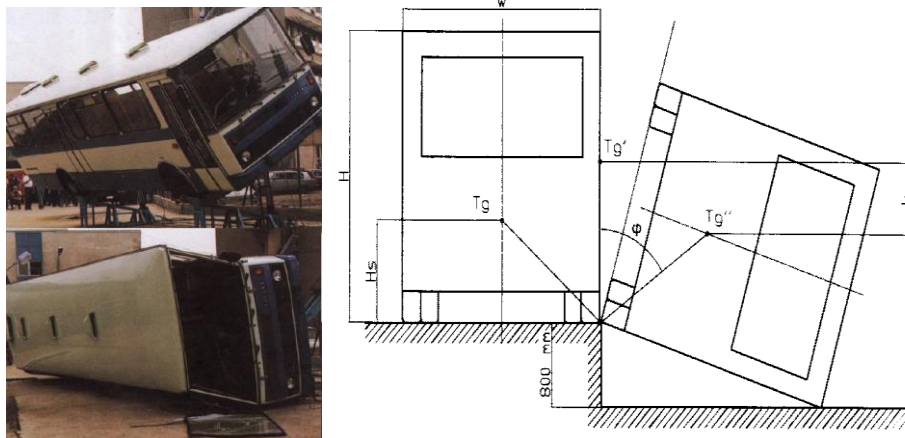
Princip této zkoušky spočívá v zachování prostoru pro cestující při převrácení autobusu z rampy o výšce 0,8 m na betonový podklad.



Obr. 4 – Měřící místo pro zkoušku pevnosti karoserie autobusů. (3)

Pro ověření pevnosti karoserie se používají tyto způsoby:

Převrácení kompletního vozidla - v tomto typu zkoušky dojde k převrácení celého vozidla z výšky 800 mm na pevný podklad, jedná se o metodu nejpřesnější ale zároveň o metodu nejnákladnější. (4)



Obr. 5 – Převrácení autobusu Karosa (vlevo). (5),
 Obr. 6 – Schéma zkoušky pevnosti karoserie autobusu převrácením (vpravo). (3)

Mezi další způsoby ověření pevnosti karoserie autobusu patří převrácení části (segmentu) karoserie nebo náraz kyvadla do části karoserie.

Po převrácení či nárazu kyvadla jsou sledovány zejména zůstatkové prostory pro cestující a je vypočítána energie absorbovaná karoserií. Zůstatkový prostor pro cestující je taková část vozidla, která po nehodě zůstane nedotčena. (3) (4)

4.1.3.2 EHK/OSN č. 80 - Pevnost sedadel autobusů a jejich úchyty

Městské autobusy - zde je pouze požadována zkouška pevnosti uchycení sedadla do vozidla dle EHK-R 17. (4)

Meziměstské autobusy - pro autobusy se stojícími cestujícími je požadována zkouška dle EHK-R 80. Předpis EHK-R 80 stanovuje podmínky pro rozměry sedadel a vzdálenosti mezi nimi. Jedná se o posouzení následků nárazu cestujícího do sedadla před ním při čelním nárazu. Zkoumá se zde pohlcování energie při nárazu impaktoru hlavy do sedadla, dále tuhost opěry při silovém působení zezadu ve dvou výškových úrovních H_1 a H_2 , kdy v každé výškové úrovni je definována minimální a maximální deformace. Výšková úroveň H_1 se nachází 0,7-0,8 m nad rovinou procházející referenčním bodem „R“ a výšková úroveň H_2 0,45-0,55 nad referenční rovinou. (4)

Dálkové autobusy - kromě EHK-R 80 je u tohoto druhu autobusů dále předepsána zkouška pevnosti úchyty bezpečnostních pasů dle EHK-R 14. (4)

4.2 Figuríny používané při nárazových zkouškách

Při různých nárazových zkouškách se užívají i různé zkušební figuríny. Je to z toho důvodu, že každá zkušební figurína je vybavena jinými snímači, umístěnými na jiných místech dle požadavků zkoušky.

Figuríny používané při čelních nárazových zkouškách

- Hybrid III 5th
- **Hybrid III 50th**
- Hybrid III 95th
- Hybrid II 50th
- TNO-10

Figuríny používané při bočních nárazových zkouškách

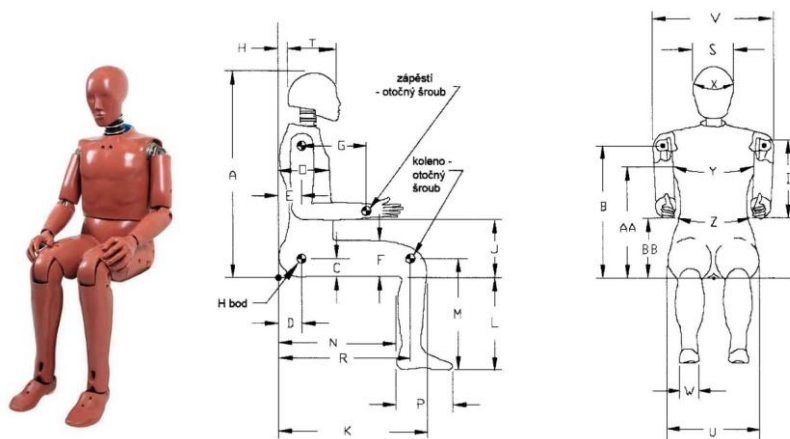
- SID-lis
- **ES-2**
- ES-2re
- WorldSID 5th
- WorldSID 50th
- SID-H3

Nejčastěji využívanými jsou figuríny Hybrid III, EuroSid 2 a figurína pro ověřování zůstatkového prostoru.

4.2.1 Figurína Hybrid III

Figurína Hybrid III je při zkouškách pasivní bezpečnosti nejčastěji využívaná při čelním nárazu (dle EHK č. 94). Figurína představuje dospělého muže proporčně

odpovídající 50 % populace a o hmotnosti $77,7 \pm 1,2$ kg. Zobrazení a schéma figuríny je na obrázku 7.



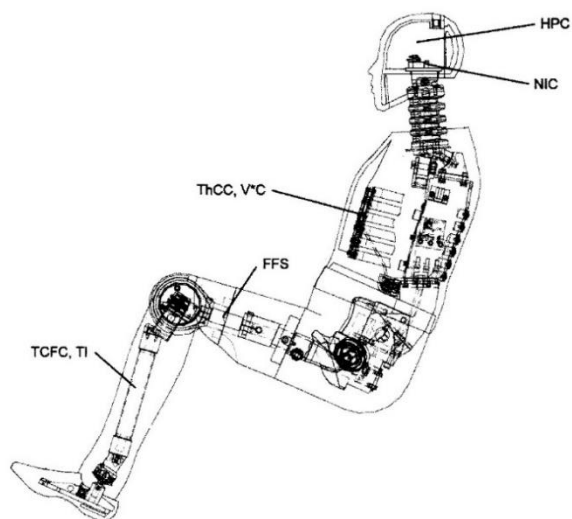
Obr. 7 - Zkušební figurína Hybrid III. (3)

Výčet základních rozměru figuríny Hybrid III je v následující tabulce.

Tab. 2 – Základní rozměry figuríny Hybrid III. (3)

Označení	Popis	Rozměr [mm]
A	Výška figuríny v sedu	884
C	Sedadlo - bod H	86
D	Bod H - Záda	137
K	Délka stehna	592
M	Výška kolene	493
S	Šířka hlavy	155
T	Hloubka hlavy	193
X	Obvod hlavy	572

Hybrid III je vybaven velkým počtem snímačů, které snímají zrychlení, rychlost, síly a jejich momenty, posunutí, zatížení. (6) (1) (3) Umístění snímačů je patrné z obrázku 8.

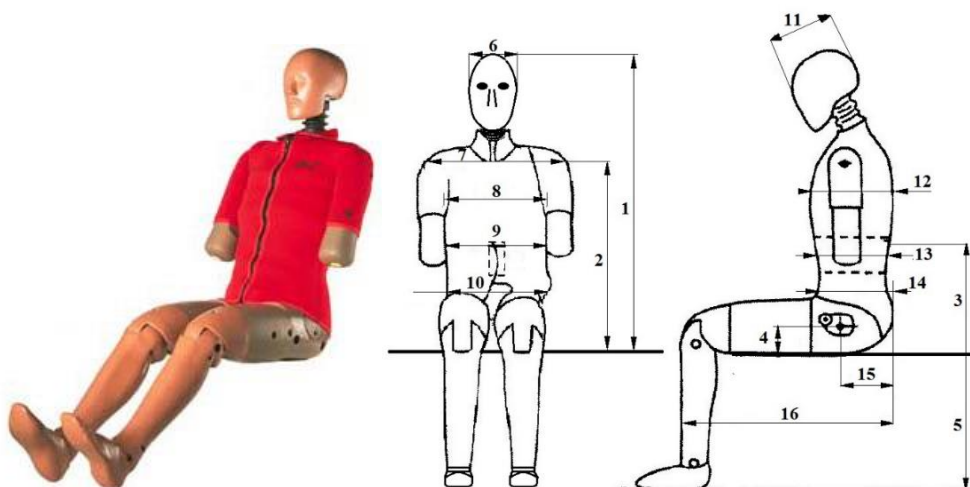


Obr. 8 – Umístění snímačů ve figuríně Hybrid III. (1)

Popis obrázku 8: HPC - kritérium poranění hlavy, NIC - kritérium poranění krku, ThCC - kritérium stlačení hrudníku, V*C - kritérium viskozity pro hrudník, FFS - kritérium poranění stehenní kosti, TCFC - kritérium poranění holenní kosti ohybem, TI - index holenní kosti

4.2.2 Figurína ES2

Figurína EuroSid 2 našla své uplatnění především u bočních nárazových zkoušek. Představuje dospělého muže 50 % velikosti a hmotnosti populace. Je bez spodní části paží. Váží $72 \pm 1,2$ kg. (7)

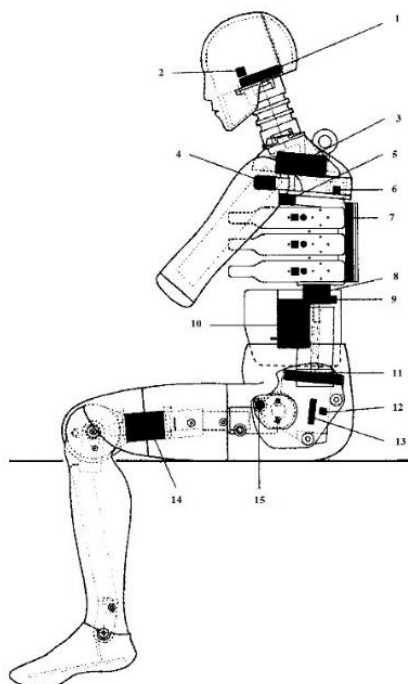


Obr. 9 - Zkušební figurína EuroSid 2. (1)

V důsledku toho, že figurína EuroSid 2 se převážně používá pro zkoušky bočním nárazem, má některé snímače jiné a jsou na jiných místech. Rozměry figuríny jsou v tabulce 3 a polohy snímačů jsou vidět na následujícím obrázku.

Tab. 3 – Rozměry figuríny ES 2. (3)

Označení	Popis	Rozměr[mm]
1	Výška figuríny v sedu	909 ± 9
2	Sedadlo - ramenní kloub	565 ± 7
3	Sedadlo - spodní hrudní páteře	351 ± 5
4	Sedadlo - bod H	100 ± 3
5	Sedadlo - chodidlo	442 ± 9
6	Šířka hlavy	155 ± 3
7	Šířka ramen	470 ± 9
8	Šířka hrudního koše	327 ± 5
9	Šířka v oblasti břicha	280 ± 7
10	Šířka pánve	366 ± 7
11	Hloubka hlavy	201 ± 5
12	Hloubka hrudníku	267 ± 5
13	Hloubka břicha	199 ± 5
14	Hloubka pánve	240 ± 5
15	Bod H - Záda	155 ± 5
16	Holeň - záda	606 ± 9

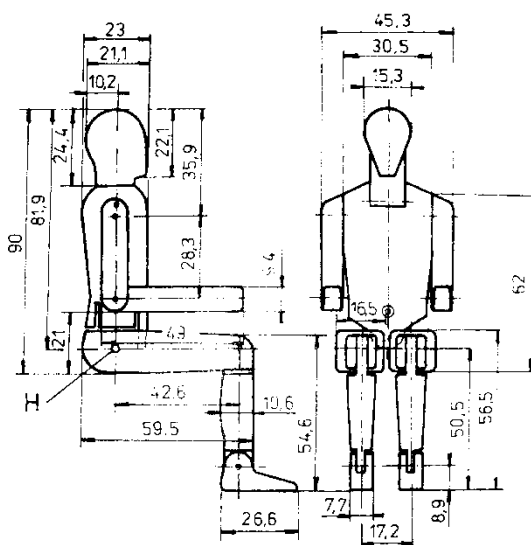


Obr. 10 - Umístění snímačů ve figuríně EuroSid 2. (3)

Popis obrázku 10: 1 – siloměr ve spojení krční páteř – hlava, 2 – snímač zrychlení hlavy, 3 – siloměr ve spodní části krční páteře, 4 – siloměr v klíční kosti, 5 – náklonové čidlo v hrudníku, 6 – snímač zrychlení v horní části páteře, 7 – deskový siloměr v oblasti zad, 8 – siloměr v obratli T12, 9 – snímač zrychlení ve spodní části páteře, 10 – snímač zatížení břicha, 11 – siloměr ve spodní části bederní páteře, 12 – snímač zrychlení pánve, 13 – náklonové čidlo pánve, 14 – siloměr stehenní kosti, 15 – snímač zatížení stydké spony

4.2.3 Figurína pro ověřování zůstatkového prostoru

Tato figurína se používá při zkouškách pevnosti kabin vozidel typu N, odpovídá svými rozměry 50 % mužské populace a je vyrobena z pěnového polystyrénu o hustotě $0,0169 \text{ g.cm}^{-3}$. Při ověřování zůstatkového prostoru po nárazové zkoušce je možné do tohoto prostoru figurínu umísťovat složenou nebo po částech a skládat ji až uvnitř prostoru pro přežití. (3) (1)



Obr. 11 – Schéma figuríny pro ověřování zůstatkového prostoru. (3)

5 Typy poranění související s ochranou cestujících při nárazu a kritéria jejich hodnocení

K poranění může při nárazu dojít těmito třemi způsoby:

- stlačením (Compression) – kdy na organismus působí statická síla,
- impulsem (Impulse) – kdy se v těle vlivem dynamických sil šíří tzv. tlakové vlny,
- setrvačností (Inertia) – kdy vlivem dynamických sil dochází ke chvění organismu a tím pádem k pohybu orgánů. (1) (3)

5.1 Kritéria poranění

1. Kritérium poranění hlavy *HPC*

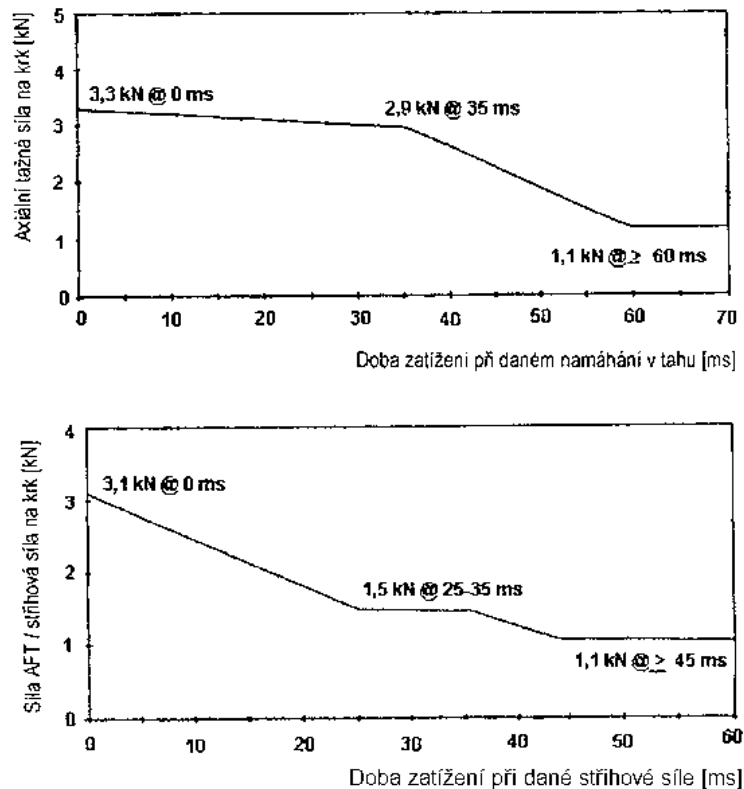
$$HPC = (t_2 - t_1) \cdot \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{-2,5}$$

kde t_1 a t_2 jsou časové okamžiky v průběhu nárazu, určující počátek a konec intervalu, pro nějž je hodnota HPC nejvyšší a a je výsledné zrychlení [g].

