



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Jakub Jirák

SIMULÁTOR NÁRAZU – METODY VYUŽITÍ

Bakalářská práce

2015



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
d ě k a n
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K616.....Ústav dopravních prostředků

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Jakub Jirák

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – AUT – Automatizace a informatika

Název tématu (česky): **Simulátor nárazu - metody využití**

Název tématu (anglicky): Crash simulator - methods of use

Zásady pro vypracování

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

- Proved'te rešerši a rozbor dopravních kolizí, studujte přitom mechaniku nárazu
- Seznamte se s konstrukcemi zařízení a simulátorů pro urychlení dopravních prostředků ke kolizi
- Uved'te přehled konstrukčních prvků pasivní bezpečnosti
- Navrhňte metody využití simulátoru nárazu k ověření účinnosti prvků pasivní bezpečnosti
- Navrhňte metody využití simulátoru nárazu v oboru pasivní bezpečnost

- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Kovanda, J. – Šatochin, V.: Pasivní bezpečnost. Praha: Skriptum ČVUT
KRAMER, F. Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen.
First, J. a kol.: Zkoušení automobilů a motocyklů: příručka pro konstruktéry. Praha: S&T_CZ_2008
Předpisy EHK/OSN; Euro NCAP


Vedoucí bakalářské práce:

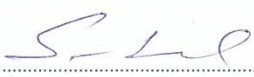
Ing. Jiří First
Ing. Josef Mík

Datum zadání bakalářské práce: **26. června 2013**
(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 bakalářské práce: **24. srpna 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

L. S.


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


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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Jakub Jiráček
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 2. prosince 2014

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji Ing. Jiřímu Firstovi a Ing. Josefu Míkovi za odborné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytovali po celou dobu mého studia na projektu „Konstrukce dopravních prostředků“. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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 užití 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 20. srpna 2015


.....
Jakub Jirák

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

SIMULÁTOR NÁRAZU – METODY VYUŽITÍ

Bakalářská práce

srpen 2015

Jakub Jirák

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je vytvořit si představu o existujících nárazových simulátorech a o zkouškách prvků pasivní bezpečnosti, které na nich probíhají. Na základě této analýzy pak vybrat zkoušky proveditelné na fakultním nárazovém simulátoru a k těmto zkouškám navrhnout a vytvořit metodiky, podle kterých budou probíhat.

Klíčová slova:

Simulátor nárazu, decelerační zařízení, pasivní bezpečnost, zkoušení, metodika, metodologie

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE
Faculty of Transportation Sciences

CRASH SIMULATOR – METHODS OF USE

Bachelor thesis

August 2015

Jakub Jirák

Abstract

The subject of this bachelor thesis is to analyze existing crash simulators and passive safety features tests, which are conducted on them. On the basis of this analysis then to choose tests, which we would be able to conduct on the faculty crash simulator and to design and create methodics for these tests.

Key words:

Crash simulator, deceleration device, passive safety, testing, methodic, methodology

Obsah

1	Úvod	7
2	Dopravní nehody – statistika	8
2.1	Základní údaje o nehodách v ČR	9
2.2	Hlavní příčiny nehod	10
2.3	Hmotné škody	11
2.4	Druhy nehod	11
2.5	Nehody z hlediska automobilové techniky	12
2.5.1	Stáří vozidla	13
2.5.2	Poškození po nehodě	13
2.5.3	Airbagy	15
3	Přehled konstrukčních prvků pasivní bezpečnosti	16
3.1	Karoserie	17
3.2	Nárazníky	19
3.3	Ochrana chodců	20
3.3.1	Tvar a konstrukce předě vozidla	20
3.3.1.1	Kapota	21
3.4	Zadržné systémy	22
3.4.1	Bezpečnostní pásy	22
3.4.2	Airbagy	23
3.4.3	Sedadla a opěrky hlavy	25
4	Přehled deceleračních zkušeben	26
4.1	Zkušebna pasivní bezpečnosti DEKRA	27
4.2	TÜV SÜD Czech s.r.o.	28
4.3	ÚAMK	29
5	Simulátor nárazu – konstrukce	30
5.1	Dráha	30
5.2	Urychlovací zařízení	31
5.3	Brzdové systémy	31
5.3.1	Simulace nárazu	31
5.3.2	Řízené zpomalení	31
5.4	Bezpečnost simulátoru	31
6	Seznam zkoušek proveditelných na simulátoru	33
6.1	Zkoušky podle předpisů EHK/OSN	33

6.1.1	Dynamická zkouška pevnosti zámků dveří	33
6.1.2	Dynamická zkouška bezpečnostních pásů	34
6.1.3	Dynamická zkouška dětských zádržných systémů.....	34
6.1.4	Sedadla	35
6.1.4.1	Zkouška pevnosti uchycení sedadla a jeho systémů seřízení	35
6.1.4.2	Zkouška ochrany cestujících před posunem zavazadel.....	35
6.1.4.3	Dynamické zkoušky zádržné funkce sedadel autobusů.....	35
6.2	Zkoušky pro výzkumné účely.....	36
6.2.1	Ochrana řidiče při nárazu na mechanismus řízení	36
6.2.1.1	Zkouška bezpečnosti interiéru vozidla.....	36
6.2.2	Zkoušky opěrky hlavy a absorpce energie sedadla.....	37
6.2.3	Zkoušky ochrany chodců	37
6.3	Zkoušky s živými osobami	38
7	Metodiky a metodologie	39
7.1	Obecné požadavky na metodiku zkoušky	39
7.2	Obecné schéma metodiky zkoušky.....	40
8	Ukázkové metodiky zkoušek.....	42
8.1	Dynamická zkouška pevnosti zámků dveří podle EHK/OSN č. 11	42
8.2	Ochrana řidiče při nárazu na mechanismus řízení	45
8.3	Demonstrační zkouška s živou posádkou	48
9	Závěr	50
10	Seznam použitých zkratk.....	52
11	Použité zdroje	53

1 Úvod

Tato bakalářská práce je jednou ze série prací, vedených ústavem dopravních prostředků fakulty dopravní, které se zabývají návrhem nárazového simulátoru vlastní konstrukce, který by sloužil na fakultě pro výukové účely. Konkrétní zaměření této práce jsou zkoušky, které by se na simulátoru daly provádět a metody jejich provedení.

Historickým vývojem dopravy, zejména jejím zrychlováním a zvyšováním hustoty, vznikla potřeba legislativně upravit nejen pravidla provozu, ale také technický stav provozovaných vozidel. Od 19. století byly nejprve na národní a později mezinárodní úrovni vydávány různé zákony a nařízení týkající se dopravy a dopravních prostředků. Aby mohlo být vozidlo vpuštěno do provozu, musí tyto zákony svou konstrukcí a technickým stavem splňovat.

V současné době musí každé vozidlo projít celou řadou zkoušek předtím, než získá homologaci a bude schválené do provozu. Zkoušejí a homologují se i jednotlivé konstrukční prvky vozidla, pro které zákon stanovuje nějaké požadavky a omezení. Tyto zkoušky probíhají v akreditovaných zkušebnách podle předem daných a striktně dodržovaných postupů. Postupy a technická zařízení, používaná pro testování, se samozřejmě značně liší, podle toho jaký konstrukční prvek a z jakého hlediska se testuje. Nárazový simulátor, který je předmětem této práce, je právě jedním druhem zařízení, která se používají ve zkušebnách při zkouškách konstrukčních prvků vozidel.

Cílem této práce je dát přehled o existujících nárazových simulátorech a o prvcích pasivní bezpečnosti, které jsou na těchto simulátorech testovány. Dále popsat návrh konstrukce zamýšleného fakultního nárazového simulátoru a vybrat zkoušky, které by na něm bylo možno provádět. Nakonec vypracovat metodiku pro tyto zkoušky a obecně ji na jednotlivé zkoušky aplikovat. Jako první kapitolu práce navíc uvádím statistiku nehodovosti a rešerši na téma dopravních nehod.

2 Dopravní nehody – statistika

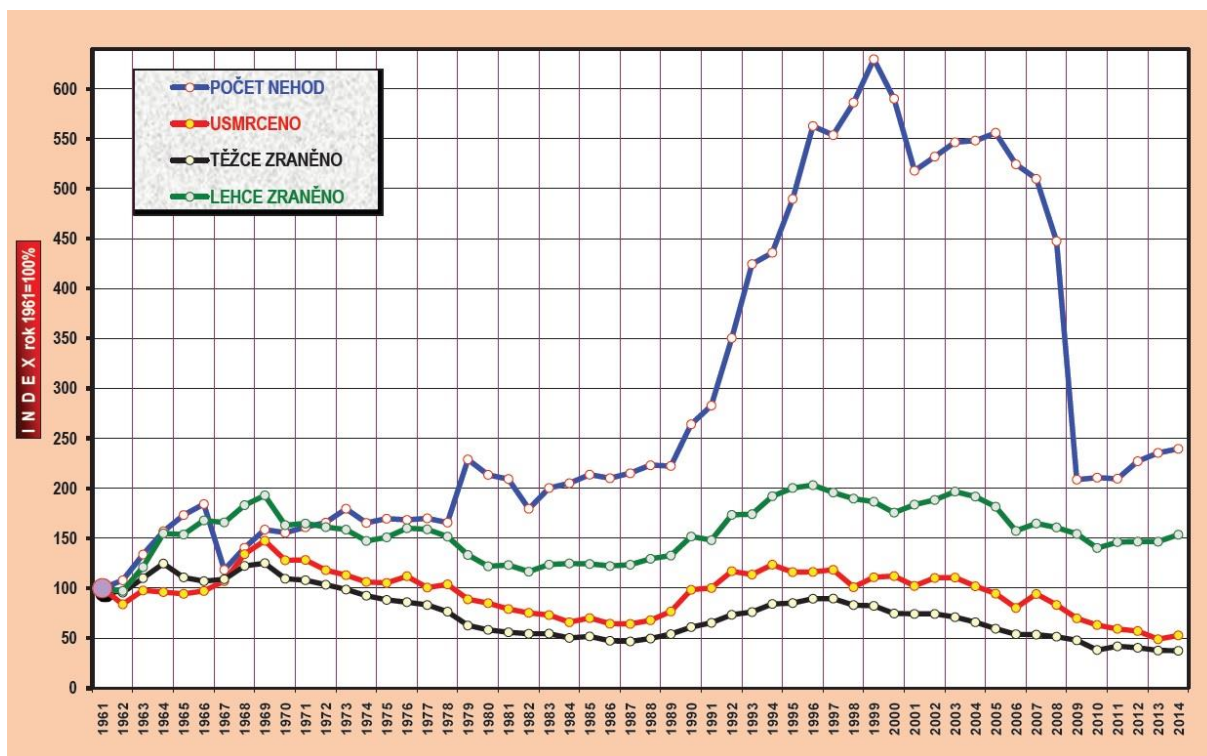
Za rok 2014 došlo v ČR k 85 859 dopravním nehodám, při nichž zemřelo 629 lidí a 2 762 bylo těžce zraněno. Hmotné škody se odhadují na necelých 5 miliard korun, k tomu bychom mohli přičíst společenské ekonomické ztráty, které se v případě usmrčeného člověka při dopravní nehodě odhadují na 18 miliónů korun a v případě těžce zraněného přes 5 miliónů korun. Celkové ekonomické ztráty vzniklé dopravními nehodami za jeden rok jsou tedy jen v ČR odhadem přes 30 miliard korun, celosvětově pak škody způsobené dopravními nehodami přesahují 500 miliard dolarů. Při tak obrovských ekonomických a společenských ztrátách je logické, že cílem státu a nutně tedy i výrobců automobilů je počet obětí a následky dopravních nehod snižovat. K tomu slouží z hlediska konstrukce automobilu hlavně prvky aktivní a pasivní bezpečnosti. [1] [3]

Přehled o nehodovosti na pozemních komunikacích vydává Policie ČR každý měsíc a každý rok navíc vydává obsáhlou výroční zprávu, která sleduje počty, příčiny i následky dopravních nehod z mnoha různých úhlů pohledu. Ze statistiky PČR vychází naprostá většina přehledů týkajících se dopravních nehod, je ovšem potřeba si uvědomit, že zaznamenané počty dopravních nehod a odhadované hmotné škody jsou značně zkreslené povinností ohlašovat nehodu až nad škodou 100 000 korun.

Ještě detailnější analýzou dopravních nehod se zabývá projekt HADN (Hloubková analýza dopravních nehod) Centra dopravního výzkumu. Tento projekt provádí podrobnou analýzu nehod zcela nezávisle na PČR a detailně zkoumá každou nehodu z hlediska dopravní infrastruktury, automobilové techniky a zdravotního a psychologického stavu účastníků nehody. Nedílnou součástí analýzy každé nehody je také její zpětná simulace pomocí speciálního SW a návrh dopravně bezpečnostních doporučení. Takto detailní analýza ovšem znamená, že v rámci projektu HADN bylo za rok 2013 šetřeno pouhých 122 nehod, navíc jen v okolí Brna. Přesto poskytuje jejich výroční zpráva zajímavé a jinde nedostupné informace a statistiky. [1]

2.1 Základní údaje o nehodách v ČR

Na obrázku 1 vidíme graf trendu vývoje základních ukazatelů nehodovosti v ČR od roku 1961 do roku 2014. Součástí grafu je i křivka vývoje počtu dopravních nehod s výrazným poklesem mezi lety 2008 a 2009, kdy byla zavedena povinnost hlásit nehodu PČR až od škody přesahující 100 000 Kč.



Obrázek 1 – Graf vývoje základních ukazatelů nehodovosti v ČR trend od r. 1961 [2]

Vývoj základních ukazatelů z grafu na *obrázku 1* je uveden v číslech od roku 1990 do roku 2014 v *tabulce 1*.

Tabulka 1 - vývoj základních ukazatelů nehodovosti od r. 1990 [2]

ROK	POČET NEHOD	z toho S NÁSLEDKY NA ŽIVOTĚ NEBO ZDRAVÍ	USMRCENO	TĚŽCE ZRANĚNO	LEHCE ZRANĚNO
1990	94 664	21 910	1 173	4 519	23 371
1991	101 387	21 460	1 194	4 833	22 806
1992	125 599	24 936	1 395	5 429	26 708
1993	152 157	25 147	1 355	5 629	26 821
1994	156 242	27 590	1 473	6 232	29 590
1995	175 520	28 746	1 384	6 298	30 866
1996	201 697	29 340	1 38	6 621	31 296
1997	198 431	28 376	1 411	6 632	30 155
1998	210 138	27 207	1 204	6 152	29 225
1999	225 690	26 918	1 322	6 093	28 747
2000	211 516	25 445	1 336	5 525	27 063
2001	185 664	26 027	1 219	5 493	28 297
2002	190 718	26 586	1 314	5 492	29 013
2003	195 851	27 320	1 319	5 253	30 312
2004	196 484	26 516	1 215	4 878	29 543
2005	199 262	25 239	1 127	4 396	27 974
2006	187 965	22 115	956	3 990	24 231
2007	182 736	23 060	1 123	3 960	25 382
2008	160 376	22 481	992	3 809	24 776
2009	74 815	21 706	832	3 536	23 777
2010	75 522	19 676	753	2 823	21 610
2011	75 137	20 487	707	3 092	22 519
2012	81 404	20 504	681	2 986	22 590
2013	84 398	20 342	583	2 782	22 577
2014	85 859	21 054	629	2 762	23 655

K uvedeným číslům lze dále doplnit, že největší podíl na nehodách mají osobní automobily (v roce 2014 z 141 892 vozidel s účastí na nehodách bylo 97 930 osobních automobilů), následovány nákladními automobily, motocykly a autobusy. Nejvíce nehod je s účastí dvou vozidel (v roce 2014 to bylo 46 072 z celkového počtu 85 859 nehod), na druhém místě nehody s účastí jednoho vozidla (v roce 2014 to bylo 35 323 z celkového počtu 85 859 nehod). [2]

2.2 Hlavní příčiny nehod

Nejčastější příčinou dopravních nehod je nesprávný způsob jízdy. Pod tímto označením se skrývá např. nedostatečná pozornost při řízení vozidla, nedodržení bezpečné vzdálenosti, nesprávné otáčení nebo couvání. Jak můžeme vidět v *tabulce 2*, nesprávný způsob jízdy je

sice nejčastější příčinou dopravních nehod (62,9%), ale větší počet usmrcených má na svědomí nepřiměřená rychlost, která je přitom příčinou jen 17,5% dopravních nehod. [2]

Pod vlivem alkoholu bylo v roce 2014 zaviněno 4 637 nehod (6% celkového počtu), při kterých bylo usmrceno 63 osob a dalších 2 366 zraněno. [2]

Tabulka 2 - hlavní příčiny nehod [2]

PŘÍČINA NEHODY	Počet nehod	tj. %	Počet usmrcených	tj. %
NEPŘIMĚŘENÁ RYCHLOST	12 783	17,5	241	41,4
NESPRÁVNÉ PŘEDJÍŽDĚNÍ	1 517	2,1	33	5,7
NEDÁNÍ PŘEDNOSTI	12 751	17,5	79	13,6
NESPRÁVNÝ ZPŮSOB JÍZDY	45 790	62,9	229	39,3

2.3 Hmotné škody

V roce 2014 byla podle odhadu PČR při dopravních nehodách způsobena celková hmotná škoda ve výši 4 933 233 900 Kč. Průměrná výše škody přitom logicky závisí na vážnosti nehody, tedy je nejvyšší u nehod s usmrcením a postupně klesá s vážností nehody. [2]

2.4 Druhy nehod

Nejčastějším druhem nehody je srážka jedoucích vozidel, při kterých bylo také usmrceno nejvíce osob. Na druhém místě je srážka s pevnou překážkou, z nichž nejhorší bilanci mají srážky se stromem. Počty jednotlivých druhů nehod vidíme v *tabulce 3*. [2]

Tabulka 3 - Druhy nehod v roce 2014 [2]

Druh nehody	Počet nehod	Počet usmrcených
srážka s jedoucím nekolejovým vozidlem	30 760	279
srážka s vozidlem zaparkovaným	16 774	11
srážka s pevnou překážkou	18 938	174
srážka s chodcem	3 492	106
srážka s lesní zvěří	7 409	0
srážka s domácím zvířetem	482	0
srážka s vlakem	150	23
srážka s tramvají	621	0
havárie (nehoda jednoho vozidla)	5 317	29
jiný druh nehody	1 916	7

2.5 Nehody z hlediska automobilové techniky

Z policejních statistik a hlavně z detailních analýz projektu HADN můžeme vyčíst některé souvislosti mezi příčinami a následky nehod s technickým stavem a vybavením vozidel, která se nehody účastnila. Součástí vyšetřování nehody je hodnocení technického stavu vozidla a případné označení technické závady jako hlavní příčiny dopravní nehody. Technická závada se ale jako hlavní příčina objevuje velmi zřídka, za 3 roky fungování projektu HADN bylo pouze u jediné nehody prokázáno, že byla způsobena technickou závadou. Je to samozřejmě způsobeno malým počtem nehod, které projekt HADN analyzuje, ale i celorepublikově se podle přehledu PČR jedná o pouhé desítky případů, které se navíc častěji objevují u nákladních automobilů. Mezi technické závady, které se mohou stát hlavní příčinou nehody, patří například defekt pneumatiky, upadnutí kola, závada provozní brzdy, nesprávné uložení nákladu apod. [1] [2]

Přestože technická závada netvoří jako hlavní příčina nehody významné procento případů, můžeme z hlediska automobilové techniky pozorovat průvodní jevy dopravních nehod, jako je stáří automobilu, obsah motoru, vybavení prvky pasivní bezpečnosti, stav pneumatik, poškození automobilu po nehodě apod.

2.5.1 Stáří vozidla

Velmi zajímavým údajem u dopravní nehody je stáří vozidel, která se nehody účastnila. Jak vidíme v *tabulce 4*, v roce 2014 byla havarovaná vozidla nejčastěji vyrobená mezi lety 2005-2010, tzn. mezi devíti a čtyřmi lety stáří. Nejvíce osob však zemřelo v autech vyrobených mezi lety 1995-1999 (stáří 15-19 let) a to přestože automobilů vyrobených v tomto období havarovalo v roce 2014 o více než polovinu méně, než automobilů z nejpočetněji zastoupené skupiny (2005-2010). Z těchto čísel je vidět jak moderní bezpečnostní prvky v automobilech ovlivňují šanci na přežití cestujících. To potvrzuje i velmi příznivý poměr mezi počtem nehod a usmrcených osob u automobilů od roku výroby 2011. Pokud si například porovnáme automobily z let 2000-2004 proti automobilům s rokem výroby 2011-2013 zjistíme, že mají v podstatě stejný počet účastí na nehodách, ale v modernějších automobilech zemřelo asi 2,5krát méně lidí. [2]

Tabulka 4 - účast automobilů na nehodách podle roku výroby [2]

Rok výroby	Počet účastí na DN	tj. %	Usmrceno ve vozidle	tj. %
Starší než rok 1970	14	0,01	0	0,00
1970 – 1979	69	0,07	0	0,00
1980 – 1984	57	0,06	0	0,00
1985 – 1989	423	0,43	5	1,57
1990 – 1994	2 089	2,14	19	5,97
1995 – 1999	15 352	15,70	103	32,39
2000 – 2004	20 933	21,41	74	23,27
2005 – 2010	35 686	36,50	86	27,04
2011-2013	19 785	20,24	30	9,43
2014	3 368	3,44	1	0,31

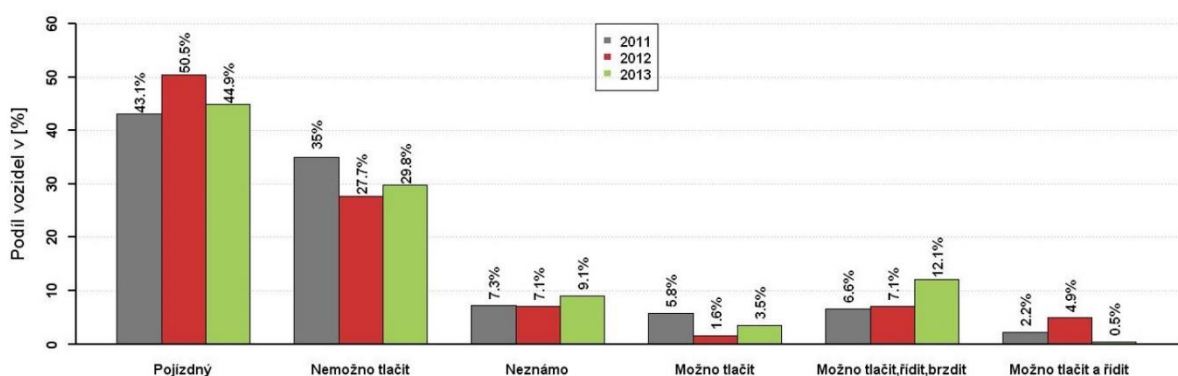
2.5.2 Poškození po nehodě

Další statistika, na kterou se můžeme podívat, je míra poškození vozidel po nehodě. V tomto případě budeme čerpat ze statistiky projektu HADN, takže statistický soubor je bohužel poněkud omezený. Přesto v průběhu třech let, kdy projekt funguje, jsou výsledky statistik, co se týká poškození vozidel, poměrně konzistentní.

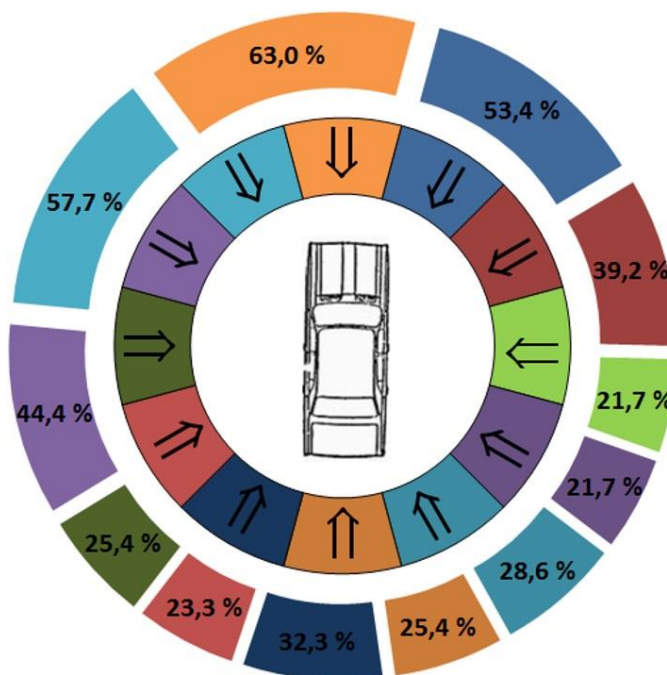
Na *obrázku 2* vidíme graf, který ukazuje stav vozidel po nehodě a jak se podíl vozidel v jednotlivých skupinách lišil v průběhu 3 let kdy projekt HADN probíhá. Nejpočetnějšími skupinami jsou tedy vozidla pojízdná a potom naopak vozidla úplně nepojízdná, která není možné ani odtlačit. Vozidla s různou mírou poškození mezi těmito krajními případy jsou zastoupena řádově méně. [1]

Projekt HADN nám poskytuje statistiku i o tom, jaká část vozidla je při dopravní nehodě nejčastěji poškozena. Graf znázorňující poškození jednotlivých částí karoserie je na *obrázku 3*. Je z něj patrné, že nejčastěji mají vozidla poškozenou přední část, což odpovídá policejní statistice, že nejčastějším typem nehody je srážka s jiným automobilem a náraz do pevné překážky. Nejméně často jsou poškozeny boky, o něco častěji pak zadní část vozidla. Na *obrázku 4* je pak graf poškození střechy a podvozku vozidla. Nepřekvapí, že k poškození střechy dochází nejčastěji při převrácení vozidla, ale může k němu dojít i nárazem do jiného vozidla nebo pevné překážky ve vysoké rychlosti. K poškození podvozku dochází častěji a to shodně při střetu s jiným vozidlem, s pevnou překážkou nebo při vyjetí vozidla mimo vozovku.

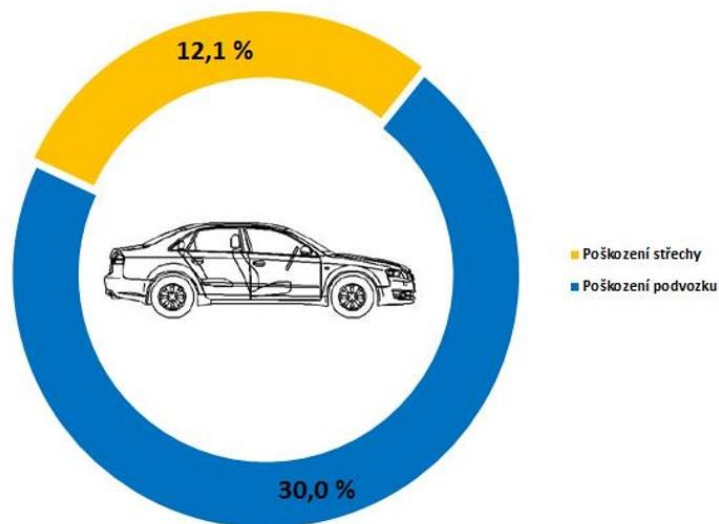
[1]



Obrázek 2 - graf pohyblivosti vozidel po dopravní nehodě [1]



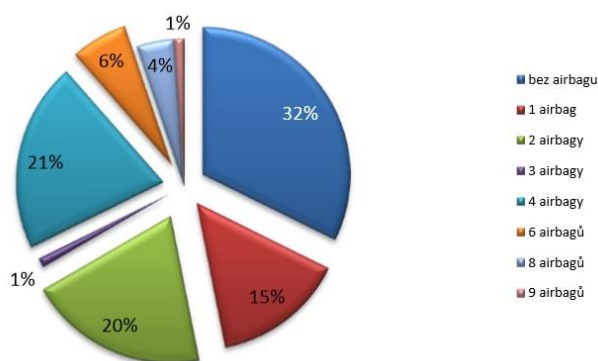
Obrázek 3 – graf poškození jednotlivých částí karoserie [1]



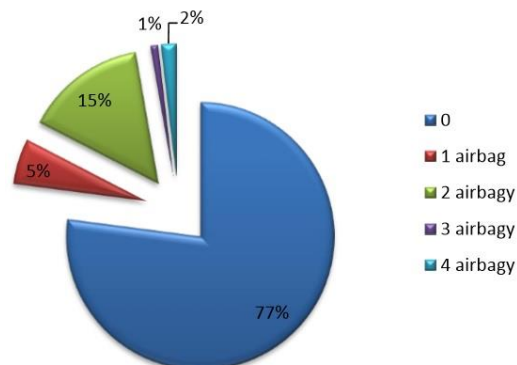
Obrázek 4 - graf poškození střechy a podvozku [1]

2.5.3 Airbagy

Při hloubkové analýze dopravních nehod zjišťují pracovníci HADN jako jeden z parametrů také počet airbagů ve vozidle a u kolika z nich došlo k aktivaci. V roce 2013 byla nejpočetnější skupinou vozidla nevybavená žádným airbagem. Tato vozidla tvořila 32% ze všech vyšetřovaných, což ale vzhledem k počtu vyšetřovaných nehod znamená jen 31 vozidel. I tak je to překvapivý výsledek. Graf zastoupení vozidel podle počtu airbagů je na *obrázku 5*. V dalším grafu, na *obrázku 6*, můžeme vidět, kolik airbagů bylo při dopravní nehodě aktivováno. Nejčastěji to opět nebyl žádný airbag, což bylo v naprosté většině případů dáno charakterem nehody a k aktivaci airbagů ani dojít nemělo. Na druhém místě je aktivace dvou airbagů a to i přesto, že jak víme z předchozího grafu, většina vozidel, pokud je airbagy vybavena, jich má více než dva. Je to opět dané tím, že většina nárazů je do přední části vozidla a aktivuje tedy jen dva přední airbagy. [1]



Obrázek 5 - počet airbagů ve vozidle [1]



Obrázek 6 - počet aktivovaných airbagů [1]

3 Přehled konstrukčních prvků pasivní bezpečnosti

Jak bylo řečeno již v předchozích kapitolách, následky dopravních nehod jsou tak výrazné, že automobilová bezpečnost je společenským, ekonomickým i marketingovým tématem. Ve snaze předejít dopravním nehodám nebo alespoň výrazně snížit jejich následky jsou vyvíjeny a zdokonalovány nejrůznější bezpečnostní prvky a bezpečnost je při návrhu vozidla jedním z nejdůležitějších hledisek, které ovlivňuje konstrukci jednotlivých částí vozidla. Před uvedením na trh musí nová vozidla splnit náročný schvalovací proces podle mezinárodně platných předpisů EHS/ES, z nichž velká část se týká pasivní bezpečnosti. Bezpečnost vozidla je navíc důležitým marketingovým prvkem, který je pro mnoho kupujících důležitější než ostatní vlastnosti vozidla. [4] [5]