Pro tvrdý náraz se uvažuje $t_2 - t_1 = 15$ ms (HPC_{15}) a limitní hodnota HPC je 1000. Při měkkém nárazu se uvažuje $t_2 - t_1 = 36$ ms (HPC_{36}) a limitní hodnota HPC je také 1000. (3)

2. Kritérium poranění krku *NIC*

Zkoumá se v tahu a stříhu a nesmí přesáhnout hodnoty vymezené dle obrázku 12.



Obr. 12 – Limitní hodnoty pro NIC (3)

Dále se měří ohybový moment krku, který nesmí překročit 57 Nm.

3. Kritéria poranění hrudníku

- kritérium komprese hrudníku $ThCC$ [mm]

$$ThCC < 50 \text{ mm}$$

- kritérium viskozity pro hrudník $V * C$ [$m \cdot s^{-1}$]

$$V * C = 1,3 * (V_{(t)}C_{(t)})_{max}$$

$$V_{(t)} = \frac{8(D_{(t+1)} - D_{(t-1)}) - (D_{(t+2)} - D_{(t-2)})}{12\delta t}$$

$$C_{(t)} = \frac{D_{(t)}}{0,229}$$

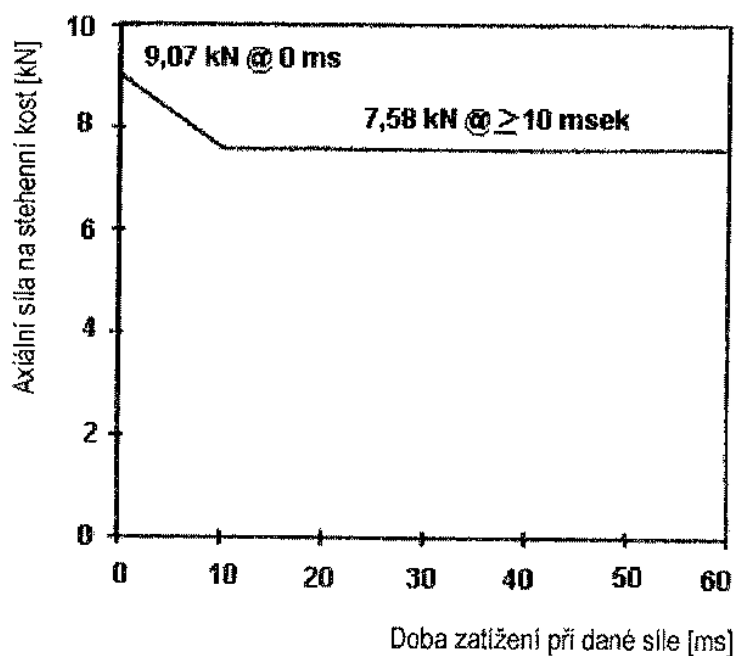
kde $D_{(t)}$ je prohnutí hrudníku v čase t [m], δt je časový interval, jehož maximální hodnota je $1,25 \cdot 10^{-4} s$. $V * C < 1 m \cdot s^{-1}$.

4. Kritérium deformace žeber *RDC*

$$RDC < 42 \text{ mm}$$

5. Kritérium poranění holenní kosti *FFC*

Nesmí přesáhnout hodnoty vymezené dle obrázku 13.



Obr. 13 – Limitní hodnoty poranění FFC (3)

6. Kritérium *TCFC*

$$TCFC < 8 \text{ kN}$$

7. Kritérium *TI*

$$TI = \left[\frac{M_R}{(M_C)_R} \right] + \left[\frac{F_Z}{(F_C)_Z} \right]$$

$$M_R = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2}$$

$M_{x,y}$ jsou ohybové momenty kolem osy x, y, $(M_c)_R$ je kritický ohybový moment (225 Nm), F_z je kompresní axiální síla ve směru osy z [kN] a $(F_c)_z$ je kritická kompresní síla ve směru osy z (39,5 kN). (3)

8. Kritérium poranění pánve silou na stydkou kost *PSPF*

$$PSPF < 6 \text{ kN}$$

9. Kritérium poranění břicha silou *APF*

$$APF < 2,5 \text{ kN}$$

6 Typy nárazových a deceleračních zkoušek osobních automobilů

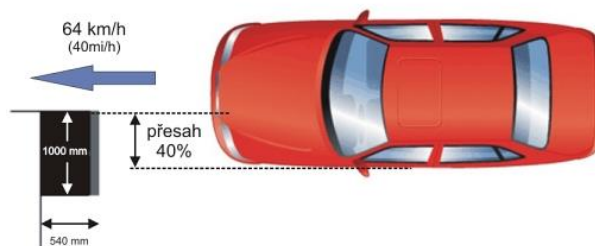
Jak již bylo zmíněno, nárazovými zkouškami se zabývá více organizací. Každá organizace provádí zkoušky s jinými parametry, tzn. s jinou nárazovou rychlostí, jiným offsetem atd. Uvedené nárazové zkoušky jsou dle evropské organizace Euro NCAP, která své testy provádí pomocí 4 figurín: 2 dospělí vpředu a 2 děti vzadu. Nárazové zkoušky zahrnují tři typy nárazů. Čelní a boční náraz a boční náraz do sloupu.

Před samotnými testy je třeba udělat následující opatření:

- Vypustit palivovou nádrž i palivové soustavy a nádrž naplnit vodou.
- Pneumatiky nahustit na poloviční zatížení dle technických parametrů vozidla.
- Zkontrolovat funkčnost autobaterie a s tím spojenou funkčnost airbagů.
- Zkontrolovat hmotnost a rozměry vozidla, světlé výšky u jednotlivých kol.
- Dveře vozidla nesmí být uzamčeny.

6.1 Čelní náraz (Frontal impact)

Tato zkouška podléhá předpisu EHK/OSN č. 94 a jedná se o druh zkoušky simulující čelní střet dvou vozidel jedoucích 55 km/h.



Obr. 14 – Schéma čelního nárazu s offsetem 40%. (8)

Vozidlo je urychleno na rychlost 64 km/h a nasměrováno na deformovatelnou kovovou bariéru. Na bariéru vozidlo naráží se 40 % offsetem a to z toho důvodu, aby byla věrně napodobena reálná dopravní nehoda, při které nedochází ke střetu celou plochou předě, ale

pouze s částečným překrytím. Na vozidlo, nejméně 5 metrů před střetem s bariérou, nesmí působit žádná vnější síla. Deformovatelná bariéra se skládá ze dvou částí - hlavní voštinové a nárazníkové části. Při této zkoušce se používá bariéra o rozměrech 1000 mm x 540 mm. (8) (9)



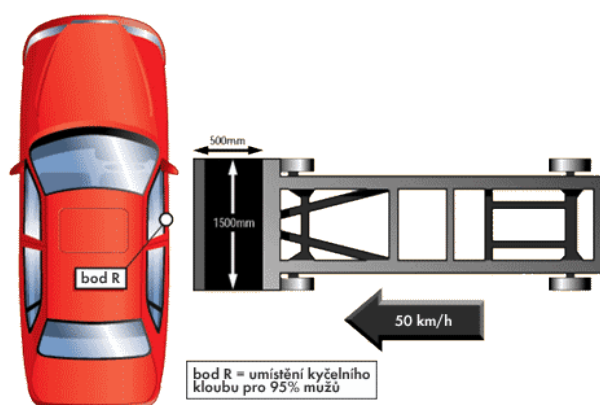
Obr. 15 – Čelní nárazová zkouška s offsetem 40 %. (10)

U čelní nárazové zkoušky se hodnotí

- kritérium poranění hlavy (HPC),
- kritérium poranění krku (NIC),
- ohybový moment krku okolo osy y,
- kritérium stlačení hrudníku (ThCC),
- kritérium viskozity pro hrudník (V^*C),
- kritérium poranění stehenní kosti (FFC),
- kritérium poranění holenní kosti na ohyb (TCFC),
- index holenní kosti (TI),
- posun volantu,
- únik kapalného paliva. (3)

6.2 Boční náraz (Car to car side impact)

Tato nárazová zkouška se řídí předpisem EHK/OSN č. 95 a spočívá v nárazu mobilní bariéry do boku stojícího vozidla, což simuluje boční náraz jiným vozidlem.



Obr. 16 – Schéma boční nárazové zkoušky mobilní bariérou. (8)

Nárazová zkouška se provádí při nárazové rychlosti 50 ± 1 km/h. Mobilní bariéra o hmotnosti 950 ± 20 kg je na vozidlo nasměrována tak, aby její střed směřoval do bodu „R“, tedy do místa, kde se nachází kyčelní kloub sedícího pasažéra (určeno dle ISO 6549). Dle statistik se nachází v bodě „R“ kyčelní kloub u 95 % cestujících.

Mobilní bariéra má rozchod kol 1500 ± 10 mm, rozvor 3000 ± 10 mm a deformační blok umístěný na konci mobilní bariéry má rozměry 1500 mm x 500 mm. (8) (9)



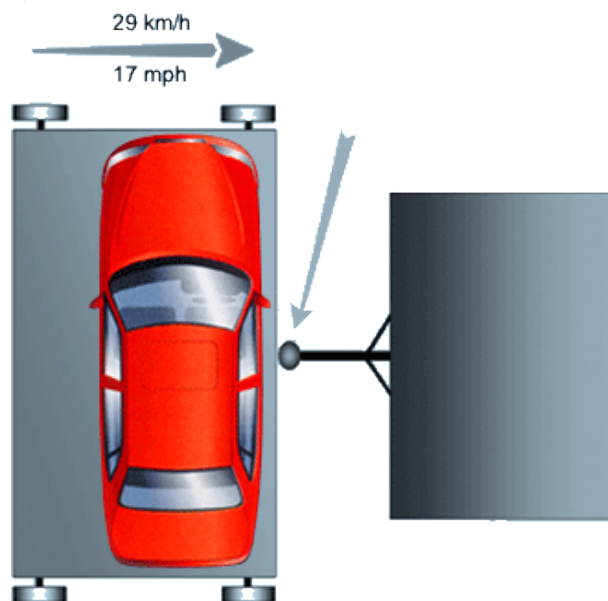
Obr. 17 – Boční nárazová zkouška mobilní bariérou. (11)

U boční nárazové zkoušky se hodnotí

- kritérium poranění hlavy (HPC),
- deformace žeber (RDC),
- viskozita měkké struktury (VC),
- kritérium poranění pánve (PSPF),
- kritérium poranění břicha (APF),
- vznik nebezpečných výčnělků a hran,
- únik kapalného paliva.

6.3 Boční náraz do sloupu (Pole side impact)

Střety vozidel se stromy a objekty jim podobným podél komunikace jsou považovány za nejvíce nebezpečné. V porovnání s jinými mají tyto nehody většinou katastrofické následky. Při této nárazové zkoušce dochází ke střetu boku vozidla se sloupkem, který plní funkci stromu a objektům jemu podobným.



Obr. 18 – Schéma boční nárazové zkoušky do sloupu. (12)

Vozidlo je umístěné na plošině, která se pohybuje rychlostí $29 \pm 0,5$ km/h pod úhlem 90° proti sloupu. Na tuto rychlost, dle legislativních předpisů, je plošina urychlena se zrychlením $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Aby nedocházelo ke tření mezi pneumatiky a plošinou, jsou mezi nimi umístěny podložky vyrobené z teflonu. (8) (9)



Obr. 19 – Boční nárazová zkouška do sloupu. (11)

7 Simulátory deceleračních zkoušek

Abychom se vyhnuli náročným a drahým crash testům, lze zkoušet vozidla, nebo jejich komponenty pomocí simulátorů deceleračních zkoušek. Jedná se o „vozik“, který má své vlastní poháněcí a brzdové ústrojí a pohybuje se po předem definované trase. Na vozík lze umisťovat celá vozidla, jejich výřezy, nebo jejich komponenty např. sedadla, mechanismus řízení aj. Těmito testy lze zkoušet prvky pasivní bezpečnosti. Dále lze pomocí deceleračního zařízení simulovat prudké rozjíždění, brždění a zkoumat pomocí měřicí techniky vliv těchto jevů na posádku vozidla.

Společností, které využívají k testování vozidel urychlovací zařízení, je v České Republice celá řada. Nejznámějšími společnostmi jsou DEKRA Automobile a.s., TÜV SÜD Czech s. r. o a Ústřední automotoklub ČR.

Nutno zmínit, že na fakultě dopravní ČVUT v Praze se taktéž pracuje na vývoji tohoto zařízení.

Zkušebny TÜV SÜD Czech s. r. o

V těchto zkušebnách se provádí široká škála homologačních testů, jako jsou nárazové zkoušky, saňové zkoušky a pevnostní zkoušky. V laboratořích nárazových zkoušek se provádí čelní, boční, zadní a šikmý náraz, vše podle globálních norem a dle postupů EuroNCAP a RCAR. V laboratoři se nachází klimatizovaná zkušební dráha dlouhá 100 m, na které je možné vyvinout rychlost až 80 km/h. Co se týče saňových zkoušek, zde se provádějí zkoušky automobilových karoserií a specifických dílů, dětských zádržných systémů a dalších. V laboratoři pro saňové zkoušky lze dosáhnout maximálního zpomalení 50 g. V laboratořích pro pevnostní zkoušky se provádí zkoušení míst ukotvení bezpečnostních pasů, sedadel a hlavových opěrek, vnitřního vybavení, nárazu makety trupu na volant, ochrany proti podjetí, nárazníků, dveřních zámku, západek a jiných.

Stanice jsou vybaveny měřicí technikou pro měření rychlosti a zrychlení resp. zpomalení. Na obrázku 20 je vidět urychlovací vozík s celým skeletem vozidla ve zkušebně. (13)



Obr. 20 – Urychlovací vozík se skeletem vozidla. (13)

ÚAMK ČR

Tento simulátor je uzpůsoben pro jednoduché přemísťování. Celé zařízení je namontované na dvounápravovém podvozku přívěsného vozíku za automobil. Ustavení do pracovní polohy je zajištěno dvěma vysouvateľnými podpěrnými sloupy. Pro svoji činnost potřebuje přívod napětí 220 V, který napájí elektromotor sloužící k vytažení pohyblivé části vozíku vážícího 300 kg do horní polohy, ve které je ukázána na obrázku 21. (14)



Obr. 21 – Simulátor nárazu ÚAMK. (14)

8 Návrh modelu simulátoru deceleračních zkoušek a jeho konstrukce

Hlavní předpoklady

Je třeba navrhnout model tak, aby co nejpřesněji napodobil chování reálného urychlovacího zařízení. To znamená, aby bylo možno regulovat rychlost a zrychlení zkoumaného objektu, regulovat tvrdost nárazu (regulace útlumu). Rovněž je třeba zamezit nechtěnému pohybu zkoumaného objektu ve všech třech osách a tím docílit přesného vedení. Model simulátoru je opatřen měřicí technikou (akcelerometrem pro měření zrychlení resp. zpomalení), vysokorychlostní kamerou, kterou bude možné stanovit rychlost těsně před simulovaným nárazovým dějem.

8.1 Fyzikální veličiny potřebné pro vývoj simulátoru a veličiny použité při simulaci

Hmotnost m

Hmotnost je vlastnost hmoty, která vyjadřuje míru setrvačných účinků či míru gravitačních účinků hmoty. Tato ekvivalence setrvačných a gravitačních sil je postulována obecnou teorií relativity a je s velkou přesností experimentálně ověřena. (15)

Základní jednotkou je kilogram [kg].

Rychlost v

Rychlost je fyzikální veličina, která nám udává, jak se mění poloha tělesa v čase. Je definována vztahem

$$v = \frac{s}{t}$$

kde s [m] je dráha a t [s] je čas.

a zároveň platí, že rychlost je 1. derivace polohy podle času.

$$v = \frac{ds}{dt}$$

Základní jednotkou rychlosti je $m \cdot s^{-1}$.

Zrychlení a

Zrychlení resp. zpomalení je definováno jako 1. derivace rychlosti podle času

$$a = \frac{dv}{dt}$$

kde Δv [m/s] je rozdíl rychlostí a t [s] je čas.

Základní jednotkou zrychlení je $m \cdot s^{-2}$.