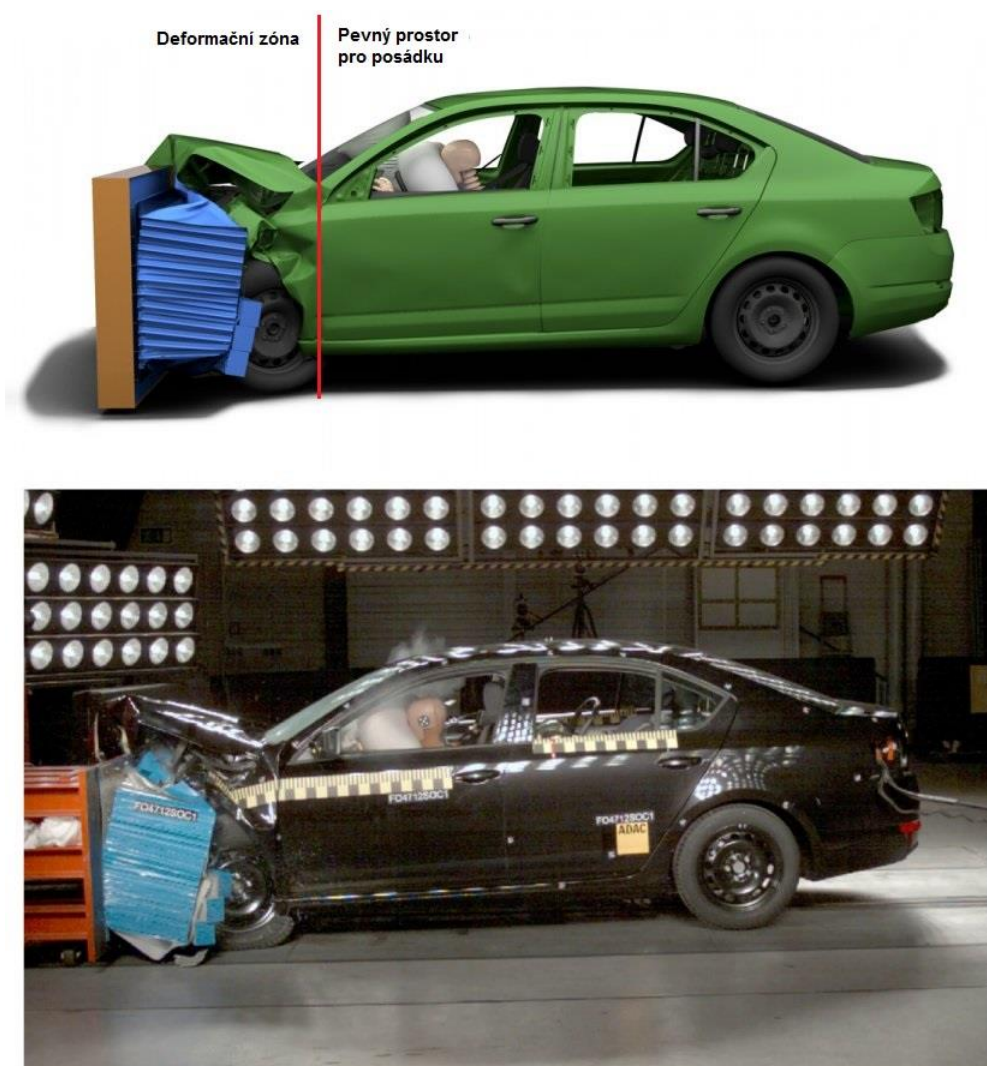
Prvky bezpečnosti můžeme dělit na aktivní a pasivní. Prvky aktivní bezpečnosti předcházejí nehodě a podílejí se na bezproblémovém provozu vozidla. Patří mezi ně např.: brzdy, řízení, dostatečný výkon motoru, jízdní stabilita, dostatečný výhled, prvky zajišťující pohodlí řidiče a v poslední době stále ve větší míře inteligentní bezpečnostní systémy a asistenty, které předcházejí nehodě včasným upozorněním řidiče, případně i zásahem do řízení vozidla. [4] [5]

Prvky pasivní bezpečnosti mají za úkol snížit následky nehody v případech, kdy prvky aktivní bezpečnosti nemohou nehodě zabránit. Jejich cílem je ochrana života a zdraví posádky v průběhu kolize. Nemohou zamezit všem zraněním posádky, ale okrajové podmínky jejich funkce se nastavují tak, aby pokud možno nedošlo ke zraněním smrtelným. [4] [5]

Tato kapitola uvádí seznam nejdůležitějších prvků pasivní bezpečnosti, které je možné testovat v nárazovém simulátoru. Nárazové simulátory a konkrétní návrh simulátoru pro využití na fakultě jsou popsány v dalších kapitolách této práce. Existuje mnoho dalších prvků pasivní bezpečnosti, které ale nejsou z hlediska využití simulátoru relevantní a proto zde nejsou uvedeny. Takovými prvky jsou například ochranná zařízení proti podjetí u nákladních vozidel, pevnost karoserie autobusů a kabin nákladních vozidel nebo bezpečnostní zasklení. [4]

3.1 Karoserie

Deformační zóny a pevná karoserie jsou základními a nejdůležitějšími prvky pasivní bezpečnosti. Jejich úkolem je absorbovat a rozložit co největší část kinetické energie vozidla při nárazu tím, že se vhodně deformují, tak aby co nejvíce snížily účinky decelerační síly na posádku vozidla. Naopak deformace prostoru kabiny pro posádku je nežádoucí, aby se zachoval dostatečný prostor pro přežití. Pozornost je třeba věnovat také konstrukci uložení motoru, která musí zajistit, že v případě nárazu nevnikne pohonná jednotka do kabiny pro posádku, ale bude nasměrována do prostoru pod vozidlem. Popsaná funkce deformačních zón a pevné kabiny vozidla je dobře vidět na *obrázku 7*, kde je zachycený stav vozidla po zkoušce čelním nárazem dle metodiky Euro NCAP. Na obrázku můžeme vidět jak výsledek reálného testu, tak i předchozí počítačové simulace, která se často pro návrh deformačních zón používá. [7] [5]



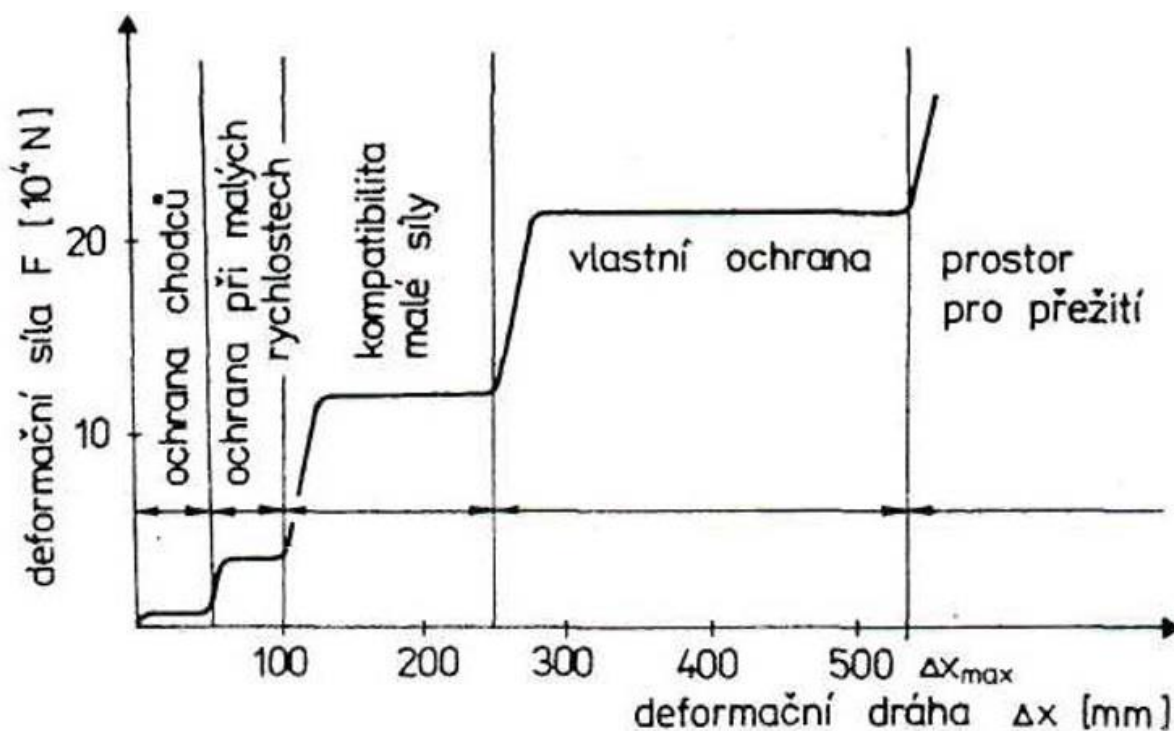
Obrázek 7 - deformační zóny po čelním nárazu [7]

Deformační zóny jsou takzvanými programovatelnými strukturami karoserie – jsou tvořeny plechy různé tloušťky, tuhosti a pevnosti, podélnými a příčnými nosníky, různými profily a výztuhami. Aby se dosáhlo co největší účinnosti struktury a ideálního průběhu deformace, používají se při návrhu počítačové metody a simulace, díky kterým je možné vyzkoušet celou řadu variant řešení ještě před vlastní výrobou automobilu. Na hotovém vozidle se potom provádí praktická bariérová zkouška, nejčastěji podle předpisů EHK 94 a EHK 95, která ověří účinnost vybraného řešení v praxi. [8]

Deformační charakteristika přední části vozidla by měla mít stupňovitý průběh míry deformace v závislosti na působící deformační síle. Deformační charakteristiku s pěti stupni deformace vidíme na *obrázku 8*. Pět stupňů deformace tvoří postupně s narůstající deformační silou:

- Ochrana chodců
- Ochrana při malých rychlostech – např. při parkování, malý rozsah deformace
- Kompatibilita malé síly – ochrana spoluúčastníka nehody
- Vlastní ochrana – rozsáhlejší deformace za účelem ochrany posádky při dodržení biomechanických kritérií pro přežití
- Prostor pro přežití – prudké zpomalení rozsahu deformace, tak aby byl zachován prostor pro přežití posádky. Možnost překročení biomechanických kritérií pro přežití.

[9]



Obrázek 8 – deformační charakteristika přední části vozidla [9]

Na rozdíl od přední a zadní části vozidla, které nabízí dostatečný prostor pro vytvoření vhodné deformační zóny, je na bocích vozidel jen minimální prostor pro absorpci kinetické energie. Proto je zde použit největší podíl vysokopevnostních materiálů, které jsou spolu s výztuhami dveří schopné pohltit poměrně značné množství energie. Přesto je náraz na dveře vozidla nebezpečný i při relativně malých rychlostech. [6] [5]

3.2 Nárazníky

Primární funkcí nárazníků osobních automobilů je ochrana vozidla při nárazech v nízké rychlosti. Vyhovující nárazník by měl zajistit, že po nárazu v rychlosti kolem $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ bude funkční osvětlení vozidla, všechny dveře půjdou normálním způsobem otvírat, z vozu nebudou unikat provozní kapaliny a základní funkce vozidla zůstanou nedotčeny. [4]

Moderním prvkem v konstrukci nárazníku jsou tzv. defoelementy, zvýrazněné na *obrázku 9*. Jedná se o výztuhy nárazníku, které svou deformací absorbují kinetickou energii nárazu v rychlosti až $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Při opravě tak stačí vyměnit jen zničené defoelementy, zatímco zbytek karoserie zůstane nepoškozený. [7]



Obrázek 9 - defoelementy nárazníku [7]

3.3 Ochrana chodců

Dopravní nehody s chodci patří mezi nejzávažnější, což je dáno obrovským rozdílem ve váze a rychlosti mezi chodcem a jedoucím automobilem (nekompatibilita). Chodci navíc, přestože nejsou na rozdíl od posádky vozidla ničím chráněni, často nevěnují okolní dopravě a jim hrozícímu nebezpečí dostatečnou pozornost. Následky takových nehod bývají pro chodce velmi vážné.

Ve snaze zmírnit následky střetů s chodci byly a stále jsou vyvíjeny různé prvky aktivní i pasivní bezpečnosti. V oblasti aktivní bezpečnosti se v současnosti jedná hlavně o inteligentní vozidlové systémy, které jsou schopné řidiče na blížící se srážku s chodcem upozornit, případně ji zásahem do řízení buď zcela odvrátit, nebo alespoň zmírnit její následky. Prvky pasivní bezpečnosti chodců se snaží co nejvíce zmírnit následky silného nárazu na některou z tuhých částí přídě automobilu. Právě silný náraz hlavy, zejména na kapotu, čelní sklo nebo A – sloupky vozidla, je podle statistik nejčastější příčinou usmrcení chodce. Některým řešením, která následky takové nehody snižují, se tato kapitola věnuje podrobněji. [10] [5]

3.3.1 Tvar a konstrukce přídě vozidla

Vzhled vozidel dnes již nezáleží pouze na designérech a požadavcích konstruktérů. Mnohé části automobilů mají legislativně dané požadavky na tvar, rozměry atd. Tvar, výška nebo délka přídě vozidla není tedy daná pouze požadavky na vzhled, ale z velké části také nařízenými pro zvýšení bezpečnosti. To se samozřejmě týká i materiálů použitých při výrobě, které musí splňovat limity svou tuhostí a celkové konstrukční řešení musí svou schopností absorbovat energii pomáhat ke snížení následků střetu s chodcem.

K prvotnímu nárazu při střetu s chodcem dochází nárazníkem vozidla a další pohyb sraženého chodce závisí z velké části právě na výšce nárazníku. Simulaci průběhu střetu dvou různě vysokých vozidel s chodcem vidíme na *obrázku 10*. Z této simulace je patrné, že v případě střetu chodce s nižším vozidlem je výhodou společná rotace dolních končetin a těla, zatímco při střetu s vysokým automobilem je rotace těla a nohou opačná a je tedy větší riziko poranění vazů. Na druhou stranu dodá střet s nižším nárazníkem chodci větší točivý impuls, což zvyšuje pravděpodobnost nárazu hlavou. [10]

Nárazníky moderních vozidel jsou navíc konstruovány tak, aby při střetu s chodcem pomohly absorbovat co největší část energie nárazu. Za tímto účelem jsou součástí nárazníku vozidla prvky pohlcující energii, např. ve formě pěnové výplně, přibližně ve výšce kolene dospělého člověka. [10]



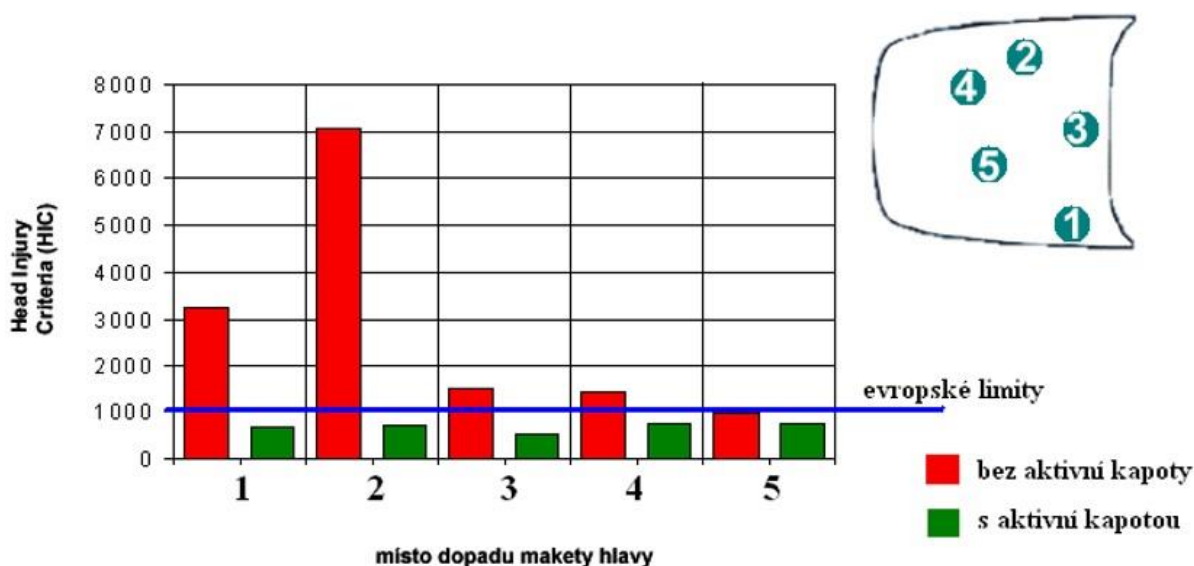
Obrázek 10 - simulace průběhu střetu s chodcem [10]

3.3.1.1 Kapota

Kapota je největší plocha na přední vozidla a zároveň je místem, kam nejčastěji narazí hlava chodce. Pro zmírnění následků nehody je tedy správná konstrukce kapoty velmi důležitá. Přední hrana kapoty by měla být ze snadno deformovatelného materiálu, samotná kapota by měla být co nejdelší (aby se zamezilo nárazu hlavy chodce na tuhý rám kolem čelního okna) a ne příliš skloněná. Nejdůležitějším požadavkem je však dostatečný prostor mezi plochou kapoty a tvrdými částmi motoru. Pro minimalizaci zranění je totiž klíčové, aby se kapota při nárazu chodce neprohnula až k motoru, jehož tvrdé části způsobují často smrtelná zranění. Dosáhnout dostatečně velkého prostoru mezi hnacím agregátem a kapotou ale bývá často obtížné kvůli konstrukčním požadavkům na aerodynamiku nebo vzhled. Vhodným řešením může být aktivní kapota. [10] [11]

Aktivní kapota funguje tak, že v okamžiku kdy senzory v přední části vozu vyhodnotí, že došlo ke střetu s chodcem, aktivují se zdvihací prvky, které přizvednou zadní část kapoty a vytvoří tak dostatečný prostor pro bezpečnou deformaci kapoty. Konstrukce zdvihacích prvků se podle

výrobce značně liší, mohou to být například plynem plněné měchy (podobné airbagům) nebo jen stlačené vinuté pružiny. V každém případě ale aktivní kapota dosahuje vynikajících výsledků při ochraně chodců, když při testování dokázala snížit kritérium poranění hlavy HIC ve všech sledovaných oblastech pod povolený limit. Výsledek takového testu můžeme vidět na *obrázku 11*, kde je navíc zřejmé, že bez aktivní kapoty bylo dosaženo HIC v povoleném limitu pouze v jediné oblasti. [10] [11]



Obrázek 11 - graf výsledků testu aktivní kapoty [10]

3.4 Zadržné systémy

Úkolem zadržných systémů je uchránit při nehodě pasažéry vozidla před nárazem do pevných částí vozu, ostatních cestujících nebo převáženého nákladu. Absorbují také část kinetické energie osob při nárazu a zajišťují, aby cestující nevyletěli ven z vozu. Tyto funkce musí plnit při dodržení biomechanických limitů na přetížení cestujících a rozložení zatížení na lidské tělo.

Nejznámějším zadržným systémem jsou bezpečnostní pásy. Nemůžeme se na ně však dívat jako na samostatný prvek, pásy jsou součástí komplexního zadržného systému vozidel, který tvoří společně a neoddělitelně spolu s airbagy, tuhou karoserií s deformačními zónami, sedadly s vyhovující geometrií sedění a kotevních míst pro pásy atd. V podstatě žádný z těchto prvků by bez ostatních nemohl správně plnit svou funkci. [4] [5]

3.4.1 Bezpečnostní pásy

Bezpečnostní pásy jsou základním a nejrozšířenějším zadržným systémem, kterým musí být povinně vybavena všechna nová vozidla. Poprvé se objevily v padesátých letech minulého století v podobě jednoduchých, nenavíjecích, dvoubodových pásů a postupným vývojem došly

až do dnešní podoby tříbodových, samonavíjecích pásů s předepínačem a omezovačem síly na všech sedadlech. Jejich hlavní funkcí je udržet cestující v dostatečné vzdálenosti od pevných částí vozidla i ostatních osob a pohltit část kinetické energie při nárazu. [6] [5]

Pásy jsou udržovány v napnutém stavu jednoduchým zařízením pro navíjení popruhu pomocí spirálové pružiny. K němu patří také blokovací mechanismus, který zablokuje navíjení pásu při překročení daných hodnot zpomalení působících na vozidlo (0,4 g podle předpisů EHK) nebo při překročení zrychlení navíjení pásu (0,6 g podle předpisů EHK). [12]

Předepínače bezpečnostních pásů se automaticky aktivují při čelním nárazu. Jejich úkolem je přitáhnout pás blíž k tělu připoutané osoby, čímž se omezí vůle mezi pásem a cestujícím, který je navíc přitažen těsněji k sedačce. Tím se sníží pravděpodobnost poranění o pás a zajistí se optimální vzdálenost cestujícího od airbagů. Pás se tímto přitažením může zkrátit až o 10 cm. Mechanismus předepínače může být různého typu, od nejstaršího mechanického, přes nejrozšířenější pyrotechnický až po hydraulické a elektrické. [12] [7]

Omezovače síly v bezpečnostních pásech hlídají, aby tlak způsobený pásem na tělo připoutané osoby nepřesáhl biomechanické limity lidského těla a nedošlo ke zranění. Pokud tedy síla působící na připoutanou osobu přesáhne únosnou mez (asi 5 kN), začne se deformovat torzní tyč v navíjecím bubnu pásu. Tím je zajištěno, že síla působící na připoutanou osobu se už dále nezvětšuje. [12] [7]

Správné použití pásů zajistí připoutaným osobám během nárazu zpomalení s přibližně stejným konstantním průběhem, jako má zpomalení celého vozidla. Proti tomu nepřípoutané osoby budou ve zpomalujícím autě pokračovat stále stejnou rychlostí jako před nárazem a k jejich prudkému zpomalení dojde až vlivem nárazu na některou z pevných částí vozidla. I proto umírají nepřipoutaní řidiči 14krát častěji než připoutaní. [12] [6]

Bezpečnostní pásy jsou opravdu jedním z nejdůležitějších prvků pasivní bezpečnosti, bez něhož by nemohly svou funkci plnit airbagy ani deformační zóny a který ročně jen v EU zachrání 12 000 životů. Toto číslo by se mohlo navíc zvětšit o dalších 2500, kdyby bezpečnostní pásy používali všichni. [6]

3.4.2 Airbagy

Airbagy jsou bezpečnostní nafukovací vaky, jejichž funkcí je přímo ochránit cestující před kontaktem s pevnými částmi vozidla a částečně zpomalit jejich pohyb při nárazu. Ke správné funkci airbagů je potřeba užití bezpečnostních pásů, které umožní správně synchronizovat pohyb připoutané osoby s nafukováním airbagu. Nepřípoutaným osobám airbag nemůže pomoci, spíš naopak. [6]

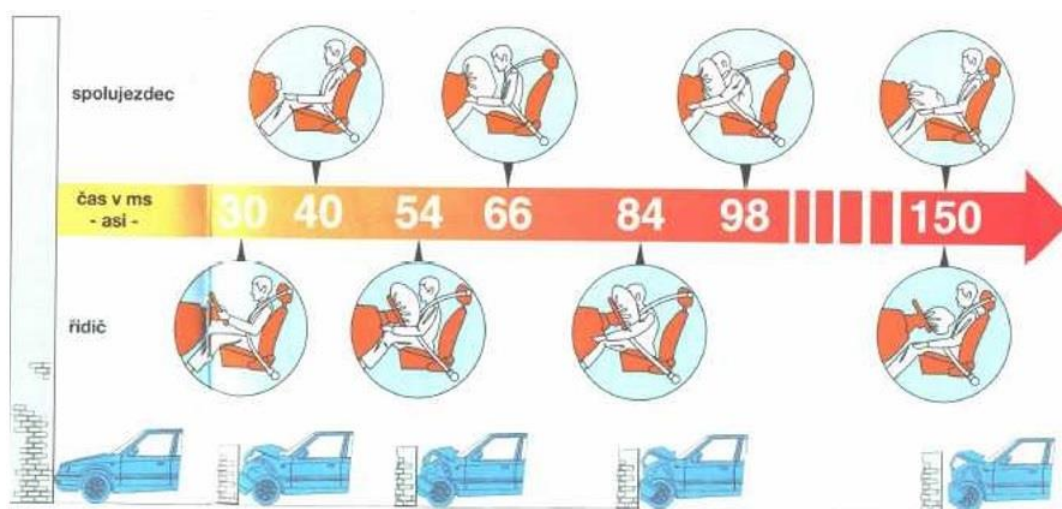
System airbagu je tvořen třemi hlavními komponentami:

- Modul airbagu
- Řídící jednotka
- Snímače zrychlení

Modul airbagu obsahuje složený nafukovací vak a pyrotechnickou rozbušku, která slouží k nafouknutí vaku. Modul airbagu je většinou skrytý v příslušné části interiéru vozidla, např. ve volantu nebo v přístrojové desce nad přihrádkou u spolujezdce. Pokud řídící jednotka vyhodnotí údaje ze snímačů zrychlení (umístěné ideálně co nejbliž předpokládanému místu nárazu) tak, že došlo k nehodě, vyšle do modulu airbagu signál k aktivaci. Poté dojde k odpálení rozbušky a velmi rychlému naplnění vaku plynem (cca 40 ms). Aby nedošlo k odražení cestujícího od nafouknutého airbagu, musí plyn z vaku postupně unikat. Během ponoření těla cestujícího do vaku, který se postupně vypouští, dochází k pohlcování energie. Schéma činnosti airbagu je na *obrázku 12*. [12] [7]

Při tomto procesu je nutné správně synchronizovat odpálení airbagů s aktivací předepínačů pásů, aby bylo možné načasovat náraz připoutané osoby do airbagu. Proto většinou airbagy i předepínače ovládá stejná řídící jednotka. [12]

Dnes je standardem, že jsou vozidla vybavena minimálně dvojicí čelních airbagů. Většinou je ale doplňují další airbagy, jako jsou např. boční airbagy pro ochranu hrudníku při bočním nárazu, hlavové airbagy chránící hlavu a trup cestujících před kontaktem s bočními sloupky a skly vozidla nebo kolenní airbag umístěný pod přístrojovou deskou. O tom, jaké airbagy mají být aktivovány, rozhoduje řídící jednotka podle typu nárazu (nejsou vždy aktivovány všechny airbagy ve vozidle). [12] [8]



Obrázek 12 - činnost airbagů při nehodě [12]

3.4.3 Sedadla a opěrky hlavy

Mimo jiného plní sedadla a opěrky hlavy i zádržnou funkci a při nehodách se čeká, že odolají setrvačné síle osob a nákladu ve vozidle. Sedadla jsou prvky jak aktivní tak pasivní bezpečnosti. Z hlediska aktivní bezpečnosti jsou kladeny požadavky na geometrii sedění, ovladatelnost sedadla a celkové pohodlí. Funkci pasivní bezpečnosti plní sedadla při nehodě zadržením těla cestujících a opěrky hlavy zejména ochranou před poraněním krku. [4]

Přední a zadní sedadla přitom plní trochu odlišné funkce, kdy přední sedadla plní zádržnou funkci při nárazu zezadu pro osoby, které na nich sedí a při nárazu zepředu pro osoby sedící za nimi. Zadní sedadla pak plní zádržnou funkci pro osoby na nich sedící při nárazu zezadu a při čelním nárazu je chrání před převáženým nákladem. [4]

Opěrky hlavy chrání cestující před poraněním krku, ke kterému může dojít jak při čelním nárazu tak při nárazu zezadu. Svaly na krku nejsou schopné v takové situaci hlavu udržet a mohlo by dojít k nadměrnému záklonu krku a poranění páteře (tzv. whiplash syndrom). Správně seřízená opěrka hlavy dokáže takovému nebezpečnému pohybu zabránit. [6] [7]

V moderních autech se můžeme setkat i s aktivními opěrkami hlavy, které se při nárazu posouvají dopředu a nahoru, čímž sníží vzdálenost od hlavy cestujícího a zachytí její pohyb dříve než obyčejná statická opěrka. Na *obrázku 13* jsou znázorněny dva systémy aktivní opěrky hlavy. Vlevo je elektronicky ovládaná aktivní opěrka, jejíž pohyb je odstartován signálem ze senzorů nárazu. Vpravo je mechanická aktivní opěrka, která se aktivuje pomocí pákového mechanismu v sedadle, na který během nárazu působí zrychlením několikrát znásobená hmotnost pasažéra. [6] [12]



Obrázek 13 - aktivní opěrka hlavy [12]

4 Přehled deceleračních zkušeben

Pro zkoušení prvků pasivní bezpečnosti jsou legislativně jasně daná pravidla, a pokud mají mít zkoušky homologační funkci, musí také probíhat v akreditovaných zkušebnách. Metody zkoušek jsou přesně popsány v předpisech a samozřejmě se značně liší podle účelu konkrétní zkoušky. Nezkouší se přitom vždy celá vozidla, častější jsou zkoušky jednotlivých konstrukčních částí.

Vzhledem k tomu, že prvky pasivní bezpečnosti zmírňují následky probíhající nehody, je k jejich zkoušení většinou potřeba nasimulovat nehodový děj, tzn. náraz nebo prudké zpomalení (výjimkou mohou být některé únavové testy např. materiálu bezpečnostních pásů).

Nejznámější metodou zkoušky prvků pasivní bezpečnosti na kompletním vozidle je nárazová zkouška, tzv. crash test. Při těchto testech je kompletní vozidlo urychleno na požadovanou rychlost a následně zastaveno o pevnou překážku. Podle konkrétní metody zkoušení se liší typ nárazu i bariéry. Taková zkouška je komplexní, ověří vlastnosti karoserie, zádržných systémů a s pomocí testovacích figurín hodnotí poranění osob po nehodě. Zároveň jsou ale nárazové zkoušky velmi nákladné a náročné na prostor i vybavení. Proto je mohou provádět jen velké mezinárodní organizace, jakými jsou např. Euro NCAP nebo americký IIHS. [4]

Abychom se vyhnuli nákladným crash testům s nutností vždy zničit celé vozidlo, můžeme ke zkoušení prvků pasivní bezpečnosti použít tzv. simulátory nárazu. Jedná se vlastně o speciálně upravený vozík vedený po přesně dané trase (kolejnice), který je vybaven systémy pro urychlení a pro prudké zastavení. Systémy pohonu a brzdy se mohou značně lišit podle požadavků na přesnost a cenu zařízení. Na takovém zařízení je možné provádět celou řadu zkoušek jednotlivých konstrukčních prvků pasivní bezpečnosti, buď samostatně, nebo společně s výřezem karoserie vozidla. Mezi takto prováděné zkoušky patří např. zkoušky bezpečnostních pásů a jejich ukotvení, pevnosti sedadel, opěrek hlavy, dětských zádržných systémů a podobně. S pomocí simulátoru nárazu můžeme také studovat vliv sil zrychlení na živou posádku, samozřejmě při menších přetíženích na hranici bolesti. [5] [13]

Vzhledem k uvedeným výhodám a možnosti umístit simulátor nárazu bez větších problémů do kryté laboratoře se jedná o poměrně rozšířený testovací prostředek, který využívá většina akreditovaných zkušeben pasivní bezpečnosti, ale také automobilky, výrobci konstrukčních částí automobilů nebo, se zmenšenými požadavky na přesnost, i vzdělávací instituce. Na mezinárodní úrovni simulátorů využívají již zmíněné organizace Euro NCAP a IIHS, zejména pro zkoušky opěrek hlavy. V České republice patří mezi nejvýznamnější instituce vybavené nárazovým simulátorem TÜV SÜD Czech s.r.o., DEKRA CZ a.s. nebo ÚAMK. Na jejich zkušebny se tato kapitola zaměřuje detailněji. [14]