Kinetická energie E_K

Kinetická energie je skalární veličina, charakterizující stav tělesa vzhledem ke zvolené inerciální vztažné soustavě.

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2$$

kde m je hmotnost tělesa a v je rychlost tělesa.

Jednotkou kinetické energie je joule J .

Síla F

Dle 2. Newtonova zákona je dána vztahem

$$F = m \cdot a$$

kde m je hmotnost tělesa a a je zrychlení tělesa.

Jednotkou síly je N

Tuhost c

Tuhost pružiny je definována vztahem

$$c = \frac{F}{\Delta l}$$

kde F [N] je velikost síly působící na těleso a Δl je rozdíl délek před stlačením a po stlačení.

Jednotkou tuhosti je $N \cdot m^{-1}$.

Útlum b

Útlum je definován jako podíl dvou po sobě následujících výchylek tlumeného kmitání za dobu jedné periody

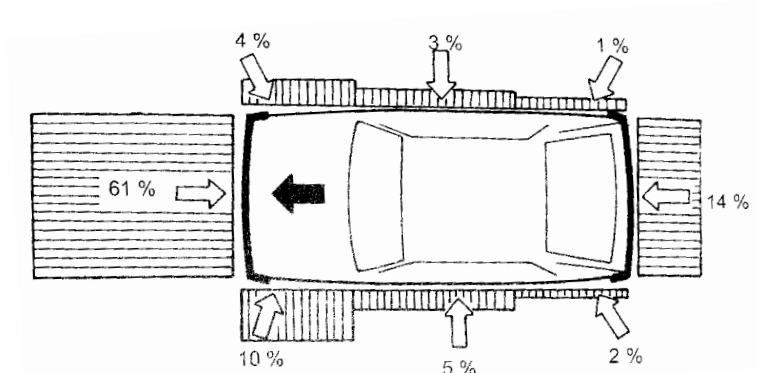
$$b = \frac{x(t)}{x(t + T_t)}$$

kde $x(t)$ je velikost výchylky v čase t a $x(t + T_t)$ je velikost výchylky v čase $t + T_t$.

Jednotkou útlumu je $Ns \cdot m^{-1}$.

8.2 Mechanika nárazu

Ze statistik Policie České republiky vyplývá, že zhruba 60 % kolizních dopravních nehod jsou čelní nárazy alespoň jednoho z kolizních partnerů.



Obr. 22 Relativní četnost nehod podle různých směrů nárazu (1)

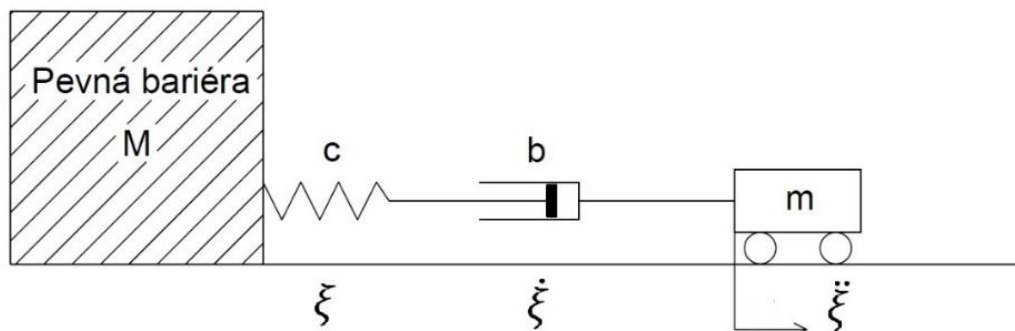
Mechanika nárazu simulačního zařízení bude popsána na případu čelního nárazu vozidla do pevné bariery.

8.2.1 Podmínky a rozdíly od reálných kolizí

- simulátor bude využíván k více účelům a proces musí být opakovatelný. Nelze tedy do simulace zařadit destrukce modelů nebo součástí zařízení.
- soustava, která se simulace účastní (dynamická plošina a skelet karoserie) jsou považovány za homogenní celek a v tom smyslu je také uvažována jejich hmotnost.
- soustava je ke střetu urychlena pryžovým lanem, které působí také po dobu kolize. Tuhost pružiny není do popisu mechaniky nárazu zahrnuta. Zbytková síla pružiny od okamžiku nárazu je zanedbána.
- energie nárazu je cele absorbována tlumičem. Nedochozí k „odrazu“ a koeficient restituace je nulový.

8.2.2 Dynamika nárazu

Reálné i simulované kolize lze dynamicky popsat pomocí modelu na obr. 23.



Obr. 23 Dynamický model nárazu.

Celkový děj lze popsat pohybovou rovnicí ve tvaru:

$$m\ddot{\xi} + c\xi + b\dot{\xi} = 0$$

kde m [kg] je hmotnost, c [$N \cdot m^{-1}$] je tuhost, b [$Ns \cdot m^{-1}$] je útlum.

Za předpokladu zanedbání pružných elementů je možné simulovaný děj popsat rovnicí:

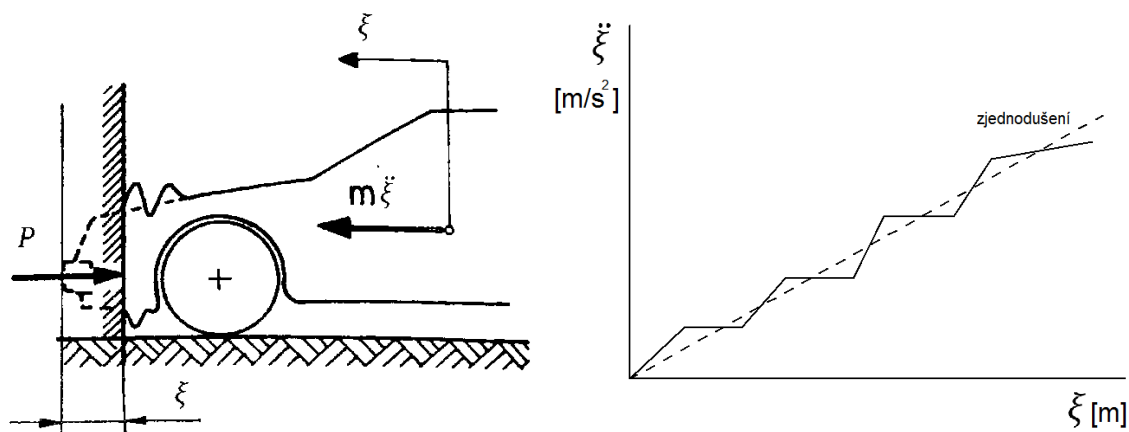
$$m\ddot{\xi} + b\dot{\xi} = 0$$

Po úpravě lze vyjádřit veličinu b – útlum výrazem $b = -\frac{M\ddot{\xi}}{\dot{\xi}}$

Tato veličina je potom hlavním regulačním prvkem simulátoru. Jak dále bude vysvětleno, lze ji seřizovat více prvky.

8.2.3 Dynamika reálných kolizí

Vzhledem k tomu, že reálné kolize nikdy neprobíhají za „ideálních“ podmínek, je možné děj považovat za stochastický. Struktura kolizních konstrukcí obsahuje téměř vždy prvky pevné, pružné a tlumící.



Obr. 24 Náraz vozidla na pevnou bariéru. (1)

Hlavní roli v mechanismu nárazu hraje tzv. rovnice rovnováhy kinetické energie a deformační energie. (3)

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \int_0^{\xi_{max}} P d\xi$$

kde P je okamžitá deformační síla $[\text{N}]$ a ξ je velikost deformace vozidla $[\text{m}]$.

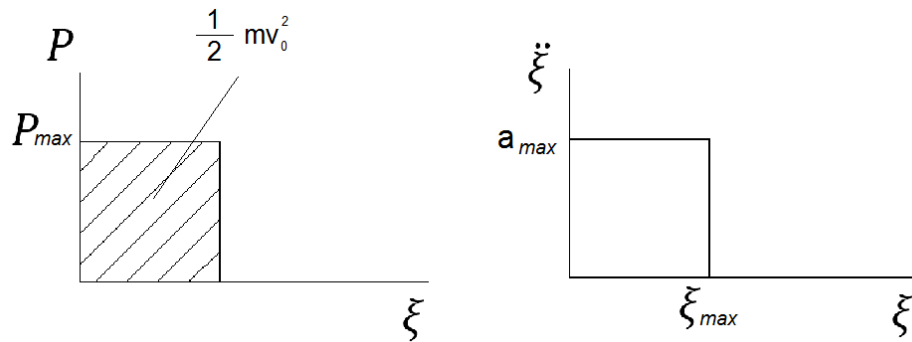
Dynamika nárazu proto může probíhat za několika podmínek. (3)

a) Deformační síla je konstantní $P = konst = m \cdot a_{max}$

z rovnice rovnováhy získáme vztah:

$$P \cdot \xi_{max} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$$

$$\xi_{max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_0^2}{a_{max}}$$



Obr. 25 Průběh deformační síly a průběh deformačního zrychlení v závislosti na deformaci – 1. případ.
(3) (1)

Jelikož při nárazu nikdy nebude působit konstantní deformační síla P , málo kdy tento případ nastane.

b) Deformační síla je úměrná stlačení přídě $P = c \cdot \xi$ a zároveň $P_{max} = m \cdot a_{max}$

z rovnice rovnováhy získáme vztah:

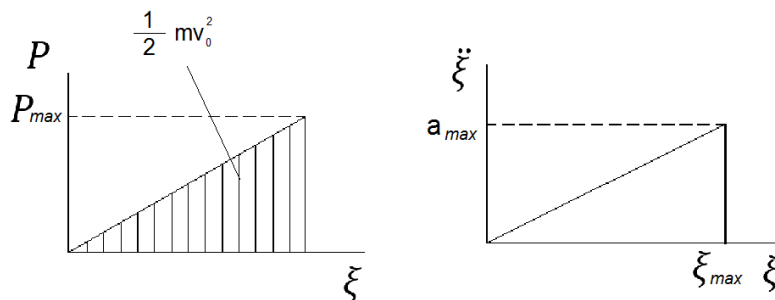
$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \int_0^{\xi_{max}} c \cdot \xi \, d\xi$$

po integraci a úpravě

$$\xi_{max} = v_0 \cdot \sqrt{\frac{m}{c}}$$

kde $\sqrt{\frac{m}{c}}$ je vlastní frekvence

$$\xi_{max} = \frac{v_0^2}{a_{max}}$$



Obr. 26 Průběh deformační síly a průběh deformačního zrychlení v závislosti na deformaci - 2. případ
(3) (1)

c) Deformační síla je úměrná rychlosti stlačování přídě, $P = b \cdot \dot{\xi}$

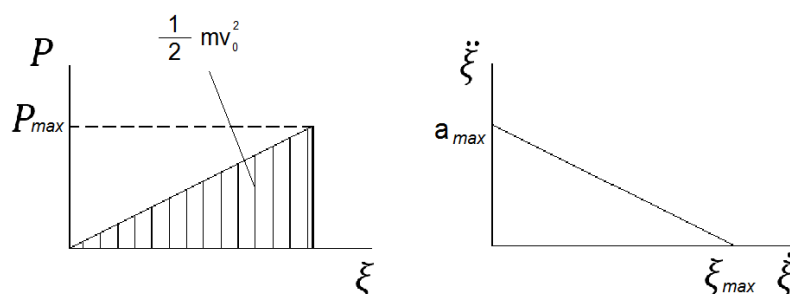
Pohybová rovnice pro posuv nedeformovatelné části vozidla má tvar:

$$x = v_0 \frac{m}{b} \cdot \left(1 - e^{-\frac{b}{m}t}\right), \text{ tedy } \dot{x} = v_0 \cdot e^{-\frac{b}{m}t}$$

Deformační rychlost dosahuje maxima v okamžiku nárazu ($t=0$), kdy $\dot{\xi}_{max} = v_0$.

Pro splnění podmínky $\ddot{x}_{max} = a_{max}$ musí platit $b = \frac{m \cdot a_{max}}{v_0}$, maximální

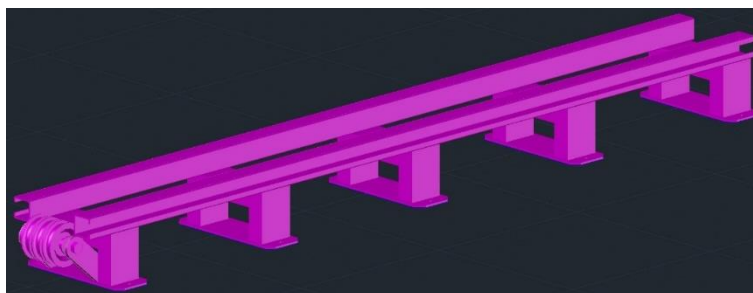
deformace ($t \rightarrow 0$) $\xi_{max} = x_{max}$ je potom $\xi_{max} = v_0 \cdot \frac{m}{b} = \frac{v_0^2}{a_{max}}$.



Obr. 27 Průběh deformační síly a průběh deformačního zrychlení v závislosti na deformaci – 3. případ

8.3 Dráha

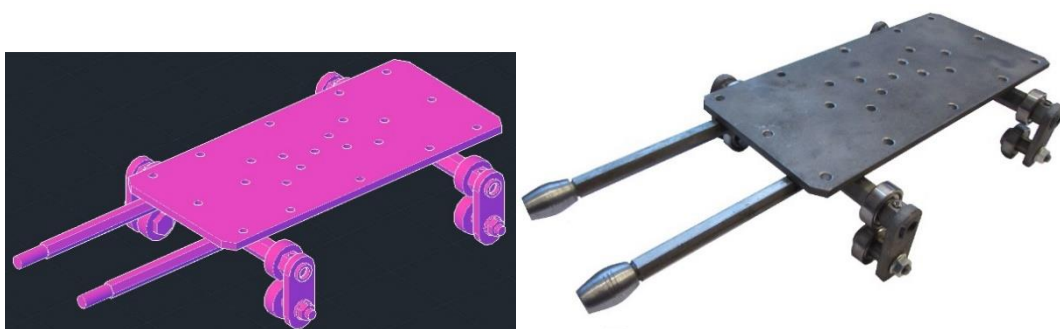
Dráha je zkonstruovaná z ocelových kolejnic, které mají otevřený průřez tvaru C o rozměrech 30 x 30 x 8 x 2,5 mm a délku 1200 mm, což je pro demonstrativní účely dostačující. Osová vzdálenost kolejnic je navržena dle rozměrů dynamické plošiny na 112 mm.



Obr. 28 – Kolejnice vymodelované v programu Autocad.

8.4 Dynamická plošina

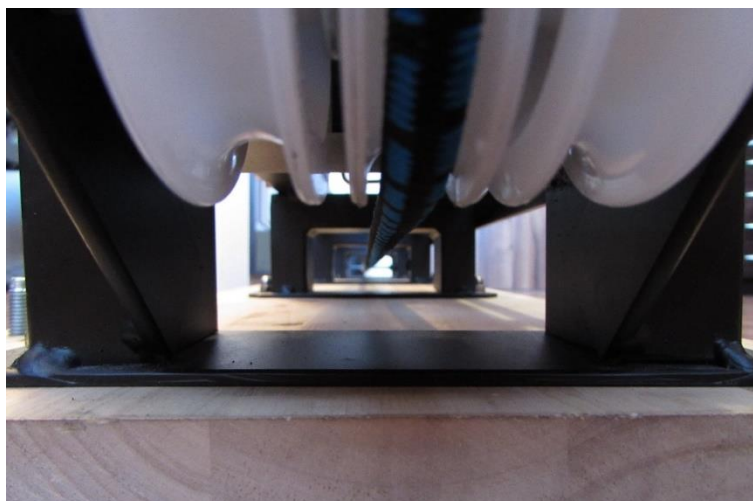
Dynamická plošina je složena z ocelové desky o rozměrech 220 x 100 x 5 mm, která je opatřena otvory dimenzovanými pro upevnění různých komponentů vozidla. Rozvor předních a zadních kol je 150 mm. Rozchod činí 118 mm. Funkci kol plní ložiska s označením 628Z o vnějším průměru 24 mm a vnitřním 8 mm. Na plošinu jsou dále přivařeny dva trny, které jsou na koncích opatřeny kulovými objekty různých tvarů, v našem případě se jedná o tvary oliv. Tyto trny se podílejí na deceleraci plošiny.



Obr. 29 – Dynamická plošina vymodelovaná v programu Autocad (vlevo), dynamická plošina (vpravo).