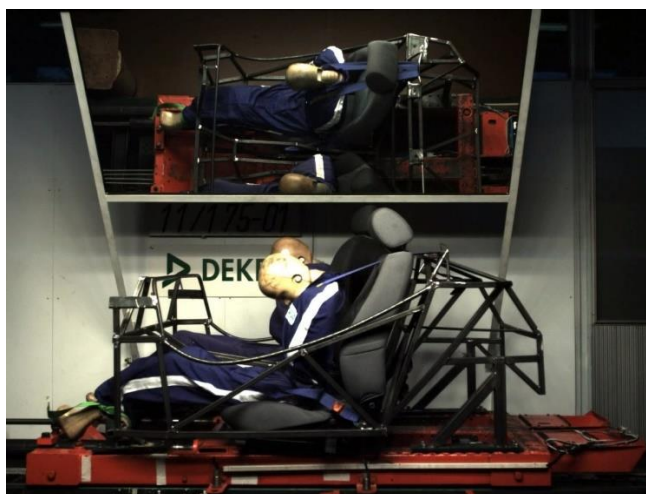
4.1 Zkušebna pasivní bezpečnosti DEKRA

Zkušebna pasivní bezpečnosti společnosti DEKRA v Klíčanech zajišťuje s pověřením Ministerstva dopravy ČR zkoušky automobilových doplňků ovlivňujících bezpečnost. Mezi hlavní činnosti patří zkoušení bezpečnostních pásů a dětských zádržných systémů podle předpisů EHK, zkoušení sportovních bezpečnostních pásů a sportovních sedaček podle předpisů FIA, zkoušení tažných zařízení, lan k vlečení automobilu, vázacích souprav atd. [15]

Kromě jiného testovacího vybavení je tato zkušebna vybavena také simulátorem nárazu s dráhou o délce asi 10 m. O zrychlení se zde stará svazek pryžových lan a elektromotor, který před začátkem zkoušky přemístí vozík do výchozí polohy, čímž způsobí v pryžových lanech napětí. Výhodou takového systému je nízká cena a poměrně jednoduchá regulace počátečních podmínek zkoušky pomocí proměnného počtu lan a délky dráhy, do které bude vozík natažen. [13]

Po uvolnění vozíku a urychlení pomocí natažených lan je nutné jej zastavit a simulovat tak nehodový děj. Zpomalení je v této zkušebně vyřešeno pomocí válcových pryží vystupujících z přední části vozíku, do kterých narazí kovové olivy připevněné na konci dráhy. Vnitřní průměr pryžových válců je přitom menší než průměr kovových oliv a vzniklým třením dojde k prudkému zastavení vozíku. Moment prudkého zpomalení při zkoušce na tomto simulátoru je zachycen na *obrázku 14*. Průběh zpomalení lze regulovat výměnou zpomalovacích pryží různých průměrů a z různých materiálů. Nevýhodou je poměrně vysoká cena pryží, které mají navíc omezenou životnost jen na určitý počet nárazů. [13]

Do této zkušebny jsme se jako studenti Fakulty dopravní ČVUT několikrát podívali v rámci exkurze a tamní simulátor nárazu je hlavní inspirací při vývoji vlastní konstrukce fakultního nárazového simulátoru.



Obrázek 14 - zkouška na simulátoru nárazu DEKRA. Zdroj: archiv autora

4.2 TÜV SÜD Czech s.r.o.

TÜV SÜD je významnou mezinárodní společností a v jejích devíti zkušebnách na našem území probíhá velký výběr nejrůznějších homologačních zkoušek. Ojedinelá je krytá laboratoř nárazových zkoušek se 100 m dlouhou zkušební dráhou, na které vozidla mohou dosáhnout rychlosti až $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, a kde je možné provádět nárazové zkoušky podle postupů Euro NCAP i všechny typy nárazů podle předpisů EHK. [16]

Simulátor nárazu používaný společností TÜV SÜD je využíván ke zkouškám dětských zádržných systémů a zkouškám ochrany cestujících před pohybem zavazadel podle předpisů EHK, ke zkouškám automobilového příslušenství a k vývojovým zkouškám automobilových karoserií. [16]

Konstrukce simulátoru nárazu je tvořena kolejnicí v podlaze zkušebny a rozměrným zkušebním vozíkem, na který je možné upevnit celý skelet karoserie automobilu, jak je vidět na *obrázku 15*. Urychlení zde probíhá prostřednictvím silného elektromotoru skrz nepružné ocelové lano. Výhodou takového řešení je přesná regulace rychlosti nárazu. K simulaci nárazu dochází pomocí prudkého zpomalení hydraulickou brzdou, která je schopná vyvinout zpomalení až 50 g. Vozík tedy ve skutečnosti do ničeho nenarazí, simulace nárazu je jen výsledkem velmi silného brždění. [16] [17]



Obrázek 15 - simulátor nárazu TÜV SÜD [16]

4.3 ÚAMK

V případě simulátoru ÚAMK se nejedná o zařízení, které by mohlo provádět jakékoliv homologační zkoušky. Jeho účel je čistě demonstrační, jedná se o zařízení, v němž si může živá posádka vyzkoušet pocity při nárazu v rychlosti 30 km.h⁻¹. Přestože se jedná o jednoduché, spíše populárně naučné zařízení, přispívá svou názorností k propagaci bezpečnosti provozu. Pro téma této práce je navíc důležitý protože jedním z využití plánovaného fakultního simulátoru by měly být právě i demonstrační zkoušky se studenty pro výukové účely. [18]

Konstrukce simulátoru je velice jednoduchá, jedná se vlastně o nakloněnou rovinu o délce 3,5 m, po které sjíždí 300 kg těžký vozík. Ve vozíku jsou za sebou upevněná dvě sedadla s tříbodovými pásy, na kterých během simulace sedí živé osoby. Do výchozí pozice, ve které se simulátor nachází na *obrázku 16*, je vozík vytažen pomocí elektromotoru a po uvolnění je urychlen gravitačním zrychlením. Na konci dráhy vozíku jsou dorazy, na které vozík narazí rychlostí 12 km.h⁻¹. Přesto osoby v simulátoru zažijí pocity jako při nárazu automobilem do pevné překážky v rychlosti 30 km.h⁻¹. Je to dáno tím, že vozík simulátoru nemá na rozdíl od automobilu žádné deformační zóny, ve kterých se pohltí část energie nárazu. Celý simulátor je pro snadnější přepravu postaven na platformě dvounápravového přívěsu za automobil. [18]



Obrázek 16 - Simulátor UAMK [18]

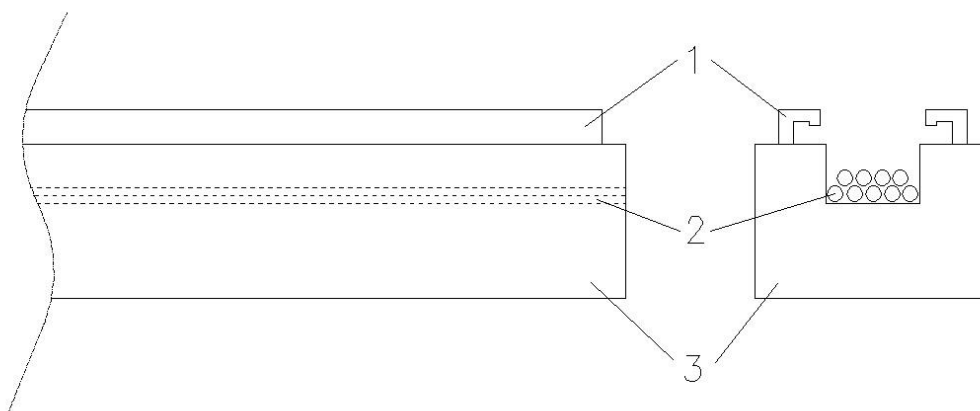
5 Simulátor nárazu – konstrukce

Důvodem vzniku této práce je záměr navrhnout a vytvořit nárazový simulátor pro výukové a výzkumné účely při Fakultě dopravní ČVUT v Praze. Tento simulátor by nebyl určen k provádění homologačních zkoušek, čímž se snižují nároky na jeho přesnost, ale přesto by měl být schopný dosáhnout parametrů zrychlení a zpomalení přibližně srovnatelných s těmi, kterých dosahují simulátory akreditovaných zkušeben. S využitím těchto mezních hodnot parametrů se počítá hlavně pro výzkum v oblasti pasivní bezpečnosti, ale fakultní simulátor by plnil také výukovou a demonstrační funkci. Při těchto typech simulací by posádku simulátoru tvořili studenti fakulty, kteří by tak dostali možnost vyzkoušet si, jaké pocity zažívají pasažéři vozidla při nárazu v malé rychlosti.

Návrhem konstrukce takového simulátoru se, ve své již obhájené bakalářské práci, pod vedením Ing. Jiřího Firsta, podrobně zabýval můj spolužák Bc. Jan Pilecký. Následující kapitola se tedy věnuje jeho konstrukčnímu řešení.

5.1 Dráha

Dráha vozíku bude tvořena betonovým základem o výšce 35 cm a šířce alespoň 1,2 m, do kterého budou zasazeny vodící kolejnice. Pod úrovní kolejnic bude vytvořena v betonovém základu 0,15 m vysoká a 0,5 m široká výduť, ve které bude umístěna soustava akceleračních lan. Celá dráha bude mít délku 10 m a v místě nárazu bude ukončena betonovým blokem, o hmotnosti alespoň 10 t. Na této dráze se bude pohybovat 1,7 m široký a 2,5 m dlouhý vozík o hmotnosti 300 kg, který bude uzpůsobený tak, aby na něj bylo možné připevnit zkoušenou komponentu nebo karoserii vozidla. Vozík bude směrově i výškově veden kolejníc dráhy, přičemž bude udržovat kontakt se zemí prostřednictvím běžných disků s pneumatikami. Schéma dráhy je na *obrázku 17*. [13]



Obrázek 17 - Schéma dráhy simulátoru. 1 - kolejnice, 2 - pryžová lana, 3 - betonový základ. [13]

5.2 Urychlovací zařízení

Urychlení vozíku bude provedeno pomocí pryžových lan, ukrytých kvůli bezpečnosti mezi kolejnicemi v betonovém základu simulátoru. Tento systém urychlení je pro požadovanou přesnost dostatečný a jeho výhody spočívají v nízké pořizovací ceně a dlouhé životnosti. [13]

Maximální rychlost vozíku, které bude na simulátoru možno dosáhnout, je stanovena na $56 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. To je rychlost nárazu při nárazové zkoušce podle předpisu EHK č. 94 – ochrana proti čelnímu nárazu. Přesný počet pryžových lan, potřebných k urychlení vozíku na tuto maximální rychlost, bude ale možné zjistit až po experimentálním ověření tuhosti lana. [13]

5.3 Brzdné systémy

Na navrhovaném simulátoru bude možné simulovat dva druhy zpomalení s použitím různých brzdných systémů:

1. Simulace nárazu – prudké zpomalení na dráze přibližně 40 – 70 cm
2. Řízené zpomalení – zastavení vozíku na podstatně delší dráze

5.3.1 Simulace nárazu

Při simulaci nárazu bude jako systém zpomalení použit kapalinový tlumič s proměnnou charakteristikou. Tento systém je schopný vyvinout maximální přetížení až 30 g, vzhledem k účelu simulátoru umožňuje dostatečně věrné modelování zpomalovací křivky a vyznačuje se navíc i dostatečně dlouhou životností při opakovaném použití. Díky dálkově regulovatelné cloně na pístu tlumiče bude možné měnit jeho charakteristiku i v průběhu zkoušky a přesně tak simulovat charakteristické děje. [13]

5.3.2 Řízené zpomalení

Druhým brzdným systémem simulátoru, který bude využíván k prudkému řízenému zpomalení při demonstračních zkouškách s živou posádkou, budou kotoučové brzdy na kolech vozíku. Požadavkem na tento brzdný systém je, aby byl schopen opakovaně vyvinout brzdný účinek s negativním zrychlením v intervalu $6 - 8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. [13]

5.4 Bezpečnost simulátoru

K zajištění bezpečného provozu simulátoru je třeba splnit vysoké požadavky na spolehlivost systému vodících kolejí, tak aby byla minimalizována možnost, že urychlený vozík kolejnice opustí a bude se pohybovat nekontrolovaně. [13]

Dále je vhodné v oblasti zpomalení vybudovat ochrannou síť, která by zachytila případné letící předměty po simulaci nárazu. [13]

Bezpečnostní zóna kolem simulátoru, ze které jsou vyloučeny veškeré překážející předměty a nepovolané osoby, by měla být široká nejméně 2 m. V případě, že vozík během zkoušky přesáhne rychlost $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, měl by obsluhující personál na průběh zkoušky dohlížet z izolované bezpečnostní kabiny. [13]

Pokud bude probíhat zkouška s živou posádkou, nesmí přetížení při zpomalení přesáhnout bezpečné biomechanické limity. Hodnota takového bezpečného přetížení závisí na době, po kterou přetížení na lidské tělo působí. Obecně se však dá stanovit na hodnotu 10 g, která nesmí být během zkoušek s živou posádkou na simulátoru překročena. [13]

6 Seznam zkoušek proveditelných na simulátoru

V této kapitole je uveden seznam a stručný popis zkoušek, které bude možné provádět na simulátoru s konstrukcí podle *kapitoly 5*. Kromě jedné demonstrační zkoušky s účastí živé posádky se ve všech případech jedná o dynamické zkoušky prvků pasivní bezpečnosti. Zkoušky jsou rozděleny do několika skupin, podle toho, jestli odpovídají požadavkům na homologační zkoušky podle předpisů EHK/OSN, nebo nemají oporu v zákoně a budou využívány jen pro výzkumné nebo edukativní účely.

6.1 Zkoušky podle předpisů EHK/OSN

V této kapitole jsou uvedeny zkoušky, které by se daly provést na navrhovaném simulátoru při dodržení požadavků podle předpisů EHK. Jednalo by se tedy o zkoušky s homologačním významem, při kterých však požadované přetížení často leží v destruktivní oblasti a dojde tak ke znehodnocení zkoušeného vzorku. Vzhledem k finanční náročnosti takových zkoušek by pravděpodobně nebylo možné je ve školním prostředí provádět příliš často.

6.1.1 Dynamická zkouška pevnosti zámků dveří

Zámky a závěsy dveří mají funkce jak aktivní tak pasivní bezpečnosti. Při běžné jízdě a v průběhu nehody musí plnit zádržnou funkci a nesmí se ani pod zatížením samovolně otevřít. Naopak po nehodě nesmí zůstat zablokované a bránit tak vyproštění osob z havarovaného vozidla. Z těchto hledisek jsou také zkoušeny a kromě zkoušek se statickým zatížením se jedná i o zkoušku zámků pod dynamickým podélným a příčným zatížením. Zkouškám a schvalování zámků a součástí upevnění dveří se věnuje předpis EHK č. 11. [4]

Při dynamické zkoušce zámků se zkouší buď kompletní vozidlo, nebo jen surová karoserie vozidla včetně alespoň dveří, jejich zámků, vnějších i vnitřních klik a blokovacího zařízení – pojistky. Při zkoušce je kompletní vozidlo nebo karoserie pevně připevněná ke zkušebnímu zařízení, všechny zámky jsou odemčené a v poloze úplného zavření. Urychlení celé konstrukce probíhá postupně ve směru čelního, zadního a bočního nárazu (z obou stran pokud má vozidlo různé uspořádání dveří na každé straně). Předpisem je dána minimální hodnota působícího zrychlení i požadavky na průběh pulsu zrychlení. Požadavkem pro splnění zkoušky je, že se zámky při žádném ze zkoušených směrů zatížení neuvolní z polohy úplného zavření. [19]

Provedení této zkoušky na navrhovaném simulátoru je sice možné, ale vzhledem k tomu, že přetížení 30 g je minimální požadované při této zkoušce a zároveň maximální dosažitelné na navrhovaném simulátoru, bylo by dodržení průběhu zpomalovacího pulsu nesnadné. Navíc je

tato zkouška nahraditelná matematickým výpočtem, což je z pochopitelných důvodů častěji využívaná metoda.

6.1.2 Dynamická zkouška bezpečnostních pásů

Bezpečnostní pásy jsou konstrukční částí vozidla, která je zkoušena a schvalována samostatně, ve vozidle se ověřuje pouze pevnost jejich uchycení. Pásy musí projít celou řadou různých zkoušek, zkouší se jejich klimatotechnologická odolnost, mikroprokluz, životnost, funkce spon, navíječe, předepínače a samozřejmě také mez pevnosti. Většina těchto zkoušek je statických, dlouhodobých. Mezi zkoušky pásů podle EHK č. 16 patří ale i dynamická zkouška. [4]

Při dynamické zkoušce se souprava pásů namontuje na vozík vybavený sedadlem a kotevními úchyty definovanými přesně v příslušném předpisu. Alternativně může být na vozík umístěn i výřez karoserie zkoušeného vozidla a pásy se pak připevní na část konstrukce vozidla, na níž se připevňují běžně. Připevnění zkoušené soustavy k vozíku přitom nesmí mít za následek zesílení kotevních úchytů sedadel nebo pásů, nebo zmenšení běžné deformace nosné konstrukce. Sedadla se před zkouškou umístí do co nejméně výhodné polohy a do soupravy pásů je následně uchycena testovací figurína. [20]

Po simulovaném nárazu v rychlosti $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, s přesně určeným průběhem zpomalovacího pulsu, je provedena vizuální kontrola pásů nebo zádržného systému, aby se zjistilo, zda nedošlo k jeho poškození. Pro splnění zkoušky nesmí v jejím průběhu dojít k porušení, uvolnění nebo odjištění žádné části soupravy pásů a dopředné posunutí figuríny v úrovni pánve a hrudníku nesmí překročit předepsané meze. [20]

6.1.3 Dynamická zkouška dětských zádržných systémů

Dynamická zkouška dětských zádržných systémů probíhají v karoserii nebo dostatečně reprezentující části karoserie připevněné na zkušebním vozíku. Způsob připevnění karoserie k vozíku nesmí zpevňovat kotevní úchyty sedadel ani pásů nebo snižovat míru deformace připevněné konstrukce. Zkouška probíhá podle typu zádržného systému s figurínou dítěte příslušného věku. Křivka zrychlení nebo zpomalení při zkoušce je dána předpisem. [21]

V průběhu zkoušky se žádná část zádržného systému, přispívající k držení dítěte, nesmí roztrhnout nebo uvolnit. Požadavky pro splnění zkoušky jsou na zrychlení hrudníku, které nesmí překročit stanovenou hodnotu, průnik kterékoliv části zádržného zařízení do modelovací hmoty břicha figuríny a dále na přestavení figuríny, kdy hlava figuríny nesmí překročit předpisem stanovené roviny pro různé druhy zádržných systémů. [21]

6.1.4 Sedadla

Od sedadel a opěrek hlavy se čeká, že při nehodě odolají působícím setrvačným silám a tato jejich zádržná funkce je testována různými dynamickými zkouškami.

6.1.4.1 Zkouška pevnosti uchycení sedadla a jeho systémů seřízení

Zkouška probíhá na karoserii se sedadly, připevněné na vozíku nárazového simulátoru způsobem, který nemá za následek zesílení ukotvení sedadel. Sedadla i jejich opěrky hlavy jsou nastaveny v nejméně příznivé poloze z hlediska působení setrvačných sil. Zkouška proběhne zpomalením, při kterém na celou zkoušenou karoserii působí zrychlení nejméně 20 g po dobu 30 ms a provede se ve směru dopředu i dozadu. [22]

Zkouška je považována za splněnou, pokud nedojde k uvolnění blokovacího zařízení, posouvací systém je funkční a na sedadle a jeho uchycení se neobjeví poruchy, které by mohly ohrozit zdraví. [4]

6.1.4.2 Zkouška ochrany cestujících před posunem zavazadel

Při této zkoušce se ověřuje ochrana cestujících před posunem nákladu při čelním nárazu. Zkouší se opěradla zadních sedadel, která tvoří přední stěnu zavazadlového prostoru a případně i oddělovací příčky nad úrovní opěradel. Zkouška probíhá se dvěma zkušebními bloky o hmotnosti 18 kg v zavazadlovém prostoru a případně jedním 10 kg těžkým zkušebním blokem na zvýšené podlážce u oddělovací příčky. [22]

Zkouška probíhá na šasi automobilu, připevněném na zkušebním vozíku způsobem, který nezesiluje opěradla nebo oddělovací systém. Zkouška proběhne zpomalením šasi automobilu podle předpisem stanovené křivky zpomalení s rychlostí simulovaného nárazu $50 \pm 0/-2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Pro splnění zkoušky nesmí dojít k odblokování blokovacího mechanismu a posunu opěradla, nadměrné deformaci opěradla nebo opěrky hlavy směrem dopředu a zkušební bloky musí zůstat v prostoru za sedadly. [22] [4]

6.1.4.3 Dynamické zkoušky zádržné funkce sedadel autobusů

Dynamická zkouška zádržné funkce sedadel autobusů probíhá se dvěma sedadly umístěnými na zkušební plošině stejným způsobem jako v reálném autobusu. Na zadní sedačce sedí testovací figurína nezajištěná bezpečnostním pásem. Zkouška proběhne zpomalením z rychlosti $30-32 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ s průměrným zrychlením mezi 6,5 a 8,5 g. Zpomalovací křivka je dána předpisem. Pokud je to možné, zkouška se opakuje s použitím bezpečnostního pásu. [4]

Zkouška je splněna, pokud figurína při svém pohybu hlavou nebo hrudníkem nepřekročí stanovenou rovinu, biomechanická kritéria neodpovídají vážnému zranění a sedadla se během zkoušky neuvolní, nebo nepoškodí způsobem, který by mohl ohrozit zdraví cestujících. [4]

6.2 Zkoušky pro výzkumné účely

Zkoušky uvedené v této kapitole nesplňují žádné legislativní požadavky obsažené v předpisech a směrnících. Jedná se o zkoušky, které by bylo možné na navrhovaném simulátoru provádět podle vlastní metodiky čistě pro výzkumné účely. Z ekonomických důvodů a kvůli požadavkům na opakované provedení by zkoušky probíhaly při nedestruktivních rychlostech a přetíženích. Z naměřených údajů by bylo následně metodou extrapolace možné odhadnout výsledky takových zkoušek při větších, destruktivních rychlostech.

6.2.1 Ochrana řidiče při nárazu na mechanismus řízení

Mechanismus řízení (volant a jeho hřídel) je výrazným prvkem ve vnitřním prostoru vozidla a ve většině případů čelního nárazu u něj dochází ke kontaktu s řidičem. To znamená, že mechanismus řízení se podílí na zadržné funkci a je z tohoto hlediska testován. Kromě zkoušky nárazem na bariéru to jsou ještě zkoušky nárazem impaktoru torza a hlavy řidiče do mechanismu řízení. [4]

Zkoušku nárazem, která zkoumá posunutí celého mechanismu řízení do vnitřního prostoru vozidla při deformaci, na simulátoru nahradit nedokážeme. Ovšem zkoušky, kdy jsou impaktory představující torzo a hlavu řidiče vrženy proti volantu a zkoumají se síly působící na řidiče, bychom napodobit mohli.

Místo impaktorů by byla použita testovací figurína posazená na sedadle řidiče ve výřezu karoserie s kompletní palubní deskou. Zkoušení by probíhalo sérií simulací nárazů v různých, nízkých rychlostech. Pokud by to uspořádání simulátoru umožňovalo, různým natočením volantu při jednotlivých zkouškách by bylo zajištěno, že figurína bude narážet do různě příznivých míst na volantu. Stejně jako při zkoušce s impaktory by byla měřena síla působící v mechanismu řízení a zrychlení jednotlivých částí figuríny (hlava, hrudník). Extrapolací výsledných sil bychom byli schopni předpovědět, jaké síly budou působit na řidiče při vyšších rychlostech, nebo při jak silném nárazu by už došlo k deformaci sloupku řízení.

6.2.1.1 Zkouška bezpečnosti interiéru vozidla

Mezi další prováděné zkoušky patří kontrola interiéru vozidla z hlediska absorpce energie a stupně ochrany cestujících při nehodě. Běžně se po stanovení referenční zóny pro náraz hlavy a kolen řidiče (do této zóny nepatří např. volant, zpětné zrcátko nebo sloupky předního skla) provádí série nárazů kyvadlem do této zkoušené zóny a posuzuje se míra absorpce energie nárazu. [4]

Replikovat tuto zkoušku v podobě simulace čelního nárazu s celými testovacími figurínami na navrhovaném simulátoru by bylo nesnadné, protože nedokážeme tak přesně ovlivnit, do jaké

části interiéru figurína při zpomalení narazí. Bylo by ale možné tuto zkoušku zařadit jako část zkoušky předchozí - ochrany řidiče při nárazu na mechanismus řízení. Je pravděpodobné, že při některém ze série prováděných nárazů dojde ke kontaktu minimálně kolen figuríny s testovanou oblastí interiéru mimo mechanismus řízení. Navíc můžeme ke zkoušce přidat figuríny i na další místa ve vozidle a sledovat náraz na části interiéru kolem těchto dalších sedadel. Jakou částí a kde figurína narazila na interiér vozidla, je možné vyhodnotit z vysokorychlostního záznamu zkoušky. Hodnoty působícího přetížení a tedy míru absorpce materiálu pak zjistíme z akcelerometru v příslušné části figuríny, pokud je tam instalovaný.

6.2.2 Zkoušky opěrky hlavy a absorpce energie sedadla

Přestože je na simulátoru možné provést tři různé zkoušky sedadel podle předpisů EHK, zbývají další typy zkoušek sedadel, pro jejichž předpisové provedení se simulátor nehodí. Zkouška funkce opěrky hlavy se totiž provádí působením stanoveného momentu síly prostřednictvím kulové hlavice na opěrku a zkouška absorpce energie (vůči osobám sedícím za zkoušeným sedadlem) se provádí nárazy kyvadla do zadní části sedadla. [4]

Stejně jako v předchozích případech by tyto zkoušky bylo možné do jisté míry napodobit simulací čelního nárazu na simulátoru a to stejným principem. V průběhu simulace nárazu je velmi pravděpodobné, že dojde ke kontaktu hlavy figuríny s opěrkou hlavy a v tom případě bude možné s pomocí údajů z akcelerometrů ve figuríně stanovit sílu působící na opěrku hlavy a posoudit její správnou funkci. Stejným způsobem, pokud bude v karoserii vozidla na zkušebním vozíku umístěna i druhá řada sedadel s figurínou, můžeme posoudit náraz figuríny do sedadel v řadě před ní. Z hlediska funkce opěrky hlavy je zajímavý také náraz zezadu, který je možné na simulátoru bez problémů provést. To umožní studovat tzv. whiplash, neboli prudké zaklonění hlavy s následkem poranění krku, právě při zadním nárazu.

6.2.3 Zkoušky ochrany chodců

Při zkouškách vozidel je ochrana chodců testována většinou nárazem impaktoru v podobě makety různých částí lidského těla do přesně stanovených míst na karoserii vozidla. Makety nohou a hlavy tak narážejí na nárazníku, kapotě a čelním skle do míst, která jsou přesně vyměřena popsány křivkami na karoserii vozidla. Rychlost nárazu se pak odečítá z grafů a záleží na parametrech, jako je výška kapoty, přesah nárazníku, úhel nárazu apod. Hodnotí se působící síly nebo kritéria poranění podle použitého impaktoru a typu nárazu. [4]

Za předpokladu, že na navrhovaném simulátoru bude upevněn celý skelet karoserie vozidla a že bude možné do jeho dráhy postavit testovací figurínu, mohli bychom nahradit několik zkoušek s impaktory jedinou zkouškou nárazem urychleného skeletu karoserie do figuríny.

Stejně jako v případě impaktorů by zkoušky probíhaly s figurínou v různých pozicích vzhledem ke kolidující karoserii a to od přímého čelního nárazu až po tečnou kolizi s bokem vozidla.

Tato zkouška by samozřejmě nemohla dosáhnout předpisy požadované přesnosti na místo nárazu a probíhala by při mnohem menších rychlostech, než jakými jsou vystřelovány testovací impaktory. Pro výzkumné účely by přesto údaje ze senzorů ve figuríně mohly postačit.

6.3 Zkoušky s živými osobami

Posledním typem zkoušek proveditelných na navrhovaném simulátoru jsou zkoušky s účastí živých osob. Tento typ zkoušky je určený pro demonstrační účely, tak aby měli studenti nebo jiní zájemci možnost vyzkoušet si pocity při nárazu v nízké rychlosti.

Aby bylo při simulaci dosaženo co nejvíce reálného zážitku, bude tato zkouška probíhat v karoserii vozidla připevněné ke zkušebnímu vozíku. Součástí karoserie bude i vybavení interiéru minimálně kompletní palubní deskou a dvěma předními sedadly. Účastníci simulace budou samozřejmě povinni použít bezpečnostní pásy.

Zpomalení při tomto typu zkoušky bude pravděpodobně místo nárazu do tlumiče vyvoláno silným účinkem kotoučových brzd na kolech zkušebnímu vozíku. Rychlost vozíku a brzdný účinek bude volen tak, aby nedošlo ke zranění osob účastnících se testu. Obecně lze říci, že hodnota přetížení, která by s ohledem na zdraví osob v simulátoru neměla být překročena, je 10 g. Dodržení těchto limitů při zkouškách s živými osobami je nutné věnovat vysokou pozornost.

Pro rozšíření možností při simulaci nárazu s živými osobami, ale i při jiných zkouškách, by měla být karoserie připevněná ke zkušebnímu vozíku otočná, tak aby bylo možné simulovat i zadní nebo boční náraz.

Výhledem do budoucna a dalšími prvky pro ještě více reálný zážitek ze simulace je systém umožňující opakovanou aktivaci airbagů nebo spojení simulátoru nárazu s jízdními simulátory, kterými se Fakulta dopravní také zabývá.

7 Metodiky a metodologie

Zkoušení se s rozvojem výroby vyvinulo v samostatný obor se všemi jeho znaky, kterými jsou kromě názvosloví, logistiky, speciálních přístrojů, laboratoří a dalších také vlastní metodiky. [4]

Metodika je vlastně pracovním postupem, nebo by se dalo říct „návodem k použití“, při určité činnosti. V případě zkušebnictví tedy pracovní postup při konkrétní zkoušce. Je to jakési schéma určující postup, který vede k požadovanému cíli, ideálně nezávisle na schopnostech osoby, která činnost provádí. [24]

Každý předpis, norma, nebo směrnice, která požaduje splnění nějaké zkoušky, musí obsahovat metodiku, podle které se tato zkouška provede. Obecné schéma metodiky podle předpisů EHK/OSN, ze kterého se bude vycházet při tvorbě nových metodik vlastních zkoušek na navrhovaném simulátoru je uvedeno dále v této kapitole.

Metodologie je potom naukou o metodách a souhrnem metodik určitého oboru. Je součástí teorie vědy a v ČR se metodologií zkušebnictví zabývá Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Ten mimo jiné určuje požadavky na obsah metodik a dohlíží na vydávání českých technických norem ČSN. [24]

7.1 Obecné požadavky na metodiku zkoušky

V každém předpisu, který se týká zkoušení vozidel, musí být dostatečně popsány metodiky všech vyžadovaných zkoušek. Proto je v každém předpisu EHK obsažena buď přímo ve znění předpisu kapitola, která se metodikám požadovaných zkoušek věnuje, nebo jsou pracovní postupy při zkoušení popsány v přílohách předpisu. Kromě metodiky obsahují předpisy samozřejmě řadu dalších kapitol, které se týkají oblasti působnosti předpisu, žádostí o schválení, samotného schvalování, shodnosti výroby, sankcí, návodů nebo požadavků na splnění zkoušky (kritéria hodnocení nejsou součástí metodiky). Tyto kapitoly nejsou předmětem této práce a nebudu se jim dále věnovat.

Podkladem pro obecné schéma metodiky zkoušky byly předpisy EHK/OSN, především EHK/OSN č. 94, který obsahuje metodiku asi nejkomplexnější zkoušky – zkouška ochrany cestujících proti čelnímu nárazu (crash test). Uvedené schéma je obecné a metodika každé zkoušky tedy nemusí nutně obsahovat všechny body v něm uvedené.