8.5 Upevnění kolejnic k podkladové desce

Kolejnice jsou svárem připevněny k pěti ocelovým mostovým podpěrám vyrobených z jáckelů obdélníkového profilu o výšce $h = 50$ mm a šířce $b = 25$ mm. Vrchní plocha kolejnic je ve výšce 103 mm nad podkladem. V prostoru pod kolejnicemi vznikl tedy prostor vysoký 48 mm a široký 90 mm, kde jsou vedeny pryžová lana přes kladku pro zajištění akcelerace dynamické plošiny. Následně je tento celek připevněn k dřevěné podkladové desce o rozměrech 1200 x 250 x 20 mm pomocí 10 šroubů. Prostor pro vedení pryžových lan je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 30 – Prostor pro vedení pryžových lan.

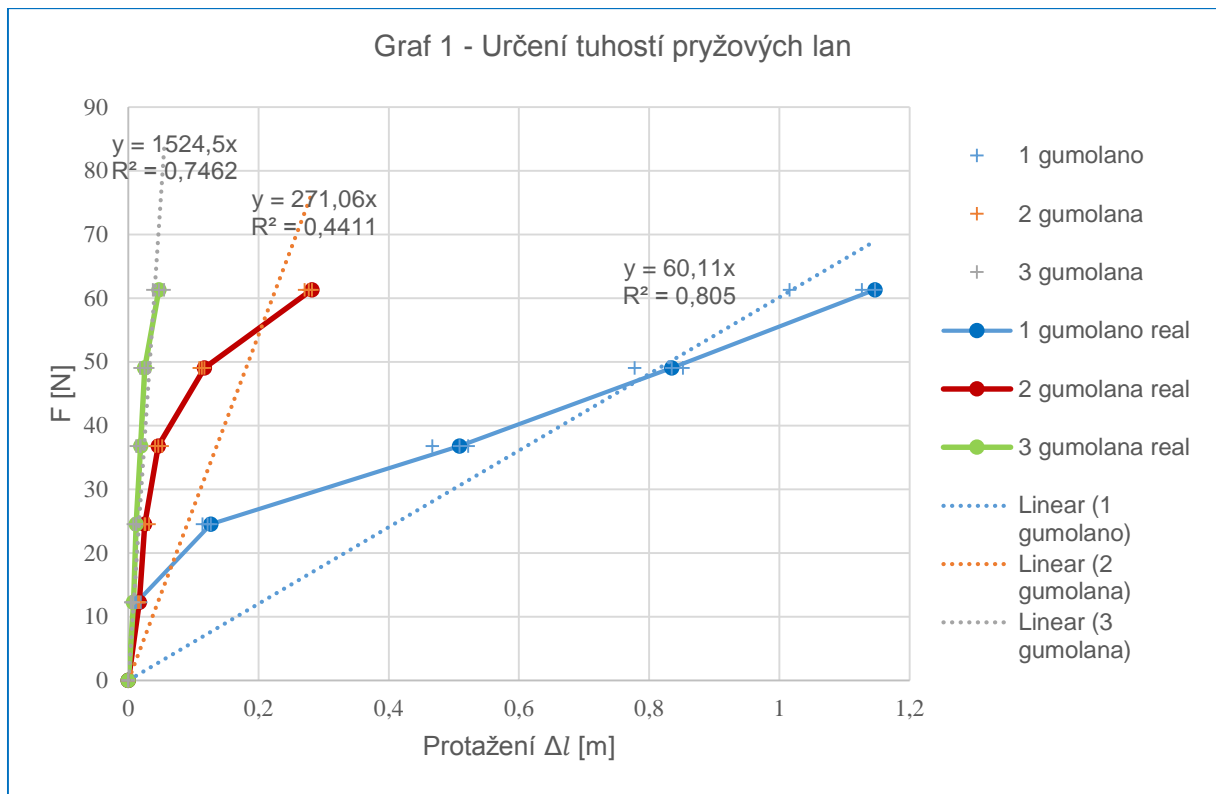
8.6 Akcelerace dynamické plošiny

Zrychlení dynamické plošiny zajišťuje pryžové lano o maximálním průměru 10 mm. Počet lan se může měnit v závislosti na rychlosti, které chceme dosáhnout. Lana jsou upevněna na dynamickou plošinu a přes kladku vedou pod urychlovací zařízení, kde jsou ukotvena. Zrychlení dosáhneme natažením pryžových lan a jejich následným uvolněním, čímž dojde k předání potřebného impulzu dynamické plošině.

Abychom byli schopni charakterizovat a předvídat chování pryžových lan při různých zatíženích, je třeba udělat tzv. zatěžovací charakteristiky, které nám poslouží k určení jejich tuhostí.



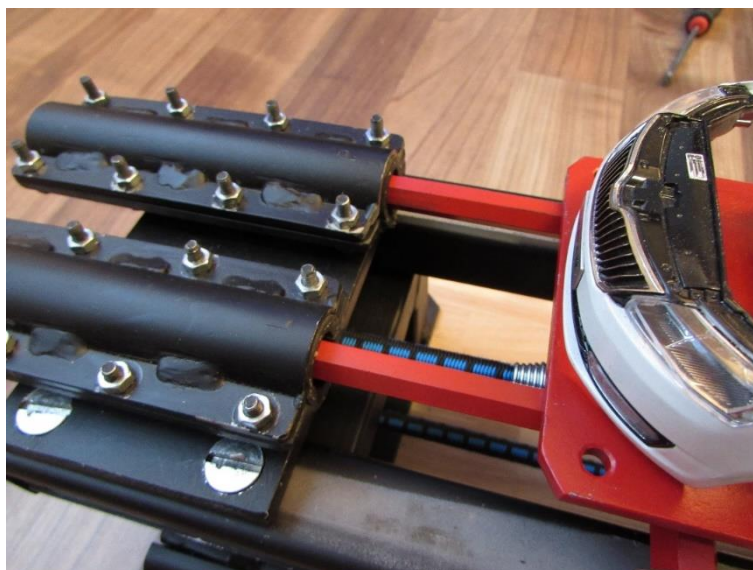
Obr. 31 – Měření tuhostí pryžových lan.



Dle teoretických předpokladů by měly mít charakteristiky lineární průběhy. To, že průběhy na začátku nejsou lineární, je zřejmě zapříčiněno opředěním lan, které do jisté úrovně zatížení zabraňuje jejich protažení.

8.7 Decelerace dynamické plošiny

Decelerace plošiny je realizována vtlačováním ocelových trnů (oliv) do trubců menšího průměru, které jsou uvnitř opatřeny gumovou vložkou, což je patrné z obrázku 32. K dispozici jsou tři sady ocelových kulových objektů (oliv) s průměry od 13 mm do 15 mm, pro různé druhy zkoušek. Při pronikání oliv do trubek dochází ke tření, dokud trubky nepohlčí veškerou pohybovou energii dynamické plošiny. Průměr trubek je možné regulovat, čímž ovlivníme velikost zpomalení dle požadavků jednotlivých zkoušek. Nevýhodou této decelerační metody je opotřebení gumové vložky při opakovaných pokusech. Vložka se bude muset často měnit pro dosažení přesných výsledků.



Obr. 32 – Tlumiče nárazu.

9 Úprava kabiny modelu vozu Škoda Rapid pro simulátor

Z modelu vozidla byly sejmuty všechny díly, které k testování prvků pasivní bezpečnosti nejsou potřebné.

Díly, které byly odstraněny, jsou včetně jejich hmotností uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 – Odstraněné díly z modelu.

Název dílu	Hmotnost dílu [kg]
Podvozek	-0,11493
Prostor pod kapotou	-0,00867
Čelní sklo	-0,00633
Zadní sklo	-0,00314
Kapota	-0,04026
Střešní okno	-0,00095
Přední levé dveře	-0,02474
Přední pravé dveře	-0,02569
Zadní levé dveře	-0,02305
Zadní pravé dveře	-0,02178
Víko kufru	-0,03840
Výstelka kufru	-0,00914
Ostatní + spojovací materiál	-0,01584
Σ	- 0,33292

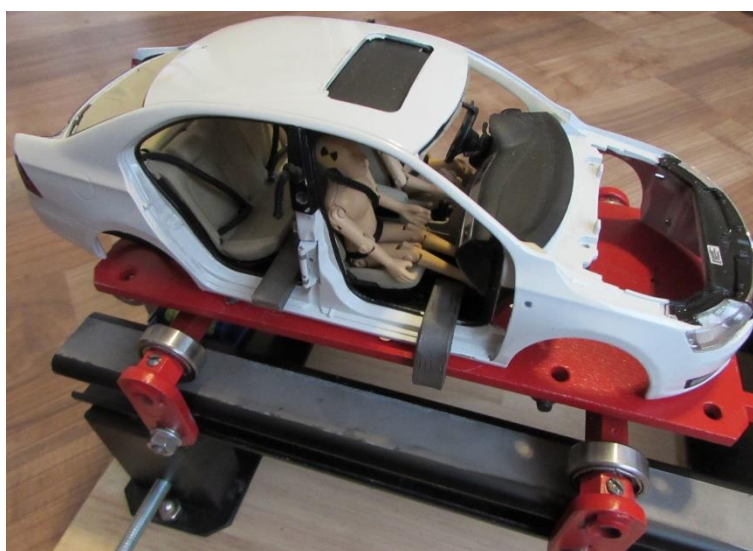
Do kabiny budou na experimenty umístěny modely figurín Hybrid III. Dva dospělí a dvě děti.

Tab. 5 – Hmotnosti modelů figurín.

Figurína	Hmotnost [kg]
Dospělý muž	+0,00995
Dospělá žena	+0,00982
2 x Dítě	+0,00972
	Σ + 0,02949

10 Upevnění kabiny na dynamickou plošinu

Model vozu je umístěn na dynamickou plošinu a uchycen pomocí tří ocelových svěrek vážících 0,07993 kg, které zabraňují nechtěnému pohybu karoserie ve směru jízdy při nárazových zkouškách. Na obr. 33 je upravená kabina modelu s figurínami včetně uchycení na dynamickou plošinu.



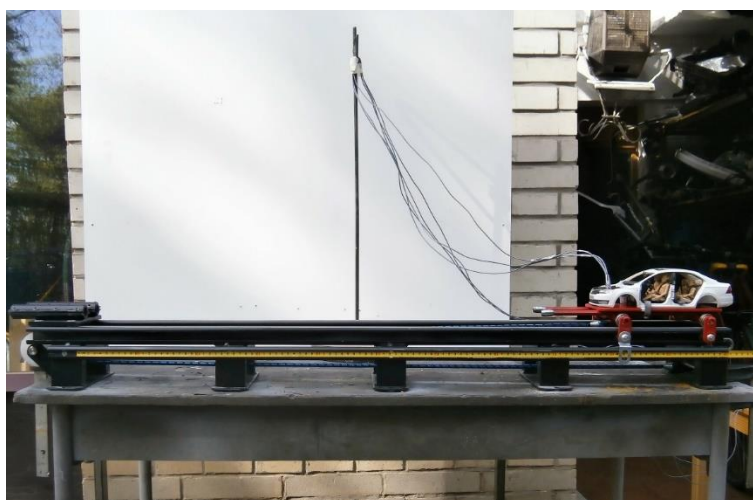
Obr. 33 – Upravená kabina modelu vozu.

11 Simulace deceleračního jevu

Účelem zkoušení je ověření technických parametrů simulátoru a posouzení, jestli všechny jeho části tzn. dráha, dynamická plošina, urychlovací a tlumicí mechanismus fungují dle předpokladů.

11.1 Uspořádání měřicího pracoviště

Abychom dosáhli přesných výsledků měření, je třeba udělat následující opatření. Je nutné, aby model urychlovacího zařízení byl umístěn na vodorovné rovině, v našem případě byl použit stabilní stůl o velikosti odpovídající modelu. Protože při simulovaném nárazu urychlovací plošiny do tlumících prvků je náraz velice silný, je model připevněn ke stolu dvěma svěrkami, abychom zamezili nechtěnému horizontálnímu pohybu, který by způsobil nepřesné odečítání hodnot z vysokorychlostní kamery. Je všeobecně známo, že kamery s vysokou snímkovací frekvencí potřebují dostatečné množství světla a z toho důvodu je třeba umístit model na dobře osvětlené místo a dále zvolit vhodné pozadí kvůli kontrastu. Uspořádání pracoviště je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 34 – Měřicí pracoviště.

11.2 Měřicí technika

Vysokorychlostní kamera

Značka a název:	Redlake MotionPro 10 000 monochrome
Vnitřní paměť:	2 GB
Snímkovací frekvence:	až 10 000 snímků za sekundu

Akcelerometr

Značka:	Brüel & Kjaer
Typ:	Triaxial DeltaTron Accelerometer 4504 A
Vzorkovací frekvence:	32768 vzorku za sekundu

11.3 Podmínky měření

Datum: 07. 05. 2015

Čas: 16:00

Teplota: 17 °C

Tlak: 1018 hPa

11.4 Metodika zkoušky

Měření proběhlo celkem 9 krát. Při každém experimentu byly některé parametry, které lze předem nastavit, odlišné. Nastavovat lze nárazovou rychlost využitím pryžových lan rozdílných průměrů a délek anebo jiným počtem lan. Dále jsme schopni tuto rychlost měnit tím, že budeme upevňovat lana na jiná kotvicí místa k tomu určená. To znamená, že při použití stejně dlouhého pryžového lana dosáhneme jiných nárazových rychlostí dle toho, jak bude lano napnuto.

11.4.1 Měření rychlosti

Rychlost budeme měřit těsně před vniknutím tlumicích prvků (oliv) do tlumičů. Právě tam můžeme dle teoretických předpokladů očekávat nejvyšší rychlost, které je urychlovaný předmět schopný dosáhnout. Dle předpisů Evropské hospodářské komise nesmí na urychlovaný objekt působit žádná vnější síla ve vzdálenosti minimálně 5 metrů před nárazem. V našem případě je zvolena délka pryžového lana tak, aby v pozici, kdy začínají pronikat olivy do tlumičů, bylo lano téměř povoleno. Díky tomu v momentě nárazu lano předává už jen minimální sílu urychlovanému objektu.

Rychlost budeme měřit pomocí vysokorychlostní kamery tak, že ze dvou snímků s určitým časovým odstupem odečteme ujetou dráhu za tento čas. Z odečtených hodnot spočítáme dosaženou rychlost.

11.4.2 Měření zrychlení

Změnu zrychlení v čase budeme zaznamenávat pomocí tříosého akcelerometru, umístěného na urychlovaném objektu. Hodnoty, které akcelerometr naměří, je třeba ještě vynásobit přepočtovými koeficienty pro jednotlivé osy, abychom dostali z naměřeného napětí hodnoty zrychlení. V tomto experimentu bude důležitý hlavně směr osy x, tedy směr jízdy, kde očekáváme největší výchylky.

11.5 Vyhodnocení měření č. 4

Konfigurace měření

Číslo měření	4
Hmotnost urychlovaného objektu	1,958 kg
Urychlovací dráha	0,785 m
Průměr oliv	13 mm
Počet pryžových lan	1
Poloha ukotvení gumolan	3

Urychlovací síla

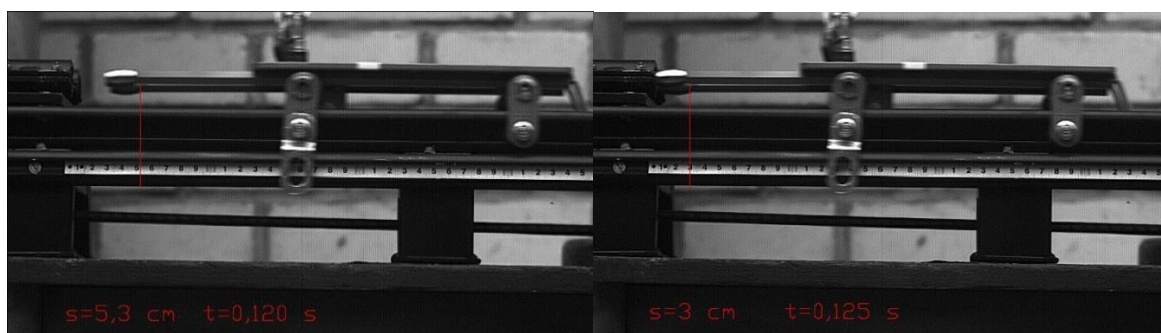
Urychlovací sílu, kterou působí pryžové lano na dynamickou plošinu, určíme z rovnice lineární regrese dosazením délky protažení lana $x = \Delta l$.

Rovnice má tvar $F = c \cdot \Delta l = 60,11 \cdot 0,891 \doteq 53,56N$

Nárazová rychlost

Vysokorychlostní kamera pořídila záznam se snímkovací frekvencí 1000 snímků za sekundu. To znamená, že jeden snímek trvá $1/1000s$. Pro odečet vzdáleností k určení nárazové rychlosti jsem zvolil snímky 120 a 125, jejichž časový rozdíl je 5 ms.

Dráha, na které budeme měřit rychlost, je dlouhá 0,023 m a dynamická plošina ji urazila za 0,005 s. Situace je na následujícím obrázku.



Obr. 35 – Snímky z vysokorychlostní kamery při měření č. 4.

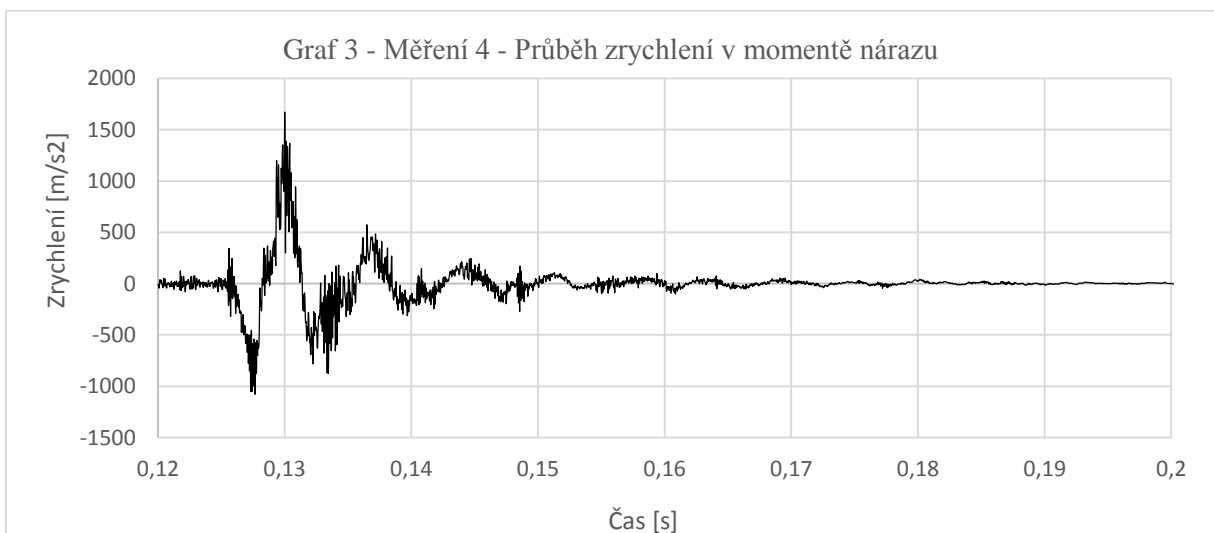
$$v = \frac{s}{t} = \frac{0,053m - 0,03m}{0,125s - 0,120s} = \frac{0,023m}{0,005s} = 4,8m \cdot s^{-1}$$

Maximální zrychlení

Na následujícím grafu je znázorněn průběh zrychlení v čase. Z grafu je patrné, že k nárazu došlo v čase přibližně 0,130 s, což odpovídá i záznamu z vysokorychlostní kamery.



Jelikož nás zajímá průběh signálu od momentu nárazu, zaměříme se na časový úsek od 0,12 s do 0,2 s. Detail této části průběhu je zobrazen na následujícím grafu.

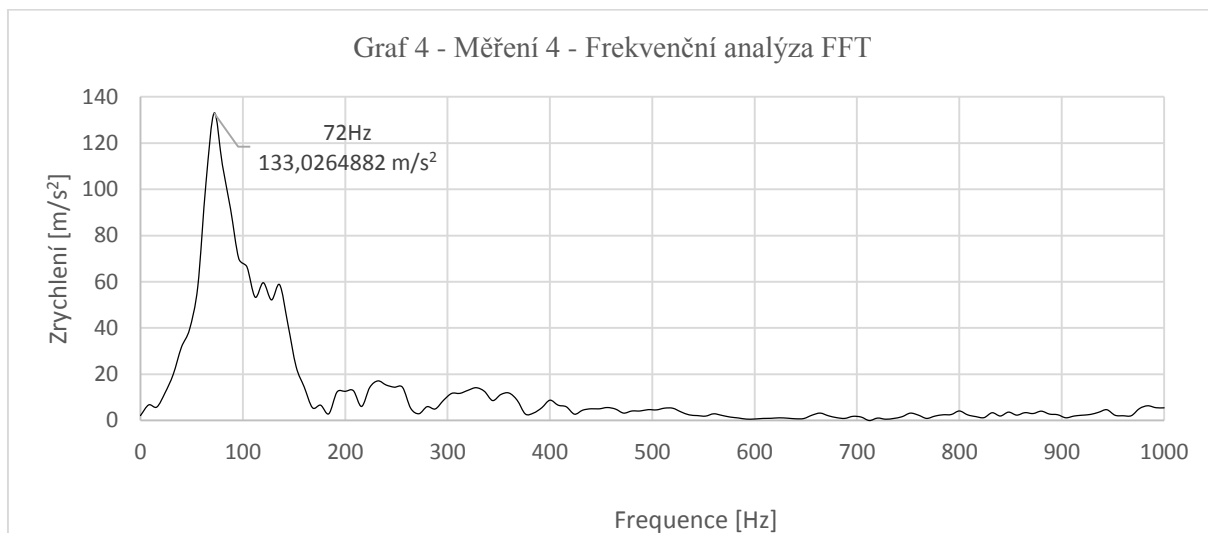


Pro určení maximální hodnoty zrychlení, využijeme frekvenční analýzu, díky které jsme schopni převést časovou základnu na frekvenční, a tím získat spektrum frekvencí vyskytujících se v našem experimentu.

Převedení časové oblasti do frekvenční je popsáno pomocí Fourierovy transformace, při které je signál vyjádřen jako lineární dekompozice harmonických průběhů. Ke zrychlení výpočtu využijeme tzv. rychlou Fourierovou transformaci (FFT). Podmínkou rychlé Fourierovy transformace je, že počet vzorků naměřeného signálu musí být mocninou dvou, maximálně však 2^{12} tj. 4096 vzorků, což v našem případě odpovídá

času 0,125s při vzorkovací frekvenci 32 768 vzorků za sekundu. Tato limitující hodnota nás tedy nijak neomezí.

Převedení našeho signálu z akcelerometru do frekvenční oblasti je na následujícím grafu.



Z grafu je patrné, že při frekvenci 72 Hz dosahuje zrychlení hodnoty $\ddot{\xi} = 133 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Určení deformační síly

Jelikož nejsme ze záznamu vysokorychlostní kamery schopni posoudit, zda se po nárazu urychlovaný objekt odrazil zpět, považujeme odrazovou rychlost za nulovou, tím pádem nedošlo k pružnosti a celá energie byla absorbovaná tlumičem, čili koeficient restituce, který je dán vztahem $\epsilon = \left| \frac{v}{v_0} \right|$ bude také nulový.

Budeme se řídit následující pohybovou rovnicí

$$m\ddot{\xi} + b\dot{\xi} = 0$$

kde m je hmotnost kolidujícího objektu, $\ddot{\xi}$ je deformační zrychlení, b je útlum a $\dot{\xi}$ je deformační rychlost.

Útlum se rovná $b = -\frac{M\ddot{\xi}}{\dot{\xi}}$

$$b = -\frac{M\ddot{\xi}}{\dot{\xi}} = -\frac{1,958 \text{ kg} \cdot (-133 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})}{4,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}} = 54,25 \text{ N} \cdot \text{s} / \text{m}$$

V našem případě předpokládáme, že deformační síla P bude lineárně stoupat se zvyšující se rychlostí podle následující vztahu

$$P = b \cdot \dot{\xi}$$

kde P je deformační síla, b je útlum a $\dot{\xi}$ je deformační rychlost

$$P = b \cdot \dot{\xi} = 54,25 \text{ Ns/m} \cdot 4,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \doteq 260,4 \text{ N}$$

Výsledky experimentu č. 4 jsou shrnuty do následující tabulky

Tab. 6 – Výsledky experimentu č. 4.

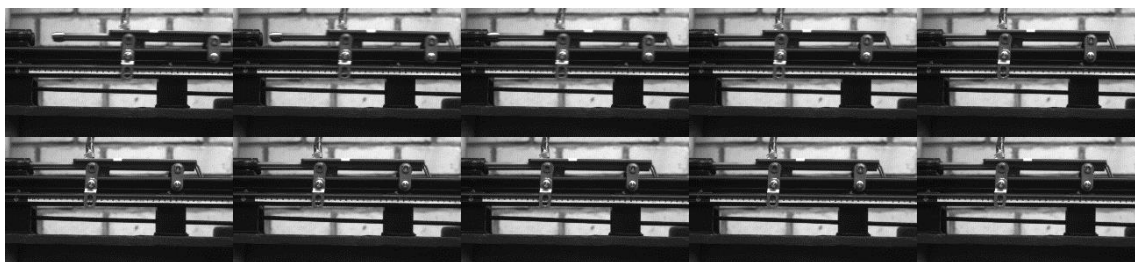
Číslo měření	4
Nárazová rychlost	4,8 m/s
Nárazová rychlost	17,28 km/h
Tuhost pryžového lana	60,11 N/m
Dráha zpomalení	0,068 m
Náraz tvrdý	ne
Zrychlení	133,026 m/s ²
Deformační síla	260,4 N
Útlum	54,25 Ns/m

11.6 Vyhodnocení měření 1-3 a 5-9

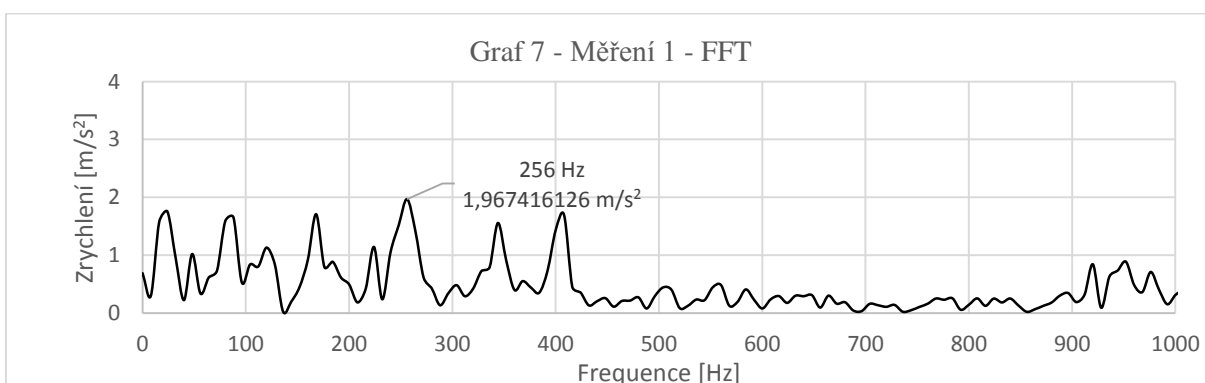
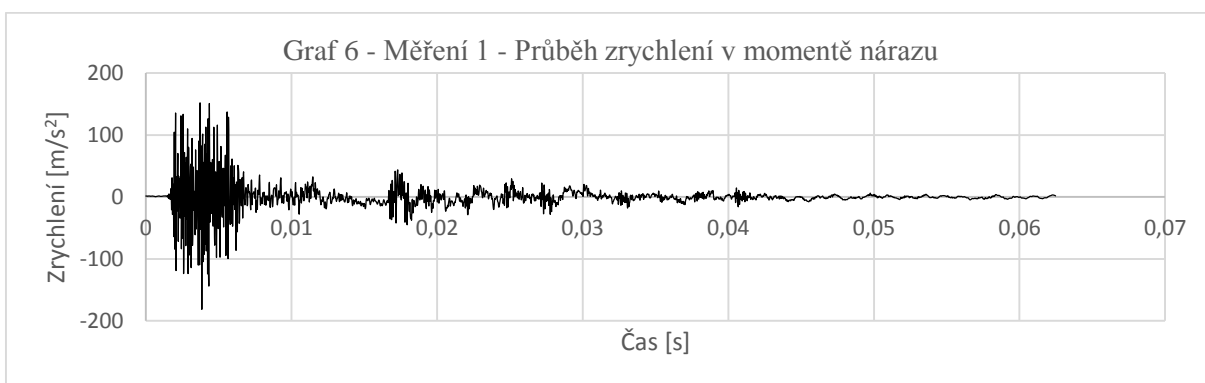
Tab. 7 – Konfigurace jednotlivých experimentů.

Číslo měření	Hmotnost urychlovaného objektu [kg]	Urychlovací dráha [m]	Průměr oliv [mm]	Počet lan	Poloha ukotvení lan
1	1,958	0,785	13	1	3
2	1,958	0,785	13	1	3
3	1,958	0,785	13	1	3
5	1,958	0,785	13	1	3
6	2,592	0,785	13	1	3
7	2,592	0,785	13	1	3
8	2,592	0,785	13	1	3
9	2,592	0,785	13	1	3

11.6.1 Měření č. 1

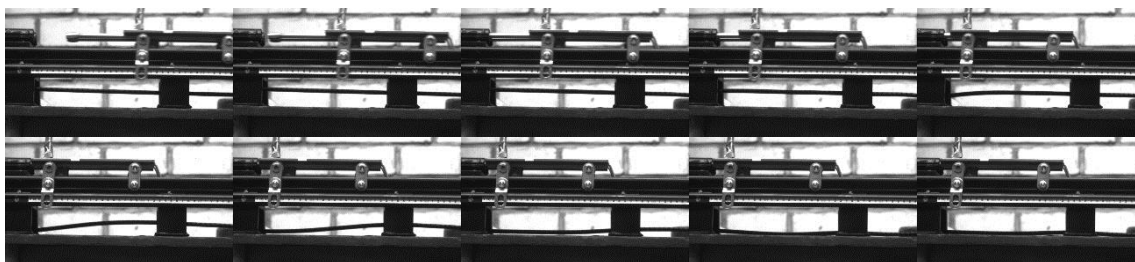


Obr. 36 – Snímková sekvence experimentu č. 1.

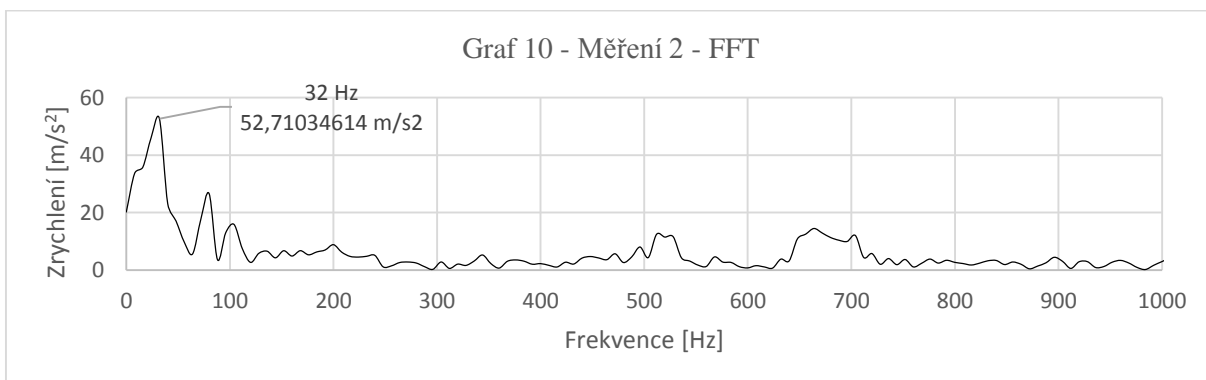
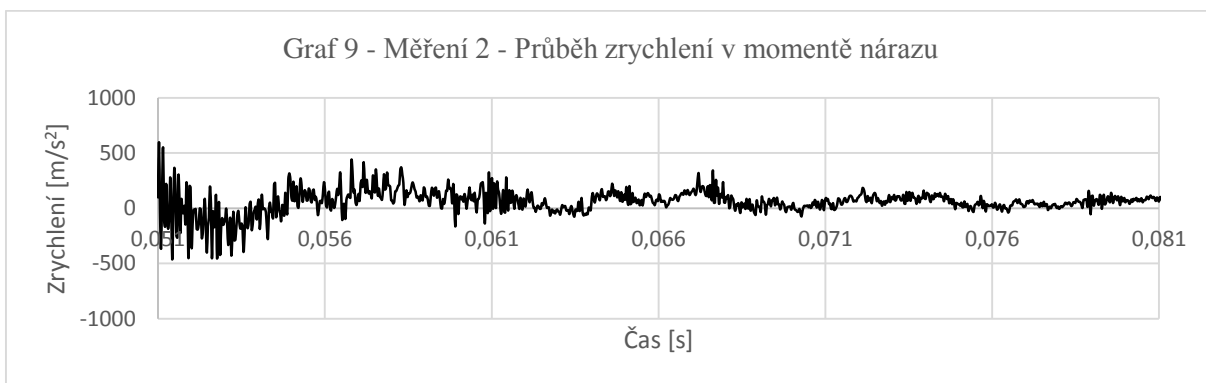
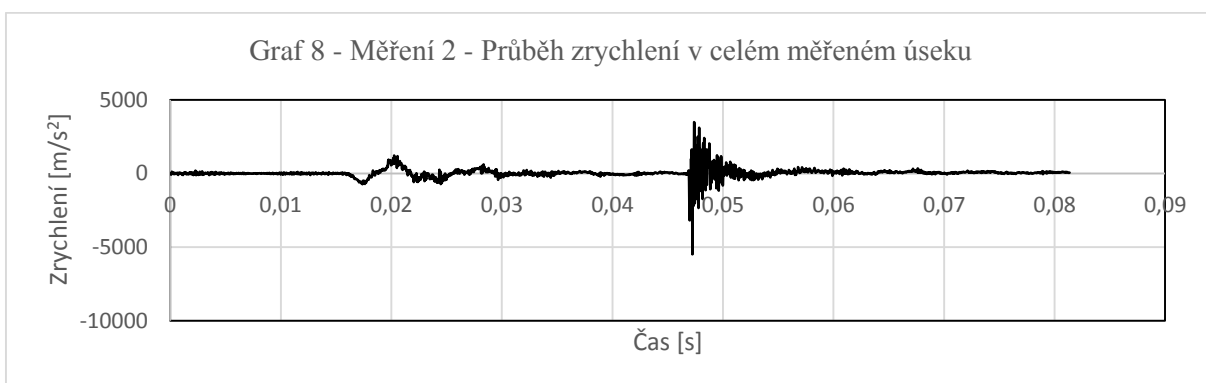


Poznámka: Náraz byl utlumen na dráze 2,1 cm.