7.2 Obecné schéma metodiky zkoušky

1. Zkušební zařízení
 - 1.1. Zkušební prostor – *požadavky na zkušební místo, klimatické podmínky*
 - 1.2. Stav vozidla – *různé požadavky na vozidlo, případně jeho části*
 - 1.2.1. Všeobecné specifikace – *všeobecné požadavky na to jaké vozidlo má být použito ke zkoušce (sériový výrobek, prototyp, karoserie, pouze zkoušený prvek...)*
 - 1.2.2. Hmotnost vozidla – *naplnění provozními kapalinami, nahrazení hmotnosti části vozidla náhradními závažími*
 - 1.3. Bariéra – *požadavky na bariéru, pokud je při zkoušce použita (materiál, způsob výroby, orientace)*
 - 1.4. Všechna další zařízení potřebná ke zkoušce – *měřicí technika, figuríny, záznamová zařízení...*
2. Uspořádání zkoušky
 - 2.1. Uspořádání zkušebního zařízení – *způsob uchycení zkoušeného vozidla ke zkušebnímu zařízení, požadavky na provedení uchycení...*
 - 2.2. Nastavení ovládacích prvků vozidla – *nastavení polohy volantu, sedadel, opěrek hlavy...*
 - 2.3. Rozmístění měřicí a záznamové techniky
3. Figuríny
 - 3.1. Typ figuríny
 - 3.2. Uspořádání figurín – *jaká sedadla a jakým způsobem jsou obsazena*
 - 3.3. Instalace figurín – *pokyny pro správnou polohu všech částí figuríny (hlava, trup, nohy...)*
 - 3.4. Seřízení zádržného systému
4. Průběh zkoušky
 - 4.1. Typ pohonu – *vlastní motor, urychlovací zařízení...*
 - 4.2. Působení pohonu – *křivka průběhu zrychlení/zpomalení, odpojení pohonu před nárazem*
 - 4.3. Rychlost nárazu a brzdná dráha
 - 4.4. Jízdní dráha vozidla
5. Měření
 - 5.1. Měření na figurínách
 - 5.1.1. Umístění snímačů
 - 5.1.2. Specifikace snímačů – *chyba linearity, kmitočtová charakteristika, doba fázového zpoždění, citlivost snímačů*

- 5.2. Měření na vozidle
 - 5.2.1. Umístění snímačů
 - 5.2.2. Specifikace snímačů
- 5.3. Záznamové zařízení – *analogové/digitální magnetické záznamové zařízení, oscilograf, záznam obrazu*
- 6. Zpracování dat a předkládání výsledků
 - 6.1. filtrace a digitalizace dat, formát předkládaných dat, popis grafů
 - 6.2. Statistické zpracování výsledků – *vypovídací schopnost jednorázových zkoušek, pravděpodobná chyba opakovaných měření, analýza měřících procesů*
- 7. Bezpečnost zkoušky – *bezpečnostní pokyny pro průběh zkoušky, přítomný personál, zákonná poučení, bezpečnost zkoušky s živými osobami*

8 Ukázkové metodiky zkoušek

V této kapitole jsou pro ukázkou uvedeny vypracované metodiky tří zkoušek proveditelných na navrhovaném simulátoru. Zastoupeny jsou všechny tři typy navrhovaných zkoušek, tzn. homologační zkouška podle předpisu EHK, zkouška pro výzkumné účely a demonstrační zkouška s živou posádkou.

8.1 Dynamická zkouška pevnosti zámků dveří podle EHK/OSN č. 11

1. Zkušební zařízení
 - 1.1. Urychlovací (nebo zpomalovací) zařízení
 - 1.2. Jedno z následujících vozidel:
 - 1.2.1. Kompletní vozidlo včetně alespoň dveří, zámků dveří, vnějších klik s mechanismem pro otevírání, vnitřních klik, blokovacího zařízení – pojistky, vybavení interiéru a těsnění dveří.
 - 1.2.2. „Surovou“ karoserii vozidla (tj. rám vozidla, dveře a další součásti upevnění dveří) včetně alespoň dveří, zámků dveří, vnějších klik s mechanismem pro otevírání, vnitřních klik, blokovacího zařízení – pojistky.
 - 1.3. Zařízení nebo prostředky pro záznam otevření dveří.
 - 1.4. Výbava pro měření a záznam zrychlení.
2. Uspořádání zkoušky
 - 2.1. Kompletní vozidlo nebo karoserii důkladně připevněte na zkušební zařízení tak, že při společném urychlení bude zaručeno, že všechny body křivky nárazového pulsu budou uvnitř koridoru definovaného v *tabulce 5* a na *obrázku 18*.
 - 2.2. Dveře mohou být uvázány, aby nedošlo k poškození zařízení použitého pro záznam otevření dveří.
 - 2.3. Instalujte zařízení pro záznam otevření dveří.
 - 2.4. Zavřete zkoušené dveře a zajistěte, aby zámkové dveří byly v poloze úplného zavření, aby dveře nebyly zamčené a aby všechna okna, jsou-li namontována, byla zavřená.
3. Zkušební směry (viz. *obrázek 19*)
 - 3.1. Podélné uspořádání 1: vozidlo nebo karoserii orientujte tak, aby jeho podélná osa souhlasila s osou urychlovacího zařízení, které simuluje čelní náraz.
 - 3.2. Podélné uspořádání 2: vozidlo nebo karoserii orientujte tak, aby jeho podélná osa souhlasila s osou urychlovacího zařízení, které simuluje zadní náraz.
 - 3.3. Příčné uspořádání 1: vozidlo nebo karoserii orientujte tak, aby jeho příčná osa souhlasila s osou urychlovacího zařízení, které simuluje boční náraz na stranu řidiče
 - 3.4. Příčné uspořádání 2 (pouze pro vozidla s rozdílným uspořádáním dveří na každé straně): vozidlo nebo karoserii orientujte tak, aby jeho příčná osa souhlasila s osou

urychlovacího zařízení, které simuluje boční náraz ve směru opačném k popsanému v bodě 3.3.

4. Průběh zkoušky

4.1. Minimální hladina zrychlení 30 g se musí udržovat po dobu nejméně 30 ms, přičemž průběh zrychlení se musí udržovat v koridoru pulsu, jak je určeno v *tabulce 5* a znázorněno na *obrázku 18*.

4.2. Zkušební zařízení urychlete v následujících směrech:

4.2.1. Ve směru určeném v bodě 3.1,

4.2.2. Ve směru určeném v bodě 3.2,

4.2.3. Ve směru určeném v bodě 3.3,

4.2.4. Ve směru určeném v bodě 3.4.

4.3. Pokud puls přesáhne 36 g v jakémkoli časovém bodě a požadavky zkoušky jsou splněny, tak je zkouška považována za platnou.

4.4. Zajistěte, aby se dveře v průběhu zkoušky neotevřely a nezavřely.

5. Zpracování dat a předkládání výsledků

5.1. Průběhy naměřených procesů zpracujte vhodnými matematickými nástroji.

5.2. Výsledky se předkládají na papíru formátu A4 (ISO/R.216). Pokud jsou výsledky předkládány ve formě grafů, musejí být na osách vyznačeny stupnice, přičemž měřicí jednotka musí být vhodným násobkem zvolené jednotky (např. 1, 2, 5, 10, 20 mm). Používají se jednotky SI, s výjimkou rychlosti vozidla, kde je možno použít jednotku $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, a zrychlení při nárazu, kde je možno použít jednotku g.

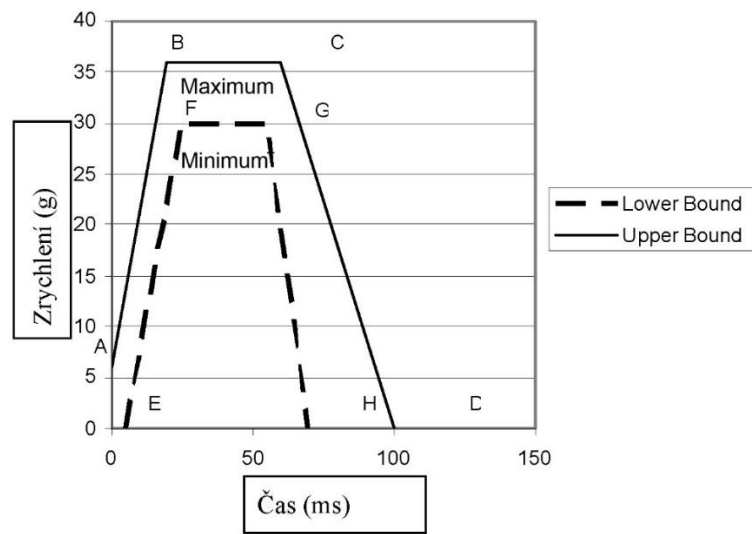
6. Bezpečnost zkoušky

6.1. V průběhu zkoušky musí být dodrženy obecné bezpečnostní pokyny pro obsluhu nárazového simulátoru.

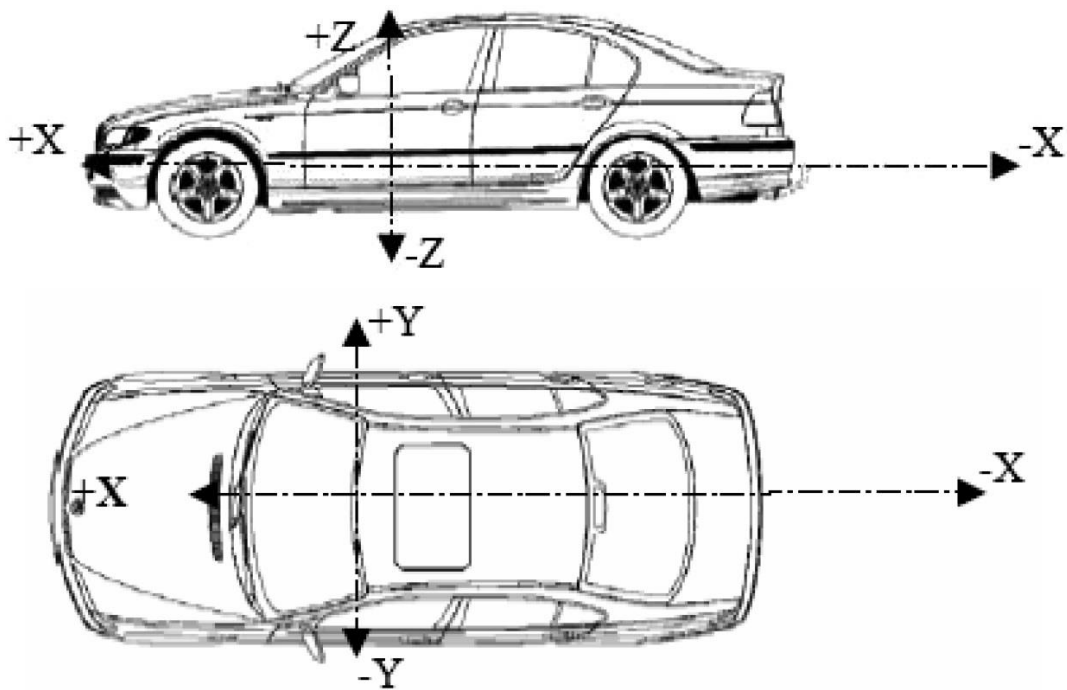
Zdroj: Předpis EHK/OSN č. 11 [19]

Tabulka 5 - koridor pulsu zrychlení [19]

Horní mez			Dolní mez		
Bod	Čas (ms)	Zrychlení (g)	Bod	Čas (ms)	Zrychlení (g)
A	0	6	E	5	0
B	20	36	F	25	30
C	60	36	G	55	30
D	100	0	H	70	0



Obrázek 18 - puls zrychlení [19]



Obrázek 19 - souřadnice referenčního systému vozidla pro zkoušky setrvačnými silami [19]

X = podélný směr

Y = příčný směr

Z = svislý směr

8.2 Ochrana řidiče při nárazu na mechanismus řízení

1. Zkušební zařízení
 - 1.1. Urychlovací (nebo zpomalovací) zařízení
 - 1.2. Kompletní karoserie nebo její výřez včetně alespoň kompletní palubní desky, mechanismu řízení a předních sedadel uchycených podle skutečné konstrukce vozidla
 - 1.3. Zařízení pro měření a záznam zrychlení a silového působení
 - 1.4. Zařízení pro pořizování obrazového záznamu (kamera)
 - 1.5. Figurína HYBRID III nebo HYBRID II
2. Uspořádání zkoušky
 - 2.1. Karoserii důkladně připevněte na zkušební zařízení tak, aby během zkoušky nedošlo k žádnému relativnímu posunu. Mechanismus řízení může být namontován ve speciální konstrukci s větší tuhostí.
 - 2.2. Pokud je mechanismus řízení nastavitelný, nastavte ho do střední polohy.
 - 2.3. Instalujte siloměr do systému řízení.
 - 2.4. Přední sedadlo nastavte do střední polohy (definuje výrobce), opěrku hlavy do nejvyšší polohy, a opěradlo sedadla do úhlu 25° dozadu od svislice.
 - 2.5. Instalujte figurínu.
 - 2.6. Instalujte kameru tak, aby v záběru bylo místo nárazu před dostatečně kontrastním pozadím.
3. Figuríny [23]
 - 3.1. Na sedadlo řidiče se instaluje figurína odpovídající specifikacím pro HYBRID III nebo HYBRID II.
 - 3.1.1. Rovina souměrnosti figuríny musí být totožná se svislou středovou rovinou sedadla
 - 3.1.2. Příčná přístrojová platforma hlavy musí být vodorovná s přesností na 2,5°.
 - 3.1.3. Paže spočívají těsně u trupu, dlaně se dotýkají vnější části volantu v bodech vodorovné osy věnce. Palce spočívají na věnci a jsou k němu přilepeny lepicí páskou.
 - 3.1.4. Horní část trupu figuríny spočívá na opěradle sedadla. Středová předozadní rovina figuríny je svislá a splývá s podélnou osou příslušného sedadla.
 - 3.1.5. Pravé chodidlo figuríny řidiče spočívá na nesešlápnutém pedálu plynu s nejjadnějším bodem paty na podlaze v rovině pedálu. Pata levého chodidla se položí na podlahový panel co nejvíce dopředu. Levé chodidlo se položí co nejrovněji na pedálovou podlahu.

- 3.1.6. Stehenní část nohou figuríny řidiče a cestujícího spočívá na sedáku natolik, nakolik je to umožněno položením chodidel.
- 3.2. Instalované měřicí přístroje nesmějí pohyb figuríny při nárazu nijak ovlivňovat.
- 3.3. Seřízení zádržného systému
- 3.3.1. Zkušební figurína sedící v určené poloze se obepne pásem a přezka se zapne. Napne se břišní pás. Z navíječe se povytáhne ramenní popruh a nechá se navinout. Tento postup se čtyřikrát zopakuje. Jestliže je systém pásu vybaven omezovačem tahu, ramenní pás se povolí v maximální míře, kterou pro normální používání doporučuje v návodu k obsluze výrobce vozidla.
4. Průběh zkoušky
- 4.1. Karoserie je poháněna urychlovacím zařízením.
- 4.2. V okamžiku nárazu již nesmí působit žádná hnací síla.
- 4.3. Zpomalení je vyvoláno nárazem do vhodného brzdného zařízení.
- 4.4. Rychlost nárazu postupně zvyšujeme od $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ do $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Změnu rychlosti provádíme vždy o $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- 4.5. Zkouška se při každé rychlosti provede dvakrát při různém natočení volantu:
- 4.5.1. Volant se natočí nejpevnější příčkou kolmo k bodu styku torza a volantu.
- 4.5.2. Volant se natočí nejpružnější částí do bodu styku torza a volantu.
- 4.6. Po každé zkoušce je figurína vrácena do původní polohy podle odstavce 2.
5. Měření
- 5.1. Snímače je třeba pevně uchytit, aby byly záznamy jejich signálů co nejméně ovlivněny vibracemi.
- 5.2. Měření na figuríně
- 5.2.1. Měří se zrychlení snímači v hlavě a hrudníku figuríny
- 5.2.1.1. Měření v hlavě figuríny
akcelerometr s rozsahem amplitudy 150 g a rozsahem frekvence 600 Hz.
- 5.2.1.2. Měření v hrudníku figuríny
dva akcelerometry s rozsahem amplitudy 60 g a rozsahem frekvence 180 Hz
- 5.2.2. Jednotlivé parametry se zaznamenávají prostřednictvím nezávislých datových kanálů.
- 5.3. Měření na vozidle
- 5.3.1. Měří se síla působící na mechanismus řízení.
- 5.3.2. Siloměr vložený do systému řízení má rozsah amplitudy 19 600 N a rozsah frekvence 600 Hz.
- 5.4. Záznam obrazu

- 5.4.1. Záznam obrazu je proveden libovolným obrazovým záznamovým zařízením (vysokorychlostní kamera není vzhledem k rychlostem nárazu podmínkou).
- 5.5. Digitální magnetické záznamové zařízení
 - 5.5.1. Rychlost pásku musí být stabilní s tolerancí nepřesahující 10% použité rychlosti pásku.
6. Zpracování dat a předkládání výsledků
 - 6.1. Průběhy naměřených procesů zpracujte vhodnými matematickými nástroji.
 - 6.2. Vhodnou metodou odhadněte pravděpodobnou chybu opakovaného měření.
 - 6.3. Výsledky se předkládají na papíru formátu A4 (ISO/R.216). Pokud jsou výsledky předkládány ve formě grafů, musejí být na osách vyznačeny stupnice, přičemž měřicí jednotka musí být vhodným násobkem zvolené jednotky (např. 1, 2, 5, 10, 20 mm). Používají se jednotky SI, s výjimkou rychlosti vozidla, kde je možno použít jednotku $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, a zrychlení při nárazu, kde je možno použít jednotku g.
7. Bezpečnost zkoušky
 - 7.1. V průběhu zkoušky musí být dodrženy obecné bezpečnostní pokyny pro obsluhu nárazového simulátoru.

8.3 Demonstrační zkouška s živou posádkou

1. Zkušební zařízení
 - 1.1. Urychlovací (nebo zpomalovací) zařízení
 - 1.2. Kompletní karoserie nebo její výřez vybavený co nejvíce prvky interiéru skutečného vozidla včetně alespoň kompletní palubní desky, mechanismu řízení a předních sedadel uchycených podle skutečné konstrukce vozidla
 - 1.3. Zařízení pro měření a záznam zrychlení
 - 1.4. Zařízení pro pořizování obrazového záznamu (kamera)
2. Uspořádání zkoušky
 - 2.1. Karoserii důkladně připevněte na zkušební zařízení tak, aby během zkoušky nedošlo k žádnému relativnímu posunu.
 - 2.2. V interiéru zkoušené karoserie nesmí být žádné prvky omezující pohyb cestujících, které se neshodují se sériovým stavem vozidla.
 - 2.3. Instalujte akcelerometr co nejbližší těžišti vozidla.
 - 2.4. Instalujte kameru tak, aby v záběru bylo místo nárazu před dostatečně kontrastním pozadím.
 - 2.5. Nastavení sedadel a všech ovládacích prvků vozidla se provede podle obecných pravidel aktivní bezpečnosti pro osoby, které se zkoušky účastní.
3. Osoby účastníci se zkoušky
 - 3.1. Maximální počet osob účastníci se zkoušky jsou dvě. Obsazují místa řidiče a spolujezdce.
 - 3.2. Nastavení sedadel a ovládacích prvků vozidla provedou tak, jak by to udělali v běžném vozidle. Obsluha simulátoru dohlédne na dodržování pravidel aktivní bezpečnosti.
 - 3.3. Osoba na místě řidiče má pravou nohu na pedálu plynu a rukama svírá volant v bodech vodorovné osy věnce.
 - 3.4. Osoba na místě spolujezdce má chodidla položená pevně na zemi a dlaně má položené na kolenou.
 - 3.5. Účastníci zkoušky jsou povinni použít bezpečnostní pás. Kontrolu provádí obsluha simulátoru.
4. Průběh zkoušky
 - 4.1. Karoserie je poháněna urychlovacím zařízením.
 - 4.2. Zpomalení je vyvoláno vhodnou brzdou bez nárazu, která je schopná vyvinout okamžité zpomalení alespoň $6 - 8 \text{ m.s}^{-2}$.
 - 4.3. Rychlost zkoušky volíme s ohledem na hmotnost zkušební vozíku tak, aby bylo účinkem použité brzdy zajištěno bezpečné zastavení na délce zbývajících zkušební dráhy.

- 4.4. Přetížení působící na osoby účastníci se zkoušky nesmí nikdy v jejím průběhu překročit hodnotu 10 g.
5. Měření
- 5.1. Snímače je třeba pevně uchytit, aby byly záznamy jejich signálů co nejméně ovlivněny vibracemi.
- 5.2. Měření na vozidle
- 5.2.1. Měří se hodnota přetížení při řízeném zpomalení
- 5.2.1.1. Akcelerometr na středovém tunelu vozidla, rozsah amplitudy 60 g a rozsah frekvence 180 Hz.
- 5.3. Záznam obrazu
- 5.3.1. Záznam obrazu je proveden libovolným obrazovým záznamovým zařízením (vysokorychlostní kamera není vzhledem k rychlostem při zkoušce podmínkou).
- 5.4. Subjektivní pocity
- 5.4.1. Po skončení zkoušky může obsluha simulátoru do protokolu zaznamenat subjektivní pocity účastníků zkoušky.
6. Zpracování dat a předkládání výsledků
- 6.1. Průběhy naměřených procesů zpracujte vhodnými matematickými nástroji.
- 6.2. Výsledky se předkládají na papíru formátu A4 (ISO/R.216). Pokud jsou výsledky předkládány ve formě grafů, musejí být na osách vyznačeny stupnice, přičemž měřicí jednotka musí být vhodným násobkem zvolené jednotky (např. 1, 2, 5, 10, 20 mm). Používají se jednotky SI, s výjimkou rychlosti vozidla, kde je možno použít jednotku $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, a zrychlení při nárazu, kde je možno použít jednotku g.
7. Bezpečnost zkoušky
- 7.1. V průběhu zkoušky musí být dodrženy obecné bezpečnostní pokyny pro obsluhu nárazového simulátoru.
- 7.2. Zkoušky se nesmí účastnit osoby mladší 18 let.
- 7.3. Zkoušky se nesmí účastnit osoby pod vlivem alkoholu nebo návykových látek.
- 7.4. Osoby trpící kinetózou, sníženou tolerancí k přetížení nebo jinou poruchou, která by jim v průběhu zkoušky mohla působit potíže, jsou povinny účast na zkoušce odmítnout.
- 7.5. Všechny osoby účastníci se zkoušky musí být poučeny o bezpečnostních pokynech a stvrdit toto poučení svým podpisem.

9 Závěr

Simulátor nárazu, který byl ústředním tématem této a dalších závěrečných prací na Fakultě dopravní, má široké využití při zkoušení prvků pasivní bezpečnosti a přestože nemůže nahradit klasické destrukční crash testy, je jeho použití často plně dostačující a z ekonomického i dalších hledisek mnohem výhodnější. Ve zkušebnictví tedy mají simulátory nehodových dějů svoje pevné místo a přítomnost takového simulátoru na fakultě, navíc s unikátní možností provádět zkoušky i živou posádkou, by znamenala obrovský přínos pro výuku i výzkum.

První část práce se věnuje statistice nehodovosti, která dokázala význam nárazového simulátoru. Statistika názorně ukázala, jak velkým společenským problémem dopravní nehody jsou, a také z ní vyplynul nejčastější typ dopravní nehody – náraz do dalšího vozidla nebo pevné překážky, což je přesně typ nehody, který lze s tímto zařízením úspěšně simulovat. Další část práce se věnuje obecně prvkům pasivní bezpečnosti, stručnému popisu jejich funkce a vlivu na následky dopravních nehod. Měla ukázat, jak důležitou roli tyto bezpečnostní prvky při dopravních nehodách plní, a proč je nutné je studovat a dále vyvíjet.

Následně jsem se zaměřil na již existující nárazové simulátory, ze kterých ve své bakalářské práci vycházel můj kolega při návrhu konkrétní konstrukce simulátoru pro Fakultu dopravní ČVUT. Jeho konstrukční řešení jsem ve své práci také stručně představil.

Cílem této práce bylo napsat seznam zkoušek, které by bylo možné na navrhovaném simulátoru provádět a vytvořit k nim vlastní metodiku. Tomu jsem věnoval poslední tři kapitoly své práce. Přestože parametry simulátoru umožňují provádět některé homologační zkoušky podle platných předpisů, pravděpodobně by se, hlavně z ekonomických důvodů, nejednalo o jeho časté využití. Hlavní funkci simulátoru vidím v širokém využití pro školní výzkum a hlavně v rozšíření výuky o cennou praktickou zkušenost a zážitek při nárazu v simulátoru, který by navíc mohl i podpořit zájem studentů o téma pasivní bezpečnosti.

Při psaní této práce jsem si rozšířil své znalosti z oblasti pasivní bezpečnosti a zkušebnictví, ale rád bych zde uvedl, že největším přínosem pro mě byla v průběhu studia práce na projektu „Konstrukce dopravních prostředků“ při Ústavu dopravních prostředků na Fakultě dopravní. Tento projekt mi dal při studiu vzácnou možnost praktických zkušeností, a to například i v podobě účasti při přípravách a provedení reálného crash testu.

Co se týká tématu fakultního nárazového simulátoru, celý návrh je stále velmi teoretický, hlavně z důvodu neznámých charakteristik konstrukčních součástí a vlastností hotového zařízení. Přesto jako diplomová práce už vznikl realistický model simulátoru, a pokud se bude

v rámci projektů dále využívat potenciál, který toto téma skrývá, nevidím důvod, proč by Fakulta dopravní jednou neměla disponovat opravdovým simulátorem nárazu.

10 Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
HADN	Hloubková analýza dopravních nehod
PČR	Policie České republiky
SW	software
DN	dopravní nehoda
EHS/ES	Evropské hospodářské společenství
EHK	Evropská hospodářská komise
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme
IIHS	Insurance Institute for Highway Safety
HIC	Head Injury Criteria
ÚAMK	Ústřední automotoklub

11 Použité zdroje

- [1] HLOUBKOVÁ ANALÝZA SILNIČNÍCH DOPRAVNÍCH NEHOD - roční zpráva za rok 2013. [online]. [cit. 2015-07-30]. Dostupné z: <http://hadn.cdvinfo.cz/file/zprava-o-reseni-projektu-v-roce-2013/>
- [2] SOBOTKA, P.: *Přehled o nehodovosti na pozemních komunikacích v české republice za rok 2014*. [online]. [cit. 2015-07-30]. Dostupné z: <http://www.policie.cz/soubor/prehled-nehodovosti-za-rok-2014-pdf.aspx>
- [3] JANSÁ, P.: *Jakou cenu má lidský život, který vyhasne při dopravní nehodě?* [online]. 2013 [cit. 2015-07-30]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/zelenavlna/motozurnal/_zprava/jakou-cenu-ma-lidsky-zivot-ktery-vyhasne-pri-dopravni-nehode--1281344
- [4] FIRST, J.: *Zkoušení automobilů a motocyklů*. Vyd. 1. Praha: S&T CZ, 2008. ISBN 978-80-254-1805-5.
- [5] KOVANDA, J., ŠATOCHIN, V.: *Pasivní bezpečnost vozidel*. Vydání 1. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02235-8.
- [6] *Prvky pasivní bezpečnosti*. [online]. [cit. 2015-08-4]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/bezpecne-vozidlo/moderni-technologie-vozidel/pasivni-bezpecnost-prvky-pasivni-bezpecnosti>
- [7] *Pasivní prvky bezpečnosti – Bezpečnost automobilů – Bezpečné cesty.cz*. [online]. [cit. 2015-08-4]. Dostupné z: <http://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/pasivni-prvky-bezpecnosti>
- [8] *BESIP | Bezpečně na silnicích | Prvky pasivní bezpečnosti*. [online]. [cit. 2015-08-4]. Dostupné z: <http://www.bezpecnenasilnicich.cz/page/78>
- [9] VLK, F.: *Karoserie motorových vozidel: ergonomika, biomechanika, struktura, pasivní bezpečnost, kolize, materiály*. 1. vydání. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. ISBN 80-238-5277-9.
- [10] *Bezpečnost chodců*. [online]. [cit. 2015-08-5]. Dostupné z: <http://www.vutbr.cz/usi/dokumenty/dokumenty-ke-stazeni-f23776/bezpecnost-vozidel-silnicniho-provozu-materialy-k-predmetu-d75943/09-bezpecnost-chodcu-pdf-p67170>
- [11] KERKELING, Ch.: *Structural hood and hinge concepts for pedestrian protection*. GM Europe – Adam OPEL AG. [online]. [cit. 2015-08-5]. Dostupné z: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0304-W.pdf>

- [12] *Bezpečnost posádky vozidla*. [online]. [cit. 2015-08-5]. Dostupné z:
<http://www.vutbr.cz/usi/dokumenty/dokumenty-ke-stazeni-f23776/bezpecnost-vozidel-silnicniho-provozu-materialy-k-predmetu-d75943/08-bezpecnost-posadky-vozidla-pdf-p67169>
- [13] PILECKÝ, J.: *Simulátor nárazu – konstrukce*. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2014. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří First.
- [14] SUK, P.: *Kabina simulátoru deceleračních zkoušek*. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2015. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří First.
- [15] *Zkušebna pasivní bezpečnosti*. [online]. [cit. 2015-08-6]. Dostupné z:
<http://www.dekra-automobil.cz/index.php?file=zpb.php>
- [16] *Pasivní bezpečnost*. [online]. [cit. 2015-08-6]. Dostupné z: http://www.tuv-sud.cz/uploads/images/1295447599350026720602/pl_pasivni_bezp_a4_cj.pdf
- [17] *Na vlastní oči: Crashtesty škodovek*. [online]. [cit. 2015-08-6]. Dostupné z:
http://auto.idnes.cz/na-vlastni-oci-crashtesty-skodovek-duv-automoto.aspx?c=A060919_160332_automoto_fdv
- [18] *Simulátory nárazu*. [online]. [cit. 2015-08-6]. Dostupné z:
<http://www.uamk.cz/produkty-uamk/simulator-narazu>
- [19] Předpis EHK č. 11: *Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska zámků dveří a součástí upevnění dveří*.
- [20] Předpis EHK č. 16: *Jednotná ustanovení pro schvalování: I. bezpečnostních pásů, zádržných systémů, dětských zádržných systémů a dětských zádržných systémů ISOFIX pro cestující v motorových vozidlech; – II. vozidel vybavených bezpečnostními pásy, signalizací nezapnutí bezpečnostního pásu, zádržnými systémy, dětskými zádržnými systémy a dětskými zádržnými systémy ISOFIX*.
- [21] Předpis EHK č. 44: *Jednotná ustanovení pro schvalování typu zádržných zařízení pro děti cestující v motorových vozidlech („dětské zádržné systémy“)*.
- [22] Předpis EHK č. 17: *Jednotná ustanovení pro schvalování typu vozidel z hlediska sedadel, jejich ukotvení a opěrek hlavy*
- [23] Předpis EHK č. 94: *Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska ochrany cestujících při čelním nárazu*.
- [24] *Metoda, metodologie, technika – význam pojmů*. [online]. [cit. 2015-08-11]. Dostupné z: <http://www.ptejteseknihovny.cz/dotazy/metoda-metodologie-technika-vyznam-pojmu>