11.6.2 Měření č. 2

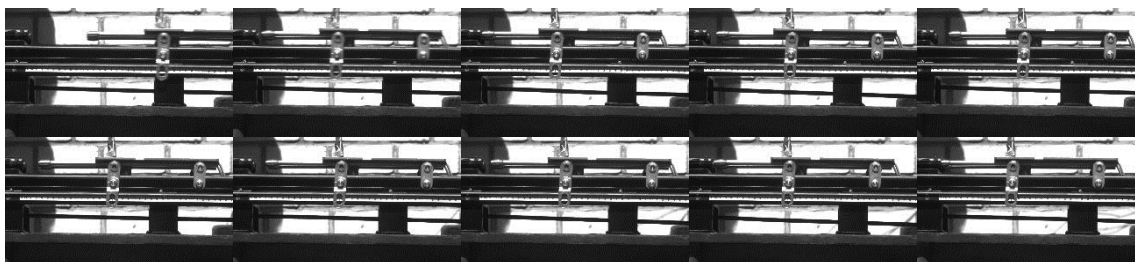


Obr. 37 – Snímková sekvence experimentu č. 2.

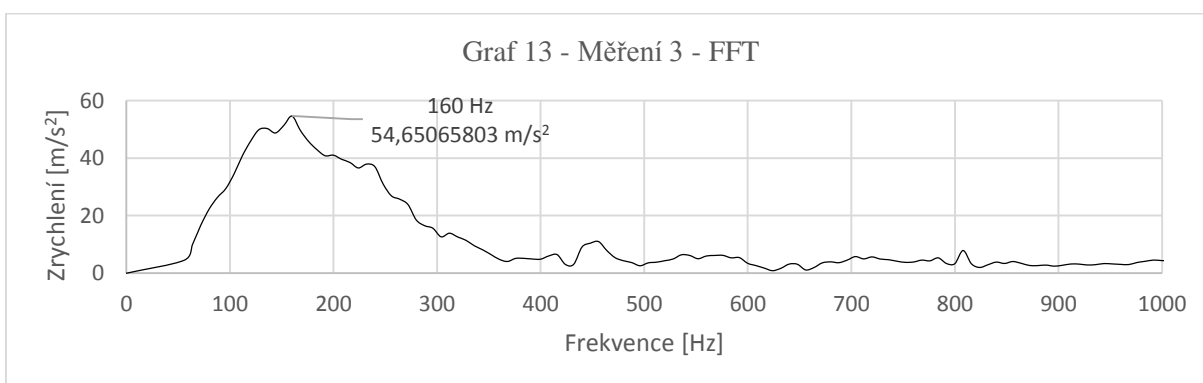
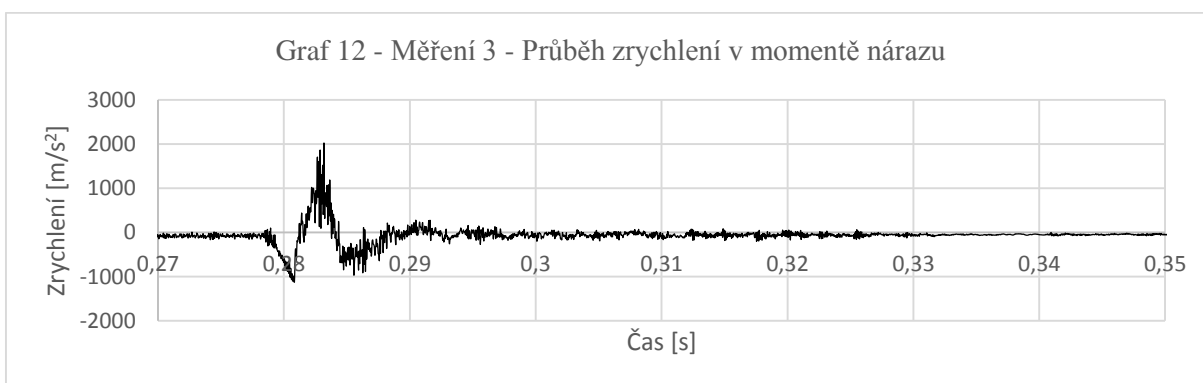
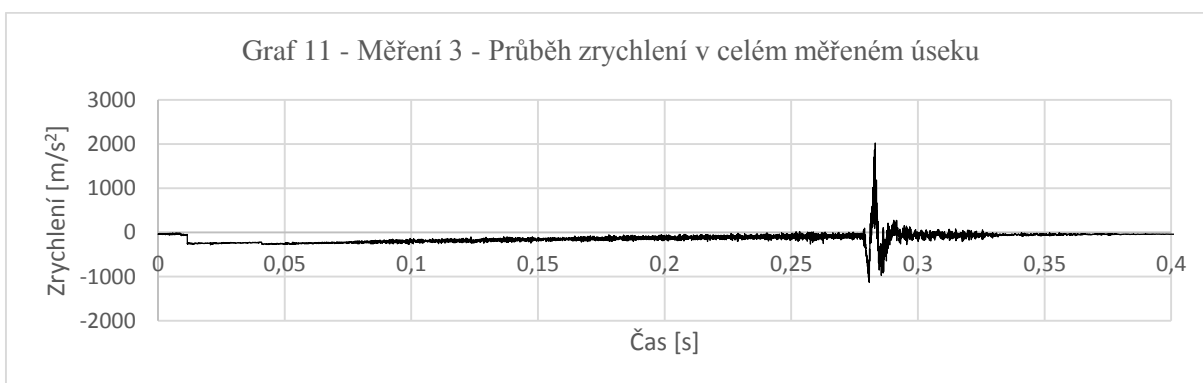


Poznámka: Při experimentu byly povolené šrouby tlumičů, tvrdý náraz.

11.6.3 Měření č. 3

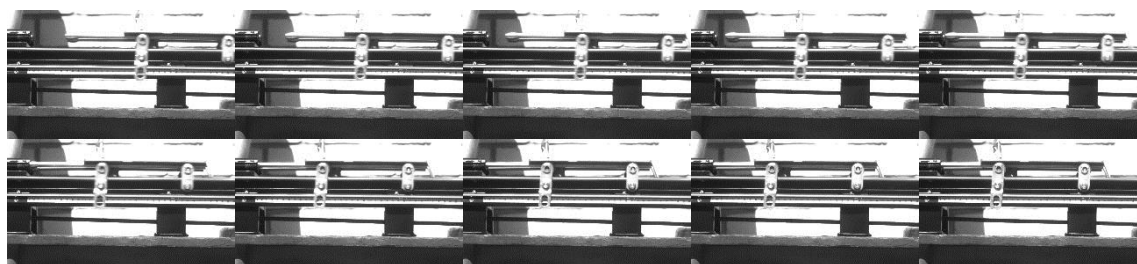


Obr. 38 – Snímková sekvence experimentu č. 3.

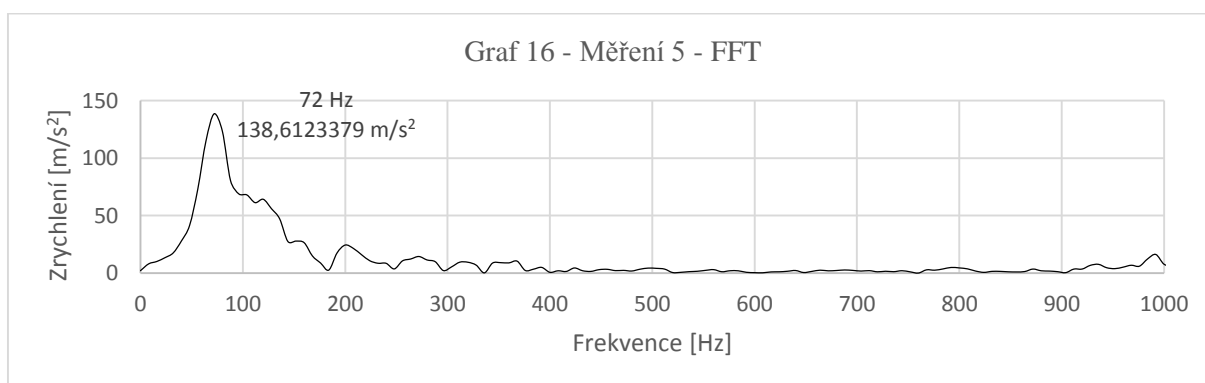
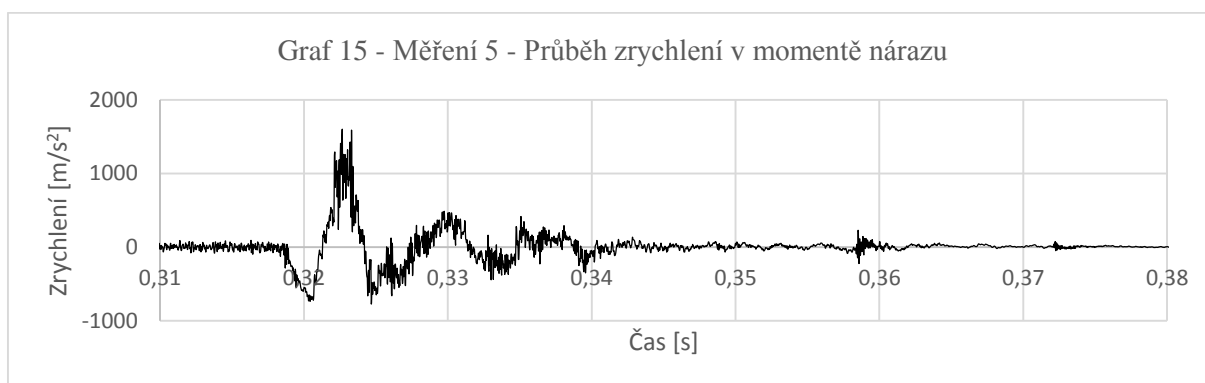
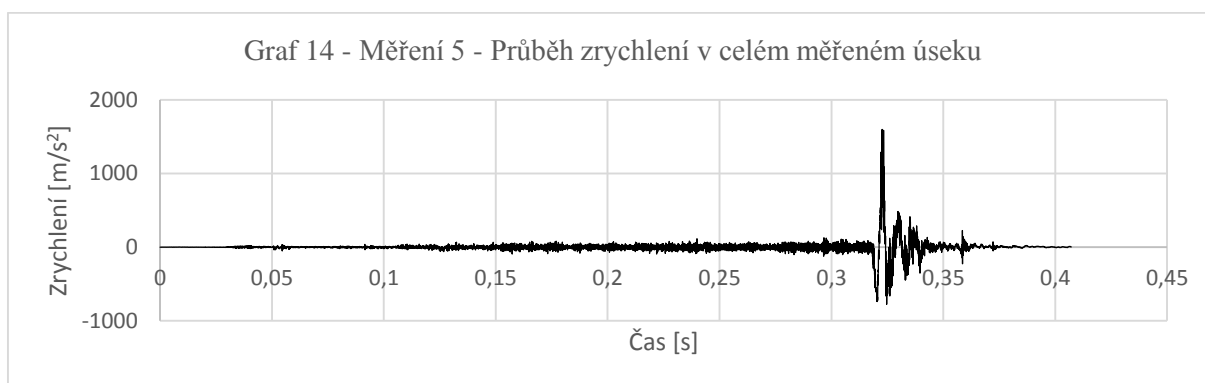


Poznámka: Při experimentu byly utažené šrouby tlumičů, při nárazu urychlovaného objektu došlo k jeho odrazu zpět, olivy do tlumičů vůbec nepronikly.

11.6.4 Měření č. 5

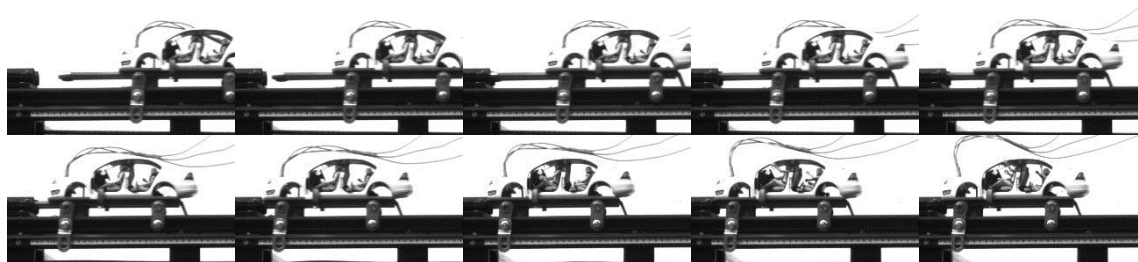


Obr. 39 – Snímková sekvence experimentu č. 5.

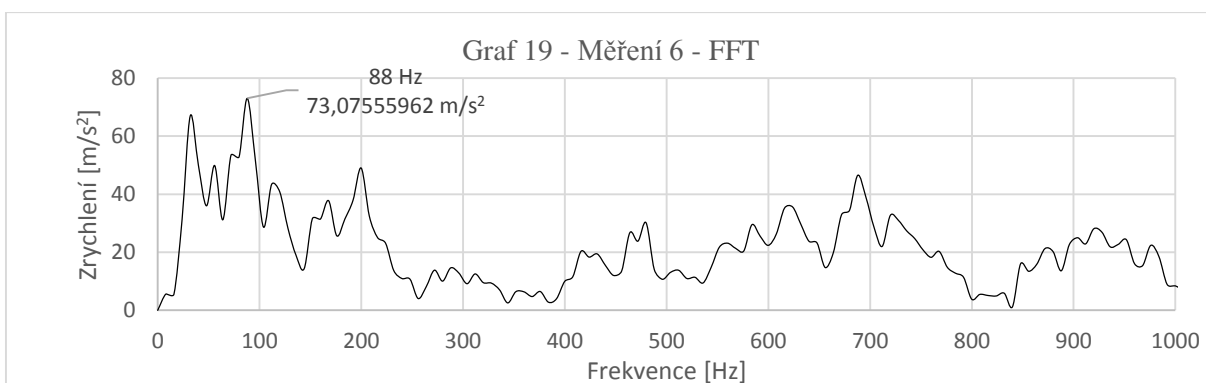
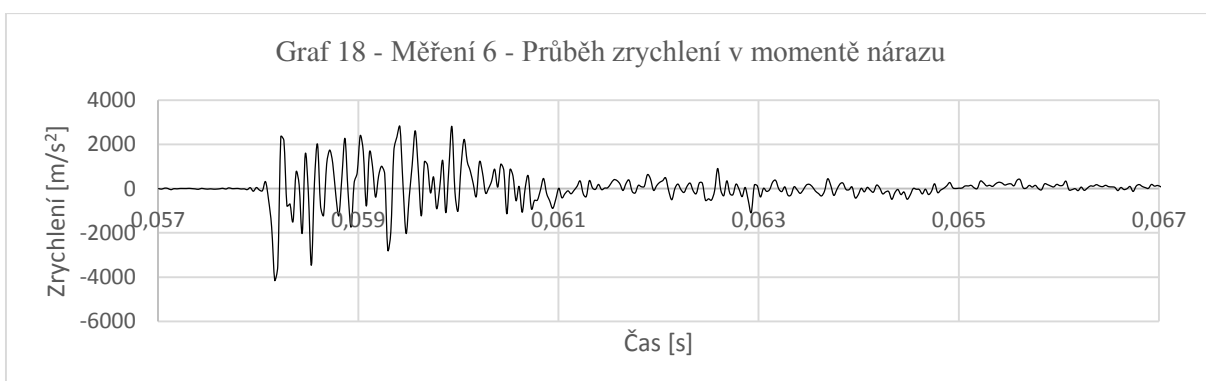
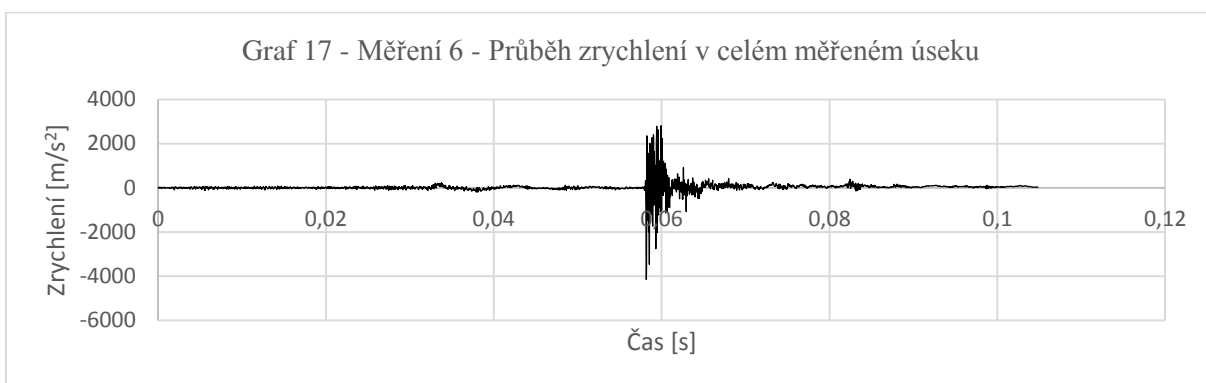


Poznámka: Při experimentu byly šrouby tlumičů povoleny o 2,5 závitu vůči experimentu č. 3, náraz byl utlumen na dráze 2,8 cm.

11.6.5 Měření č. 6

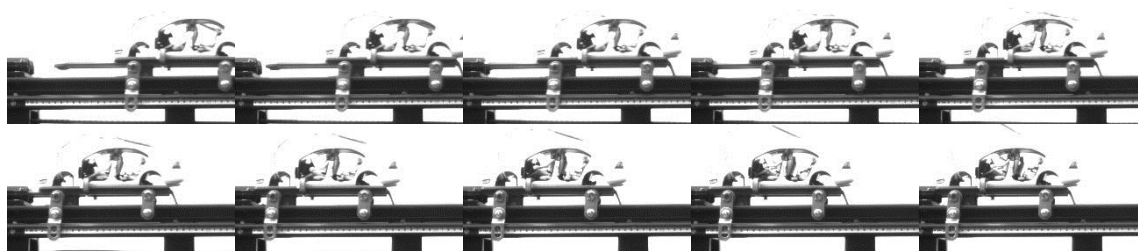


Obr. 40 – Snímková sekvence experimentu č. 6.

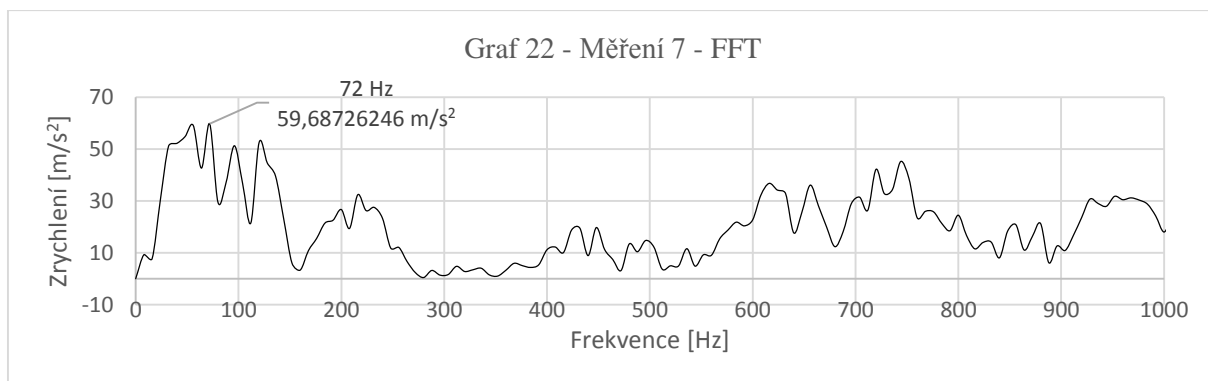
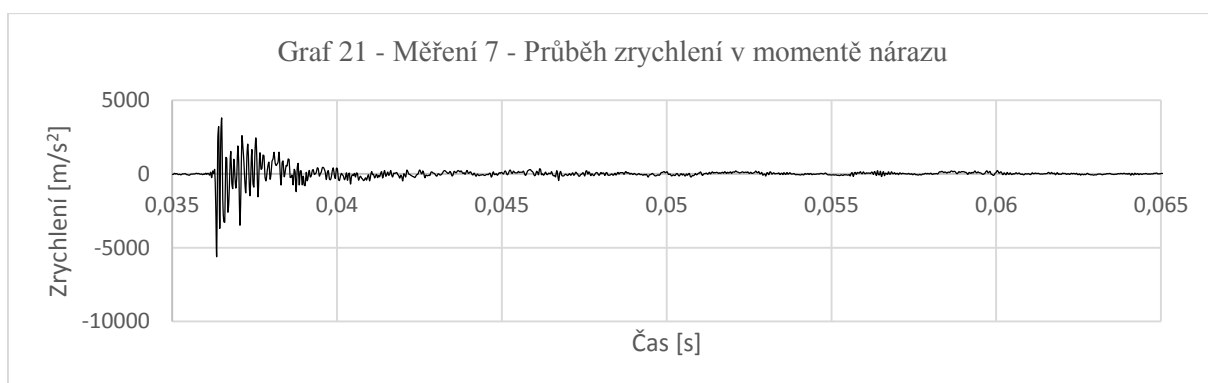
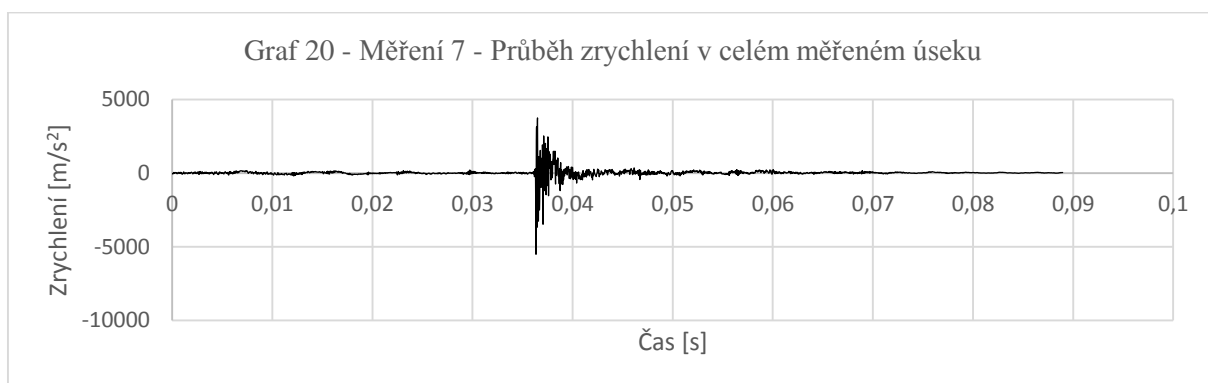


Poznámka: Při experimentu došlo k tvrdému nárazu, pasažéři byli připoutáni.

11.6.6 Měření č. 7

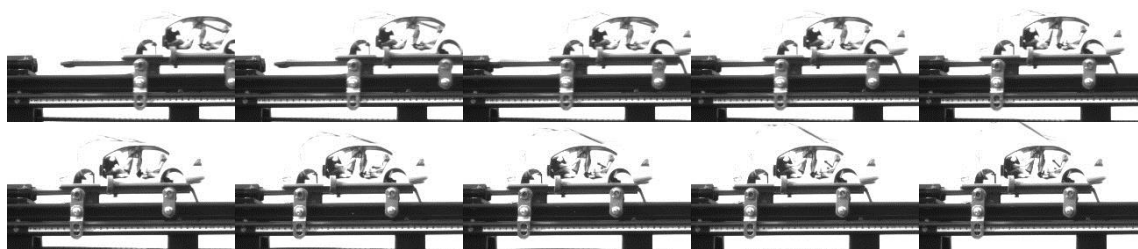


Obr. 41 – Snímková sekvence experimentu č. 7.

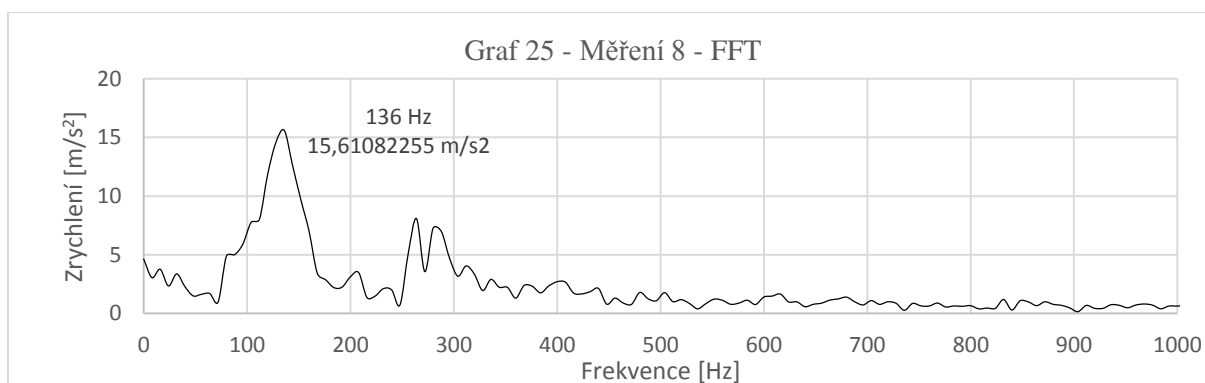
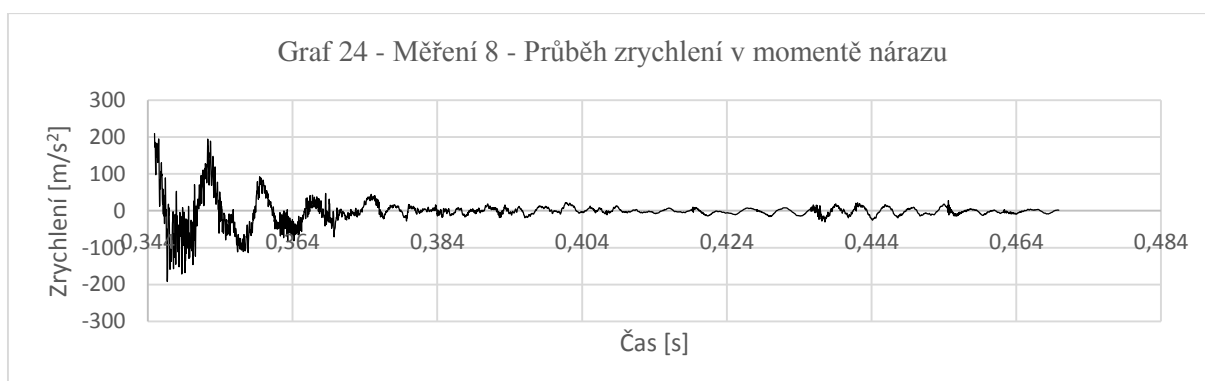
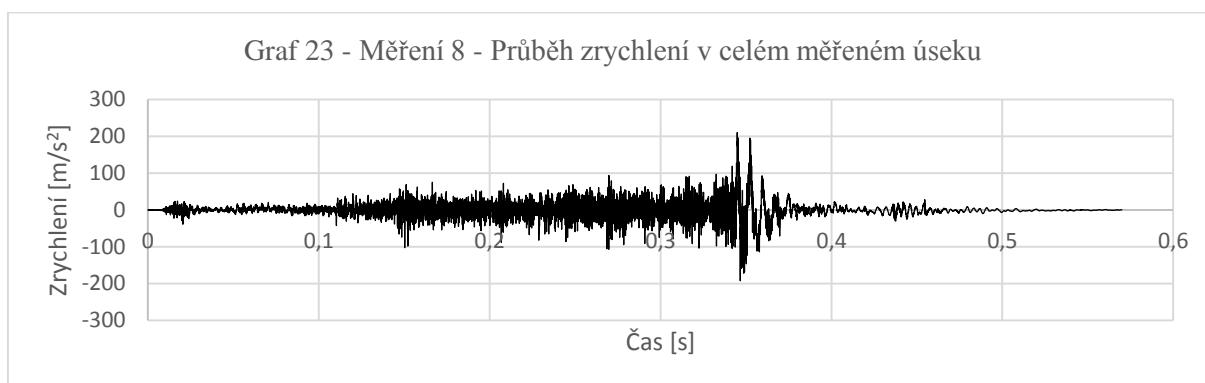


Poznámka: Při experimentu byly šrouby tlumičů více utaženy než při experimentu č. 6, došlo k tvrdému nárazu, pasažéri byli připoutáni.

11.6.7 Měření č. 8

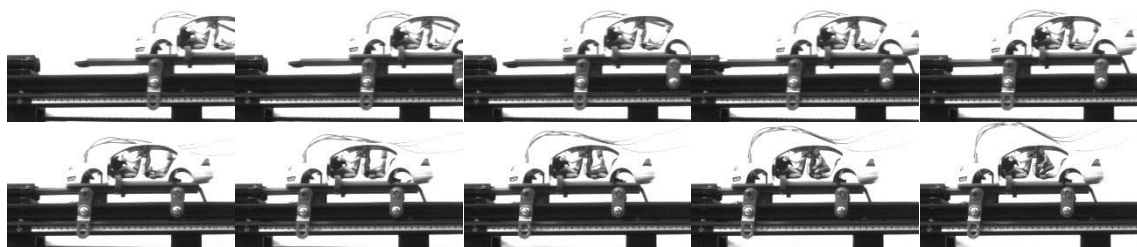


Obr. 42 – Snímková sekvence experimentu č. 8.

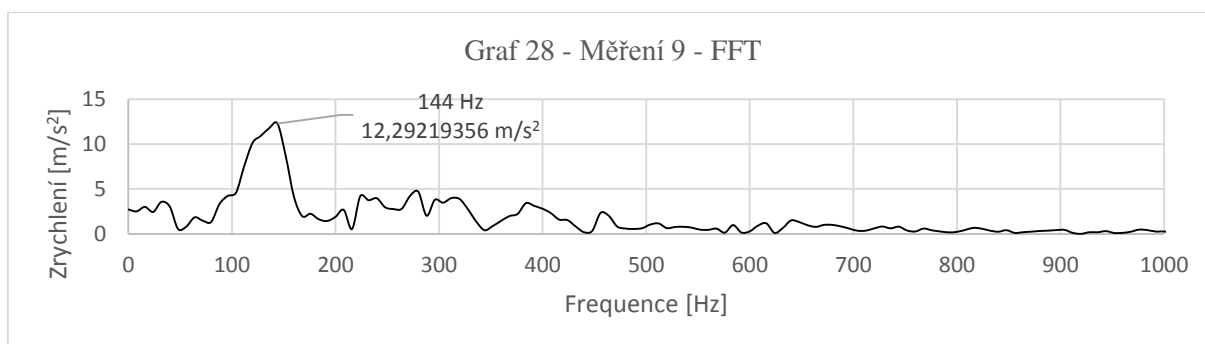
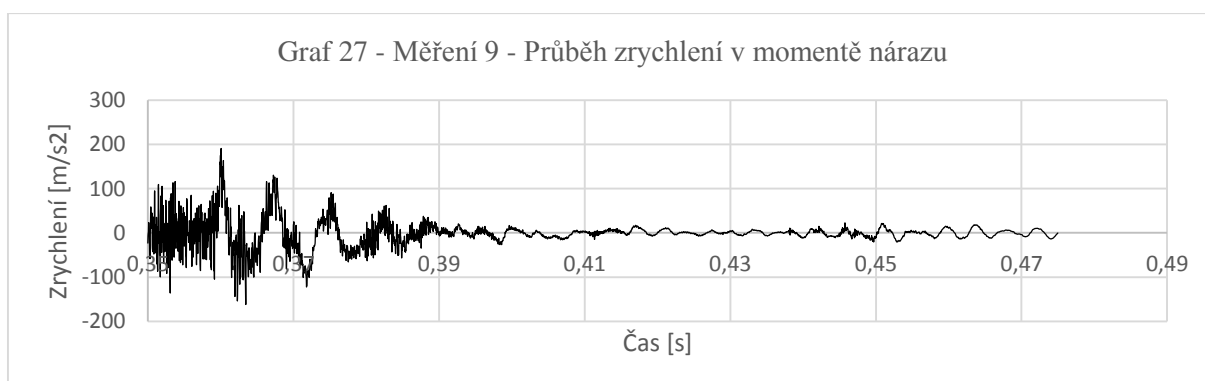
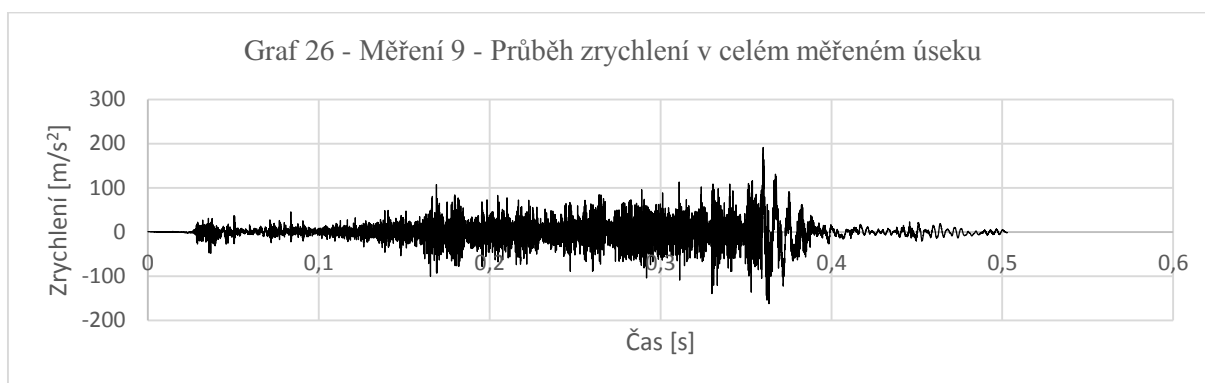


Poznámka: Při experimentu byly šrouby tlumičů více utaženy než při experimentu č. 7, náraz byl utlumen na dráze 6,4 cm.

11.6.8 Měření č. 9



Obr. 43 – Snímková sekvence experimentu č. 9.



Poznámka: Při experimentu byly šrouby dotaženy stejně jako při experimentu 8, náraz byl utlumen na dráze 7,5 cm.

Výsledky měření 1-3 a 5-9 jsou uvedeny v následující tabulce

Tab. 8 – Výsledky ostatních experimentů.

Číslo měření	Nárazová rychlost [m/s]	Nárazová rychlost [km/h]	Tuhost pružiny c [N/m]	Dráha zpomalení [m]	Náraz tvrdý [ano/ne]	Zrychlení [m/s ²]	Deformační síla P [N]	Útlum b [Ns/m]	Frekvence [Hz]
1	5,700	20,520	60,11	0,021	ne	1,967	3,851	0,675	256,000
2	4,530	16,300	60,11	0,102	ano	52,710	103,206	-	32,000
3	4,560	16,420	60,11	0,102	ano	54,650	107,005	-	160,000
5	4,540	16,340	60,11	0,028	ne	138,612	271,402	59,780	72,000
6	3,860	13,900	60,11	0,102	ano	73,076	189,413	-	88,000
7	3,920	14,110	60,11	0,102	ano	59,687	154,709	-	72,000
8	3,760	13,540	60,11	0,064	ne	15,611	40,464	10,762	136,000
9	3,900	14,040	60,11	0,075	ne	12,292	31,861	8,169	144,000

12 Závěr

Výsledkem mé práce je plně použitelný model pro simulace nárazových zkoušek, včetně testování prvků pasivní bezpečnosti. Model je využitelný i pro zkoušku srážky automobilu s chodcem a může sloužit i jako výukový prvek k demonstraci chování nepřipoutaného těla pasažérů ve chvíli nárazu vozidla do překážky. Lze na něm testovat i funkčnost bezpečnostních pásů a jejich ukotvení, náraz torza řidiče na mechanismus řízení, pevnost sedadel, úchytů a opěrek hlavy, výčnělky, dětské zádržné systémy a další. Cílem této práce bylo kromě měření i ověření funkčnosti modelu vytvořeného pro tuto práci. Bylo nutné ověřit, zda jeho technické parametry odpovídají těmto typům zkoušek a zda všechny jeho části plní své funkce.

Z experimentů je patrné, že výsledky se liší i ve skupině měření, jež měla stejné počáteční podmínky. To může být, dle mého názoru, způsobeno rozdílnou mírou slunečního záření v místě měření, čímž docházelo k roztahování gumových tlumičů při vyšších teplotách a ke smršťování při teplotách nižších. Přesto nelze u takto relativně malého vzorku měření říci, jak se budou části urychlovacího zařízení chovat při jiných počátečních podmínkách a jak to ovlivní výsledky.

Tato práce pro mě byla přínosem nejen díky rozšíření mých stávajících znalostí pasivní bezpečnosti, ale i díky nově nabytým zkušenostem ve vytváření realistických modelů. Myslím si, že model urychlovacího zařízení najde své uplatnění při výuce pasivní bezpečnosti a bude velkým přínosem do studia bezpečnosti vozidel. Po technických úpravách zařízení tj. prodloužení rozjezdové dráhy a prodloužení tlumičů bude možné provádět simulace i při vyšších nárazových rychlostech, což bude realističtěji simulovat skutečnost.

13 Použité zdroje

1. Vlk, František. *Karoserie motorových vozidel*. Brno : Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. ISBN 80-238-5277-9.
2. Co je vlastně dopravní nehoda ? *Policie České republiky*. [Online] <http://www.policie.cz/clanek/co-je-vlastne-dopravni-nehoda.aspx>.
3. First, Jiří. *Zkoušení automobilů a motocyklů - Příručka pro konstruktéry*. Praha : S&T CZ s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
4. Stříteský, Petr. Pasivní bezpečnost autobusů. *Soudní inženýrství*. [Online] <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2004-04-206-207.pdf>.
5. Pasivní bezpečnost autobusů. *D-FENS*. [Online] <http://www.dfens-cz.com/view.php?cisloclanku=2012070101>.
6. Hybrid III 50th Male Dummy. *Humanetics innovative solutions*. [Online] <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/hybrid-iii-50th>.
7. ES-2 Side Impact Dummy. *Humanetics innovative solutions*. [Online] <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/side-impact/es-2>.
8. Bezpečnost posádky vozidla. *Vysoké učení technické v Brně*. [Online] <http://www.vutbr.cz/usi/dokumenty/dokumenty-ke-stazeni-f23776/bezpecnost-vozidel-silnicniho-provozu-materialy-k-predmetu-d75943/08-bezpecnost-posadky-vozidla-pdf-p67169>.
9. Průšek, Ondřej. Analýza metod měření deformací na vozidlech při nárazových zkouškách. *Digitální knihovna Univerzity Pardubice*. [Online] <https://dspace.upce.cz/bitstream/10195/29697/1/text.pdf>.
10. Crash Test. *Crashtest.org- Vehicle safety and accident prevention*. [Online] <http://www.crashtest.org/>.
11. APV Safety Products. *APV-S Safety Products*. [Online] 2. Srpen 2013. <http://www.apvsafetyproducts.com/apv-safety/the-all-new-commodore-vf-proves-its-world-class-safety-at-the-apv-crash-facility>.
12. Náraz do sloupu. *dTest*. [Online] <https://www.dtest.cz/clanek-68/naraz-do-sloupu>.
13. Pasivní bezpečnost. *Tuv-Sud*. [Online] http://www.tuv-sud.cz/uploads/images/1295447599350026720602/pl_pasivni_bezp_a4_cj.pdf.
14. ÚAMK bezpečnost silničního provozu – Simulátory nárazu. *Svět v bezpečí*. [Online] 27. Únor 2013. <http://svetvbezpeci.cz/2013/02/uamk-bezpecnost-silnicniho-provozu-simulatory-narazu/>.
15. Hmotnost. *Wikipedie*. [Online] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hmotnost>.
16. Nárazové zkoušky. boční náraz. *EuroNcap*. [Online] <http://euroncap.nen.cz/index.php?pid=3>.
17. ČSN 30 0025. *Základní automobilové názvosloví. Základní části a ústrojí vozidel, příslušenství, výstroj a výbava. Definice základních pojmů*. 1968.

14 Seznam použitých zkratek a veličin

Zkratky

Zkratka	Název
<i>Euro NCAP</i>	European New Car Assessment Programme
<i>NHTSA</i>	National Highway traffic safety administration
<i>ANCAP</i>	Australasian New Car Assessment Program
<i>EHK/OSN</i>	Evropska hospodářská komise OSN
<i>MDCR</i>	Ministerstvo dopravy ČR
<i>ISO</i>	International Organization for Standardization
<i>FFT</i>	Fast Fourier Transform
<i>RCAR</i>	Research Council for Automobile Repairs

Veličiny

Označení	Jednotky	Popis
<i>m</i>	[kg]	Hmotnost
<i>v</i>	[m · s ⁻¹]	Rychlost
<i>a</i>	[m · s ⁻²]	Zrychlení
<i>E_K</i>	[J]	Kinetická energie
<i>F</i>	[N]	Síla
<i>c</i>	[N · m ⁻¹]	Tuhost
<i>b</i>	[Ns · m ⁻¹]	Útlum
<i>s</i>	[m]	Dráha
<i>t</i>	[s]	Čas
<i>ε</i>	[-]	Koeficient restituce
<i>ξ̇</i>	[m · s ⁻¹]	Deformační rychlost
<i>ξ̈</i>	[m · s ⁻²]	Deformační zrychlení
<i>P</i>	[N]	Deformační síla

15 Seznam obrázků

- Obrázek 1. Schéma zkoušky nárazem torza podle předpisu EHK – R 12
- Obrázek 2. Schéma zkušebního stavu pro kontrolu zakotvení bezpečnostních pásů podle předpisu EHK – R 14
- Obrázek 3. Stav pro zkoušky sedadel podle předpisu EHK – R 17
- Obrázek 4. Měřící místo pro zkoušku pevnosti karoserie autobusů
- Obrázek 5. Převrácení autobusu Karosa
- Obrázek 6. Schéma zkoušky pevnosti karoserie autobusu převrácením
- Obrázek 7. Zkušební figurína Hybrid III
- Obrázek 8. Umístění snímačů ve figuríně Hybrid III
- Obrázek 9. Zkušební figurína EuroSid 2
- Obrázek 10. Umístění snímačů ve figuríně EuroSid 2
- Obrázek 11. Schéma figuríny pro ověřování zůstatkového prostoru
- Obrázek 12. Limitní hodnoty pro NIC
- Obrázek 13. Limitní hodnoty poranění FFC
- Obrázek 14. Schéma čelního nárazu s offsetem 40 %
- Obrázek 15. Čelní nárazová zkouška s offsetem 40 %
- Obrázek 16. Schéma boční nárazové zkoušky mobilní bariérou
- Obrázek 17. Boční nárazová zkouška mobilní bariérou
- Obrázek 18. Schéma boční nárazové zkoušky do sloupu
- Obrázek 19. Boční nárazová zkouška do sloupu
- Obrázek 20. Urychlovací vozík se skeletem vozidla
- Obrázek 21. Simulátor nárazu ÚAMK
- Obrázek 22. Relativní četnost nehod podle různých směrů nárazu
- Obrázek 23. Dynamický model nárazu
- Obrázek 24. Náraz vozidla na pevnou bariéru
- Obrázek 25. Průběh deformační síly a průběh deformačního zrychlení v závislosti na deformaci – 1. případ
- Obrázek 26. Průběh deformační síly a průběh deformačního zrychlení v závislosti na deformaci – 2. případ
- Obrázek 27. Průběh deformační síly a průběh deformačního zrychlení v závislosti na deformaci – 3. případ
- Obrázek 28. Kolejnice vymodelované v programu Autocad
- Obrázek 29. Dynamická plošina
- Obrázek 30. Prostor pro vedení pružin
- Obrázek 31. Měření tuhostí pružin
- Obrázek 32. Tlumiče nárazu

Obrázek 33.	Upravená kabina modelu vozu
Obrázek 34.	Měřicí pracoviště
Obrázek 35.	Snímky z vysokorychlostní kamery při měření č. 4
Obrázek 36.	Snímková sekvence experimentu č. 1
Obrázek 37.	Snímková sekvence experimentu č. 2
Obrázek 38.	Snímková sekvence experimentu č. 3
Obrázek 39.	Snímková sekvence experimentu č. 5
Obrázek 40.	Snímková sekvence experimentu č. 6
Obrázek 41.	Snímková sekvence experimentu č. 7
Obrázek 42.	Snímková sekvence experimentu č. 8
Obrázek 43.	Snímková sekvence experimentu č. 9

16 Seznam tabulek

Tabulka 1.	Limitní hodnoty při zkoušce nárazu na mechanismus řízení
Tabulka 2.	Základní rozměry figuríny Hybrid III
Tabulka 3.	Rozměry figuríny ES 2
Tabulka 4.	Odstraněné díly z modelu
Tabulka 5.	Hmotnosti modelů figurín
Tabulka 6.	Výsledky experimentu č. 4
Tabulka 7.	Konfigurace jednotlivých experimentů
Tabulka 8.	Výsledky jednotlivých experimentů

17 Seznam grafů

Graf 1.	Určení tuhostí pružin
Graf 2.	Měření 4 - Průběh zrychlení v celém měřeném úseku
Graf 3.	Měření 4 - Průběh zrychlení v momentě nárazu
Graf 4.	Měření 4 - Frekvenční analýza FFT
Graf 5.	Měření 1 - Průběh zrychlení v celém měřeném úseku
Graf 6.	Měření 1 - Průběh zrychlení v momentě nárazu
Graf 7.	Měření 1 - Frekvenční analýza FFT
Graf 8.	Měření 2 - Průběh zrychlení v celém měřeném úseku
Graf 9.	Měření 2 - Průběh zrychlení v momentě nárazu
Graf 10.	Měření 2 - Frekvenční analýza FFT
Graf 11.	Měření 3 - Průběh zrychlení v celém měřeném úseku
Graf 12.	Měření 3 - Průběh zrychlení v momentě nárazu
Graf 13.	Měření 3 - Frekvenční analýza FFT
Graf 14.	Měření 5 - Průběh zrychlení v celém měřeném úseku
Graf 15.	Měření 5 - Průběh zrychlení v momentě nárazu
Graf 16.	Měření 5 - Frekvenční analýza FFT
Graf 17.	Měření 6 - Průběh zrychlení v celém měřeném úseku
Graf 18.	Měření 6 - Průběh zrychlení v momentě nárazu
Graf 19.	Měření 6 - Frekvenční analýza FFT
Graf 20.	Měření 7 - Průběh zrychlení v celém měřeném úseku
Graf 21.	Měření 7 - Průběh zrychlení v momentě nárazu
Graf 22.	Měření 7 - Frekvenční analýza FFT
Graf 23.	Měření 8 - Průběh zrychlení v celém měřeném úseku
Graf 24.	Měření 8 - Průběh zrychlení v momentě nárazu
Graf 25.	Měření 8 - Frekvenční analýza FFT
Graf 26.	Měření 9 - Průběh zrychlení v celém měřeném úseku
Graf 27.	Měření 9 - Průběh zrychlení v momentě nárazu
Graf 28.	Měření 9 - Frekvenční analýza FFT

18 Seznam příloh

- Příloha 1. Výkres modelu urychlovacího zařízení 1:1
Příloha 2. Výkres modelu dynamické plošiny 1:1